กรมชลประทาน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

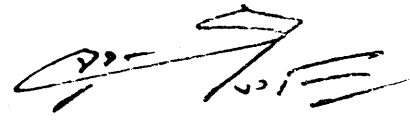
มาตรฐานและคู่มือการออกแบบ อาคารชลประทานในระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

สิงหาคม 2538

คำนำ

หนังสือมาตรฐาน และคู่มือการออกแบบอาคารชลประทาน (Design Standard and Design Manual for Irrigation and Drainage Structure) เป็นเอกสารทางวิชาการเรื่องหนึ่งที่ได้จัดทำขึ้น เพื่อเป็นคู่มือสำหรับวิศวกร และนายช่าง เพื่อที่จะได้ศึกษาเพิ่มเติมและนำไปประยุกต์ใช้ในงานแต่ละสายงานให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ และเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของกรมชลประทาน ที่ต้องการให้มีการกำหนดมาตรฐานการปฏิบัติงานด้านวิศวกรรมในสาขาต่าง ๆ ด้วย การให้จัดทำเป็นคู่มือไว้ใช้ในการปฏิบัติงานของแต่ละสาขา ให้เป็นไปในทางเดียวกัน โดยคณะผู้จัดทำได้ศึกษาและทำการเรียบเรียงจากหนังสือหลายเล่ม และเพิ่มเติมบางส่วนที่สำคัญ โดยเลือกเฉพาะเรื่องที่ใช้งานเป็นประจำ มาสรุปเป็นขั้นตอนในการออกแบบ พร้อมตัวอย่างการคำนวณประกอบ เพื่อให้สะดวกต่อการศึกษา และนำไปใช้งานต่อไป โดยแยกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรก ภาค 1 เป็นมาตรฐาน การออกแบบอาคารชลประทานในระบบส่งน้ำ และระบายน้ำ และส่วนที่ 2 ภาค 2 เป็นคู่มือการออกแบบอาคาร ชลประทานในระบบส่งน้ำ และระบายน้ำ

ขอขอบคุณ ผู้อำนวยการกองวิจัยและทดลอง (คุณวิทยา สมาหาร) ที่กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับอาคารวัดน้ำชลประทาน ขอขอบคุณ คณะทำงานที่ได้ช่วยดำเนินการ และตรวจสอบตลอดจนให้ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ซึ่งทำให้หนังสือมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น



(นายจรูญ กมลรัตน์)
ประธานคณะทำงาน

สำเนา

คำสั่งกรมชลประทาน

ที่ ข. 218/2536

เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานเพื่อพัฒนาวิศวกรรมการชลประทาน

อนุสนธิคำสั่งกรมชลประทาน ที่ ข 1230/1/2529 ลงวันที่ 26 กันยายน 2529 และคำสั่งกรมชลประทาน ที่ ข 273/2535 ลงวันที่ 13 มีนาคม 2535 ได้แต่งตั้งคณะทำงานเพื่อพัฒนางานวิศวกรรมการชลประทานในสาขาต่างๆ นั้น

เพื่อความเหมาะสมในการปฏิบัติงาน จึงให้ยกเลิกคณะทำงานชุดที่ 10, 16 และ 23 ตามคำสั่งดังกล่าว และแต่งตั้งคณะทำงานชุดใหม่ ประกอบด้วย

คณะทำงานชุดที่ 10 คณะทำงานเพื่อจัดทำแนวทางการวางโครงการ (Guidelines for Project Planning) ประกอบด้วย

1. นายจรูญ กมลรัตน์	ผู้อำนวยการกองวางโครงการ กองวางโครงการ	ประธานคณะทำงาน
2. นายสุวิทย์ ธโนภานุวัฒน์	วิศวกรโยธา 7 กองวางโครงการ	คณะทำงาน
3. นายศิริพงศ์ หังสพฤกษ์	วิศวกร 7 กองวางโครงการ	คณะทำงาน
4. นายวุฒิไชย จุลละเกศ	วิศวกรโยธา 8 กองวางโครงการ	คณะทำงาน
5. น.ส.สุภา สิงห์อินทร์	เศรษฐกร 8 กองวางโครงการ	คณะทำงาน
6. นายธงชาติ จุลสุข	เศรษฐกร 7 กองวางโครงการ	คณะทำงาน
7. นายไตรพันธ์ เมฆจรูญ	นักวิชาการสิ่งแวดล้อม 7 กองวางโครงการ	คณะทำงาน
8. นายประเสริฐ ลักษณ์สมยา	วิศวกรโยธา 7 กองวางโครงการ	คณะทำงานและเลขานุการ
9. นายสุรชัย ใหญ่สว่าง	วิศวกร 6 กองวางโครงการ	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

คณะทำงานชุดที่ 16 คณะทำงานเพื่อจัดทำมาตรฐานและคู่มือการออกแบบอาคารชลประทาน (Design Standard and Design Manual for Irrigation and Drainage Structures) ประกอบด้วย

1. นายจรูญ กมลรัตน์	ผู้อำนวยการกองวางโครงการ กองวางโครงการ	ประธานคณะทำงาน
2. นายชัยพร กอประพันธ์	วิศวกรโยธา 7 กองออกแบบ	คณะทำงาน
3. นายเผ่าพงศ์ การะรัมย์	วิศวกรโยธา 7 กองออกแบบ	คณะทำงาน

4. นายสุรพล ชุณหะวัต	วิศวกรโยธา 7 กองออกแบบ	คณะทำงาน
5. นายแก้ว ไตรโสรัส	วิศวกรโยธา 7 กองออกแบบ	คณะทำงาน
6. นายสมชาย วราภาสกุล	วิศวกรโยธา 7 กองออกแบบ	คณะทำงาน
7. นายวิบูลย์ น้อยเสม	วิศวกรโยธา 6 กองออกแบบ	คณะทำงาน
8. นายบุญสนอง สุชาติพงศ์	วิศวกรโยธา 7 กองออกแบบ	คณะทำงานและ เลขานุการ
9. นายอำนาจ โตโพธิ์ไทย	วิศวกรโยธา 6 กองออกแบบ	คณะทำงานและ ผู้ช่วยเลขานุการ

คณะทำงานชุดที่ 23 คณะทำงานเพื่อจัดทำมาตรฐานและคู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็ก และโครงสร้างไม้ (Design Standard and Design Manual for Steel and Timber Structures) ประกอบด้วย

1. นายจรูญ กมลรัตน์	ผู้อำนวยการกองวางโครงการ กองวางโครงการ	ประธานคณะทำงาน
2. นายเผ่าพงศ์ การะรัมย์	วิศวกรโยธา 7 กองออกแบบ	คณะทำงาน
3. นายวิเชียร อนุตรโสตถิ	วิศวกรโยธา 7 กองออกแบบ	คณะทำงาน
4. นายสุทธิพงศ์ ขมะสุนทร	วิศวกรโยธา 7 กองออกแบบ	คณะทำงาน
5. นายณัฐพงศ์ ศิริโภค	วิศวกรโยธา 6 กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา	คณะทำงาน
6. นายพรพจน์ ป่านแก้ว	วิศวกรโยธา 6 กองออกแบบ	คณะทำงาน
7. นายอำนาจ โตโพธิ์ไทย	วิศวกรโยธา 6 กองออกแบบ	คณะทำงาน
8. นายบุญสนอง สุชาติพงศ์	วิศวกรโยธา 7 กองออกแบบ	คณะทำงานและ เลขานุการ
9. นายพร ผลดี	นายช่างโยธา 6 กองออกแบบ	คณะทำงานและ ผู้ช่วยเลขานุการ

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 15 มีนาคม 2536

(นายสวัสดิ์ วัฒนายากร)
อธิบดีกรมชลประทาน

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ กองวางโครงการ

ที่ กวค. 848 **วันที่** 4 สิงหาคม 2537

เรื่อง ขออนุมัติมาตรฐานและคู่มือการออกแบบอาคารชลประทาน การออกแบบโครงสร้างเหล็ก และการออกแบบโครงสร้างไม้ เพื่อเป็นมาตรฐานของกรมชลประทาน

เรียน รธว.

ตามที่กรมฯ ได้มีคำสั่งที่ ข 218/2536 ลงวันที่ 15 มีนาคม 2536 แต่งตั้งคณะทำงานเพื่อพัฒนาวิศวกรรมชลประทาน คณะทำงานชุดที่ 16 คณะทำงานเพื่อจัดทำมาตรฐานและคู่มือการออกแบบอาคารชลประทาน คณะทำงานชุดที่ 23 คณะทำงานเพื่อจัดทำมาตรฐานและคู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กและโครงสร้างไม้ เพื่อเป็นมาตรฐานของกรมชลประทาน บัดนี้คณะทำงานทั้งสองชุดได้จัดทำต้นฉบับมาตรฐานและคู่มือดังกล่าวเสร็จเรียบร้อยแล้วเป็นจำนวน 3 ชุด (ต้นฉบับรวม 3 เล่ม แต่ละเล่มจะมีทั้งภาคมาตรฐานและภาคการออกแบบ)

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติมาตรฐาน และคู่มือดังกล่าวเป็นมาตรฐาน ของกรมชลประทาน พร้อมด้วยอนุมัติการจัดพิมพ์มาตรฐาน และคู่มือดังกล่าวเพื่อเผยแพร่ต่อไป

(นายรุ่งเรือง จุลชาต)
รธว.

(นายจรูญ กมลรัตน์)
ผู้อำนวยการกองวางโครงการ
ประธานคณะทำงานชุดที่ 16 และชุดที่ 23

บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ กองวางโครงการ
ที่ กวค. 849 **วันที่** 4 สิงหาคม 2537
เรื่อง การจัดพิมพ์มาตรฐานและคู่มือ การออกแบบอาคารชลประทานและมาตรฐานและคู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กและโครงสร้างไม้
เรียน รธว.

ตามที่กรมฯ ได้อนุมัติมาตรฐานและคู่มือการออกแบบอาคารชลประทานและมาตรฐานและคู่มือการออกแบบโครงสร้างเหล็กและโครงสร้างไม้ จัดทำโดยคณะทำงานเพื่อพัฒนาวิศวกรรมชลประทาน คณะทำงานชุดที่ 16 และคณะทำงานชุดที่ 23 เป็นมาตรฐานของกรมชลประทาน พร้อมด้วยอนุมัติการจัดพิมพ์มาตรฐานและคู่มือดังกล่าวเพื่อเผยแพร่แล้ว นั้น

เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง เห็นควรให้ ผศว. ดำเนินการในด้านจัดพิมพ์โดยขอให้กองแผนงานและงบประมาณ จัดสรรเงินงบประมาณในการจัดพิมพ์มาตรฐานและคู่มือดังกล่าว ทั้งนี้จะได้ให้ นายบุญสนอง สุชาติพงศ์ วิศวกรโยธา 7 กองออกแบบ เป็นผู้ติดต่อประสานงานในรายละเอียดต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา

(นายรุ่งเรือง จุลชาต)
รธว.

(นายจรูญ กมลรัตน์)
ผู้อำนวยการกองวางโครงการ
ประธานคณะทำงานชุดที่ 16 และชุดที่ 23

ภาค 1

มาตรฐานการออกแบบ
อาคารชลประทานในระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

ภาค 1

มาตรฐานการออกแบบ
อาคารชลประทานในระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

หน้า

บทที่ 1 วิธีการพิจารณาการออกแบบโดยทั่วไป

1.1 ความนำ 1
1.2 ข้อมูลต่างๆ 1
1.3 ชลศาสตร์ 5
1.3.1 สูตรของการไหล 5
1.3.2 การสูญเสีย Head 6
1.3.3 การสูญเสียจากความฝืด 6
1.3.4 การสูญเสียจาก Transition 6
1.3.5 การสูญเสียจากความโค้ง 7
1.3.6 การสูญเสียจากตะแกรงกันสวะ 7
1.3.7 การสูญเสียจากตอม่อ 8
1.3.8 Freeboard 8
1.3.9 Percolation 9
1.3.10 การพลิกตัวและลื่นไหล 9
1.4 หินเรียง 9
1.5 ท่อเชื่อมและอุโมงค์ (SIPHON AND TUNNEL) 10
1.6 รางน้ำแบบพาแชล อาคารอัดน้ำ น้ำตกอัดน้ำ น้ำตกสี่เหลี่ยมแบบเอียง รางเท และน้ำตกเอียงแบบท่อ 10
1.7 อาคารชักน้ำ (TURNOUT) 11
1.8 อาคารระบายน้ำชนิดตัดผ่าน 11
1.9 การควบคุมโดยอัตโนมัติและการควบคุมจากระยะไกลในระบบส่งน้ำ 11

บทที่ 2 อาคารในคลอง (CANAL STRUCTURE)

2.1 ท่อเชื่อม (SIPHON) 15
2.2 อุโมงค์ (TUNNELS) 18
2.3 อาคารอัดน้ำ (CHECK) 20
2.4 รางน้ำ รางเท และอาคารน้ำตก (FLUME, CHUTE, DROP) 24
2.5 CHUTE AND INCLINED DROP 24

2.6 อาคารน้ำตก (Vertical drop) 30
2.7 ท่อลดระดับ (Closed conduit drops) 30
2.8 บ่อน้ำนิ่ง (Stilling pool) 33
2.9 รางที่มีแผงกันน้ำหรือฟันตะเข้ (BAFFLED APRONS) 35
2.10 TURNOUT 38

บทที่ 3 อาคารวัดปริมาณน้ำ (WATER MEASUPEMENT STRUCTURE)

3.1 CONSTANT-HEAD ORIFICE (CHO) 39
3.2 BROAD-CRESTED WEIR 41
3.3 รางน้ำชนิดพื้นราบ (FLAT-BOTTOM FLUME) 44
3.4 MODULAR LIMT 44
3.5 ช่วงของการวัดปริมาณน้ำ 45
3.6 มาตรวัด 45
3.7 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำ และปริมาณน้ำ 47
3.8 ข้อดีของ BCW 47
3.9 ข้อด้อยของ BCW 47
3.10 การใช้งาน BCW 47

บทที่ 4 อาคารป้องกันความเสียหาย (PROTECTIVE STRUCTRE)

4.1 ทั่วไป 57
4.2 อาคารระบายน้ำผ่านคลองชลประทาน (CROSS-DRAINAGE STRUCTURE) 57
4.3 ท่อลอดคลอง (DRAIN CULVERT) 58
4.4 INLET CONTROL 58
4.5 OUTLET CONTROL 59
4.6 การออกแบบท่อลอด 60

บทที่ 1
วิธีการพิจารณาการออกแบบโดยทั่วไป

1.1 ความนำ

บทนี้บรรจุสิ่งที่ควรทราบเกี่ยวกับการออกแบบอาคารชลประทานแบบต่างๆ โดยทั่วๆ ไป การออกแบบทางชลศาสตร์และโครงสร้างก็ยึดถือตามหนังสือคู่มือต่างๆ เกี่ยวกับการออกแบบตามที่ทราบกันดีอยู่แล้ว การกำหนดเกี่ยวกับน้ำหนักและมาตรฐานต่างๆ ตามที่ได้ให้ไว้ในบทนี้ใช้ได้เหมาะสมกับสภาพส่วนใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามผู้ออกแบบจะต้องตัดสินใจเลือกใช้สิ่งที่เหมาะสมกับสภาพจริงของงานแบบต่างๆ ที่แสดงไว้ในบทนี้เพื่อเป็นเพียงตัวอย่างเท่านั้น จึงอาจเป็นไปได้ที่เมื่อออกแบบอาคารมาแล้วแตกต่างไปจากแบบตัวอย่างเหล่านั้น

1.2 ข้อมูลต่างๆ

ข้อมูลที่ต้องใช้ในการออกแบบจะได้มาจากผู้ปฏิบัติงานในสนาม ซึ่งมีหน้าที่ในการหาข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับการออกแบบตามความต้องการของผู้ออกแบบ ข้อมูลที่ว่านี้รวมทั้งแผนที่ภูมิประเทศและสิ่งที่ควรทราบอื่นๆ ที่จำเป็นเพื่อให้การออกแบบอาคารเสร็จสมบูรณ์ได้ การกำหนดจุดที่ตั้งในแบบควรจะให้ระยะที่เพิ่มขึ้นจากซ้ายไปขวา และจากล่างขึ้นบน

น้ำหนัก

น้ำหนักคงที่ น้ำหนักคงที่ประกอบด้วย น้ำหนักของสิ่งก่อสร้าง และน้ำหนักอื่นที่อยู่อย่างถาวรต่อสิ่งก่อสร้าง

ตารางแสดงน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร

วัสดุ	กก./ม.^{3}
น้ำ	1,000
ดินแห้ง	1,700
ดินเปียก	2,000
ทรายแห้ง	1,600
ทรายเปียก	1,800
กรวด	1,650
หินทิ้ง	1,500
ปูนทราย (MORTAR)	2,150
คอนกรีตล้วน	2,200
คอนกรีตเสริมเหล็ก	2,400
อิฐก่อ	1,700
หินก่อ	2,200
ไม้เนื้ออ่อน	800
ไม้เนื้อแข็ง	1,000
เหล็กหล่อ	7,250
เหล็กเหนียว	7,850
อลูมิเนียมผสม	2,800
หินแกรนิต	2,700
หิน (SANDSTONE)	2,600
ดินถมอัดแน่นแห้ง	1,900
ดินถมอัดแน่นเปียก	2,200
พื้นถนนชนิดราดยาง	2,300

การเรียกดินและทรายตามตารางข้างบนว่า เปียกและแห้งนั้นเพื่อให้สะดวกในการจำแนกว่าอยู่เหนือหรือใต้ระดับน้ำใต้ดิน

น้ำหนักจร น้ำหนักจรคือ น้ำหนักที่ไม่ได้เกิดอย่างถาวรต่อสิ่งก่อสร้าง

น้ำหนักบนพื้นปฏิบัติงาน พื้นปฏิบัติงานที่ไม่ใช้ STOPLOG จะต้องออกแบบให้เพียงพอสำหรับน้ำหนักจร 500 กก./ตร.ม. และ 700 กก./ตร.ม. เมื่อใช้ STOPLOG

สำหรับสะพานโครงยกที่ต้องรับน้ำหนักบานและเครื่องกว้านจะต้องเพิ่มน้ำหนักของสิ่งเหล่านั้นเข้าไปในการคำนวณออกแบบด้วย

น้ำหนักจากล้อรถยนต์สู่ท่อลอด น้ำหนักดังกล่าวขึ้นอยู่กับขนาดของรถและการกระจายน้ำหนักลงสู่ท่อลอด

น้ำหนักจากล้อรถยนต์ สำหรับทางหลวงสายใหญ่ ใช้น้ำหนักรถบรรทุกขนาด HS 20-44 และใช้น้ำหนักรถบรรทุกขนาด H 20-44 สำหรับทางสายอื่น ๆ

การกระจายน้ำหนัก

ก. กรณีที่ล้อถ่ายน้ำหนักสู่พื้นโดยตรง

(1) ช่วงความยาวน้อยกว่า 3.50 เมตร

$$E = 0.175\ S + 1.05$$

เมื่อ E = ความกว้างของพื้นที่แต่ละล้อกระจายน้ำหนักลง

S = ช่วงความยาว

(2) ช่วงความยาวเกิน 3.50 เมตร

$$E = (10\ N + W) / 4\ W$$

เมื่อ N = จำนวนทั้งหมดของช่องทางวิ่ง

W = ความกว้างของทาง

ข. กรณีที่ล้อถ่ายน้ำหนักผ่านดินถม

(1) เมื่อความลึกของการถมไม่น้อยกว่า 0.60 ม. จะต้องพิจารณาน้ำหนักที่ลงเป็นจุดว่าเป็นการลงอย่างแผ่กระจาย ลงสู่สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแต่ละด้านเป็น 1.75 เท่าของความลึกของการถม เมื่อมีน้ำหนักที่ลงเป็นจุดเช่นนี้หลายจุดจะทำให้พื้นที่ของการแผ่กระจายน้ำหนักซ้อนทับกัน การคิดน้ำหนักทั้งหมดจะต้องพิจารณาเป็นน้ำหนักแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอลงสู่พื้นที่ซึ่งถูกกำหนดขอบเขตโดยขอบนอกของพื้นที่ย่อย

(2) สำหรับพื้นที่ช่วงเดียว ผลของน้ำหนักจรอาจไม่นำมาคิด เมื่อความลึกของการถมเกิน 2.50 ม. และเกินความยาวของช่วงพื้น สำหรับหลายช่วงจะไม่นำมาคิดเมื่อความลึกของการถมเกินกว่าระยะทางระหว่างจุดรับน้ำหนักด้านปลายหรือตอม่อ

(3) การแผ่กระจายของน้ำหนักจรที่คิดตามวิธีข้างบนจะต้องไม่เกินกว่าเมื่อคิดว่าล้อถ่ายน้ำหนักลงสู่อาคารโดยตรง

ค. ความกว้างรวมของการกระจายน้ำหนักจะต้องไม่เกินกว่าความกว้างรวมของช่วงพื้น

แรงกระแทก

สำหรับการถม 0 ม. - 0.30 ม. แรงกระแทก = 30 %

สำหรับการถม 0.31 ม. - 0.60 ม. แรงกระแทก = 20 %

สำหรับการถม 0.61 ม. - 0.89 ม. แรงกระแทก = 10 %

สำหรับการถม 0.90 ม. และเกินกว่าแรงกระแทก = 0%

น้ำหนักจากล้อรถไฟสู่ท่อลอด ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของรถ และการกระจายน้ำหนักลงสู่ท่อลอด

น้ำหนักจากล้อรถไฟ สำหรับสายใหญ่ใช้น้ำหนัก E-72 ของ COOPER และสำหรับสายย่อยใช้น้ำหนักลดลง เช่น E- 60, E-50 เป็นต้น ซึ่งระยะห่างระหว่างล้อเท่าเดิม แต่น้ำหนักแต่ละล้อลดลงเป็นสัดส่วน

การกระจายน้ำหนัก

ก. การกระจายน้ำหนักตามยาว

$$\int = (d/2.50)(2.0) + 0.90$$

เมื่อ $\int$ = การกระจายน้ำหนักตามยาวต่อล้อ

$\int$ สูงสุด = 1.50 ม.

d = ความลึกของหินพื้นทางและการถมใต้หมอนราง

ข. การกระจายน้ำหนักตามขวาง

(1) เมื่ออาคารอยู่ใต้หมอนรางไม่เกิน 1.80 ม. ต้องพิจารณาว่าน้ำหนักที่ลงเป็นจุดจะแผ่กระจายลงบนความกว้าง 4.30 ม.

(2) เมื่อ d เกินกว่า 1.80 ม. ความกว้างของการกระจายน้ำหนัก w จะเป็น w = 2.40 + d

(3) สำหรับทางหลายรางซึ่งการกระจายของน้ำหนักซ้อนทับกัน เนื่องจากมีหลายราง ความกว้าง w จะหาได้โดยขอบนอกของการกระจายน้ำหนักจากรางย่อย

(4) ความกว้างรวมของการกระจายน้ำหนักจะต้องไม่เกินกว่าความกว้างรวมของช่วงพื้น

แรงกระแทก

I = % impact = L / (L + D)

L = น้ำหนักจร

D = น้ำหนักคงที่

น้ำหนักจากล้อสู่ท่อกลมใต้ดิน

ท่อกลมที่ลอดใต้ทางหลวงและทางรถไฟจะต้องได้รับการออกแบบให้แข็งแรงพอที่จะทนต่อน้ำหนักจากรถบรรทุกและหัวรถจักร น้ำหนักเนื่องจากล้อซึ่งเป็นจุดถูกถ่ายผ่านดินที่หุ้มท่อและแผ่กระจายลงบนส่วนบนของท่อ ถูกพิจารณาว่าเป็นน้ำหนักแผ่กระจาย

เพื่อความสะดวกในการออกแบบ น้ำหนักแผ่กระจายดังกล่าวจึงถูกแปลงเป็นความสูงของดินถมและรวมเข้ากับความสูงของดินถมที่เป็นอยู่จริง การเลือกใช้ท่อกลมจึงต้องให้แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักรวมของดินที่ทับท่อทั้งหมดนี้

(ก) ทางหลวง ตารางต่อไปนี้แสดงความสูงรวมของดิน ที่ได้แปลงค่าแล้วสำหรับความสูงของดินถมบนท่อต่าง ๆ โดยใช้น้ำหนักรถบรรทุก H - 15 และ H - 20

ความสูงของดินถมบนท่อ , เมตร	ความสูงของดินถมรวมทั้งหมด, เมตร	
	นน. H- 15	นน. H- 20
0.60	3.60	4.60
0.90	2.30	2.80
1.20	2.10	2.40
1.50	2.20	2.50
1.80	2.45	2.60
2.10	2.65	2.80
2.40	2.90	3.00

สำหรับท่อที่ดินถมบนท่อน้อยกว่า 0.60 ม. จะต้องมีสิ่งป้องกันเป็นพิเศษ เช่น หล่อคอนกรีตหุ้มท่อ หรือทำเป็นแผ่นคอนกรีตปิดทับ

เมื่อดินที่ถมบนท่อเกิน 2.40 ม. ผลจากน้ำหนักล้อไม่ต้องนำมาคิด

เมื่อดินถมบนท่อไม่เกิน 0.90 ม. ต้องคิดค่าของแรงกระแทกดังต่อไปนี้

ดินถมบนท่อ 0.61 ม. ถึง 0.89 ม. 10 %

ดินถมบนท่อ 0.31 ม. ถึง 0.59 ม. 20 %

ดินถมบนท่อ 0.30 ม. หรือน้อยกว่า 30 %

การออกแบบอาจต้องมีสิ่งเพิ่มเติมเป็นพิเศษตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง เช่น ทางเบี่ยง และเครื่องหมายเตือนเพื่อความปลอดภัย

(ข) ทางรถไฟ ถ้าไม่มีข้อกำหนดของการทางรถไฟเป็นอย่างอื่นส่วนบนสุดของท่อจะต้องอยู่ใต้ส่วนบนสุดของหมอนรางรถไฟไม่น้อยกว่า 0.90 ม.

สำหรับรางรถไฟที่รับน้ำหนัก E - 72 การเลือกใช้ท่อต้องให้แข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักเทียบเท่ากับดินสูง 6.00 ม. เมื่อท่ออยู่ใต้หมอนราง 0.90 - 4.50 ม. โดยไม่ต้องนำน้ำหนักที่เกิดจากแรงกระแทกมาเพิ่มอีก

1.3 ชลศาสตร์

1.3.1 สูตรของการไหล

การออกแบบคลองและอาคารประกอบโดยทั่วไปจะใช้สูตรของ MANNING นอกจากระบบส่งน้ำที่ใช้ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จรูป ซึ่งมักใช้สูตรของ SCOBEY โดยใช้ค่า C_S ตามที่แนะนำไว้ในหนังสือ HYDRAULIC AND EXCAVATION TABLES ของ U.S.B.R ซึ่งหนังสือดังกล่าวยังได้รวมถึงการใช้สูตรของ MANNING และตารางอื่น ๆ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการออกแบบคลองและอาคารด้วย

1.3.2 การสูญเสีย HEAD

การสูญเสีย HEAD ส่วนใหญ่เกิดจากความฝืด TRANSITION ความโค้ง ตะแกรงกันสวะ และการเปลี่ยนของพื้นที่หน้าตัด ค่าสัมประสิทธิ์ของความฝืดคลองดินและคลองดาดคอนกรีตให้ดูจากเรื่องคลอง

1.3.3 การสูญเสียจากความฝืด

ในระบบการชลประทานแบบคลองเปิด ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดที่ใช้กับอาคารคอนกรีตชนิดหล่อในที่คือ 0.014 ยกเว้นท่อกลม หรืออุโมงค์ที่สร้างโดยแบบเหล็กรวมทั้งท่อคอนกรีตชนิดหล่อสำเร็จรูปให้ใช้ค่า 0.013

สำหรับระบบส่งน้ำแบบปิดซึ่งน้ำในระบบเป็นน้ำใสจะใช้สูตรของ SCOBEY ค่าสัมประสิทธิ์ C_S ให้ใช้ 0.345 สำหรับท่อขนาดไม่เกิน 60 ซม. และใช้ค่า 0.370 สำหรับท่อขนาดใหญ่กว่านั้น

1.3.4 การสูญเสียจาก TRANSITION

ที่ทางเข้าและทางออกของอาคาร ซึ่งน้ำจะต้องเปลี่ยนรูปนั้น ตามปกติจะต้องมี TRANSITION ที่ INLET TRANSITION ความเร่งของความเร็วน้ำจะเกิดขึ้น และความหน่วงจะเกิดขึ้นที่ OUTLET TRANSITION ชนิดของ TRANSITION แบบเปิดที่ใช้กับท่อปิด ที่ใช้กันทั่ว ๆ ไป คือ STREAMLINED WARP, STRAIGHT WARP และ BROKEN BACK

INLET TRANSITION ที่มีความสูญเสียของชลศาสตร์น้อย และน้ำไหลได้เรียบจะต้องมีระยะที่น้ำท่วมปากท่ออย่างน้อยที่สุด 1.5 ($hv_p - hv_c$) หรือ 8 ซม. โดยวัดจากผิวน้ำด้านเหนือน้ำของ INLET TRANSITION กับช่องเปิดที่กำแพงหน้าของ TRANSITION สำหรับ OUTLET TRANSITION จะต้องให้ระดับผิวน้ำอยู่พอดีกับช่องเปิดถ้าระยะที่น้ำท่วมช่องเปิดเกินกว่า 1 ใน 6 ของความสูงช่องเปิดแล้วการคิดค่าความสูญเสียทางชลศาสตร์จะต้องคำนวณโดยถือว่า เป็นการบานตัวออกอย่างฉับพลัน (SUDDEN ENLARGEMENT) แทนที่จะคิดว่าเป็น OUTLET TRANSITION ความสูญเสียทางชลศาสตร์ของ TRANSITION โดยพื้นฐานจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของ VELOCITY HEAD ที่ปลายด้านเปิดของ TRANSITION และแนวตั้งฉากกับรูปตัดในแนวศูนย์กลางของท่อปิดที่ HEADWALL หรือ H_V ค่าสัมประสิทธิ์ของ H_V ที่เหมาะสมในการคำนวณหาความสูญเสียทางชลศาสตร์สำหรับ TRANSITION ชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ข้างล่างนี้

ชนิดของ TRANSITION ชนิดเปิดที่ต่อกับชนิดท่อปิด (CLOSED CONDUIT)	**INLET**	**OUTLET**
STREAMLINED WARP กับ ท่อสี่เหลี่ยม	0.1	0.2
STRAIGHT WARP กับ ท่อสี่เหลี่ยม	0.2	0.3
STRAIHGT WARP ชนิดที่มีการลบมุมที่พื้นกับท่อกลม	0.3	0.4
BROKEN BACK กับ ท่อสี่เหลี่ยม	0.3	0.5
BROKEN BACK กับ ท่อกลม	0.4	0.7

TRANSITION ชนิดปิด	**INLET**	**OUTLET**
สี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือ สี่เหลี่ยมผืนผ้า กับท่อกลม (มุมที่กระทำกับแนวศูนย์กลางไม่เกิน 7.5°)	0.1	0.2

TRANSITION ชนิดเปิดที่ต่อกับท่อปิดหลายท่อ จะต้องเอาค่าความสูญเสียทางชลศาสตร์มารวมกัน สำหรับ TRANSITION ขนาดใหญ่จะต้องนำค่าเฉลี่ยความสูญเสียเนื่องจากความฝืดมารวมด้วย แต่สำหรับขนาดเล็กอาจตัดทิ้งได้ พื้นของ BROKEN BACK OUTLET TRANSITION จะต้องไม่ชันกว่า 1 : 6

เพื่อให้สภาพทางชลศาสตร์ดี มุมระหว่างผิวน้ำกับแนวศูนย์กลางสำหรับ INLET TRANSITION จะต้องไม่เกิน 27.5° และสำหรับ OUTLET TRANSITION จะต้องไม่เกิน 22.5° ในการออกแบบอาคารบางอย่างการใช้มุม 25° ทั้ง INLET และ OUTLET อาจเป็นการประหยัดในกรณีที่กำหนดความสูญเสียเผื่อสูงไว้ สำหรับอาคารอัดน้ำแล้วมุมที่ INLET จะใช้ได้ถึง 30° อาคารอัดน้ำส่วนมากจะคำนวณค่าความสูญเสียเป็นประมาณ 0.5 เท่าของความแตกต่างของ VELOCITY HEAD ที่ช่องเปิดอาคารอัดน้ำกับรูปตัดขวางคลองด้านเหนือน้ำ

สำหรับ INLET TRANSITION ที่ต่อกับท่อปิดซึ่งการไหลเป็น FREE-FLOW โดยที่น้ำท่วมปากท่อ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านจะคำนวณหาได้โดยสมการของ ORIFICE HEAD ที่ใช้คือ ระยะจากศูนย์กลางของช่องเปิดถึงระดับผิวน้ำที่ INLET และควรใช้ค่า ORIFICE COEFFICIENT C = 0.6 ในทางทฤษฎีแล้วจะต้องมีค่า CORRECTION FACTOR เมื่อการท่วมท่อน้อยกว่าความสูงของช่องเปิดสำหรับท่อยาวที่น้ำไม่ท่วมท่อด้าน INLETจะเกิด HYDRAULIC JUMP ขึ้นทำให้น้ำกระเพื่อมและการควบคุมไม่ดี หากต้องการทราบว่าอาคารใดมีโอกาสเกิดอาการนี้หรือไม่ จะหาได้จากหัวข้อ 4.4 ทางเข้าของอาคารที่เป็นท่อปิดชนิดการไหลไม่เต็มท่อสามารถเกิด CONTROL POINT ขึ้นที่ใดก็ได้ในระหว่าง INLET CUTOFF กับ HEADWALL หาก CONTROL อยู่ที่ INLET CUTOFF จะต้องมีการป้องกันการกัดเซาะทางน้ำหรือเปลี่ยนการออกแบบเพื่อที่ CONTROL POINT เคลื่อนเข้าสู่ TRANSITION

1.3.5 ความสูญเสียจากความโค้ง

ความสูญเสียจากความโค้งในท่อปิดจะคำนวณได้จากสูตร

$$h_b = z * \frac{(\Delta)}{90}^{1/2} * \frac{v^2}{2g}$$

$$= \zeta * \frac{v^2}{2g}$$

เมื่อ Z = COEFFICIENT ซึ่งเกี่ยวกับความโค้งของท่อและเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

Δ = มุมที่ท่อเบี่ยงเบนไป

ζ อาจหาได้จากรูปที่ 1.1 ในรูปนี้แสดงค่าความสูญเสียของ HIND ที่ใช้ค่า Z = 0.25 ไว้ด้วย ซึ่งแม้ว่าจะจารีตนิยม (CONSERVATIVE) แต่ก็สะดวกในการประมาณเบื้องต้น

1.3.6 ความสูญเสียจากตะแกรงกันสวะ

ความสูญเสียจากตะแกรงกันสวะที่มุมการไหลเข้าสู่ตะแกรงตั้งฉากกับตะแกรง

$$H = \beta \frac{(T)}{D}^{4/3} * \frac{(V^2)}{2g} * \text{Sin A}$$

เมื่อ H = ความสูญเสียเนื่องจากตะแกรงกันสวะเป็น ซม.

= 242 สำหรับซี่ตะแกรงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้างเป็น 5 เท่าของความหนา

= 179 สำหรับซี่ตะแกรงเป็นเหล็กกลม

T = ความหนาของซี่ตะแกรงเป็น ซม.

D = ระยะห่างระหว่างซี่ตะแกรงเป็น ซม.

V = ความเร็วน้ำไหลผ่านซี่ตะแกรงเป็นม./วินาที

A = มุมที่ตะแกรงทำกับแนวราบ

เมื่อทิศทางการไหลทำมุม B กับแนวตั้งฉากกับตะแกรง

$$H = \beta * \frac{(T)}{D}^{4/3} * \frac{(V^2)}{2g} * \text{Sin } A * \text{Sec } \frac{(15 * \beta)}{8}$$

1.3.7 ความสูญเสียจากตอม่อ

สำหรับคลองที่มีลาดแบนมาก ๆ ควรพิจารณาถึงระดับน้ำที่ท้นสูงขึ้นเนื่องจากตอม่อ

1.3.8 FREEBOARD

ตามปกติ FREEBOARD สำหรับปลาย TRANSITION ด้านที่ต่อกับคลองดาดใช้เท่ากับการดาดคลอง สำหรับคลองที่ไม่ดาด FREEBOARD อย่างต่ำที่ TRANSITION CUTOFF สำหรับท่อลอด อุโมงค์ และอาคารลักษณะคล้ายกันควรเป็นดังนี้

ความลึกของน้ำที่ CUTOFF	FREEBOARD ต่ำสุด
เมตร	เมตร
0 - 0.30	0.15
0.31 - 0.60	0.25
0.61 - 1.50	0.30
1.51 - 2.10	0.40
2.11 - 2.70	0.45
2.71 - 3.60	0.55

สำหรับอาคารขนาดเล็ก เช่น อาคารที่ TRANSITION ต่อกับท่อที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 0.60ม. กำแพง TRANSITION อาจขนานไปกับพื้น

สำหรับอาคารขนาดใหญ่ FREEBOARD ที่ TRANSITION HEADWALL ควรมากกว่าที่ CUTOFF ค่าต่างของ FREEBOARD ทั้งคู่นี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของอาคารเพิ่มขึ้น

FREEBOARD ของคันคลองที่ติดกับ SIPHON WASTEWAY และ CHECK ที่ไม่มีส่วนให้น้ำไหลข้าม ควรเพิ่มอีก 50% โดยที่ไม่เกิน 0.30 ม. เพื่อป้องกันน้ำไหลข้ามอันเนื่องมาจากการที่น้ำบ่าไหลลงคลองเกินกว่าที่กำหนด หรือเนื่องจากการควบคุมบกพร่อง การเพิ่ม FREEBOARD จะต้องยืดระยะจากอาคารไปจนถึงจุดที่ความเสียหายเนื่องจากน้ำไหลข้ามคันคลองมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยที่สุดหรืออย่างน้อยที่สุด 15 เมตร

1.3.9 **PERCOLATION**

เมื่อน้ำถูกกักอยู่ในบริเวณที่สูงกว่าจุดที่จะไหลออก เช่น หน้าอาคารอัดน้ำ ย่อมมีโอกาสที่น้ำจะไหลไปตามอาคารหรือตามดินไปสู่จุดไหลออกซึ่งอยู่ต่ำกว่า ชนิดของอาคารและธรรมชาติของดินจะเป็นสิ่งควบคุมปริมาณน้ำ และอัตราการไหล หากใช้วิธีการของ LANE ในการคำนวณหา PERCOLATION FACTOR ก็ต้องเลือกใช้ค่า LANE'S RECOMMENED WEIGHTED CREEP RATIO ให้เหมาะสมกับสภาพของดินหรือความสำคัญและชนิดของอาคาร

การเพิ่ม PERCOLATION PATH ของอาคารส่วนมากโดยเพิ่มความยาวหรือ CUTOFF-WALL ระยะ ห่างระหว่าง CUTOFF-WALL จะต้องเพียงพอที่น้ำไม่ลัดระหว่างปลายของ CUTOFF ระยะระหว่าง CUTOFF อย่างน้อยจะต้องเป็นครึ่งหนึ่งของระยะ WEIGHTED CREEP ตามอาคารระหว่างปลายทั้งสองของ CUTOFF สำหรับการคำนวณระยะ WEIGHTED CREEP ต้องพิจารณาระยะใช้การทางราบเป็น 1 ใน 3 ของทางตั้ง

1.3.10 การพลิกตัวและลื่นไหล

อาคารทุกแห่งต้องมีการตรวจสอบด้านความมั่นคง โดยเฉพาะมีบ่อยครั้งที่ต้องเพิ่มความยาวอาคารอัดน้ำขนาดเล็ก เพื่อป้องกันการพลิกตัว หรือการลื่นไหล เมื่อระดับน้ำด้านเหนือสุดอยู่ที่ระดับสูงสุดและด้านท้ายน้ำต่ำสุด ทั่วไปแล้ว SLIDING FACTOR ซึ่งคือ อัตราส่วนของแรงตามแนวราบกับน้ำหนักทั้งหมดที่หักลบด้วยแรง UPLIFT แล้วควรจะไม่เกิน 0.35 ม. อาจเพิ่มกำแพง CUTOFF เพื่อความต้านทานต่อการลื่นไหล

1.4 หินเรียง

ทั่วไป ที่ส่วนต่อกับอาคารและตำแหน่งอื่นในคลองดิน ซึ่งมีโอกาสเกิดการกัดเซาะขึ้นได้มักใช้หินเรียงเพื่อป้องกันความเสียหาย การเลือกชนิดและปริมาณของเครื่องป้องกันขึ้นอยู่กับสภาพท้องที่ เช่น ราคาของหินทิ้ง ราคาของกรวดทราย ความเสียหายที่จะเกิดต่ออาคารและพืชหรือแก่ชีวิตคนหากเกิดการกัดเซาะขึ้น การป้องกันอันตรายจากสัตว์ประเภทขุดรู ชนิดของดิน ความเร็วน้ำ

เพื่อความสะดวกในการเรียกจึงแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ ซึ่งแสดงขนาดและปริมาณต่ำสุดที่ต้องใช้ความต้องการของการป้องกันต่อไปนี้เป็นเพียงแนวทางเท่านั้น ควรปรับให้เหมาะสมกับสภาพท้องที่ตามที่ชี้แจงไว้ก่อนหน้านี้แล้ว

ชนิด 1 กรวดหยาบหนา 0.15 ม.

ชนิด 2 กรวดหยาบหนา 0.30 ม.

ชนิด 3 หินเรียงหนา 0.30 ม. และรองพื้นด้วยกรวดปนทรายหนา 0.15 ม.

ชนิด 4 หินเรียงหนา 0.45 ม. และรองพื้นด้วยกรวดปนทรายหนา 0.15 ม.

เมื่อความเร็วเกิน 1.50 ม./วินาที จะต้องใช้การป้องกันอย่างต่ำชนิด 3 โดยไม่ต้องพิจารณาความลึก ยกเว้นอาคารระบายน้ำชนิดตัดผ่าน (CROSS - DRAINGE STRUCTURES)

1.5 ท่อเชื่อม และอุโมงค์ (SIPHON AND TUNNEL)

การป้องกันต่ำสุดสำหรับท่อลอดส่งน้ำและอุโมงค์ในคลองดิน มีดังต่อไปนี้

ความลึกของน้ำติดกับอาคาร, เมตร (d)	INLET	OUTLET
0 - 0.60	ไม่ต้อง	ไม่ต้อง
0.61 - 1.00	ไม่ต้อง	ชนิด 1
1.01 - 2.00	ชนิด 1	ชนิด 2
2.01 - 3.00	ชนิด 2	ชนิด 3

- สำหรับความลึกเกิน 3.00 ม. ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ
- หากความเร็วน้อยกว่า 0.75 ม./ วินาที อาจไม่ต้องมีการป้องกัน INLET ได้
- เมื่อมีความต้องการป้องกันด้าน INLET ความยาวของการป้องกันให้เท่ากับ d (ต่ำสุด 1.00 ม.)
- เมื่อมีความต้องการป้องกันด้าน OUTLET 2.5d (ต่ำสุด 1.50 ม.)

1.6 รางน้ำแบบพาแชล อาคารอัดน้ำ น้ำตกอัดน้ำ น้ำตกสี่เหลี่ยมแบบเอียง รางเท และน้ำตกเอียงแบบท่อ

การป้องกันต่ำสุดต่อไปนี้สำหรับอาคารต่าง ๆ ตามหัวข้อข้างบนโดยที่ต้องมี CONTROL SECTION อยู่บนคอนกรีต ซึ่งหมายความว่า CRITICAL DEPTH ไม่เกิดนอกส่วนที่เป็นคอนกรีตหากอาจเกิด CRITICAL DEPTH นอกคอนกรีต การป้องกันที่ INLET จะต้องใช้ชนิดสูงขึ้นถัดไป

ความลึกของน้ำติดกับอาคาร, เมตร (d)	INLET	OUTLET
0 - 0.60	ไม่ต้อง	ชนิด 2
0.61 - 1.00	ไม่ต้อง	ชนิด 2
1.01 - 2.00	ชนิด 1	ชนิด 3
2.01 - 3.00	ชนิด 2	ชนิด 4

- สำหรับความลึกเกิน 3.00 ม. ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ
- หากความเร็วน้อยกว่า 0.75 ม./ วินาที อาจไม่ต้องมีการป้องกันด้าน INLET ได้
- เมื่อมีความต้องการป้องกันด้าน INLET ความยาวของการป้องกันให้เท่ากับ d (ต่ำสุด 1.00 ม.)
- ความยาวของการป้องกันด้าน OUTLET = 2.5d (ต่ำสุด 1.50 ม.)
- หากอาจเกิดน้ำปั่นป่วนที่ OUTLET ความยาวของการป้องกันควรเพิ่มเป็น 4d
- การมีบานหรือไม้อัดน้ำใกล้ OUTLET ทำให้ความปั่นป่วนของน้ำเพิ่มขึ้น

1.7 อาคารชักน้ำ (TURNOUT)

อาคารผันน้ำขนาดเล็กส่วนมากไม่ต้องมีการป้องกันที่ INLET หากขนาดอาคารผันน้ำไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของขนาดคลองการป้องกันที่ OUTLET ของอาคารผันน้ำใช้การป้องกันเช่นเดียวกับท่อลอดส่งน้ำ โดยใช้พื้นฐานของความลึกของน้ำในทางน้ำย่อยที่ส่วนต่อกับอาคาร

1.8 อาคารระบายน้ำชนิดตัดผ่าน

อาคารระบายน้ำชนิดตัดผ่านที่มี TRANSITION คอนกรีตต้องมีการป้องกันอย่างน้อยดังต่อไปนี้

ปริมาณน้ำ ม.^{3}/วินาที	INLET	OUTLET	ความยาวด้าน OUTLET ม.
0 - 0.80	ไม่ต้อง	ชนิด 2	2.50
0.80 - 2.50	ไม่ต้อง	ชนิด 2	4.00
2.51 - 7.00	ชนิด 1	ชนิด 3	5.00
7.10 - 17.00	ชนิด 2	ชนิด 4	7.00

- สำหรับปริมาณน้ำเกิน 17.00 ม.^{3}/วินาที ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ
- เมื่อลาดของท่อชันพอที่ความเร็วที่ปลายท่อเกินกว่า 4.5 ม./วินาที ต้องใช้การป้องกันสำหรับปริมาณน้ำสูงขึ้นขั้นถัดไปโดยไม่ต่ำกว่า ชนิด 3
- เมื่อมีการลดพลังงานเป็นพิเศษที่ OUTLET เช่นการใช้ BAFFLED OUTLET อาจลดหรือไม่มีการป้องกันตามแต่สภาพพื้นที่

1.9 การควบคุมโดยอัตโนมัติและการควบคุมจากระยะไกลในระบบส่งน้ำ

ทั่วไป ในการออกแบบที่ใช้การควบคุมโดยอัตโนมัติ และ/หรือ การควบคุมจากระยะไกลไม่ว่าจะเป็นอาคารเดี่ยวหรือทั้งระบบก็ตาม ย่อมต้องมีแหล่งพลังงานที่เชื่อถือได้เพื่อการควบคุมการส่งน้ำและการสื่อสาร ดังนั้นที่จุดควบคุมจึงมักต้องมีพลังงานสำรองไว้เพื่อกรณีฉุกเฉิน

สถานีตรวจหาข้อมูล

สถานีตรวจหาข้อมูลทำหน้าที่ในการหาข้อมูลต่าง ๆ จากที่อยู่ห่างไกล หรือเมื่อมีความต้องการข้อมูลอย่างต่อเนื่อง การกำหนดขีดความสามารถของสถานีแต่ละแห่งจะขึ้นอยู่กับความต้องการข้อมูลของแต่ละโครงการ ซึ่งแตกต่างกันออกไปตามแต่สิ่งที่ทราบดีอยู่แล้วและสิ่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้น เช่น ในโครงการหนึ่งอาจมีความต้องการเพียงข้อมูลเกี่ยวกับระดับน้ำก็เพียงพอแล้ว แต่อีกโครงการหนึ่งต้องการข้อมูลอย่างสมบูรณ์ของสภาพน้ำ อัตราการไหลรวมถึงสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เพื่อป้อนเข้าสู่ศูนย์ควบคุม เป็นต้น

การควบคุมบาน

บานทำหน้าที่ในการควบคุมและรักษาระดับน้ำซึ่งอาจเป็นด้านเหนือน้ำ หรือท้ายน้ำอย่างอัตโนมัติ ส่วนประกอบขั้นพื้นฐานของบานอัตโนมัติ คือ อุปกรณ์เพื่อวัดสภาพน้ำ เครื่องมือที่แปลงข้อมูลเป็นการควบคุม และเครื่องกลที่จำเป็นซึ่งทำให้บานเคลื่อนที่ตามการควบคุม ในทางน้ำเปิดการหาตำแหน่ง หรือระดับผิวน้ำทำได้โดยใช้ทุ่นลอย หรือแท่งโลหะซึ่งไปกระตุ้นวงจรไฟฟ้า บานสามารถเคลื่อนขึ้นลงตามต้องการเพื่อรักษาระดับผิวน้ำให้ได้ตามต้องการ บานอัตโนมัติเหมาะที่จะใช้กับอาคารเช่น เขื่อนทดน้ำ อาคารปากคลอง และอาคารอัดน้ำในคลอง

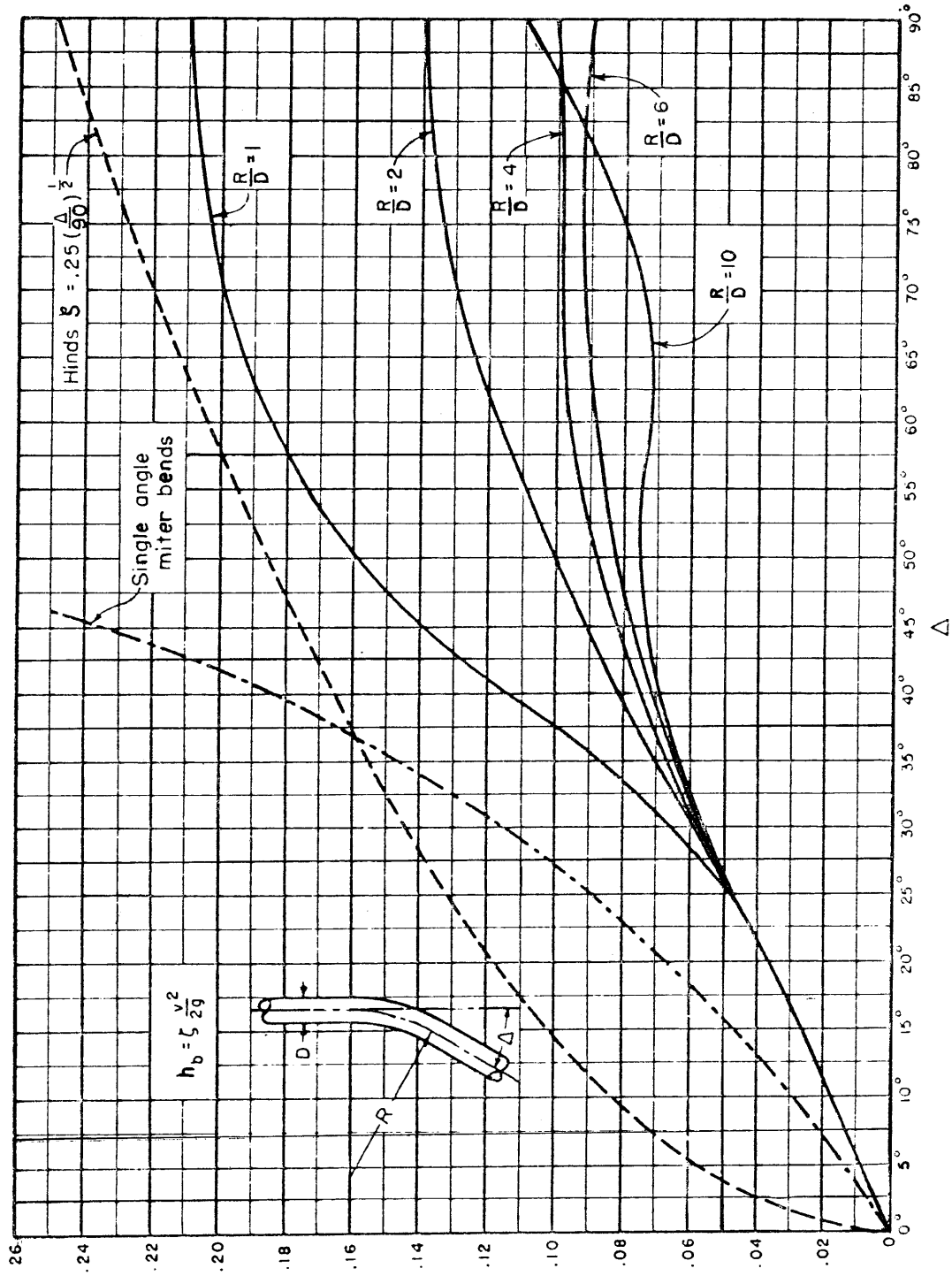
วงจรตรวจสอบและการควบคุมจากระยะไกล

ข้อมูลต่าง ๆ เช่นระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ แรงดันในท่อ ความลึกของคลอง และตำแหน่งของบานและประตูน้ำ เหล่านี้จะถูกส่งเข้าสู่ศูนย์ควบคุมโดยวงจรตรวจสอบ บานและประตูน้ำอาจถูกเปิด ถูกปิด หรือถูกปรับ และการเปิดหรือปิดเครื่องสูบน้ำโดยการควบคุมจากระยะไกล

การควบคุมระบบส่งน้ำจากศูนย์ควบคุมเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ เมื่อประกอบกับวงจรตรวจสอบและการควบคุมจากระยะไกลที่เหมาะสม วิธีการสื่อสารที่อาจใช้โดยวิทยุหรือทางสายก็ได้

การป้องกันอันตราย

ในระบบควรมีบานที่ปิดโดยอัตโนมัติหรือการหยุดเครื่องสูบน้ำโดยอัตโนมัติประกอบอยู่ด้วย เพื่อป้องกันน้ำไหลเข้าคลองมากเกินไป บางทีก็มีสัญญาณเตือนประกอบร่วมกับวงจรตรวจสอบเพื่อเตือนเมื่อเกิดอันตรายขึ้นในระบบ



รูปที่ 1.1 Head loss coefficients for pipe bends.

บทที่ 2

อาคารในคลอง
(Canal Structure)

เรื่องต่อไปนี้จะเป็นเรื่องเกี่ยวกับ อาคารในคลองสายใหญ่ และคลองแยกซอย ยกเว้นอาคารประเภทต่อไปนี้ คือ อาคารวัดน้ำ, อาคารระบายน้ำ, อาคารป้องกัน, และสะพาน จะได้กล่าวในบทต่อไป

กฎเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบทางโครงสร้าง และทางชลศาสตร์ของอาคารในคลองสายใหญ่ และคลองแยกซอย ได้ถูกกล่าวไว้ในบทที่ 1

2.1 SIPHON (ท่อเชื่อม)

ไซฟอน บางครั้งถูกเรียกว่า Inverted Siphon, Sag pipe, Sag line เป็นท่อปิด ซึ่งถูกออกแบบให้มีการไหลเต็มท่อ โดยปกติจะไหลภายใต้ความดัน และเป็นการไหลด้วยแรงดึงดูดของโลก (gravity) ซึ่งท่อจะลอดใต้ทางรถยนต์ รถไฟ และอื่น ๆ

ขนาด รูปร่าง และจำนวนแถวของท่อ จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ และตามความประหยัด รูปร่างของหน้าตัดโดยปกติ เป็นแบบวงกลม สี่เหลี่ยมผืนผ้า แม้กระทั่งรูปสี่เหลี่ยมคางหมู หรือรูปร่างอื่น ๆ ซึ่งทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการ และสภาพการก่อสร้าง

ชนิดของท่อ

ท่อชนิดหน้าตัดเป็นวงกลม

ท่อคอนกรีตทนแรงดัน และ monolithic C.P. เป็นชนิดรูปตัดที่เป็นวงกลม ซึ่งนิยมใช้กันมาก สามารถรับความสูงของน้ำ (Head) ได้ประมาณ 37.5เมตร

ท่อเหล็กหล่อ, ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก, Pretensioned Pipe, Prestress Pipe.

ท่อ A.C. ใช้รับแรงดันจากความสูงของน้ำได้สูงกว่าท่อที่กล่าวชนิดแรก

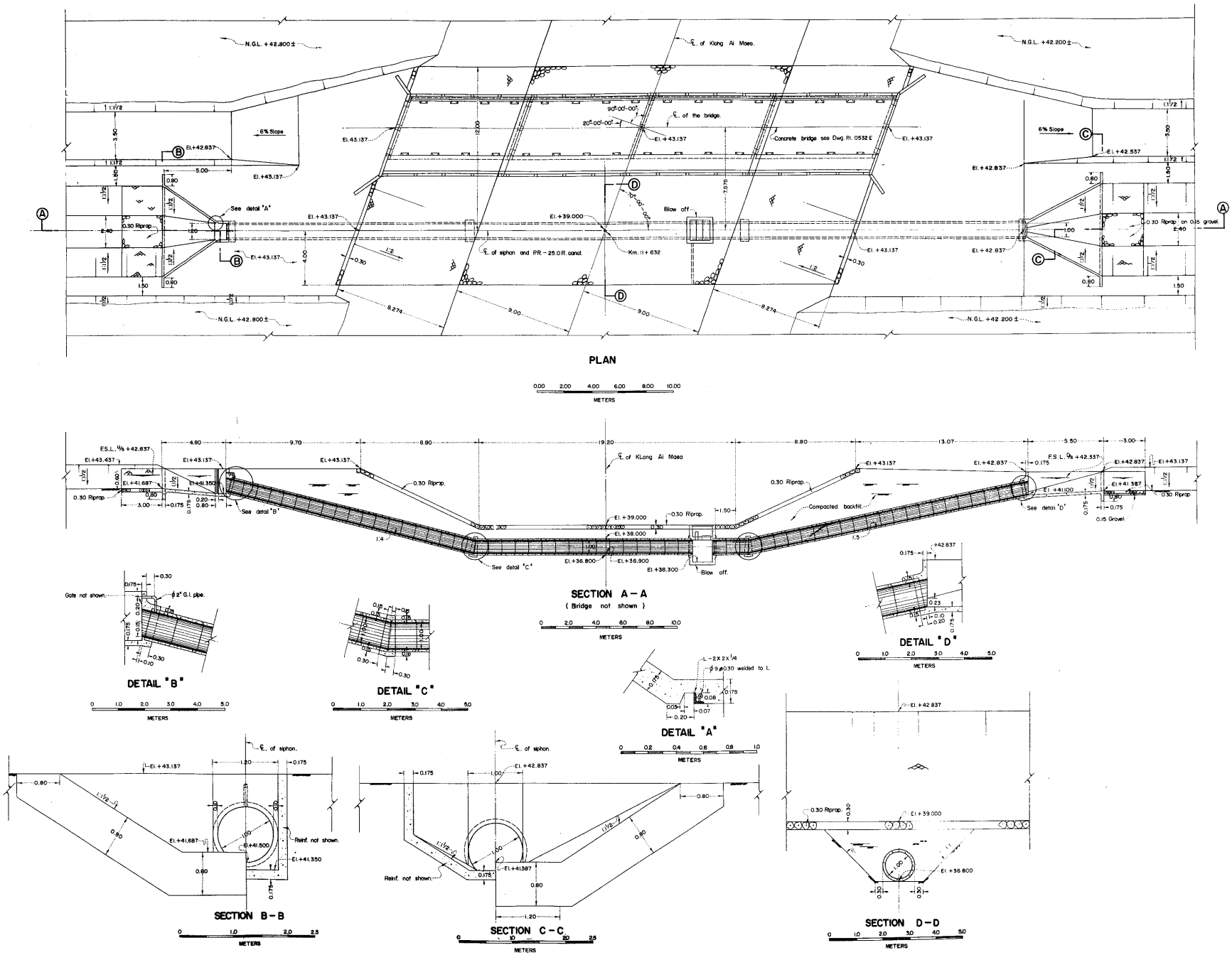
Precast concrete pressure pipe โดยปกติจะใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 2.40 ม. อย่างไรก็ตาม ก็สามารถใช้ขนาดที่ใหญ่กว่านี้ได้ในบางพื้นที่

Monolithic C.P. จะใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 2.40 ม. หรือเล็กกว่าก็ได้ในบางพื้นที่ หน่วยแรงดันที่ยอมให้สำหรับ Monolithic C.P. ภายใต้ Bursting Head

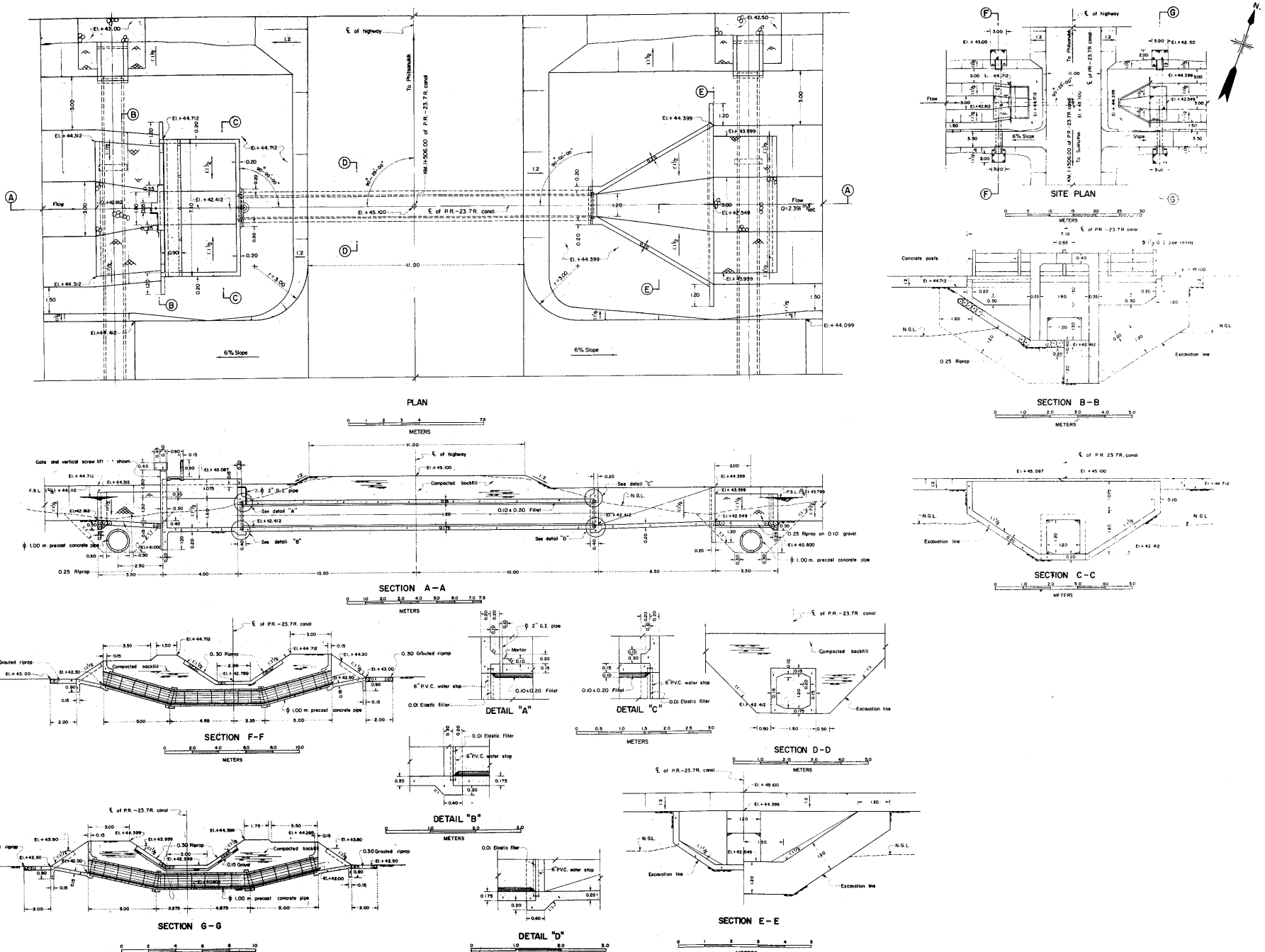
ในรูปที่ 2.1 ของบทนี้ แสดง Layout และรายละเอียดของไซฟอนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.00 ม. ซึ่งเป็นท่อชนิด Precast concrete pipe

ในรูปที่ 2.2 แสดงอาคารอัดน้ำ (check) ตรงทางเข้า

ในการวิเคราะห์น้ำหนักบรรทุกแบบประลัยได้ถูกใช้ในการออกแบบท่อชนิด Precast และ Monolithic Concrete pipe



รูปที่ 2.1 Layout และรายละเอียดของท่อเซื่อม (Siphon)



รูปที่ 2.2 อาคารอัดน้ำ (Check)

ท่อชนิดหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแถวเดียวหรือหลายแถว

ท่อชนิดนี้ โดยปกติจะใช้สำหรับท่อที่มีความยาวไม่มาก และรับแรงดันของน้ำสูงไม่เกิน 9 ม. วัดจากจุดบนของภายในท่อ

ท่อรูปตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู โดยปกติใช้สำหรับ ไซฟอนที่มีขนาดสั้นโดยที่ไม่มี Sump ใช้เพื่อให้มี Head loss น้อย ๆ

โดยปกติแล้ว Head loss สำหรับท่อไซฟอน จะประกอบด้วย

1. การสูญเสีย Head เนื่องจากความฝืดที่ทางเข้าและออก (transition) และในท่อ
2. การสูญเสีย Head เนื่องจากการโค้งของท่อ (Bend loss)
3. การสูญเสีย Head เนื่องจากมีอาคารอัดน้ำหน้าท่อ

ปกติแล้วเราใช้ Safty factor 10% เพิ่มเข้าไปใน losses

การกำหนดขนาดท่อขึ้นอยู่กับค่า Head ที่กำหนดให้ และเพื่อความประหยัดแล้วยังจะขึ้นกับค่าความเร็วของน้ำด้วย ทั้งนี้เพราะว่าตะกอนและสิ่งซึ่งจะกัดกร่อนท่อจะถูกพัดพามาพร้อมกับน้ำ

ค่าความเร็วที่กำหนดให้ประมาณไม่เกิน 3 ม./ วินาที เพื่อจะมี Head losses ต่ำ ๆ เรามักจะให้น้ำท่วมด้านหน้าท่อ ประมาณ 1.5 h_v (หรืออย่างน้อย 0.075 ม.)

อุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้กับท่อ Siphon

Blow off ควรจะติดตั้งในตำแหน่งที่ท่อมีระดับต่ำที่สุดของท่อเชื่อม ถ้าในทางปฏิบัติเราไม่สามารถดูดน้ำออกจากท่อได้หมดโดยเครื่องสูบน้ำทางด้านท้าย

Protective feature ควรจะให้มีใน Siphon ทุกชนิด ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 1.00 ม.

2.2 Tunnels (อุโมงค์)

จะออกแบบอุโมงค์ส่งน้ำในกรณีที่ระดับของคลองต่ำมากซึ่งต้องขุดดินลึกทำให้ลาดไม่ค่อยมีความมั่นคงพอ การออกแบบอุโมงค์ส่งน้ำ จะทำให้เกิดการประหยัด การบำรุงรักษาน้อย และการ Operate ปลอดภัย ซึ่งการออกแบบอุโมงค์ส่งน้ำเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุดในการส่งน้ำจากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่ง

การส่งน้ำโดยอุโมงค์จะเป็นแบบ free flow และระดับสูงสุดของน้ำ = 0.82 เท่า ของความสูงของอุโมงค์ และ Min. free board 0.45 ม.

รูปร่างของอุโมงค์ส่งน้ำขึ้นอยู่กับวิธีการขุดดิน

1. **โดยการระเบิด** จะใช้กับอุโมงค์รูปร่างชนิดดังนี้ :-
   - รูปตัดแบบ เกือกม้า มักออกแบบให้ส่งน้ำ โดยวิธี free flow
   - รูปตัดแบบ วงกลม ออกแบบให้ส่งน้ำด้วยวิธีแรงดันของน้ำ
2. **โดยการขุด** (โดยเครื่องจักร) จะใช้กับอุโมงค์รูปร่างชนิดดังนี้ :-
   - รูปตัดแบบ วงกลม ซึ่งแตกต่างจากรูปตัดแบบวงกลม โดยวิธีการระเบิด

ขนาดรูปร่างของอุโมงค์ส่งน้ำ พิจารณาในแง่ความประหยัดโดยมีพื้นฐานจาก

1. ปริมาณการส่งน้ำ
2. ค่าก่อสร้าง
3. ค่า head loss

ในการออกแบบอุโมงค์ส่งน้ำต้องคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ ต่อไปนี้

- ปลายสุดของอุโมงค์ ทางเข้าอุโมงค์ จะต้องเข้าถึงได้สะดวก
- ต้องมีข้อมูลเกี่ยวกับ สภาพภูมิประเทศทางธรณีวิทยา ระดับน้ำใต้ดิน
- ทางเข้าอุโมงค์ถาวร จะต้องมีประมาณทุก ๆ 300 ม. เพื่อการตรวจสอบ, บำรุงรักษา

ทางเข้าอุโมงค์ส่งน้ำ

- ทางเข้าอุโมงค์ส่งน้ำจะสร้างที่จุดซึ่งความลึกของดินขุดเหนืออุโมงค์เป็น 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางอุโมงค์ หรือไม่น้อยกว่า 6.00 ม. ในบริเวณที่เป็นหินและ 3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของอุโมงค์ หรือไม่น้อยกว่า 9.00 ม. ในบริเวณที่เป็นดิน
- ลาดของทางเข้าควรจะค่อนข้างราบ เพื่อป้องกันการพังทลาย
- ทางเข้าของน้ำจากคลองเปิดหรือ flume ไปยังอุโมงค์ส่งน้ำจะทำเป็น 2 step
  1. จากคลองเปิด หรือ flume ต้องเป็นรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าตรงทางเข้าของน้ำที่อุโมงค์
  2. จากทางเข้าของน้ำถึงอุโมงค์ส่งน้ำ

ขนาดรูปร่างของอุโมงค์ส่งน้ำ

- ขนาดและรูปร่างของอุโมงค์ส่งน้ำ จะขึ้นอยู่กับความยาว
- ความสูงของอุโมงค์ส่งน้ำไม่ควรจะน้อยกว่า 1.85 - 2.15 ม.
- ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องจักร เครื่องมือที่ใช้ในการทำงาน
- รัศมีความโค้งของอุโมงค์ส่งน้ำ ในแนวราบควรมีขนาดมากพอที่จะให้เครื่องจักร เครื่องมือเคลื่อนไปทำงานได้

Head losses

Head losses ของอุโมงค์ประกอบด้วย

- friction losses ตรงทางเข้าของน้ำ และตัวอุโมงค์ส่งน้ำ
- losses ตรงทางเข้าและทางออก
- bend losses

โดยปกติน้ำที่มีทรายหรือวัตถุกัดกร่อน จะถูกจำกัดด้วยความเร็วไม่เกิน 3 ม./วินาที

Supports

โดยปกติอุโมงค์ส่งน้ำต้องการ ค้ำยันบางชนิดตรงบริเวณทางเข้า (Portal) เพื่อที่จะค้ำยันกำแพง และส่วนบนของท่อ จนกระทั่งสามารถดาดคอนกรีตได้

Support ประกอบด้วย steel rib with timber ขนาดของ steel rib ขึ้นอยู่กับขนาดของอุโมงค์ส่งน้ำ และลักษณะของพื้นดินที่จะค้ำยัน โดยทั่วไปเราไม่สามารถจะออกแบบขนาดระยะของ rib support ได้จนกว่าจะมีการเจาะอุโมงค์แล้ว

ในหินที่มีคุณสมบัติแข็งแรงเพียงพอ เราไม่ต้องการ support ถ้าหินที่มีรอยแตก หรือแตกได้ง่าย (เปราะ) จะต้องใช้ spacing น้อย เพื่อให้รับแรงได้ดี

ถ้าเป็นดินที่มีสภาพอ่อนหรือไม่มั่นคง ควรใช้ tunnel - line plate เพื่อยึดไม่ให้เศษวัตถุต่าง ๆ เคลื่อนเข้าไปในระหว่างการเจาะได้ Rock bolt ใช้ในการ support สำหรับหินที่มีคุณสมบัติไม่ดี

Grouting & Draining (การอุดและการระบายน้ำ)

การอุดด้วยแรงดันสูง ใช้เพื่อ

1. เพิ่มความแข็งแรงให้กับหินที่มีรอยร้าว หรือที่มีความแข็งแรงไม่เพียงพอ
2. ตัดหรือลดการไหลของน้ำใต้ดิน บริเวณโดยรอบอุโมงค์
3. อุดช่องว่างของอุโมงค์ ซึ่งมีน้ำลอดออกมาด้วยแรงดันสูง

การอุดด้วยแรงดันต่ำ ใช้เพื่อ

1. เพื่อให้เนื้อที่รอยต่อระหว่างหิน และคอนกรีตดาดมากขึ้น

2 ใช้ใน free-flow tunnel ในบริเวณที่หินมีคุณสมบัติไม่เพียงพอ

การระบายน้ำใต้ดิน

เราใช้ weephole (รูระบายน้ำ) เจาะผ่านคอนกรีตดาดหรือระบายทางด้านล่าง ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม

จะใช้ flap valve เพื่อป้องกันการรั่วจากอุโมงค์ส่งน้ำ การอุดรอยรั่วต่าง ๆ บริเวณรูระบายน้ำ ควรจะต้องมีการวางแผนก่อนเพื่อป้องกันไม่ให้ไปอุดรูระบายน้ำ

2.3 Check (อาคารอัดน้ำ)

วัตถุประสงค์ เพื่อควบคุมการไหลของน้ำด้านเหนืออาคาร หรือเพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้าอาคาร

อาคารอัดน้ำนี้ควรจะให้มีทางระบายน้ำล้นสำหรับอาคารอัดน้ำทุกอาคาร อาคารอัดน้ำอาจเป็นอาคารเดียว หรือรวมกับท่อเชื่อม อาคารน้ำตก หรือรางเท ทั้งนี้เพื่อความประหยัด ป้องกันการกัดเซาะด้านหน้าของท่อเชื่อม หรืออาคารน้ำตก

บานระบายของอาคารอัดน้ำ อาจเป็น

- Radial gate
- Slide gate
- Stop logs
- บานในรูปผสม

Radial gate

โดยทั่วไปใช้ในอาคารขนาดใหญ่ ซึ่งถูกยกโดยเครื่องกว้านชนิดมือหมุน หรือมอเตอร์ไฟฟ้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด และน้ำหนักของบาน

ความกว้างของบานปกติไม่ควรเกิน 7.50 ม. ทั้งนี้เราต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของตัวตอม่อ รูปที่ 2.3 แสดง Radial-gate check structure

Slide gate

ใช้กับอาคารที่เล็กกว่าอาคารที่กล่าวไว้ข้างบน โดยปกติจะทำงานด้วยมือหมุน แต่บางครั้งก็ทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า รูปที่ 2.4 แสดงอาคารที่ใช้ Slide gate ขนาดเล็ก

Stop logs

ใช้ในอาคารขนาดเล็กซึ่งปริมาณน้ำน้อยกว่า 1.50 ลูกบาศก์ฟุต/วินาที และการเปลี่ยนระดับน้ำไม่บ่อยนัก และอาคารประเภทนี้ไม่ควรใช้ในกรณีที่ความกว้างมากกว่า 1.55 ม. หรือความลึกของน้ำมากกว่า 1.85 ม.

โดยปกติร่องนำบานควรจะอยู่ในแนวดิ่ง ถ้าระยะจากพื้นบนถึงระดับพื้นล่างน้อยกว่า 1.85 ม. แต่ถ้ามากกว่าร่องนำบาน ควรมีความลาด 1:4 ไปทางท้ายน้ำ พื้นของร่องบานหรือ Slide gate อาจติดตั้งที่ปลายสุดของอาคารด้านเหนือน้ำ ถ้าปริมาณน้ำน้อยกว่า 2.80 ม.^{3}/วินาที

ถ้าปริมาณน้ำมากกว่านี้จะต้องติดตั้งห่างออกไปอย่างน้อย 0.60 ม. จากปลายสุดของอาคารด้านเหนือน้ำ ดูรูปที่ 2.5 และ 2.6 แสดงการหา Stop logs

Protective feature (ลักษณะสำคัญของการป้องกัน)

ความกว้างของพื้นสำหรับเดินและปฏิบัติงานอย่างน้อย 2 ฟุต ถ้าความสูงเหนือพื้นด้านท้ายน้ำน้อยกว่า 1.10 ม.

ความกว้างของพื้นสำหรับเดินและปฏิบัติงานอย่างน้อย 0.9 ม. ถ้าความสูงเหนือพื้นด้านท้ายน้ำมากกว่า 1.10 ม.

พื้นสำหรับเดินด้านท้ายน้ำ สำหรับความสูงมากกว่า 1.10 ม. ต้องมีราวกันตกแต่ถ้าสูงมากกว่า 5 ฟุต ต้องมีราวกันตกทั้งด้านท้ายน้ำและเหนือน้ำ

Head loss

ปกติ head loss กำหนดให้ = 0.5 เท่าของผลต่างของ vel. head ระหว่างช่องเปิดของ check และของคลองด้านเหนือของอาคาร

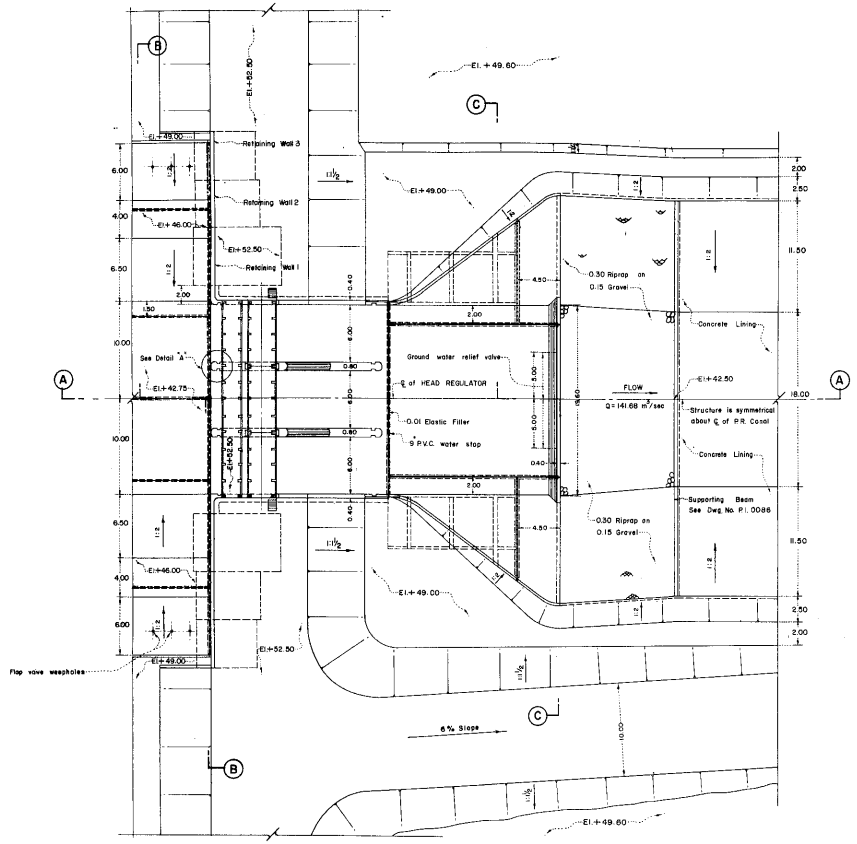
เราจะกำหนดค่า loss ของอาคารประเภท check structure

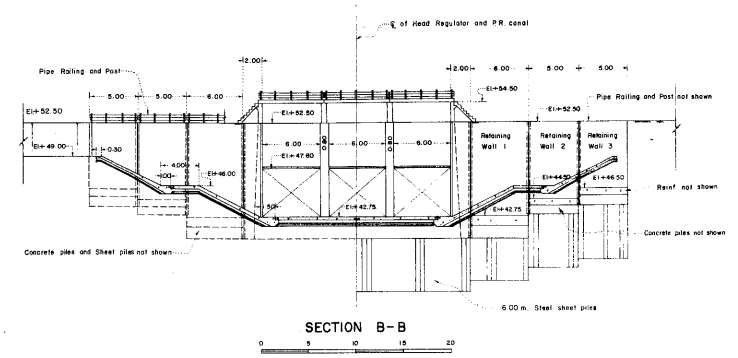
3 ซม. สำหรับ check ในคลองขนาดเล็ก

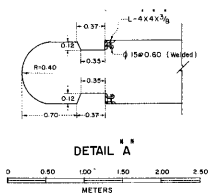
1.5 ซม. สำหรับ check ในคลองขนาดใหญ่

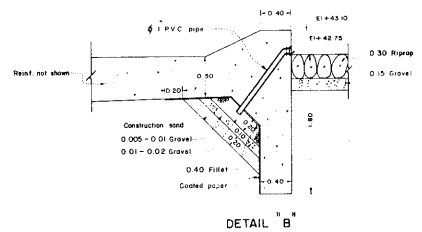
ความเร็วสูงสุดที่กำหนดให้เมื่อน้ำผ่าน check ที่มี stop plank = 1 ม. /วินาที

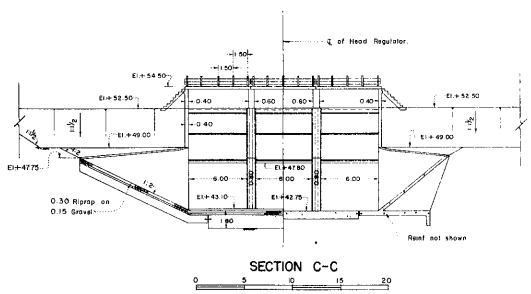
ความเร็วสูงสุดที่กำหนดให้เมื่อน้ำผ่าน check ที่ใช้ gate = 1.5 ม./วินาที

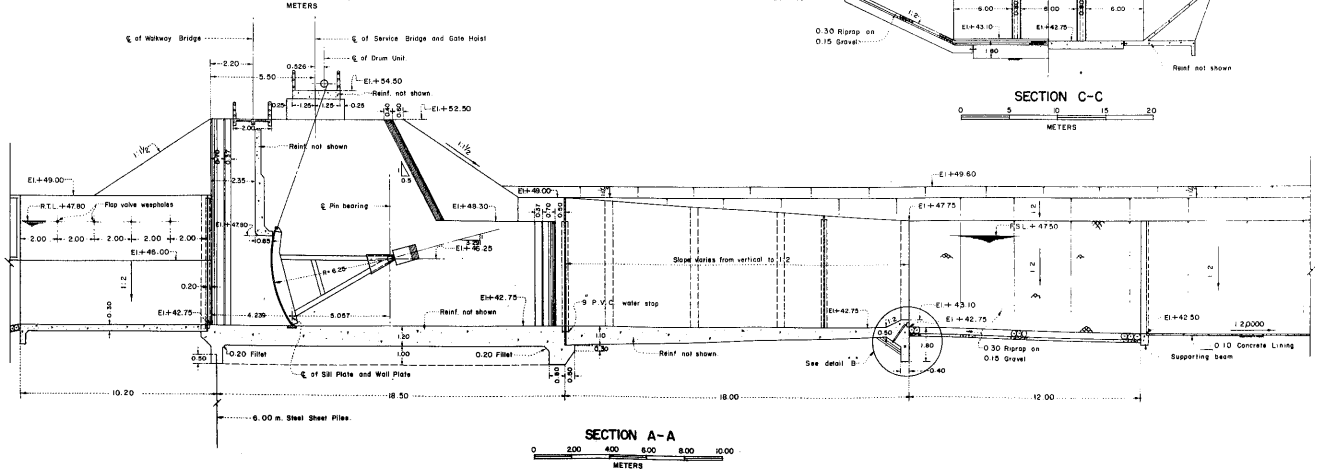




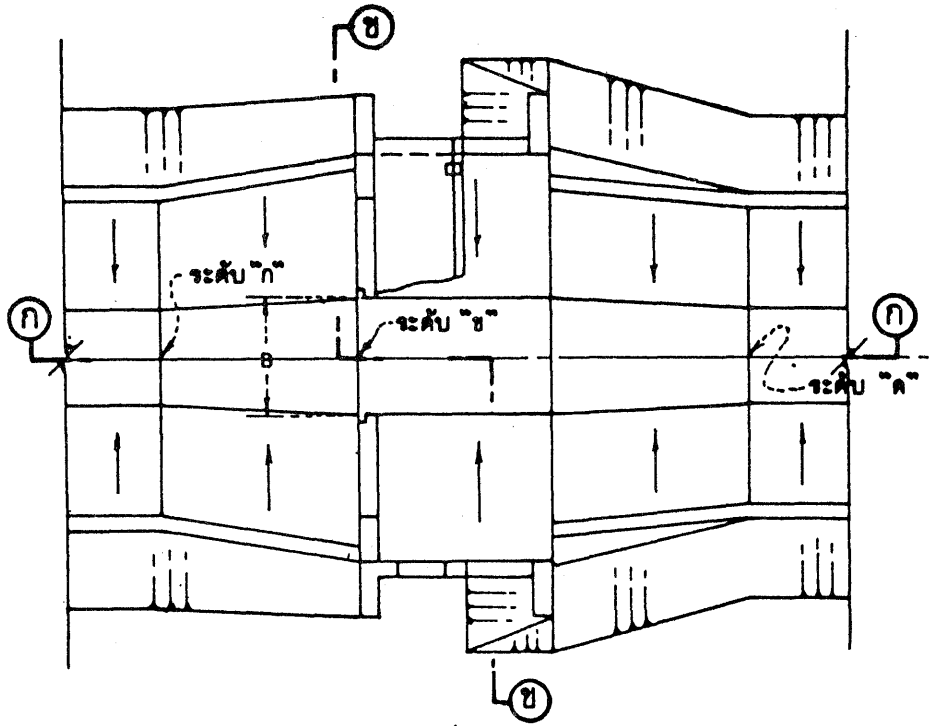




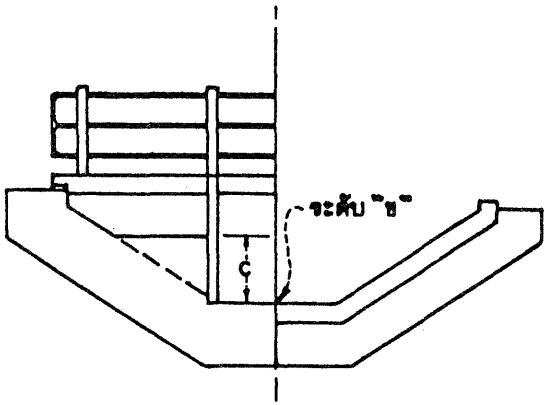




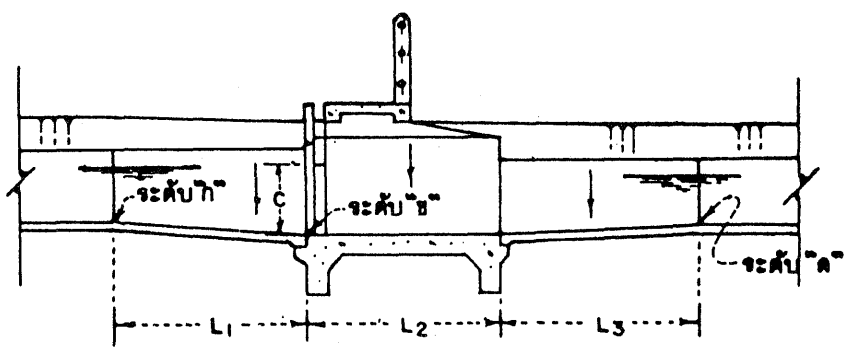
รูปที่ 2.3 Radial-gate check



แปลน



รูปตัด ข-ข



รูปตัด ก-ก

ตารางแสดงมิติของอาคารอัดน้ำ

แบบที่	Max. Q cms.	ขนาดบาย ม.	B ม.	C ม.	L1 ม.	L2 ม.	L3 ม.
1	0.25	0.60x0.50	0.60	0.50	2.00	2.00	2.50
2	0.35	0.60x0.60	0.60	0.60	2.00	2.00	2.50
3	0.45	0.80x0.60	0.80	0.60	2.00	2.00	2.50
4	0.55	1.00x0.60	1.00	0.60	2.00	2.00	2.50
5	0.70	0.80x0.80	0.80	0.80	2.00	2.50	2.50
6	0.85	1.00x0.80	1.00	0.80	2.00	2.50	2.50
7	1.05	1.25x0.80	1.25	0.80	2.00	2.50	2.50
8	1.25	1.00x1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	3.00
9	1.50	1.25x1.00	1.25	1.00	2.00	3.00	3.00
10	1.80	1.50x1.00	1.50	1.00	2.00	3.00	3.00
11	2.10	1.25x1.25	1.25	1.25	2.50	3.50	3.75
12	2.50	1.50x1.25	1.50	1.25	2.50	3.50	3.75
13	2.90	1.75x1.25	1.75	1.25	2.50	3.75	3.75
14	3.30	1.50x1.50	1.50	1.50	3.00	4.25	4.50
15	3.90	1.50x1.75	1.50	1.75	3.00	4.50	4.50

รูปที่ 2.4 อาคารอัดน้ำ แบบของ U.S. B.R.

2.4 Flume, Chute, Drop (รางน้ำ รางเท และอาคารน้ำตก)

Flume ใช้สำหรับน้ำที่ไปตามไหล่เขา ข้ามพื้นที่ที่ต่ำและที่ซึ่งมีขอบเขตจำกัด หรือเหตุผลทางการก่อสร้างคลองส่งน้ำ ซึ่งไม่เหมาะสมในการทำงาน

Flume ซึ่งวางอยู่บนพื้นดินเรียกว่า "Bench flume"

Flume ซึ่งวางอยู่เหนือพื้นดิน และวางอยู่บน Support เรียกว่า "Elevated Flume" รูปร่างของ flume มักจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก

รูปตัดของ Flume

อัตราส่วนความกว้างต่อความสูงของรูปตัด flume กำหนดขึ้นจากความประหยัดในการก่อสร้าง ทั้งนี้รวมถึงดินตัดและดินถม ถ้าไม่ถูกกำจัดโดยสภาพภูมิประเทศ เช่น ขอบเขตที่ดิน

ดินถมด้านข้างกำแพง พิจารณาโดยสภาพที่เป็นจริง สำหรับบริเวณเนินเทที่เป็นหิน ควรจะถมดินเพื่อป้องกันตัวกำแพงกับหิน

ช่องความยาวของ Flume ควรมีทุกระยะ 7.50 ม. และมีแผ่นยางกันน้ำรั่วด้วย

Hydraulic Losses

การคำนวณหา losses จะคำนวณเหมือนกับ Siphon แต่ไม่ต้องมีค่า 10% เพิ่มเพื่อความปลอดภัย ความเร็วของน้ำภายใน flume ไม่ควรสูงเพื่อไม่ให้เกิด d_c

Free board

ควรจะมีความสัมพันธ์กับคลองที่ติดกัน โดยพิจารณาว่าความสำคัญของสิ่งใดมากกว่ากัน ซึ่งเมื่อเกิดการล้นข้ามแล้วจะเสียหายมากกว่า

สำหรับ flume ที่มีความเร็วสูงกว่าความเร็ววิกฤตให้พิจารณาเป็น chute

2.5 Chute and Inclined drop

รางเทและอาคารลดระดับ มักจะใช้ลำเลียงน้ำไปยังที่ต่ำกว่า ถ้าระดับของ energy, gradient แตกต่างกันน้อยกว่า 4.6 ม. เราเรียกว่า "Inclined drop"

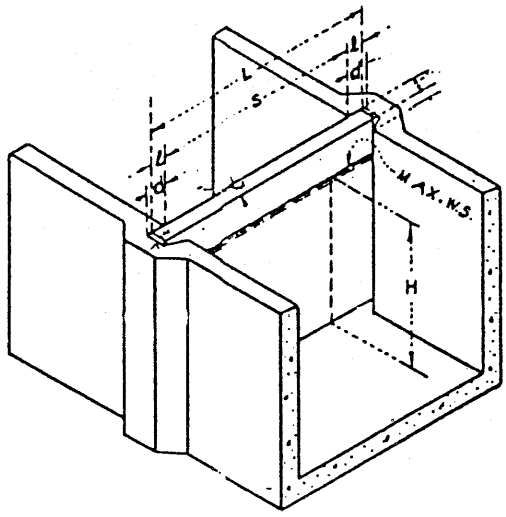
ถ้าระดับของ energy gradient แตกต่างกันมากกว่า 4.6 ม. เรียกว่า "Chute"

รูปตัดทั่วไปของรางเทและอาคารลดระดับเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปตัดสี่เหลี่ยมคางหมู ใช้สำหรับปริมาณน้ำน้อย ๆ เพื่อที่จะประหยัดในการก่อสร้างอาคาร

รูปที่ 2.7 แสดงรูปร่างสัญลักษณ์ของรางเทและอาคารลดระดับ

Inlet

อาคารทดน้ำโดยปกติใช้ร่วมกับ inlet ของรางเทและอาคารลดระดับในกรณีเช่นนี้ เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้น้ำทางด้านหน้าเข้า inlet เร็วเกินไป



รูปที่ 2.5 Chart การคำนวณ Stop Plank

EXPLANATION

H = *Head in meters.*
L = *Length of stop plank.*
= *S + d + ℓ meters minimum.*
S = *Span in meters.*
d = *Depth of stop plank groove in meters.*
ℓ = *Length, in meters, required for bearing. See chart C.*
T = *Thickness, in meters, required for bending or shear.*
See chart A for thickness required for shear.
See chart B for thickness required for bending

EXAMPLE

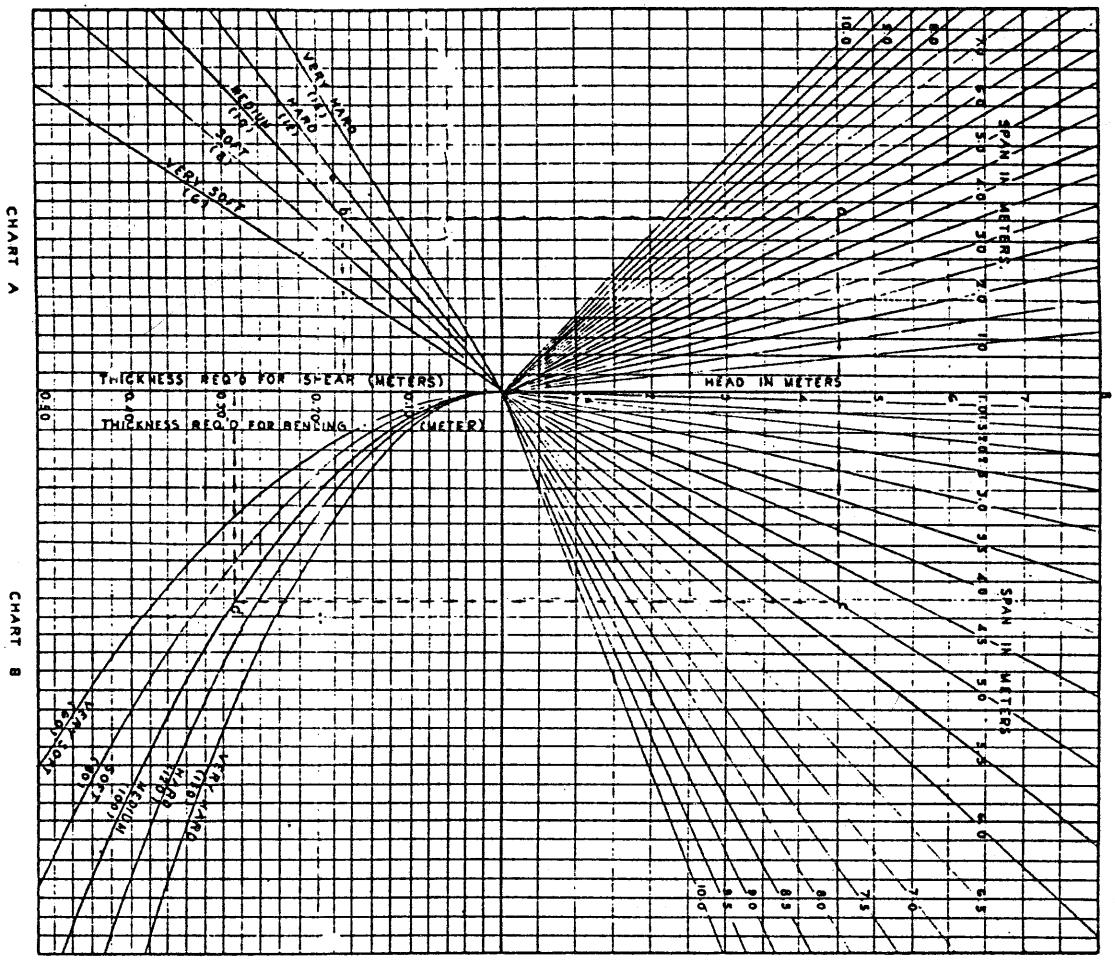
GIVEN. *H* = *Head in meters* = 4.5
S = *Span in meters* = 5.0
Medium grade wood.
REQUIRED *ℓ* = *Length required for bearing.*
T = *Thickness required for bending or shear.*

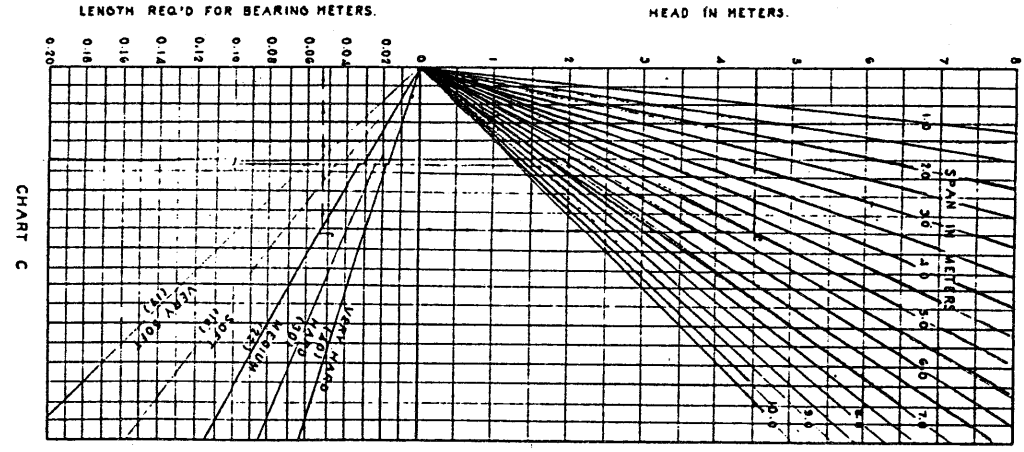
COMPUTATIONS

1. *With H = 4.5 and S = 5.0 enter chart A and locate point d Project vertically to point b, on medium wood line. Project horizontally to the right to find T = 0.17 M. for shear.*

2. *With H = 4.5 and S = 5.0 enter chart B and locate point c. Project vertically to point d, on medium wood line. Project horizontally to left to find T = 0.29 M. for bending.*
∴ Use T = 0.30 M. (bending governs)

3. *With H = 4.5 and S = 5.0 enter chart C, and locate point e. Project vertically to point f, on medium wood line. Project horizontally to left to find ℓ = 0.052 M.*
∴ Use ℓ = 0.06 M. minimum.





รูปที่ 2.6 ตารางการหา Stop Plank

และในกรณีถ้าไม่มี check ด้านหน้า inlet และคลองด้านหน้าไม่เป็นคลองดาด inlet จะต้องออกแบบเพื่อให้ปริมาณน้ำสูงสุดที่ไหลเข้า chute หรือ drop เป็น normal depth ในคลอง

- Inlet จะต้องสมดุลย์กับแนวศูนย์กลางของอาคาร
- ความโค้งในแนวราบจะต้องมีระยะทางอันหนึ่งซึ่งไม่ทำให้เกิดคลื่น
- Percolation path length ที่ inlet ต้องเพียงพอ

Chute channel & Tapered Transitions

รางเท ประกอบด้วย ความยาวของรางเท และความลาด ซึ่งจะต้องเหมาะสมกับภูมิประเทศ และช่วงที่มีความชันมาก ในช่วงสั้น ๆ ไปยังบ่อน้ำนิ่ง

ความลาดชันของช่วงที่ชันไม่ควรมากกว่า 1.5:1 และไม่ควรแบนมากกว่า 3:1 ลาด 2:1 เป็นลาดที่พอเหมาะ การกำหนดความกว้างควรจะพิจารณาหลังจากเลือกแนวและลาดของรางเทแล้ว

สำหรับรางเท

Transition จะใช้ระหว่างรางเท และบ่อน้ำนิ่ง

Transition (ส่วนโค้ง) ใช้ระหว่างส่วนของรางเทที่มีความลาดน้อย และลาดมาก

สำหรับอาคารลดระดับ (รูปที่ 2.7) ความกว้างของช่วง (chute) ควรจะเท่ากับความกว้างของบ่อน้ำนิ่ง พร้อมกับมีส่วนโค้ง (vert-curve) หรือ trajectory ระหว่างช่อง Inlet และลาดของรางเท

จุดมุ่งหมายในการออกแบบ รางเทแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าความลึกควรจะคำนวณตลอดช่วงของรางเทจนถึง trajectory หรือ transition โดยใช้ค่า n = 0.01

ค่า Inlet structute losses ตัดทิ้งได้ มีค่าน้อย และค่า sin ของความลาดของมุมของรางเท นำมาใช้ในการคำนวณ

ค่า cot. ของมุมซึ่งกว้างหรือลดในรูป plan ของแต่ละด้านของ transition ไม่ควรน้อยกว่า 3.375 F

ถ้า Taper คือ ส่วนใหญ่ของ trajectory ค่า K สำหรับ trajectory ให้นำมาใช้

ถ้า Taper ไม่ใช่ส่วนของ trajectory ค่ามุมของ Taper และความกว้าง สำหรับจุดต่าง ๆ ควรจะนำมาใช้ในการคำนวณโดยใช้ค่า K และค่า chord ที่ลากจาก Taper ซึ่งเป็นค่าประมาณของ ส่วนโค้งทางทฤษฎี

$\propto$ = Coriclis coeff (ถ้าไม่มีค่าอาจใช้ค่า $\propto$ - 1 ได้)

d = ค่าความลึกปกติ (normal depth) = $\frac{\text{พ.ท. ของน้ำ ของรูปตัด}}{\text{ความกว้างผิวน้ำ}}$

F = Froude number = $V/[(I - K) * (g * d * \text{Cos } \theta)/\propto]^{1/2}$

K = Trajectory acceleration factor หาค่าจาก Sub paragraph C. ถ้า Sub paragraph C. ไม่ได้ใช้ในการระบุ trajectory ให้ใช้

K = $\propto * V^2/(g * R * \text{Cos } \theta)$

n = 0.010 สำหรับ คอนกรีต

n = 0.014 ใช้สำหรับ คำนวณค่า K บน ski jump

R = รัศมีความโค้งของ floor profile

มีค่า + สำหรับ trajectory

- สำหรับ ski jump

V = ค่าความเร็วตามแนวยาว = Q/Water area

θ = มุมลาดเอียงของ floor profile

หมายเหตุ

Spreading transition นับจากจุดเริ่มต้นของ trajectory ไปสิ้นสุดที่จุดเริ่มต้นของ stilling pool (บ่อน้ำนิ่ง)

Trajectory

ค่าของ trajectory หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Y = X \tan \theta_o + (\tan \theta_L - \tan \theta_o) * \frac{X^2}{2L_t} \quad \text{.....(1)}$$

$$K = (\tan \theta_L - \tan \theta_o) * 2 * h_v * (\text{Cos } \theta_o)^2 * \frac{1}{L_t} \quad \text{.....(2)}$$

ซึ่ง X = ความยาวในแนวราบจากจุดเริ่ม (origin) ไปยังจุดบน trajectory

Y = ความยาวในแนวดิ่งจากจุดเริ่ม ไปยังจุด X

L_t = ความยาวในแนวราบจากจุดเริ่มไปยังจุดปลายของ trajectory

θ_o = มุมของ chute shannel ที่จุดเริ่มของ trajectory

θ_L = มุมของ chute shannel ที่จุดปลายของ trajectory

$h_v = \frac{V^2}{2g}$ คิดจากจุดเริ่มของ trajectory ใช้ค่า n = 0.01

K = 0.5 หรือน้อยกว่า

ค่า L_t อาจหาได้จากสมการที่ 2 ซึ่งจะกำหนดค่า K ให้น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.5

ค่าของ Y ก็สามารถหาได้จากสมการที่ 1 trajectory ควรจะสิ้นสุดที่หรือจุดตัดของกำแพงรางเทกับกำแพงของบ่อน้ำนิ่ง

สมการที่ 1, 2 อาจประยุกต์มาใช้กับ ski jump โดยพิจารณาค่า Y และกำหนดเครื่องหมาย θ_o และ θ_L ให้เหมาะสม ค่า n = 0.014 ใช้ในการหาค่า K บน ski jump

Chute Wall height and Freeboard

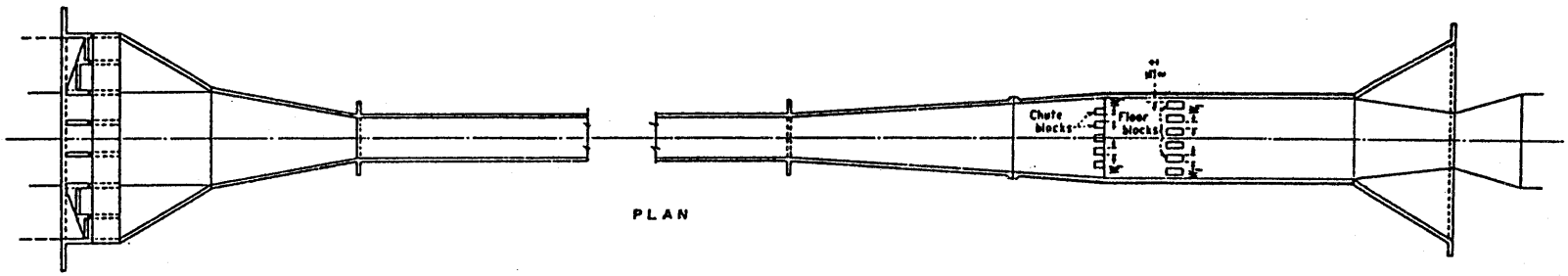
(ความสูงของกำแพงรางเท และค่า freeboard)

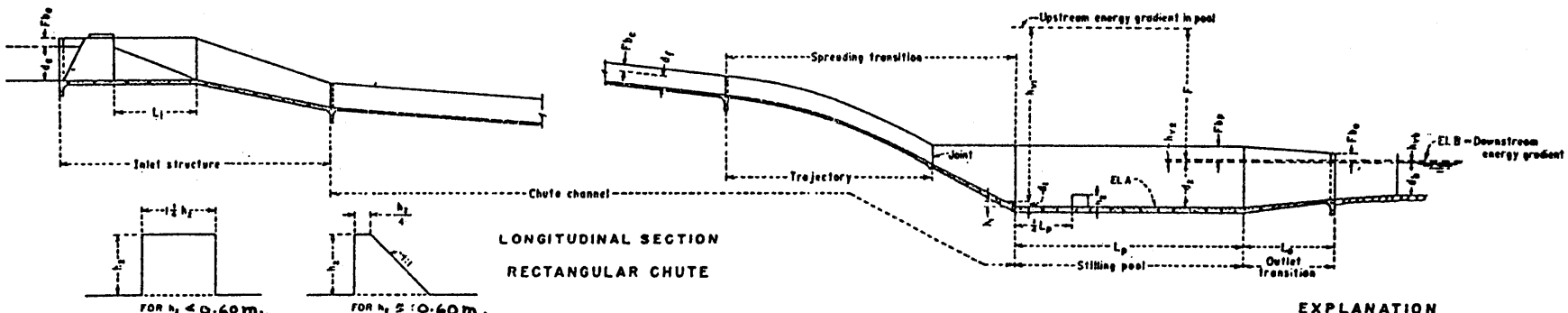
เมื่อพิจารณาค่าความสูงของกำแพงของรางเทจนถึงจุดเริ่มต้นของ trajectory หรือ spread transition ความลึกของน้ำจะคำนวณโดยใช้ค่า n = 0.014 และ ขั้นตอนการคำนวณจากหนังสือ King's Handbook of Hydraulics.

ค่า d_c คำนวณโดยใช้ค่า Max. capacity

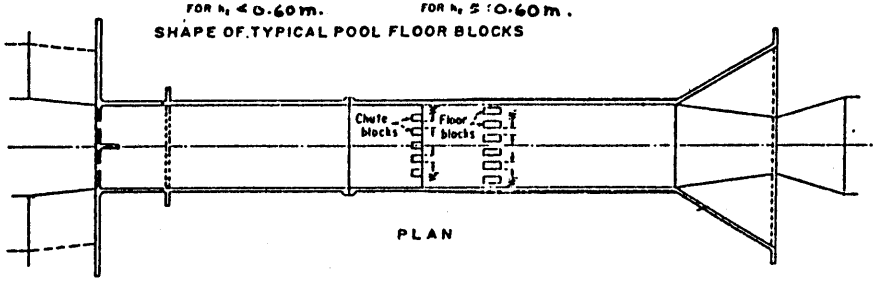
ค่า F_{bc} (min. freeboard = $d + F_{bc}$)

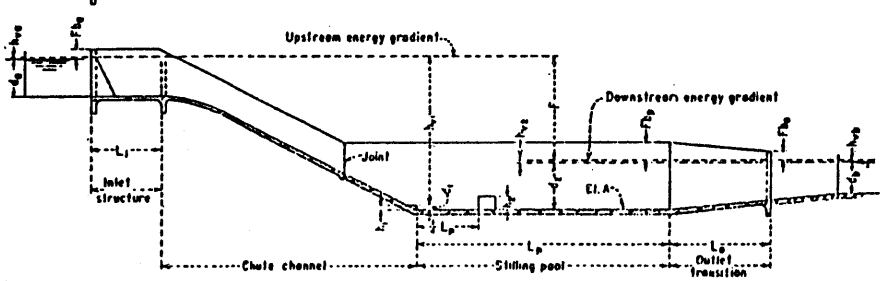
หรือ = $0.4d_c + F_{bc}$





SHAPE OF TYPICAL POOL FLOOR BLOCKS





EXPLANATION

d_o ..... Normal water depth in canal upstream.
h_{vo} ..... Velocity head = $V_o^2/2g$ for canal upstream.
d_1 ..... Computed depth at beginning of hydraulic jump.
h_{v1} ..... Velocity head at beginning of hydraulic jump.
d_2 ..... Depth at end of hydraulic jump.
h_{v2} ..... Velocity head at end of hydraulic jump.
d_b ..... Normal water depth in canal or channel downstream.
h_{vb} ..... Velocity head for canal or channel downstream.
d_f ..... Maximum computed water depths in chute channel.
h_1 ..... Height of chute blocks, usually set equal to d_1.
h_2 ..... Height of floor blocks in pool, usually set equal to $\frac{1}{4} d_2$ for d_2 from 0' to 8'; then very uniformly from $\frac{1}{4} d_2$ to $\frac{1}{5} d_2$ for values of d_2 from 8' to 24'; $\frac{1}{5} d_2$ for d_2 greater than 24'. Minimum h_2 equals 8". (Approximates Fig 15, Hyd.-399.)
W_1 ..... Width and spacing of chute and pool floor blocks; usually set equal to d_1 with 8" minimum.
L_i & L_o ... Inlet and outlet lengths as determined by local conditions and hydraulic requirements.
L_p ..... Length of stilling pool as determined by proposed use and hydraulic requirements.
Fb_o ... Freeboard at inlet transition.
Fb_p ... Freeboard in stilling pool. (See curve.)
Fb_c ... Freeboard in chute.
Fb_o ... Freeboard at outlet transition.
F ..... Energy loss in hydraulic jump.
El A ... Elevation of stilling pool invert.

รูปที่ 2.7 TYPICAL RECTANGULAR CHUTES AND RECTANGULAR INCLINED DROPS

ใช้ ค่าที่มากกว่า

Air entrainment จะเกิดเมื่อความเร็วมากกว่า 9.15 ม./วินาที จะควบคุมโดยให้ความลึก > 0.4 d_c

ค่า Min. freeboard (F_{bc}) สำหรับ chute channel

Capacity Q (ลบ.ม./วินาที)	F_{bc} (ม.)
2.83	0.30
2.86 - 14.15	0.38
14.18 - 28.50	0.46
> 28.50	0.61

2.6 Vertical drop

อาคารน้ำตกถูกใช้มากในคลองส่งน้ำสายใหญ่ และคลองประกอบ เพื่อที่จะสลายพลังงานที่มีความสูงไม่มาก ค่าสูงสุดของน้ำตกประมาณ 0.9 ม. สำหรับปริมาณน้ำน้อยกว่า 2 $ม^3$/วินาที และค่าสูงสุดของน้ำตกประมาณ 0.45 ม. สำหรับปริมาณน้ำมาก ยกเว้นว่ามีการดาดที่ด้านท้ายน้ำ

รูปที่ 2.8 แสดงรูปมาตรฐานของอาคารน้ำตก อาคารน้ำตกสูง 1.55 ม. ถูกใช้สำหรับคลองดิน อย่างไรก็ตามค่าสูงสุดจะประมาณ 1.85 ม.

โดยปกติอาคารอัดน้ำมักจะใช้ร่วมกับน้ำตก เพื่อป้องกันการลดตัวอย่างรวดเร็วของน้ำและการกัดเซาะด้านเหนือน้ำ

มิติ

มิติต่าง ๆ ของบ่อน้ำนิ่งมีความสำคัญมากสำหรับการปฏิบัติงาน ระดับผิวน้ำด้านท้ายจะต้องน้อยกว่า 0.6 กว่าของ d_c ด้านเหนือน้ำ เพื่อที่จะให้สายน้ำพุ่งอย่างแรง และเพื่อป้องกันคลื่นด้านท้ายน้ำจากตัวอาคาร

รูปที่ 2.9 แสดงมิติต่าง ๆ และการออกแบบความยาวบ่อควรจะให้ความยาวเพิ่มขึ้นไม่เกิน 0.15 ม. ของค่าที่หามาได้ เว้นแต่ว่าปริมาณน้ำน้อยกว่า2.85 m^3/s ซึ่งค่าความยาวที่เพิ่มขึ้นไม่ทำให้เกิดคลื่นที่ไม่ต้องการ

การลอดของน้ำใต้อาคาร อาจต้องการความยาวมากขึ้นหรือมี cutoffs แต่ความยาวที่เพิ่มขึ้นไม่เป็นที่ต้องการสำหรับอ่างน้ำ

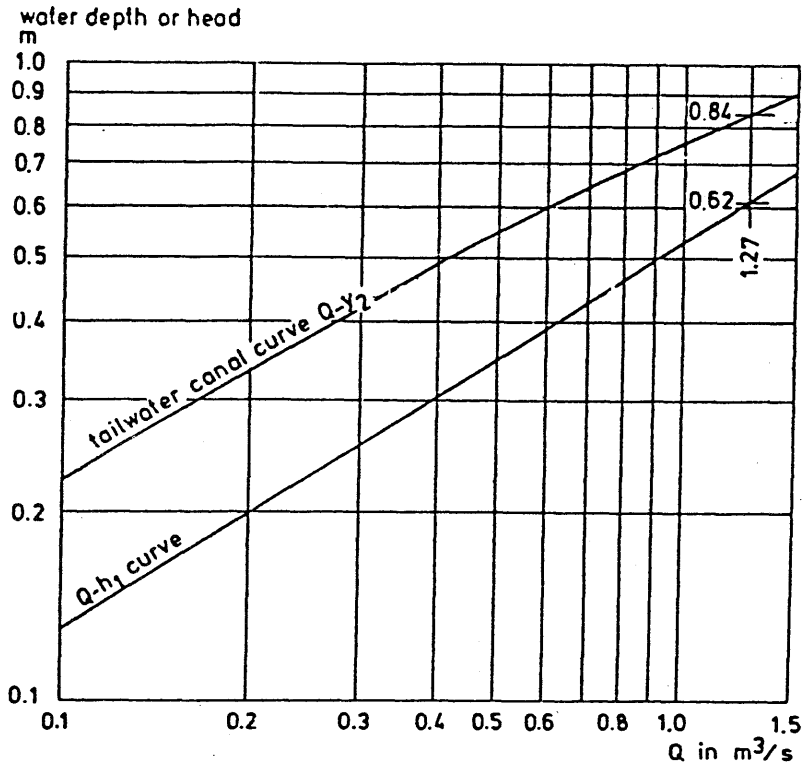
2.7 Closed conduit drop (ท่อลดระดับ)

มีการใช้ท่อลดระดับหลายชนิด ในคลองส่งน้ำสายใหญ่ และคลองซอยส่วนใหญ่มักจะใช้

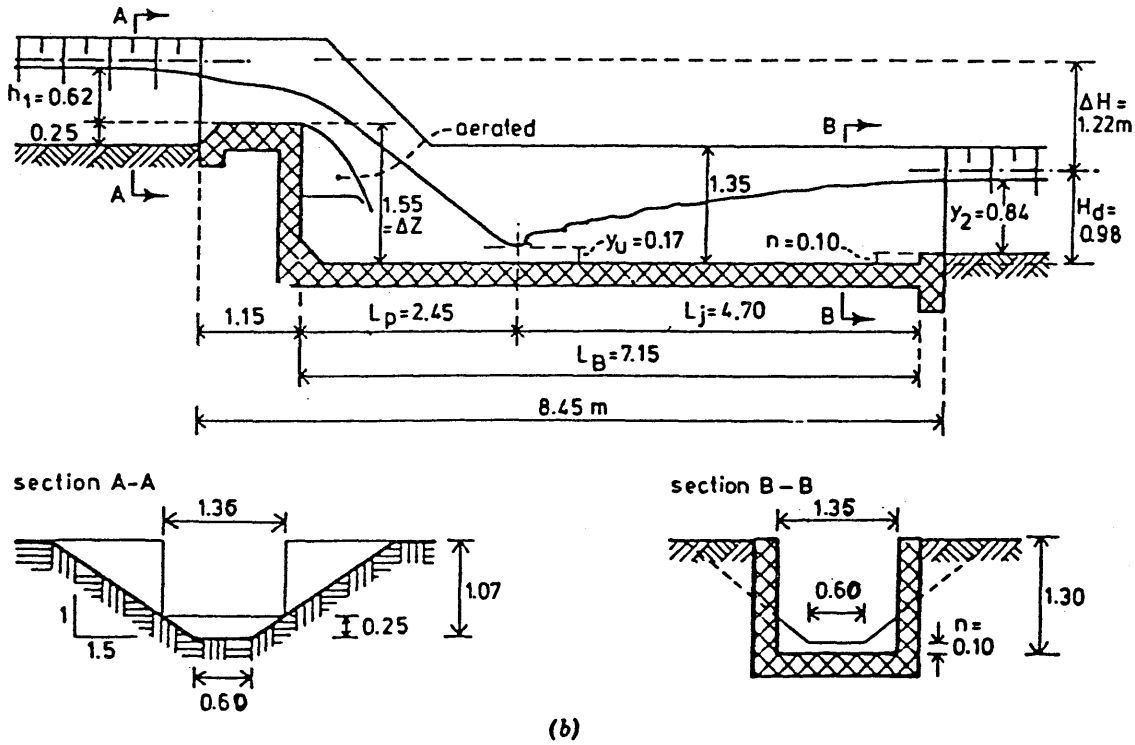
- Inlet transition พร้อมอาคารอัดน้ำ
- ท่อกลม คสล.
- Outlet transition หรือ baffled outlet

อาคารประเภทนี้มักจะมีถนนตัดผ่าน และมีตัวสลายพลังงาน รูปที่ 2.10 แสดงท่อลดระดับ 2 ประเภท

ท่อลดระดับประเภทที่ 1 ใช้ในกรณีที่ท่อสามารถทำให้เกิด Hydraulic jump เพื่อที่จะสลายพลังงานในท่อที่จุดต่อสุด หรือจากด้านเหนือน้ำ

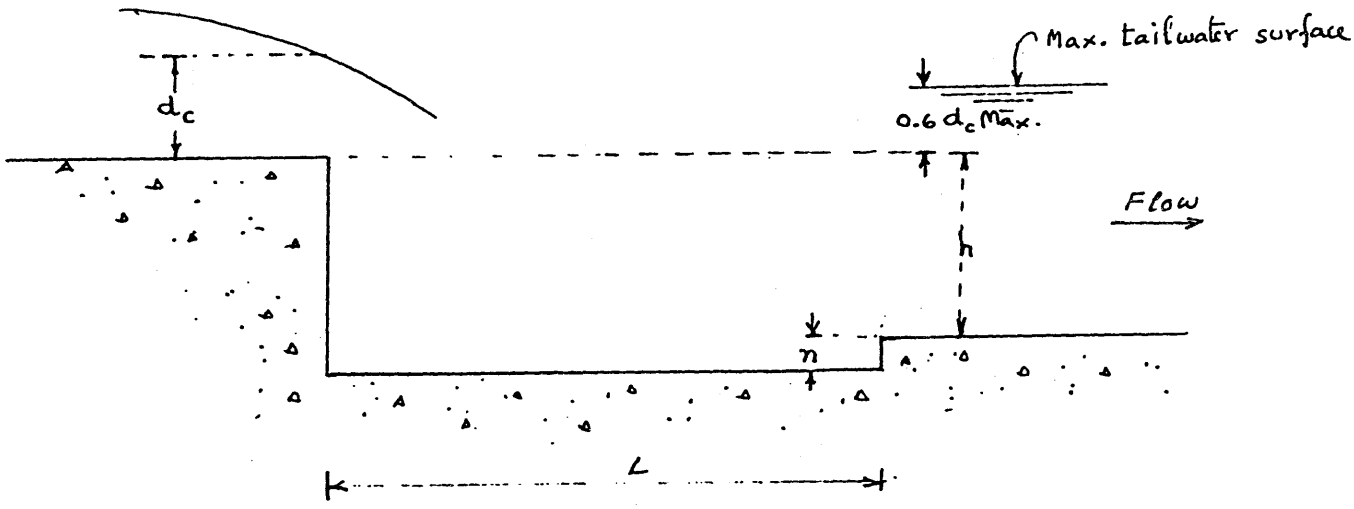


(a)



(b)

รูปที่ 2.8 มิติทางชลศาสตร์ ของอาคารน้ำตก



$$L = \left[2.5 + 1.1\,\frac{d_c}{h} + 0.7\left(\frac{d_c}{h}\right)^3\right]\sqrt{h\,d_c} \qquad n = \frac{d_c}{2}$$

รูปที่ 2.9 STILLING POOL DIMENSIONS FOR VERTICAL DROPS

ความดันที่เปลี่ยนแปลง และ Air entrainment ควรจะต้องพิจารณาในการออกแบบความเร็วของน้ำในท่อ ในอาคารประเภทนี้ ใช้ 1.50 m/s เมื่อน้ำไหลเต็มท่อ

ท่อลดระดับประเภทที่ 2 ใช้เมื่อไม่สามารถทำเป็นแบบประเภทที่ 1 ที่ Outlet จะต้องมีตัวสลายพลังงาน ซึ่งอาจเป็นแผงกัน (baffle) หรือ บ่อน้ำนิ่ง

ความเร็วของน้ำในท่อใช้ 3.65 m/s เมื่อน้ำไหลเต็มท่อ

2.8 Stilling pool (บ่อน้ำนิ่ง)

บ่อน้ำนิ่งใช้เพื่อสลายพลังงานของน้ำที่มากเกินไปที่ด้านท้ายน้ำของรางเทและ Inclined drop การออกแบบให้เกิด Hydraulic jump ในบ่อน้ำนิ่งเพื่อไม่ให้เกิดการปั่นป่วนที่จะกัดเซาะคลองด้านท้าย

ปกติจะออกแบบบ่อน้ำนิ่งเมื่อ froude number (F) อยู่ในช่วง 4.5 และ 1.5 สำหรับ F นอกจากค่าช่วงที่กล่าวมาแล้ว จะต้อง model เพื่อศึกษาออกแบบต่อไป

ปริมาณน้ำต่อความกว้าง 1 ม. ไม่มากกว่า 5.65 ลบ.ม./วินาที สำหรับบ่อน้ำนิ่งในคลองและทางระบายน้ำทิ้ง บ่อน้ำที่หายมักจะต้องออกแบบพิเศษเมื่อต้องการใช้

สำหรับ Inclined drop structure สำหรับค่าในแนวดิ่งของ energy gradient น้อยกว่า 4.5 ม. สูตร 3 นำมาใช้ในการหาค่าความลึกที่ท้ายน้ำของ Hydraulic jump

$$d_2 = -d_1/2 + \left(\frac{2V^2 \times d_1}{g} + \frac{d_1^2}{4}\right)^{1/2} \quad \text{.....(3)}$$

F คือค่า energy gradient ด้านเหนือน้ำถึง ค่า minimum gradient ด้านท้ายน้ำ

ค่า Min. downstream energy gradient อาจพิจารณาจาก

1. เมื่อบ่อน้ำนิ่งปล่อยสู่คลองซึ่งมีรูปร่างไม่แน่นอน ดังนั้นต้องใส่ตัวควบคุมที่ Outlet structure และ d_c ที่รูปตัดของตัวควบคุมด้านท้ายน้ำ ความลึกจะหาได้โดยลดค่า n ลง 20% ใช้ในการหาค่า Min. downstream energy gradient สำหรับปริมาณน้ำเต็มที่

สำหรับอาคารรางเท ซึ่งความกว้างของบ่อน้ำนิ่งคงที่

สมการที่ 3 ใช้ในการหาค่า d_2 D/S energy gradient จะหาได้เหมือนในสมการที่ 1

U/S energy gradient คือค่า depth + velocity head ในรางเทที่จุดตัดของพื้นรางเท และระดับสมมุติของบ่อน้ำนิ่ง

เราต้องใช้ trial & error ในการหาค่า d_2 และระดับของบ่อน้ำนิ่ง

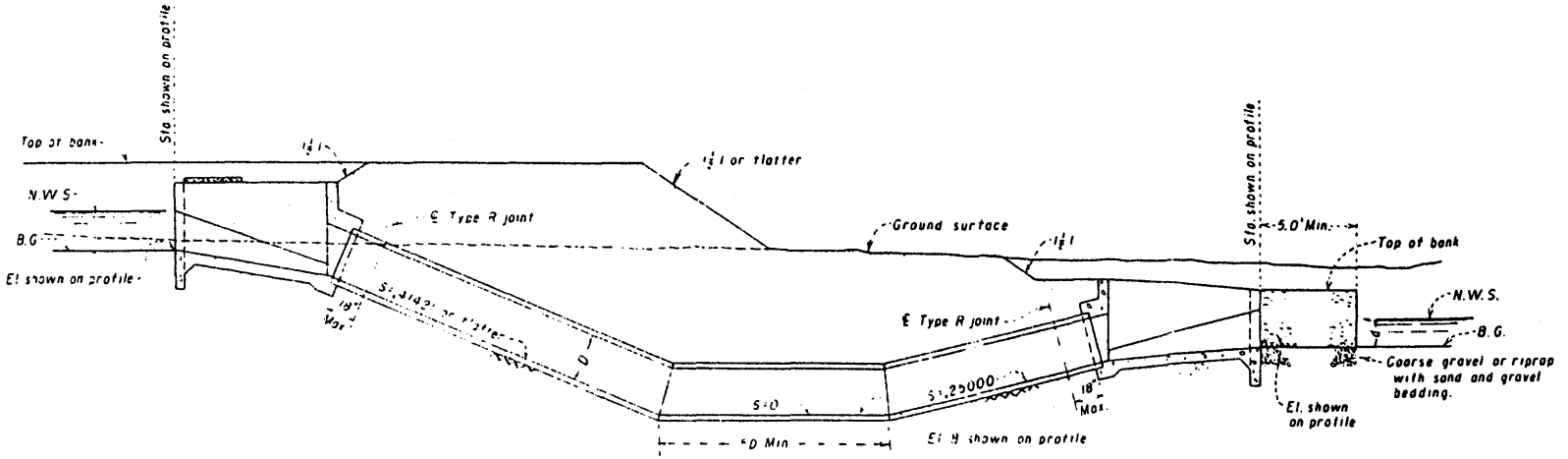
ความยาว และ Fb ของบ่อน้ำนิ่ง

ที่ซึ่งใช้ Stilling pool ในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เช่น อาคารระบายน้ำล้นหรืออาคารซึ่งรับน้ำท่วม ระยะความยาวของบ่อควรจะ = $3d_2$

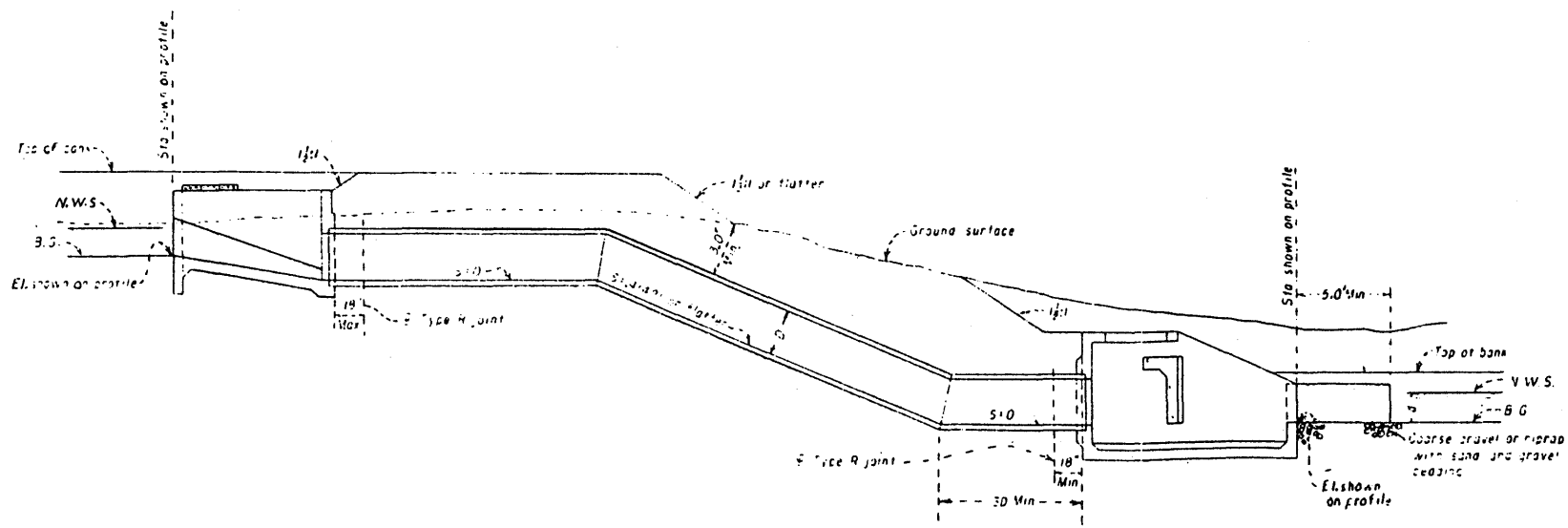
ที่ซึ่งมีการใช้ระยะเวลายาวและมีการคาดหมายการไหลไว้ ความยาวบ่อควรจะ = $4d_2$

มิติต่าง ๆ ดูรูปที่ 2.7

Chute and Floor blocks



PROFILE PIPE DROP
TYPE I



PROFILE BAFFLED OUTLET PIPE DROP
TYPE 2

Baffled outlet Type 1 for 6 c.f.s and less
Baffled outlet Type 2 for 6 to 12 c.f.s
Baffled outlet Type 3 for 12 to 21 c.f.s
Baffled outlet Type 4 for 21 to 38 c.f.s
Baffled outlet Type 5 for 38 to 59 c.f.s
Baffled outlet Type 6 for 59 to 85 c.f.s
Baffled outlet Type 7 for 85 to 115 c.f.s
Baffled outlet Type 8 for 115 to 151 c.f.s
Baffled outlet Type 9 for 151 to 191 c.f.s
Baffled outlet Type 10 for 191 to 236 c.f.s

รูปที่ 2.10 ท่อลดระดับ

แผงกันน้ำของ chute และบ่อควรจะมีเพื่อที่จะสลายพลังงานของน้ำ และเพื่อให้เกิด jump ในบ่อน้ำนิ่ง ขนาด รูปร่าง ระยะห่าง และตำแหน่งของแผงกันน้ำ ดูรูปที่ 2.7

Outlet

พื้นที่รูปตัดของน้ำที่ท้ายของอาคารทางออก ควรจะเท่ากับพื้นที่รูปตัดของน้ำ คลองด้านท้ายน้ำ เพื่อให้คลองด้านท้ายน้ำปลอดภัยจากการกัดเซาะ

ความยาวและรูปร่างของ Outlet transition ควรจะมีมุมของผิวน้ำและคุณสมบัติทางชลศาสตร์ ซึ่งได้อธิบายไว้ในเรื่อง transition

2.9 Baffled aprons (รางที่มีแผงกันน้ำหรือฟันตะเข้)

ฟันตะเข้ใช้ประโยชน์ในการสลายพลังงาน ในที่ซึ่งการควบคุมด้านท้ายน้ำอาจเปลี่ยนแปลง แต่ก็สามารถใช้ในที่ที่เหมาะสมได้

เมื่อพิจารณาที่จะใส่ฟันตะเข้ในคลองส่งน้ำสายใหญ่ และคลองซอย ซึ่งท้ายน้ำถูกควบคุมราคาค่าก่อสร้างต้องนำมาประกอบในการพิจารณาว่าจะใช้อาคารประเภทน้ำตกดีกว่าหรือไม่ เช่น อาคารน้ำตกสี่เหลี่ยมแบบเอียง (Rect. inclined drops) อาคารน้ำตกแบบท่อ และรางเท

รูปที่ 2.11 แสดงรูปมาตรฐานของ Baffled Chute

มิติของรางที่มีแผงกันน้ำ

มีขั้นตอนเพื่อที่จะกำหนดมิติของรางที่มีแผงกันน้ำนี้

1. กำหนดความลาดตามยาวของพื้น และกำแพงด้านข้าง 2 : 1
2. กำหนดความกว้างโดยประมาณ W = Q/g

   ซึ่ง W = ความกว้าง

   Q = ปริมาณน้ำสูงสุด

   g = ปริมาณน้ำที่ยอมให้ต่อความกว้าง 1 ม.
3. q อาจมีค่า = 1.7 ม.^{3}/วินาที/ความกว้าง 1 ม. เมื่อ

   Q > 28.32 ลบ.ม./วินาที ให้ดูในตารางในหน้าต่อไป
4. **แผงกันน้ำ**

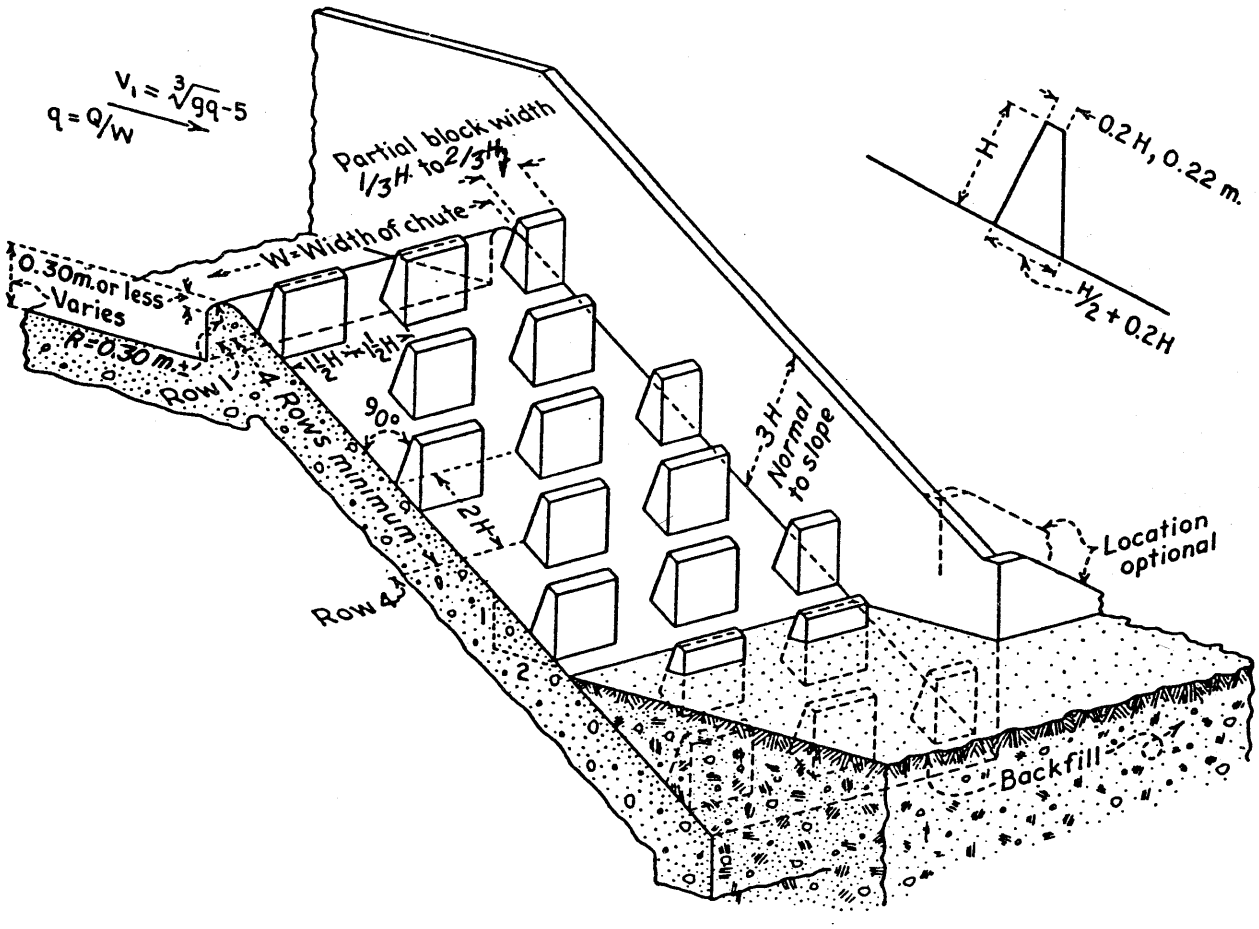
   4.1 แผงกันน้ำ แถวแรกควรจะวางที่ปลายสุดของโค้งวงกลมไม่ต่ำกว่า crest (ยอด) มากกว่า 0.30 m

   4.2 ความสูงของแผงกันน้ำ (H) = 0.9 d_c

   4.3 ความกว้างของแผงกันน้ำและช่องว่างควรจะเท่ากันและควรจะอยู่ในช่วงระหว่าง H และ 1.5 H **แผงกันน้ำส่วนที่ติดกับกำแพง** ควรจะมีความกว้างระหว่าง H/3 ถึง 2 × H/3 และจัดอยู่ในแถวที่ 1, 3, 5, 7 แต่ละแถวของแผงกันน้ำควรจะวางเหลื่อมกันเพื่อว่าแผงกันน้ำแต่ละอันจะอยู่ต่ำกว่าช่องว่างในแถวบน

   ควรจะมีการปรับความกว้างในข้อ 2 เพื่อให้การจัดแผงกันน้ำได้เหมาะสม

   4.4 ระยะตามแนวลาดระหว่างแถวของแผงกันน้ำควรจะมีระยะ = 2H แต่ไม่มากกว่า 1.85 m



รูปที่ 2.11 Basic proportions of a baffled chute.

4.5 ความเร็วที่จุดเริ่มต้นของรางเทไม่ควรเกินความเร็ววิกฤต

$$V_c = (g * q)^{1/3}$$

4.6 แผงกันน้ำควรมีอย่างน้อย 4 แถว และจะต้องมีอย่างน้อยที่สุด 1 แถว อยู่ที่ต่ำกว่าระดับของคลองด้านท้ายและความยาวของรางจะต้องยืดจากแถวของแผงกันน้ำสุดท้ายออกไปอีกเป็นระยะ = ช่องว่างของแผงกันน้ำ

4.6.1 ความลาดของคลองถูกควบคุมโดยอาคารท้ายน้ำ หรือโดยสภาพทางอุทกวิทยา หรือความลาดที่เหมาะสมสำหรับปริมาณน้ำ ความลาด 0.0018 เหมาะสมสำหรับการรับน้ำฝน แต่สำหรับคลองส่งน้ำ ความลาดไม่ควรชันกว่าคลองที่ใช้วัสดุแบบเดียวกัน

4.6.2 ในกรณีที่มีทางระบายน้ำทางด้านข้างอาจจะเกิดการกัดเซาะวัสดุที่อยู่ในลาดจะต้องมีการคำนวณวัสดุที่จะใช้ทำลาดนี้ด้วย

จะต้องมีการเพิ่มตัวอาคาร (รางที่มีแผงกันน้ำ) นี้ออกไปอีกในอนาคต ถ้ามีการกัดเซาะเกิดขึ้น โดยอาจโผล่ปลายเหล็กที่ปลายของตัวอาคาร

4.7 แผงกันน้ำจะต้องวางในตำแหน่งที่หันหน้าเข้าหาการไหล

ความหนาที่ยอดของแผงกันน้ำ = 0.20 m สำหรับอาคารเล็ก

ความหนาที่ยอดของแผงกันน้ำ = 0.25 m สำหรับอาคารใหญ่

4.8 ความสูงของกำแพงควรประมาณ 3 เท่าของความสูงของแผงกันน้ำวัดในแนวตั้งฉากกับพื้นของอาคารมันเป็นการยากที่จะกำหนดระยะ freeboard ของอาคารประเภทนี้ เพื่อจะป้องกันการกระเซ็นของน้ำ

4.9 ความลาดของรางแบบมีแผงกันน้ำ 2 : 1 จะต้องมีการตรวจสอบ เพราะว่าอาจเกิดการกัดเซาะวัสดุที่ปลายของอาคาร

ในการทำ model เพื่อที่จะตรวจสอบตัวแผงกันน้ำโดยใช้ piezometer พิกัดวัดค่าที่แผงกันน้ำ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.20-1.50 ม. ของความสูงน้ำซึ่งเทียบเท่ากับแรงระหว่าง 51-63.25 กก./ม^2 ของพื้นที่แผงกันน้ำในทิศทางตั้งฉากกับแผงกันน้ำ

ตารางแสดงมิติของรางเทที่มีแผงกันน้ำ

ปริมาณน้ำ (cms)	ปริมาณน้ำต่อความกว้าง 1 m. (cms)	ความกว้างของราง (m)	d_c (m)
0 - 1.10	0.14 - 0.28	1.22	0.28 - 0.45
1.13 - 2.80	0.28 - 0.42	1.22 - 2.13	0.45 - 0.58
2.83 - 5.35	0.42 - 0.57	2.13 - 2.9	0.58 - 0.71
5.38 - 13.0	0.57 - 0.85	2.9 - 4.57	0.71 - 0.93
13.0 - 28.30	0.85 - 1.42	4.57 - 6.10	0.93 - 1.30
> 28.30	14.2 - 1.70	> 6.10	1.30 - 1.47

2.10 Turnout

turnout คืออาคารผันน้ำจากคลองสายใหญ่ ไปยังคลองซอยหรือทางส่งน้ำเข้านา

turnout ขนาดใหญ่โดยปกติออกแบบเป็นทางเปิดโดยมีสะพาน ขณะที่อาคารขนาดเล็กมักเป็นท่อฝังดิน บานประตูแบบตรง หรือแบบโค้งถูกใช้ในการควบคุมปริมาณน้ำ อาคารจะต้องมีขนาดใหญ่พอ และต่ำพอที่จะลำเลียงน้ำตามต้องการได้

จะต้องมีอาคารวัดน้ำประกอบกับอาคาร เช่น constant-head orifice, open flow meter, line meter, parshall flume หรือ ฝาย turnout แบบท่อปิดโดยปกติจะเป็นประเภทเดียวกับอาคารประเภท siphon หรือท่อน้ำตก

บทที่ 3

อาคารวัดปริมาณน้ำ
(Water Measurement Structure)

เพื่อการบริหารโครงการชลประทานอย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องมีการวัด และควบคุมปริมาณน้ำที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ ที่ปากคลองซอย และที่ปากคูส่งน้ำเข้าสู่แปลงเพาะปลูก

อาคารประเภทนี้มีหลายแบบ ในบทนี้จะแสดงถึงอาคารแบบที่ควรจะใช้กับพื้นที่ชลประทานที่เป็นอยู่ในขณะนี้เท่านั้น

การที่จะเลือกว่าควรจะใช้อาคารแบบใดนั้นมีองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น

- ความเหมาะสมของอาคารต่อการวัดปริมาณน้ำที่ต้องการ
- ระดับของความถูกต้องภายใต้สภาพการใช้งานจริงในสนาม
- อาคารมีความมั่นคงแข็งแรง ไม่ยุ่งยาก และประหยัด
- มีสูตรการคำนวณหาปริมาณน้ำที่ง่ายและแม่นยำ
- การใช้งานและการอ่านมาตรต่าๆ ทำได้ง่าย
- การบำรุงรักษาง่ายและไม่แพง
- เหมาะสมกับสภาพท้องถิ่น และเป็นที่ยอมรับของเกษตรกร

3.1 CONSTANT-HEAD ORIFICE

อาคาร CHO. มักจะใช้กับ ทรบ.ปากคลองส่งน้ำ หรือ ทรบ.ปากคูส่งน้ำ ที่มีความต่างของ HEAD ระหว่างทางน้ำสายประธานกับสายแยกอย่างเพียงพอ อาคารแบบนี้จะมีบานอยู่ 2 บาน บานแรกทำหน้าที่ควบคุมพื้นที่ของ ORIFICE บานที่สองซึ่งอยู่ทางด้านท้ายน้ำของบานแรกทำหน้าที่ควบคุมความลึกของน้ำทางด้านท้ายน้ำของบานแรก บานที่อยู่ด้านท้ายน้ำนี้ใช้เพื่อรักษาให้ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับท้ายน้ำของบาน ORIFICE เป็นอยู่อย่างคงที่ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารจะหาได้จากขนาดของช่อง ORIFICE ซึ่งกำหนดขึ้นโดยการเปิดบานแรก ร่วมกับความต่างของระดับน้ำที่กำหนดไว้แล้ว อาคาร CHO. นี้อาจใช้เพื่อการวัดปริมาณน้ำกับอาคารประเภท IN-LINE ได้ด้วย อาคารแบบนี้ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดปริมาณน้ำโดยอาศัยลักษณะที่น้ำไหลผ่าน ORIFICE ยังอาจใช้งานได้โดยที่ความต่างของระดับน้ำที่สองด้านของช่องเปิดไม่คงที่ ถ้ามีการทดลองหาค่าต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง

เกณฑ์การคำนวณต่างๆ ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ ใช้สำหรับปริมาณน้ำไม่เกิน 0.85 ลบ.ม./วินาที โดยมีความต่างของระดับน้ำ 0.06 ม. หากจะใช้อาคารแบบนี้กับปริมาณน้ำที่มากกว่านี้และด้วยความต่างของระดับน้ำที่แตกต่างไป จะต้องมีการพิจารณาเป็นพิเศษ

การพิจารณาด้านอุทกศาสตร์

สำหรับบาน ORIFICE ที่แผ่นบานเป็นแผ่นเหล็ก หรือวัสดุอื่นที่มีส่วนล่างของบานเสริมด้วยเหล็กฉาก ค่า C ที่ใช้ควรเป็น 0.07 หากเป็นบานที่ไม่ได้ถูกเสริมด้วยเหล็กฉากค่า C ควรจะเป็น 0.65 ค่า C สำหรับ ทรบ. หรือบานที่สองควรใช้ค่า 0.75 เมื่อเปิดบาน ORIFICE ให้น้ำไหลผ่านด้วยปริมาณสูงสุดแล้ว จะต้องให้มีระยะจากปลายล่างของบานถึงส่วนบนสุดของช่องเปิดอยู่ไม่น้อยกว่าความหนาของช่องเปิด หากต้องการความแม่นยำสูงกว่า 7 เปอร์เซ็นต์จะต้องทำการทดลองหาค่าจริงในสนาม

เพื่อให้ได้ความถูกต้องของการวัดปริมาณน้ำตามที่แสดงไว้ หรือจากการคำนวณโดยสมการของ ORIFICE น้ำจะต้องท่วมทางด้านเหนือน้ำของ ORIFICE อยู่ไม่น้อยกว่าความสูงของการเปิดบานเมื่อปริมาณน้ำไหลผ่านสูงสุด หากระยะที่ท่วมน้อยกว่านี้จะทำให้ความถูกต้องลดลง และจะต้องทำการทดลองหาค่าต่างๆ ขึ้นมาใหม่ ส่วนบนสุดของช่องเปิดบานของ ทรบ. จะต้องอยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำในบ่อ ซึ่งก็คือระดับน้ำด้านท้ายน้ำของบานแรกอยู่ไม่น้อยกว่า 1.78 เท่าของ VELOCITY HEAD ของน้ำเมื่อไหลเต็มท่อบวกกับอีก 8 ซม.

การกำหนดระยะที่จะต้องให้น้ำท่วมช่องเปิดต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อให้การวัดปริมาณน้ำเป็นไปอย่างถูกต้อง เมื่อทำการออกแบบอาคารที่เป็นท่อซึ่งมี CHO เป็นส่วนประกอบ การออกแบบในส่วนของท่อและ OUTLET ก็เป็นไปตามลักษณะของอาคารเช่นเป็น SIPHON หรือ PIPE DROP เป็นต้น

มิติต่าง ๆ ของอาคาร

เพื่อให้การวัดปริมาณน้ำเป็นไปอย่างถูกต้อง พื้นหน้าบาน ORIFICE จะต้องมีพื้นราบไปไม่น้อยกว่าความสูงของช่องเปิดบาน ORIFICE เมื่อน้ำไหลผ่านด้วยปริมาณน้ำสูงสุด เมื่อปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารไม่เกิน 0.30 ลบ.ม./วินาที ความยาวภายในน้อยที่สุดของบ่อวัดน้ำ (ระยะห่างระหว่างกำแพงของช่อง ORIFICE กับกำแพงที่ติดตั้งบานที่สอง) จะต้องไม่น้อยกว่า 2.25 เท่าของความสูงของการเปิดบาน ORIFICE เมื่อน้ำไหลผ่านสูงสุด หรือ 1.75 เท่าของช่องเปิด ทั้งนี้แล้วแต่ค่าใดจะมากกว่ากัน สำหรับอาคารที่น้ำไหลผ่านเกิน 0.30 ลบ.ม./วินาที ความยาวนี้จะต้องไม่น้อยกว่า 2.75 เท่าของความสูงของการเปิดบาน ORIFICE เมื่อน้ำไหลผ่านด้วยปริมาณน้ำสูงสุด กำแพงข้างของ INLET ควรที่จะขนานกัน นอกจากต้องการจะเพิ่มความกว้างที่ INLET CUTOFF เพื่อป้องกันการเกิด CONTROL ที่บริเวณดังกล่าว ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความกว้างก็ควรทำให้กำแพงผายออกด้วยอัตราส่วน 1:8

ระยะห่างระหว่าง INLET CUTOFF กับบาน ORIFICE จะต้องไม่น้อยกว่า 1.50 เท่าของความต่างระหว่างระดับพื้น ที่ CUTOFF กับที่บาน ORIFICE ในคลองดินจุดตัดระหว่างส่วนบนสุดของกำแพงเอียงกับลาดข้างคลอง จะต้องอยู่ที่ระดับผิวน้ำปกติหรือสูงกว่านั้นเล็กน้อย

3.2 BROAD - CRESTED WEIR

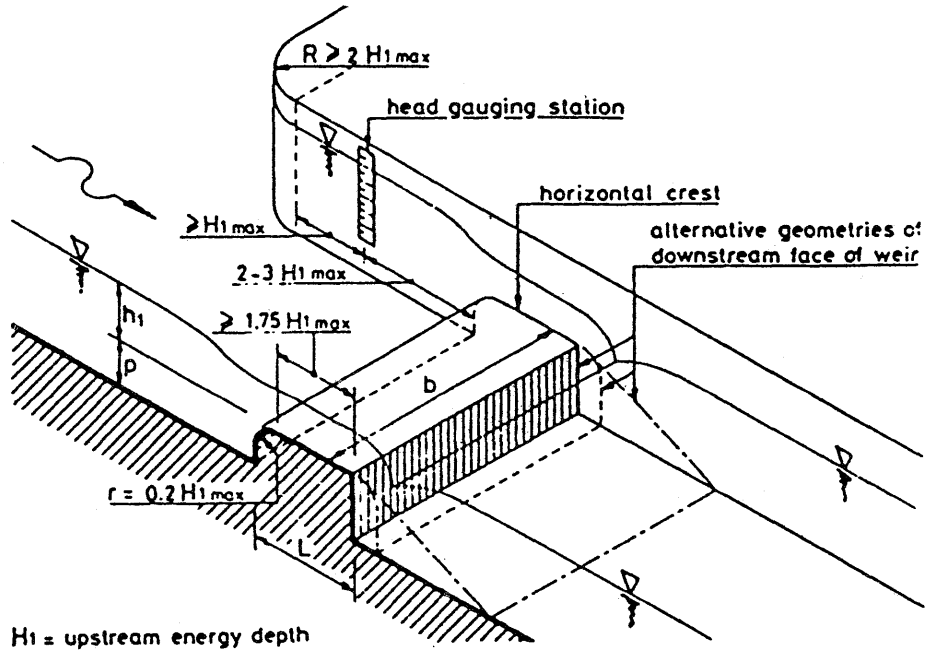
BCW เป็นอาคารที่มั่นคงแข็งแรงและก่อสร้างได้ง่าย อาคารแบบนี้ทำรูปร่างของสันฝายได้หลายแบบ จึงทำให้นำมาใช้ร่วมกับคลองแบบต่างๆ ได้ง่าย อาคารแบบนี้วัดปริมาณน้ำโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำด้านเหนือน้ำของอาคารกับปริมาณน้ำเท่านั้น ทำให้อ่านค่าปริมาณน้ำได้โดยตรงจากมาตรวัด จึงไม่จำเป็นที่จะต้องมีตารางอื่นประกอบ

BCW เป็นอาคารชนิดที่ทำให้น้ำไหลข้ามอาคารไปด้วยระดับความสูงด้านเหนือน้ำน้อยกว่าความยาวสันฝาย จึงทำให้สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำที่ไหลข้ามสันฝาย ได้โดยใช้สูตรการคำนวณการไหลของน้ำข้ามฝายสันกว้าง อาคารที่มีรูปร่างต่างกันก็สามารถใช้สูตรที่คล้ายคลึงกันได้รูปตัวอย่างของ BCW แสดงไว้ในรูปที่ 3.1และ 3.2

การสร้างฝายที่มีทางเข้าเป็นส่วนโค้งตามรูป 3.1 จะทำเมื่อไม่มีปัญหาของการสร้างผิวหน้าเป็นส่วนโค้ง การสร้างฝายลักษณะนี้ทำให้อาคารสั้นลง และมักจะใช้ในกรณีที่อาคารเป็นชนิดที่ใช้หินก่อ

การออกแบบฝายตามรูป 3.2 จะเป็นส่วนประกอบของระนาบต่างๆ เท่านั้น ซึ่งหากเป็นอาคารที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กแล้ว อาคารในลักษณะเช่นนี้จะประหยัดกว่า

รูป 3.1 แสดงถึงฝายที่มีด้านหลังเป็นแบบตั้งฉาก ในขณะที่ รูป 3.2 แสดงถึงด้านทางออกที่มีลาด 1:6 วิธีการแรกเหมาะสมหากมีความสูญเสียเมื่อน้ำไหลข้ามสันฝายอยู่อย่างเพียงพอ ถ้าความสูญเสียนั้นมีอยู่น้อยจะต้องใช้ฝายแบบที่ด้านทางออกเป็นแบบลาด ลักษณะด้านท้ายน้ำของฝายไม่มีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำกับปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย และลักษณะของทางเข้าไม่ว่าจะเป็นแบบโค้งหรือแบบระนาบ ก็ไม่มีอิทธิพลต่อความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝายเช่นเดียวกันพื้นผิวของทางเข้าเพียงแต่จะต้องทำน้ำให้ไหลข้ามสันฝายไปโดยไม่ถูกบีบ และไม่ไหลกระจายออกเท่านั้น การวัดความสูงของน้ำที่ไหลข้ามสันฝายตามปกติเป็นการวัดเหนือส่วนของสันฝายที่เป็นแนวราบ



รูปที่ 3.1 *Broad-crested weir with rounded entrance*

สมการที่ใช้เมื่อการหาปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝายสันกว้าง ที่มีรูปหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า คือ

$$Q = C_d * C_v * (2/3) ((2/3) (g)) 0.5 * b_c * (h_1)^{1.5} \quad \text{.....(3.1)}$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณน้ำเป็น ลบ.ม./วินาที

C_d คือ สัมประสิทธิ์ของการไหล

$C_d = 0.93 + 0.10 (H_1/L_1)$ เมื่อ $0.1 < (H_1/L) < 1.0$

H_1 คือ Energy Head เป็น เมตร

L คือ ความยาวของสันฝาย เป็น เมตร

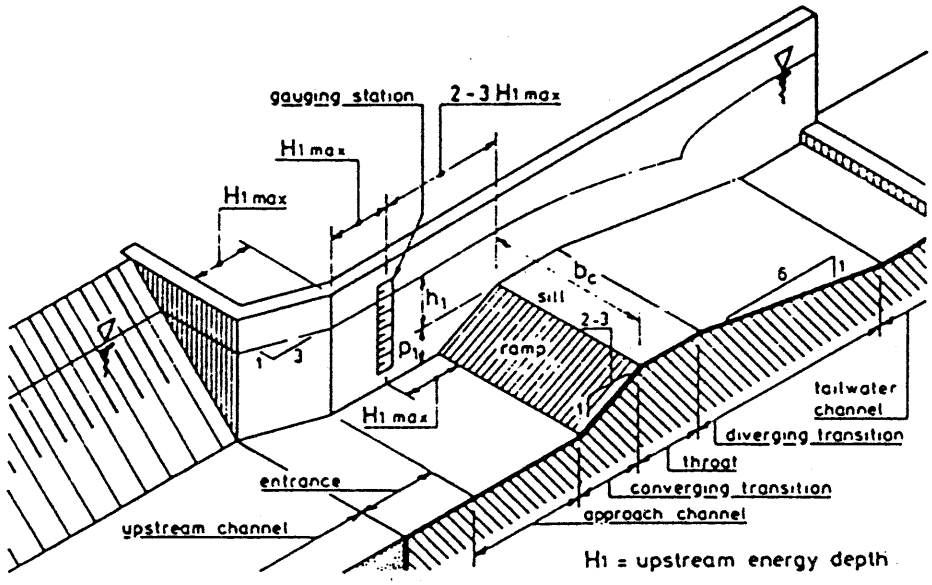
C_v คือ สัมประสิทธิ์ของความเร็วที่ไหลเข้าสู่สันฝาย

g คือ อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วง = 9.8 ม./วินาที/วินาที

b_c คือ ความกว้างสันฝาย

h_1 คือ ความสูงด้านเหนือน้ำจากสันฝาย

ค่า C_v จะหาได้จากรูป 3.3 ซึ่งเป็นค่า C_v สำหรับ Control Section แบบต่างๆ



รูปที่ 3.2 *Broad-crested weir with plane surfaced entrance and converging transition*

สมการเพื่อหาการไหลผ่าน BCW ที่มีรูปเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู คือ

$$Q = C_d [b_c y_c + m y_c^2] [2g(H_1 - y_c)]^{0.5} \quad \text{.....(3.2)}$$

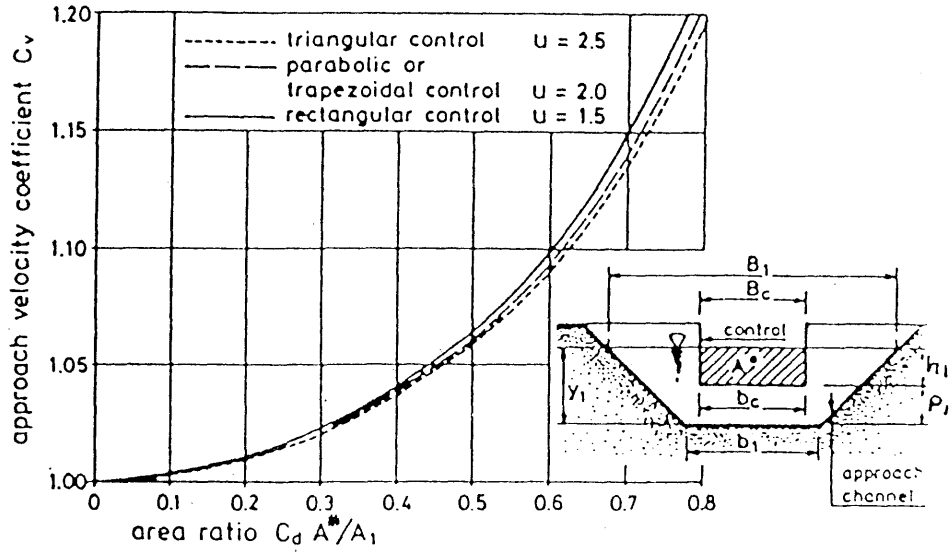
เมื่อ b_c เป็นความกว้างของสันที่ Control Section เป็น เมตร

y_c เป็นความลึกของน้ำที่ Control Section เป็น เมตร

m เป็นลาดด้านข้างที่ Control Section (1:m)

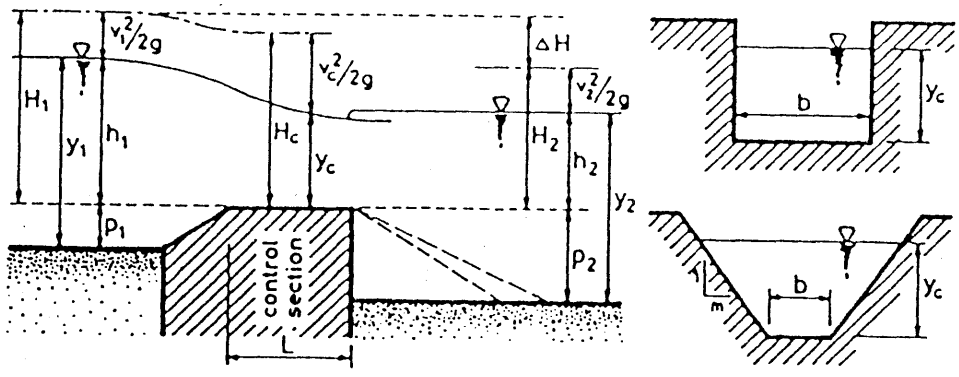
สัญญลักษณ์อื่นๆ เช่นเดียวกับสมการที่ 3.1

รูปที่ 3.4 แสดงสัญญลักขณ์ต่างๆ สำหรับ BCW ทั้งสองชนิด



รูปที่ 3.3 *C_v as a function of the ratio $C_d A^*/A_1$*

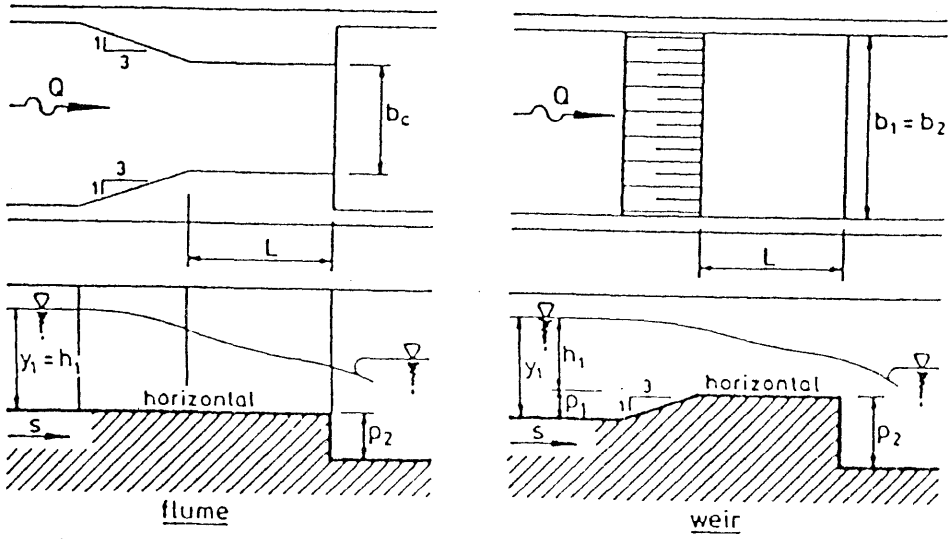
รูปที่ 3.4 illustrates the symbols used for these two types of broad-crested weirs.



3.3 รางน้ำชนิดพื้นราบ (Flat - bottom Flume)

สูตรที่ใช้สำหรับ BCW สามารถใช้ได้สำหรับการออกแบบรางน้ำชนิดคอยาว (Long-throated Flume) ซึ่งมีระดับธรณีราบไปกับพื้น (Zero-height sill) ในกรณีเช่นนั้นพื้นความยาวของ Transition และความยาวของสันฝาย จะต้องถูกนำมาคิดว่าเป็นระยะของส่วน Contraction

Flume และฝายในรูป 3.5 เป็นอาคารเพื่อการวัดปริมาณน้ำที่มีคุณสมบัติต่างๆ คล้ายคลึงกัน



รูปที่ 3.5 *Dimensions of flume and weir*

3.4 Modular Limit

Modular limit สำหรับ BCW ขึ้นอยู่กับรูปร่างของ Control section และอัตราส่วนของการขยายตัวออกด้านท้ายน้ำ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 *Minimum modular limits (H_2/H_1)*

expansion vertical/ horizontal	weirs		flat-bottom flumes	
	⊔-control	\/-control	⊔-control	\/-control
1 : 0	0.70	0.75	0.74	0.80
1 : 6	0.79	0.85	0.82	0.88

รูป 3.6 แสดงรูปแปลนของด้านท้ายน้ำที่มีการขยายตัวด้วยอัตราส่วน 1:6 การตัดให้ระยะการขยายตัวลดลงทำให้ประสิทธิภาพลดลงเล็กน้อย

3.5 ช่วงของการวัดปริมาณน้ำ

ช่วงของการวัดปริมาณน้ำจะถูกกำหนดเป็นอัตราส่วน

$$\delta = \frac{Q\ max.}{Q\ min.}$$

สำหรับฝายขนาดใหญ่ รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า $\delta = 35$

รูปสี่เหลี่ยมคางหมู $\delta = 55$

สำหรับฝายขนาดเล็ก $\delta = 210$

ในคลองส่งน้ำเพื่อการชลประทานอัตราส่วนนี้มักไม่เกิน 35

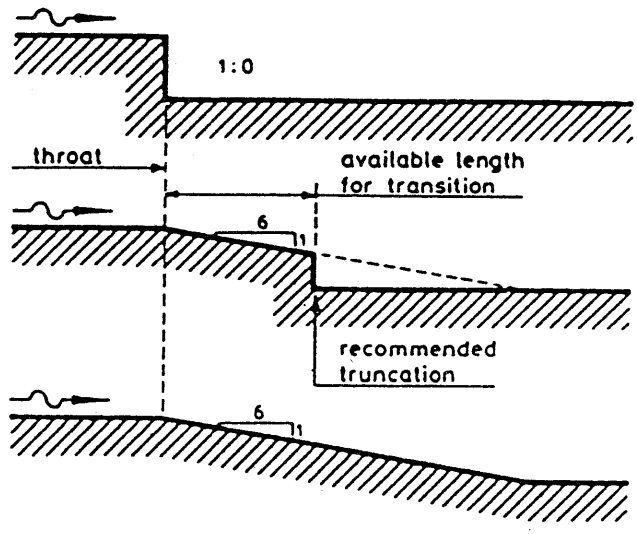
3.6 มาตรวัด

การวัดปริมาณน้ำอาจทำโดยตรงจากมาตรวัดได้ ในกรณีเช่นนี้ทำให้ไม่จำเป็นต้องมีตารางของความสัมพันธ์ระหว่างความสูงน้ำและปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย

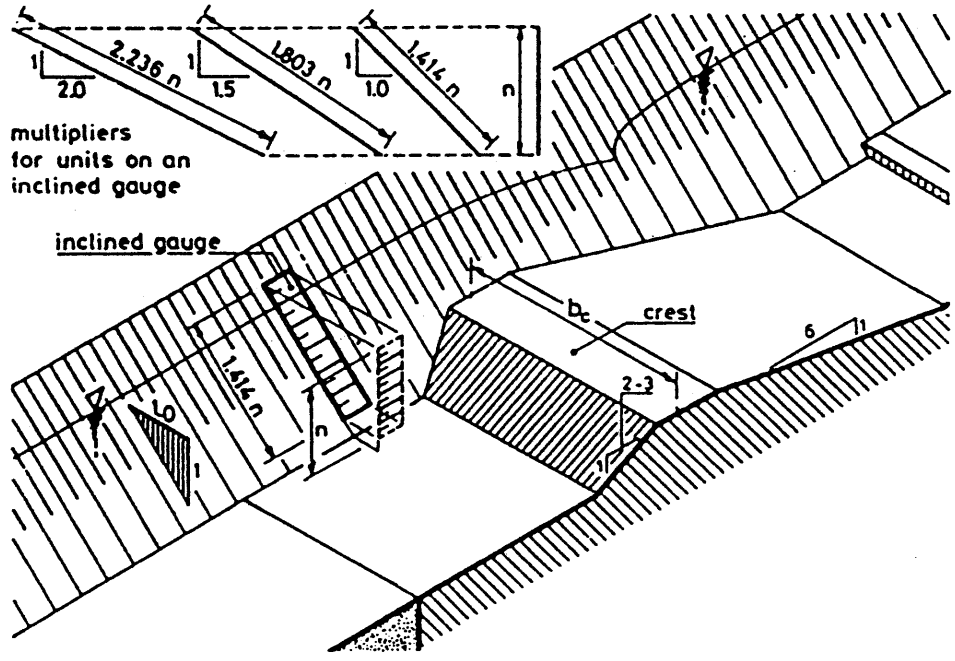
ตัวอย่างการกำหนดระยะต่างๆ สำหรับมาตรวัดที่อ่านค่าปริมาณน้ำได้โดยตรงแบบที่ติดกำแพง แสดงไว้ในตาราง 3.2 รูป 3.7 แสดงตัวคูณสำหรับระยะของมาตรวัดที่ใช้กับลาดด้านข้างต่างๆ

ตารางที่ 3.2 *Example of relationship between vertical and side-slope distance on the gauge for a canal with 1:1.5 side-slope*

Discharge Q (m^3/s)	Vertical head h_1 (m)	Side-slope Distance h_s (m)
0.20	0.117	0.211
0.60	0.229	0.413
0.80	0.273	0.492
1.00	0.311	0.561
1.20	0.347	0.626
1.40	0.379	0.683
1.60	0.410	0.739
1.80	0.439	0.792
2.00	0.466	0.840
2.20	0.492	0.887
2.40	0.517	0.932
2.60	0.541	0.975
2.80	0.564	1.016
3.00	0.586	1.057



รูปที่ 3.6 Downstream transition



รูปที่ 3.7 *Multipliers for units on an inclined gauge*

3.7 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำและปริมาณน้ำ

สำหรับ BCW รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดูตาราง 3.3

สำหรับ BCW รูปสี่เหลี่ยมคางหมู ซึ่งไม่มีความกว้างพื้นเป็นมาตรฐานจะต้องใช้สมการของความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับปริมาณน้ำ ตาราง 3.4 แสดงค่า y_c/H_1 ที่เกี่ยวข้องกับ m และ H_1/b สำหรับ BCW รูปสี่เหลี่ยมคางหมู เพื่อใช้กับสมการ 3.2

3.8 ข้อดีของ BCW

- รูปร่างทางชลศาสตร์ง่าย และยืดหยุ่นได้
- การก่อสร้างง่าย ประหยัด และแข็งแรง
- ขยะที่ลอยมากับน้ำไหลผ่านไปได้
- การใช้งานง่าย

3.9 ข้อด้อยของ BCW

- เป็นอาคารเพื่อวัดปริมาณน้ำเท่านั้น
- การวัดปริมาณน้ำจะถูกต้องดีเมื่อ Modular limit ไม่เกินกว่าที่กำหนด

3.10 การใช้งาน BCW

BCW และรางน้ำแบบคอยาว (Long throated flume) เป็นอาคารวัดปริมาณน้ำที่เหมาะกับคลอง ซึ่งต้องระมัดระวังเรื่อง Head Loss ตามปกติแล้วอาคารนี้จะอยู่ที่ต้นคลอง ที่จุดแยกของคลองสายประธาน และทางด้านท้ายน้ำของ ทรบ. ปากคลอง หรือคูส่งน้ำที่แยกออกไป

ตารางที่ 3.3 *Rating Tables for Rectangular Weirs with Discharge per Meter Width*[a]

$0.10 \leq b_c \leq 0.20$ m, L = 0.2 m			$0.20 \leq b_c \leq 0.30$ m, L = 0.35 m		
h_1 (m)	q (m^3/s per meter width)		h_1 (m)	q (m^3/s per meter width)	
	p_1 = 0.05 m	p_1 = ∞		p_1 = 0.1 m	p_1 = ∞
			.025	.0064	.0063
			.030	.0085	.0084
.014	.0026	.0026	.035	.0108	.0107
.016	.0032	.0032	.040	.0133	.0131
.018	.0039	.0038	.045	.0160	.0157
.020	.0046	.0045	.050	.0189	.0184
.022	.0054	.0053	.055	.0220	.0213
.024	.0062	.0060	.060	.0252	.0244
.026	.0070	.0068	.065	.0285	.0275
.028	.0079	.0076	.070	.0321	.0308
.030	.0088	.0085	.075	.0357	.0342
.032	.0097	.0094	.080	.0396	.0377
.034	.0107	.0103	.085	.0435	.0414
.036	.0117	.0112	.090	.0476	.0451
.038	.0128	.0122	.095	.0519	.0490
.040	.0138	.0132	.100	.0563	.0529
.042	.0150	.0142	.105	.0608	.0570
.044	.0161	.0153	.110	.0655	.0611
.046	.0173	.0164	.115	.0702	.0654
.048	.0185	.0175	.120	.0752	.0697
.050	.0197	.0186	.125	.0802	.0741
.052	.0210	.0197	.130	.0854	.0787
.054	.0223	.0209	.135	.0907	.0833
.056	.0236	.0221	.140	.0961	.0880
.058	.0250	.0233	.145	.1017	.0928
.060	.0264	.0245	.150	.1074	.0977
.062	.0278	.0257	.155	.1132	.1026
.064	.0293	.0270	.160	.1191	.1077
.066	.0307	.0283	.165	.1251	.1128
.068	.0322	.0296	.170	.1312	.1180
.070	.0338	.0309	.175	.1375	.1233

a) L_b = 2 or 3 times p_1; $L_a \geq H_{1max}$; $L_a + L_b \geq$ 2 to 3 times H_{1max}

b) Change in head increment

ตารางที่ 3.3 *Rating Tables for Rectangular Weirs with Discharge per Meter Width*[a] *(Continued)*

$0.10 \leq b_c \leq 0.20$ m L = 0.2 m			$0.20 \leq b_c \leq 0.30$ m L = 0.35 m		
h_1 (m)	q (m^3/s per meter width)		h_1 (m)	q (m^3/s per meter width)	
	p_1 = 0.05 m	p_1 = ∞		p_1 = 0.1 m	p_1 = ∞
.072	.0353	.0323	.180	.1439	.1286
.074	.0369	.0337	.185	.1504	.1340
.076	.0385	.0350	.190	.1567	.1396
.078	.0402	.0365	.195	.1625	.1530
.080	.0419	.0379	.200	.1701	.1508
.082	.0436	.0393	.205	.1770	.1565
.084	.0453	.0408	.210	.1840	.1623
.086	.0470	.0423	.215	.1911	.1681
.088	.0488	.0438	.220	.1983	.1741
.090	.0506	.0453	.225	.2056	.1801
.092	.0524	.0468	.230	.2130	.1861
.094	.0543	.0484	.235	.2205	.1923
.096	.0562	.0499			
.098	.0581	.0515			
.100	.0600	.0531			
.105b	.0649	.0571			
.110	.0700	.0613			
.115	.0753	.0656			
.120	.0806	.0699			
.125	.0861	.0744			
.130	.0918	.0789			
ΔH = 0.012 m or 0.1 H_1			ΔH = 0.025 m or 0.1 H_1		

a) L_b = 2 or 3 times p_1; $L_a \geq H_{1max}$; $L_a + L_b \geq$ 2 to 3 times H_{1max}

b) Change in head increment

ตารางที่ 3.3 *Rating Tables for Rectangular Weirs with Discharge per Meter Width*[a] *(Continued)*

$0.30 \le b_c \le 0.50$ m, L = 0.5 m				$0.5 \le b_c$ 1.0 m, L = 0.75 m				
h_1 (m)	q (m^3/s per meter width)			h_1 (m)	q (m^3/s per meter width)			
	p_1 = 0.1 m	p_1 = 0.2 m	p_1 = ∞		p_1 = 0.1 m	p_1 = 0.2 m	p_1 = 0.3 m	p_1 = ∞
				.050	.0186	.0183	.0182	.0181
				.055	.0216	.0212	.0210	.0209
.035	.0108	.0106	.0106	.060	.0248	.0242	.0240	.0239
.040	.0133	.0131	.0130	.065	.0281	.0274	.0272	.0270
.045	.0160	.0157	.0156	.070	.0316	.0308	.0305	.0303
.0308	.0305	.0185	.0183	.075	.0352	.0342	.0339	.0336
.055	.0219	.0214	.0212	.080	.0390	.0378	.0374	.0371
.060	.0251	.0245	.0242	.085	.0429	.0416	.0411	.0407
.065	.0285	.0278	.0274	.090	.0470	.0454	.0449	.0444
.070	.0320	.0312	.0307	.095	.0512	.0494	.0488	.0482
.075	.0357	.0347	.0341	.100	.0555	.0535	.0528	.0521
.080	.0395	.0383	.0376	.105	.0600	.0577	.0570	.0561
.085	.0435	.0421	.0412	.110	.0646	.0621	.0612	.0602
.090	.0476	.0460	.0450	.115	.0693	.0665	.0656	.0644
.095	.0519	.0500	.0488	.120	.0742	.0711	.0700	.0688
.100	.0561	.0540	.0528	.125	.0792	.0758	.0746	.0732
.105	.0606	.0583	.0567	.130	.0843	.0806	.0793	.0776
.110	.0652	.0626	.0608	.135	.0896	.0855	.0840	.0822
.115	.0700	.0671	.0651	.140	.0949	.0905	.0889	.0869
.120	.0748	.0717	.0694	.145	.1004	.0956	.0939	.0916
.125	.0798	.0764	.0738	.150	.1061	.1009	.0989	.0965
.130	.0850	.0812	.0783	.155	.1118	.1062	.1041	.1014
.135	.0902	.0861	.0828	.160	.1176	.1116	.1094	.1064
.140	.0956	.0911	.0875	.165	.1236	.1172	.1147	.1115
.145	.1011	.0962	.0923	.170	.1297	.1228	.1202	.1166
.150	.1067	.1014	.0971	.175	.1359	.1285	.1257	.1219
.155	.1125	.1068	.1020	.180	.1422	.1344	.1314	.1272
.160	.1183	.1122	.1070	.185	.1486	.1403	.1371	.1325
.165	.1243	.1177	.1121	.190	.1552	.1464	.1430	.1380
.170	.1304	.1234	.1173	.195	.1618	.1525	.1489	.1435
.175	.1366	.1291	.1225	.200	.1686	.1587	.2549	.1492

a) L_b = 2 or 3 times p_1; $L_a \ge H_{1max}$; $L_a + L_b \ge$ 2 to 3 times H_{1max}
b) Change in head increment

ตารางที่ 3.3 *Rating Tables for Rectangular Weirs with Discharge per Meter Width*[a] *(Continued)*

$0.30 \leq b_c \leq 0.50$ m, L = 0.5 m				$0.5 \leq b_c$ 1.0 m, L = 0.75 m				
h_1 (m)	q (m^3/s per meter width)			h_1 (m)	q (m^3/s per meter width)			
	p_1 = 0.1 m	p_1 = 0.2 m	p_1 = ∞		p_1 = 0.1 m	p_1 = 0.2 m	p_1 = 0.3 m	p_1 = ∞
.180	.1429	.1349	.1278	.210b	.1824	.1715	.1671	.1606
.185	.1493	.1409	.1332	.220	.1967	.1846	.1798	.1723
.190	.1559	.1469	.1387	.230	.2113	.1981	.1927	.1843
.195	.1625	.1530	.1442	.240	.2264	.2119	.2060	.1965
.200	.1693	.1593	.1498	.250	.2419	.2262	.2197	.2090
.205	.1762	.1656	.1555	.260	.2578	.2407	.2336	.2217
.210	.1831	.1720	.1612	.270	.2741	.2557	.2479	.2348
.215	.1902	.1786	.1671	.280	.2908	.2709	.2625	.2480
.220	.1974	.1852	.1730	.290	.3078	.2866	.2775	.2610
.225	.2047	.1919	.1789	.300	.3253	.3025	.2927	.2752
.230	.2121	.1987	.1849	.310	.3431	.3188	.3083	.2892
.235	.2196	.2056	.1910	.320	.3613	.3355	.3242	.3034
.240	.2272	.2125	.1972	.330	.3799	.3524	.3404	.3178
.245	.2349	.2196	.2034	.340	.3988	.3697	.3568	.3325
.250	.2427	.2268	.2097	.350	.4181	.3873	.3736	.3473
.260b	.2587	.2414	.2225	.360	.4378	.4053	.3907	.3624
.270	.2750	.2563	.2355	.370		.4235	.4081	.3777
.280	.2917	.2716	.2488	.380		.4421	.4258	.3932
.290	.3088	.2872	.2623	.390		.4610	.4438	.4089
.300	.3262	.3032	.2760	.400		.4802	.4620	.4248
.310	.3441	.3195	.2900	.410		.4998	.4806	.4409
.320	.3623	.3361	.3042	.420		.5196	.4994	.4573
.330	.3808	.3531	.3186	.430		.5397	.5185	.4738
				.440		.5601	.5379	.4905
				.450		.5809	.5576	.5074
				.460		.6019	.5776	.5245
				.470		.6232	.5978	.5418
				.480		.6448	.6183	.5593
				.490		.6667	.6391	.5769
				.500		.6888	.6601	.5948
ΔH = 0.027 m 0.044 m or 0.1 H_1				ΔH = 0.028 m 0.048 m 0.063 m or 0.1 H_1				

a) L_b = 2 or 3 times p_1; $L_a \geq H_{1max}$; $L_a + L_b \geq$ 2 to 3 times H_{1max}
b) Change in head increment

ตารางที่ 3.3 *Rating Tables for Rectangular Weirs with Discharge per Meter Width*[a] *(Continued)*

$1.0 \leq b_c \leq 2.0$ m, L = 1.0 m					$b_c \geq 2.0$ m, L = 1.0 m				
h1 (m)	q (m^3/s per meter width)				h1 (m)	q (m^3/s per meter width)			
	p_1 = 0.2 m	p_1 = 0.3 m	p_1 = 0.4 m	p_1 = ∞		p_1 = 0.2 m	p_1 = 0.4 m	p_1 = 0.6 m	p_1 = ∞
					.100	.0521	.0511	.0508	.0506
					.120	.0695	.0680	.0675	.0671
.070	.0304	.0301	.0300	.0298	.140	.0889	.0866	.0858	.0852
.080	.0374	.0370	.0369	.0298	.160	.1099	.1067	.1056	.1046
.090	.0450	.0445	.0442	.0439	.180	.1326	.1283	.1268	.1253
.100	.0531	.0524	.0521	.0516	.200	.1569	.1513	.1493	.1473
.110	.0615	.0608	.0604	.0597	.220	.1827	.1756	.1732	.1704
.120	.0706	.0696	.0691	.0683	.240	.2101	.2013	.1982	.1946
.130	.0801	.0788	.0782	.0771	.260	.2389	.2283	.2245	.2199
.140	.0900	.0885	.0877	.0864	.280	.2691	.2565	.2519	.2461
.150	.1004	.0985	.0976	.0960	.300	.3008	.2859	.2805	.2733
.160	.1112	.1090	.1079	.1059	.320	.3337	.3165	.3101	.3015
.170	.1224	.1198	.1185	.1161	.340	.3681	.3483	.3409	.3306
.180	.1339	.1319	.1295	.1267	.360	.4037	.3812	.3727	.3606
.190	.1459	.1426	.1408	.1375	.380	.4406	.4153	.4056	.3914
.200	.1583	.1545	.1525	.1487	.400	.4788	.4505	.4395	.4231
.210	.1711	.1668	.1646	.1601	.420	.5182	.4868	.4744	.4556
.220	.1842	.1794	.1769	.1718	.440	.5588	.5241	.5103	.4889
.230	.1977	.1924	.1896	.1838	.460	.6007	.5626	.5472	.5229
.240	.2116	.2058	.2027	.1961	.480	.6437	.6020	.5851	.5577
.250	.2259	.2194	.2160	.2086	.500	.6878	.6425	.6239	.5932
.260	.2405	.2334	.2297	.2214	.520	.7331	.6840	.6636	.6295
.270	.2555	.2477	.2436	.2344	.540	.7796	.7265	.7042	.6664
.280	.2708	.2624	.2579	.2477	.560	.8271	.7699	.7458	.7041
.290	.2864	.2774	.2725	.2612	.580	.8758	.8144	.7884	.7425
.300	.3024	.2927	.2873	.2749	.600	.9257	.8600	.8319	.7815
.310	.3188	.3083	.3025	.2889	.620	.9765	.9063	.8762	.8212
.320	.3355	.3242	.3180	.3032	.640	1.028	.9537	.9214	.8615
.330	.3525	.3404	.3337	.3176	.660	1.081	1.002	.9674	.9025
.340	.3698	.3569	.3498	.3323	.680	1.135	1.051	1.014	.9441
.350	.3875	.3738	.3661	.3472	.700	1.191	1.101	1.062	.9864

a) L_b = 2 or 3 times p_1; $L_a \geq H_{1max}$; $L_a + L_b \geq$ 2 to 3 times H_{1max}
b) Change in head increment

ตารางที่ 3.3 *Rating Tables for Rectangular Weirs with Discharge per Meter Width*[a] *(Continued)*

$1.0 \leq b_c \leq 2.0$ m, L = 1.0 m					$b_c \geq 2.0$ m, L = 1.0 m			
h1 (m)	q (m^3/s per meter width)				h1 (m)	q (m^3/s per meter width)		
	P_1 = 0.2 m	P_1 = 0.3 m	P_1 = 0.4 m	P_1 = ∞		P_1 = 0.4 m	P_1 = 0.6 m	P_1 = ∞
.360	.4055	.3903	.3828	.3623	.720	1.153	1.111	1.029
.370	.4238	.4083	.3997	.3776	.740	1.205	1.160	1.073
.380	.4424	.4261	.4168	.3931	.760	1.257	1.210	1.117
.390	.4614	.4441	.4343	.4088	.780	1.311	1.262	1.161
.400	.4806	.4624	.4520	.4248	.800	1.366	1.314	1.207
.410	.5002	.4810	.4701	.4409	.820	1.422	1.367	1.252
.420	.5200	.4999	.4883	.4573	.840	1.478	1.420	1.299
.430	.5401	.5190	.5069	.4738	.860	1.535	1.474	1.346
.440	.5607	.5385	.5257	.4905	.880	1.593	1.530	1.393
.450	.5815	.5582	.5447	.5075	.900	1.652	1.586	1.441
.460	.6025	.5782	.5641	.5246	.920	1.712	1.642	1.490
.470	.6238	.5984	.5837	.5419	.940	1.773	1.700	1.539
.480	.6455	.6189	.6035	.5594	.960	1.834	1.758	1.588
.490	.6674	.6368	.6236	.5771	.980	1.897	1.817	1.638
.500	.6896	.6608	.6440	.5950	1.000	1.960	1.877	1.689
.510	.7122	.6822	.6646	.6130				
.520	.7350	.7038	.6855	.6312				
.530	.7580	.7257	.7065	.6496				
.540	.7814	.7478	.7279	.6682				
.550	.8050	.7702	.7495	.6869				
.560	.8290	.7929	.7715	.7059				
.570	.8532	.8158	.7936	.7249				
.580	.8776	.8390	.8159	.7442				
.590	.9024	.8624	.8385	.7636				
.600	.9274	.8861	.8613	.7832				
.610	.9527	.9102	.8844	.8029				
.620	.9782	.9343	.9077	.8228				
.630	1.004	.9588	.9312	.8429				
.640	1.030	.9835	.9550	.8632				
.650	1.056	1.008	.9790	.8836				
.660	1.083	1.034	1.003	.9041				
.670	1.110	1.059	1.208	.9249				
ΔH =	0.046 m or 0.1 H_1	0.066 m or 0.1 H_1	0.086 m		ΔH =	0.047 m or 0.1 H_1	0.087 m or 0.1 H_1	0.124 m or 0.1 H_1

a) L_b = 2 to 3 times p_1; $L_a \geq H_{1max}$; $L_a + L_b \geq$ 2 to 3 times H_{1max}

ตารางที่ 3.4 *Values of the Ration y_c/H_1 as a function of m and H_1/b for Trapezoidal Control Sections*

H_1	Side Slopes of Channel, Ratio of Vertical to Horizontal									
b	Vertical	1:0.25	1:0.50	1:0.75	1:1	1:1.5	1:2	1:1.5	1:3	1:4
.00	.667	.667	.667	.667	.667	.677	.667	.667	.667	.667
.01	.667	.667	.667	.668	.668	.669	.670	.670	.671	.672
.02	.667	.667	.668	.669	.670	.671	.672	.674	.675	.678
.03	.667	.668	.669	.670	.671	.673	.675	.677	.679	.683
.04	.667	.668	.670	.671	.672	.675	.677	.680	.683	.687
.05	.667	.668	.670	.672	.674	.677	.680	.683	.686	.692
.06	.667	.669	.671	.673	.675	.679	.683	.686	.690	.696
.07	.667	.669	.672	.674	.676	.681	.685	.689	.693	.699
.08	.667	.670	.672	.675	.678	.683	.687	.692	.696	.703
.09	.667	.670	.673	.676	.679	.684	.690	.695	.698	.706
.10	.667	.670	.674	.677	.680	.686	.692	.697	.701	.709
.12	.667	.671	.674	.679	.684	.690	.696	.701	.706	.715
.14	.667	.672	.675	.681	.686	.693	.699	.705	.711	.720
.16	.667	.672	.676	.683	.687	.696	.703	.709	.715	.725
.18	.667	.673	.676	.684	.690	.698	.706	.713	.719	.729
.20	.667	.674	.677	.686	.692	.701	.709	.717	.723	.733
.22	.667	.674	.678	.688	.694	.704	.712	.720	.726	.736
.24	.667	.675	.678	.689	.696	.706	.715	.723	.729	.739
.26	.667	.676	.679	.691	.698	.709	.718	.725	.732	.742
.28	.667	.676	.680	.693	.699	.711	.720	.728	.734	.744
.30	.667	.677	.680	.694	.701	.713	.723	.730	.737	.747
.32	.667	.678	.681	.696	.703	.715	.725	.733	.739	.749
.34	.667	.678	.681	.697	.705	.717	.727	.735	.741	.751
.36	.667	.679	.682	.699	.706	.719	.729	.737	.743	.752
.38	.667	.680	.683	.700	.708	.721	.731	.738	.745	.754

ตารางที่ 3.4 *Values of the Ration y_c/H_1 as a function of m and H_1/b for Trapezoidal Control Sections (Continued)*

$\frac{H_1}{b}$	Side Slopes of Channel, Ratio of Vertical to Horizontal									
	Vertical	0.25:1	0.50:1	0.75:1	1:1	1.5:1	2:1	2.5:1	3:1	4:1
.40	.667	.680	.683	.701	.709	.723	.733	.740	.747	.756
.42	.667	.681	.686	.703	.711	.725	.734	.742	.748	.757
.44	.667	.681	.688	.704	.712	.727	.736	.744	.750	.759
.46	.667	.682	.692	.705	.714	.728	.737	.745	.751	.760
.48	.667	.683	.694	.706	.715	.729	.739	.747	.752	.761
.5	.667	.683	.697	.708	.717	.730	.740	.748	.754	.762
.6	.667	.686	.701	.713	.723	.737	.747	.754	.759	.767
.7	.667	.688	.706	.718	.728	.742	.752	.758	.764	.771
.8	.667	.692	.709	.723	.732	.746	.756	.762	.767	.774
.9	.667	.694	.713	.727	.737	.750	.759	.766	.770	.776
1.0	.667	.697	.717	.730	.740	.754	.762	.768	.773	.778
1.2	.667	.701	.723	.737	.747	.759	.767	.772	.776	.782
1.4	.667	.706	.729	.742	.752	.764	.771	.776	.779	.784
1.6	.667	.709	.733	.747	.756	.767	.774	.778	.781	.786
1.8	.667	.713	.737	.750	.759	.770	.776	.781	.783	.787
2	.667	.717	.740	.754	.762	.773	.778	.782	.785	.788
3	.667	.730	.753	.766	.773	.781	.785	.787	.790	.792
4	.667	.740	.762	.773	.778	.785	.788	.790	.792	.794
5	.667	.748	.768	.777	.782	.788	.791	.792	.794	.795
10	.667	.768	.782	.788	.791	.794	.795	.796	.797	.798
∞		.800	.800	.800	.800	.800	.800	.800	.800	.800

บทที่ 4

อาคารป้องกันความเสียหาย (Protective Structure)

4.1 ทั่วไป

จุดประสงค์ของการออกแบบอาคารชนิดนี้ ก็เพื่อป้องกันคลองชลประทาน และทรัพย์สินในบริเวณใกล้เคียงประสบความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากน้ำท่าที่ไหลบ่ามา เนื่องจากฝนตกหนักโดยไม่มีการควบคุมการระบายน้ำ หรือปริมาณน้ำส่วนเกินที่รับเข้ามาในคลอง ทำให้น้ำล้นคลอง คลองชลประทานขาดพังทลายเสียหาย ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมปริมาณน้ำส่วนเกินเหล่านี้ให้เป็นระบบ โดยอยู่ในระบบคลองชลประทาน ได้แก่ อาคารทิ้งน้ำ (Wasteways), อาคารระบายน้ำผ่านคลองชลประทาน (Cross- Drainage Structure)

4.2 อาคารระบายน้ำผ่านคลองชลประทาน (Cross-Drainage Structure)

เมื่อคลองส่งน้ำตัดผ่านทางน้ำธรรมชาติ จะต้องสร้างอาคารระบายน้ำผ่านคลองส่งน้ำ เพื่อป้องกันความเสียหายแก่คลองส่งน้ำ อาคารระบายน้ำผ่านคลองส่งน้ำอาจเป็นทั้งท่อลอดคลอง (Drain Culvert) ซึ่งนำน้ำลอดคลองส่งน้ำ, ท่อลอดไซฟอน (Inverted Siphon) ซึ่งโดยปกติจะเป็นทางให้น้ำในคลองส่งน้ำลอดใต้ทางน้ำธรรมชาติ, รางน้ำหรือสะพานน้ำ (Bench Flume or Elevated Flume) ซึ่งจะนำน้ำในคลองส่งน้ำให้ไหลเลียบไปตามแนวชายเขา หรือข้ามทางน้ำธรรมชาติที่เป็นที่ลุ่มและอาคารระบายน้ำข้ามคลอง (Over chute) ซึ่งจะนำน้ำจากทางน้ำธรรมชาติไหลข้ามคลองส่งน้ำ บางกรณีถ้าปริมาณน้ำธรรมชาติมีไม่มากนักอาจออกแบบเป็นอาคารรับน้ำเข้าคลอง (Drain Inlet) เพื่อรับน้ำดังกล่าวให้ไหลลงคลองส่งน้ำ

โดยปกติถ้าหากคลองส่งน้ำมีขนาดเล็กตัดผ่านทางน้ำธรรมชาติขนาดใหญ่ จะกำหนดให้น้ำในคลองส่งน้ำไหลลอดทางน้ำธรรมชาติ โดยใช้ท่อลอดไซฟอน จะเป็นการประหยัดกว่าให้น้ำในทางน้ำธรรมชาติไหลลอดคลองส่งน้ำ โดยท่อลอดไซฟอนเป็นอาคารที่เชื่อถือได้ เป็นอาคารที่ประหยัดก่อสร้างได้ง่าย และไม่ทำให้ดูเกะกะกีดขวางพื้นที่ แต่ท่อลอดไซฟอนก็มีข้อเสียที่ต้องการ Head Loss มาก และไม่เหมาะที่จะใช้ในบริเวณที่เป็นชุมชนหนาแน่น เนื่องจากอาจเกิดอันตรายได้ นอกจากนี้สำหรับประเทศไทยยังมีปัญหาตะกอนตกจมในท่อลอด ทำให้ผู้ออกแบบมักจะหลีกเลี่ยงการใช้ท่อลอดไซฟอนที่มีความยาวมากๆ แต่จะออกแบบเป็นสะพานน้ำแทน

เมื่อขนาดของคลองมีขนาดใหญ่กว่าทางน้ำธรรมชาติจะเป็นการประหยัดกว่าถ้าใช้ท่อลอดคลอง เพื่อให้น้ำในลำน้ำธรรมชาติไหลลอดคลอง หรือให้ไหลข้ามคลองไปโดยใช้อาคารระบายน้ำข้ามคลอง (Over chute) ซึ่งอาคารทั้งสองอย่างนี้ จะไม่ทำให้ต้องเสีย Head Loss ในคลองส่งน้ำการใช้ท่อลอดคลองจะใช้เมื่อคลองเป็นช่วงคลองถมหรือคลองลอย ส่วนอาคารระบายน้ำข้ามคลอง ใช้เมื่อร่องน้ำธรรมชาติซึ่งไหลมาตัดกับคลองส่งน้ำอยู่สูงกว่าระดับน้ำในคลองส่ง

4.3 ท่อลอดคลอง (Drain Culvert)

เมื่อแนวคลองส่งน้ำจำเป็นจะต้องตัดผ่านลำธารหรือทางน้ำถ้าหากว่าขนาดของคลองส่งน้ำมีขนาดใหญ่กว่าทางน้ำธรรมชาติ และระดับน้ำในคลองส่งน้ำอยู่สูงกว่าระดับดินเดิม เรามักจะนิยมออกแบบอาคารระบายน้ำผ่านคลองชลประทาน (Cross-Drainage Structure) เป็นท่อลอดคลองส่งน้ำ (Drain Culverts)

ท่อลอดอาจจะเป็นท่อกลม (Pipe Culverts) หรือท่อสี่เหลี่ยม (Box Culverts) สำหรับทางน้ำสายหนึ่งอาจใช้ท่อลอดเพียงท่อเดียวหรือหลายท่อก็ได้แล้วแต่การออกแบบ เนื่องจากน้ำที่ไหลผ่านท่อลอดนี้เกิดขึ้นได้หลายลักษณะ การออกแบบจะต้องพิจารณาให้ลักษณะของน้ำที่ไหลในท่อสอดคล้องกับสภาพพื้นที่ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องศึกษาลักษณะการไหลผ่านท่อลอดเสียก่อน

ลักษณะการไหลของน้ำผ่านท่อลอด อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แบบ Inlet Control หรือ Outlet Control

4.4 Inlet Control

การไหลแบบ Inlet Control นี้ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพที่ปากทางเข้าเท่านั้น เช่น ระดับน้ำเหนือปากท่อ, ลักษณะของปากท่อ เป็นต้น ส่วนความลาดเอียงของท่อ, ความหยาบของผิวท่อ, ระดับน้ำที่ปลายท่อ หรือองค์ประกอบอื่นๆ ที่อยู่ถัดจากปากท่อเข้ามา จะไม่มีผลทำให้อัตราการไหลเปลี่ยนแปลงไปได้เลย

การไหลแบบ Inlet Control อาจจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. **Orifice Flow** แบบนี้ระดับน้ำด้านปากท่อจะอยู่เหนือระดับหลังท่อ (รูป 4.1 a) แต่น้ำที่ไหลเข้าท่อจะไหลได้ไม่เต็มท่อ ลักษณะการไหลของน้ำเหมือนกับการไหลผ่านรูจมน้ำ (Orifice) หรือไหลลอดใต้บานประตูระบายน้ำ (Sluice gate) จึงเรียกว่า Orifice-Flow โดยทั่วไปปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน อาจคำนวณได้จากสมการ

$$Q = C * A * \sqrt{2g(H_w - D/2)}$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลผ่านท่อ, ม.^{3}/วินาที

C = สัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล

A = พื้นที่หน้าตัดท่อ (ม.^{2})

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (ม./วินาที^{2})

K_w = ความสูงถัดจากระดับผิวน้ำถึงปากธรณีท่อ (ม.)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (ม.)

2. **Weir flow** การไหลแบบ Weir Flow นี้ ระดับน้ำทางปากท่อจะไม่สูงท่วมขอบบนของท่อ (รูป 4.1b) และความลาดเอียงของท่อจะต้องเป็นแบบชัน (Steep slope) สำหรับการไหลชนิดนี้ สมการที่ใช้คำนวณหาปริมาณน้ำไม่มีรูปแบบแน่นอนเหมือนแบบ Orifice Flow แต่จะขึ้นอยู่กับรูปร่างหน้าตัดของท่อด้วย

เป็นที่น่าสังเกตว่าการไหลแบบ Inlet Control นี้ น้ำจะไหลไม่เต็มท่อ, ท่อมีความลาดเอียงมาก และประการสุดท้ายระดับน้ำปลายท่อ (Tail water) จะไม่สูงท่วมหลังท่อ

รูป 4.2a และ 4.2b เป็น chart ที่ใช้คำนวณหาปริมาณต่างๆ ที่ต้องการทราบในการออกแบบ สำหรับการไหลแบบ Inlet Control รูป 4.2a ใช้สำหรับท่อกลม และรูป 4.2b สำหรับท่อสี่เหลี่ยม

4.5 **Outlet Control**

การไหลแบบ Outlet Control นี้ ปริมาณการไหลจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายชนิดด้วยกัน เช่น ความลาดเอียงของท่อ, ความหยาบของผิวท่อ, ความแตกต่างของระดับน้ำปากท่อกับปลายท่อ และลักษณะของปากท่อเป็นต้น อาจจำแนกออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. การไหลแบบน้ำเต็มท่อ (Full Pipe Flow) การไหลแบบนี้ น้ำจะเต็มท่อแรงดันของน้ำภายในท่อจะสูงกว่าความดันบรรยากาศ ที่ปากท่อระดับน้ำจะสูงกว่าขอบบนของท่อ แต่ที่ปลายท่อระดับน้ำอาจจะท่วมหลังท่อ (รูป 4.3a) หรือไม่ท่วมหลังท่อ (รูป 4.3b) ก็ได้

การคำนวณหาปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อ โดยมากจะใช้สมการพลังงาน (Energy Equation) โดยถือว่าพลังงานที่สูญเสียไปทั้งหมดจะเท่ากับผลต่าง ระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อ นั่นคือ

$$H = \left(1 + K_e + \frac{2gn^2 L}{R^{4/3}}\right) \frac{V^2}{2g}$$

โดยที่ H = ผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับปลายท่อ

K_e = สัมประสิทธิ์ของการสูญเสียพลังงานของปากท่อ (ดูตาราง 4.1)

L = ความยาวของท่อ

R = รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) ของท่อ

รูป 4.4a และ 4.4b เป็น chart ที่ใช้คำนวณปริมาณต่างๆ สำหรับการไหลประเภทนี้ รูป 4.4a สำหรับท่อกลม ส่วนรูป 4.4b สำหรับท่อสี่เหลี่ยม

2. การไหลแบบน้ำไม่เต็มท่อ (Part-Full Flow) การไหลลักษณะนี้ความลาดเอียงของท่อจะต้องเป็นแบบลาด (Mild Slope) และปากท่อจะไม่จมใต้ระดับน้ำ (Submerged) แบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทแรกระดับท้ายน้ำสูงกว่าระดับความลึกวิกฤต (Critical depth) ก่อนถึงปลายท่อ (รูป 4.5a) การไหลจะเป็นแบบ Subcritical Flow ตลอดความยาวท่อ อีกประเภทหนึ่ง (รูป 4.5b) ระดับท้ายน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับความลึกวิกฤต ระดับน้ำจะโค้งต่ำลงตรงปลายท่อ และจะมีหน้าตัดหนึ่งซึ่งความลึกของน้ำเท่าความลึกวิกฤตพอดี

การคำนวณหาปริมาณน้ำในกรณีเป็น Outlet Control และน้ำไหลไม่เต็มท่อนี้เป็นเรื่องยุ่งยากมาก ดังนั้น ในการออกแบบจึงมักจะหลีกเลี่ยงการไหลประเภทนี้

4.6 การออกแบบท่อลอด

การออกแบบท่อลอดในที่นี้หมายถึง การเลือกขนาดและชนิดของท่อ, ความลาดเอียง, ระดับน้ำที่ปากท่อ และระดับน้ำปลายท่อให้เหมาะสมที่จะระบายน้ำผ่านคลองชลประทานไปได้โดยไม่ทำความเสียหายให้แก่ตัวคลองและบริเวณข้างเคียง

ข้อกำหนดในการออกแบบท่อลอด

1. ระดับน้ำปากท่อ (Headwater Level) ระดับน้ำปากท่อสูงสุดไม่ควรเกิน 10 เมตร ถัดจากขอบบนของท่อ ทั้งนี้ที่ระดับความลึกนี้จะต้องไม่ทำให้เกิดน้ำท่วมหลังคันคลองหรือท่วมบริเวณข้างเคียงซึ่งใช้ทำประโยชน์อย่างอื่น และจะต้องไม่ทำให้น้ำไหลในท่อด้วยความเร็วสูงเกินไป

2. ระยะ Free board ระยะที่เผื่อไว้ระหว่างขอบหลังคันคลองกับระดับน้ำปากท่อสูงสุดจะขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ และขนาดของท่อที่นิยมใช้กันทั่วไปมีดังนี้

ก. สำหรับท่อที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดใหญ่กว่า 6 ตร.เมตร ใช้ระยะ Free board ประมาณ 0.3 เมตร ถึง 0.6 เมตร

ข. สำหรับท่อที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดระหว่าง 1.5 ตร.เมตร ถึง 6 ตร.เมตร ใช้ระยะ Free board ประมาณ 0.15 เมตร ถึง 0.30 เมตร

3. ความเร็ว

ก. ความเร็วภายในท่อ ความเร็วต่ำสุดภายในท่อไม่ควรน้อยกว่า 0.7 เมตร/วินาที เพื่อป้องกันการตกตะกอนความเร็วสูงสุดไม่ควรเกิน 6 เมตร/วินาที เพื่อป้องกันการสึกกร่อนของผิวท่อที่เกิดจากตะกอนหยาบ ความเร็วสูงสุดภายในท่อนี้นิยมใช้กันประมาณ 3.5 เมตร/วินาที

ข. ความเร็วที่ปลายท่อ ความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากท่อ ไม่ควรจะให้สูงจนทำให้เกิดการกัดเซาะพื้นขึ้นได้ เว้นเสียแต่จะมีการทำโครงสร้างเพื่อใช้ป้องกันการกัดเซาะนี้

ความเร็วที่ทำให้เกิดการกัดเซาะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่พื้น

หินขนาด 30 ซม.	ความเร็วไม่ควรเกิน	6	เมตร/วินาที
หินขนาด 25 ซม.	ความเร็วไม่ควรเกิน	5	เมตร/วินาที
หินขนาด 15 ซม.	ความเร็วไม่ควรเกิน	3	เมตร/วินาที
หินขนาด 10 ซม.	ความเร็วไม่ควรเกิน	2.5	เมตร/วินาที
หินขนาด 5 ซม. หรือปลูกหญ้า	ความเร็วไม่ควรเกิน	2.0	เมตร/วินาที
ดินเหนียวแข็ง	ความเร็วไม่ควรเกิน	1.2	เมตร/วินาที
(Firm loam or very stiff coarse clay)			
ดินทราย หรือ หินตะกอน	ความเร็วไม่ควรเกิน	1.0	เมตร/วินาที
(Sandy or Silty Clay)			

4. ความลาดเอียงของท่อ ความลาดเอียงของท่อลอดจะพยายามทำให้ใกล้เคียงหรือเท่ากับความลาดเอียงของพื้นลำธาร ความลาดเอียงที่น้อยที่สุดจะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5% (1:200) ถึง 0.3% (1:300) ถ้าเป็นไปได้ควรจะวางท่อให้เอียงประมาณ 1% หรือมากกว่า เพื่อที่การไหลจะได้อยู่ในลักษณะของ Inlet Control

วิธีการออกแบบ

การออกแบบท่อลอด จะต้องอาศัยวิธีการสมมมุติค่า และทดสอบ (trial and error) คือเลือกขนาดท่อขนาดหนึ่ง แล้วตรวจสอบดูว่าน้ำจะสามารถไหลผ่านได้ตามอัตราที่กำหนดไว้หรือไม่ ปัญหาที่เกิดขึ้นในวิธีการเช่นนี้คือ ในขั้นแรกเราไม่ทราบว่าลักษณะการไหลจะเป็นแบบ Inlet Control หรือ Outlet Control โดยทั่วไป ถ้าความลาดเอียงของท่อเท่ากันหรือมากกว่า 1% การไหลจะเป็นแบบ Inlet Control ถ้าน้อยกว่า 0.5% จะเป็นแบบ Outlet Control แต่เพื่อความแน่นอนจะต้องทดสอบลักษณะการไหลเสมอ

วิธีการออกแบบมีขั้นตอนดังนี้

1. อาศัยวิธีการทางอุทกวิทยา ประมาณค่าอัตราการไหลของน้ำ ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในลำธารหรือทางน้ำที่จะวางท่อลอด

2. จากรูปตัดของลำธารหรือทางน้ำ, ความลาดเอียง และลักษณะผิวดินประมาณระดับน้ำในลำธารในกรณีที่มีน้ำไหลผ่านด้วยอัตราการไหลของน้ำตามข้อ 1

3. เลือกขนาดท่อ โดยพิจารณาจากสภาพภูมิประเทศว่าปลายท่อควรจะอยู่ในลักษณะจมน้ำ (Submerged) หรือโผล่พ้นผิวน้ำ โดยทั่วไปมักจะเลือกให้โผล่พ้นผิวน้ำ

4. ในกรณีที่ปลายท่อโผล่พ้นผิวน้ำ ระดับน้ำในท่อตรงปลายทางออก ไม่ควรสูงกว่าระดับน้ำในลำธารเกินกว่า 15 ซม. ถึง 30 ซม. เพราะถ้าสูงเกินกว่านี้ผิวน้ำจะโค้งลงมาก (draw-down) ทำให้น้ำไหลเร็วขึ้น อาจกัดเซาะพื้นลำธารได้ โดยทั่วไปความเร็วของน้ำที่ปากทางออกในกรณีนี้จะประมาณ 1.3 เท่าของความเร็วเฉลี่ยในท่อ จากข้อกำหนดนี้ ความสูงหรือเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ไม่ควรมากกว่าความลึกของน้ำในลำธารเกินกว่า 15 ถึง 30 ซม.

5. จากค่าอัตราการไหลผ่านท่อ ในข้อ 1 เส้นผ่าศูนย์กลางหรือความสูงของท่อจากข้อ 4 คำนวณหาความสูงของระดับน้ำปากท่อ (H_w) จากรูป (4.2a) หรือ (4.2b) ซึ่งใช้สำหรับกรณีที่การไหลเป็น Inlet Control

6. จากค่าอัตราการไหล และขนาดของท่อที่เลือกคำนวณหาค่า H ซึ่งเป็นผลต่างระหว่างระดับน้ำปากท่อกับระดับน้ำปลายท่อได้จากรูป (4.4a) หรือ (4.4b) ซึ่งใช้สำหรับการไหลแบบ Outlet Control ทั้งนี้โดยลากเส้นตรงระหว่างค่าเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และความยาวท่อตัดผ่าน Turning line จากนั้นลากเส้นตรงตัดจุดที่ Turning line นี้ และตัดแกน Q ที่ค่าอัตราการไหลที่เลือกต่อเลยมาอ่านค่า H

7. จากรูป 4.6a หรือ 4.6b คำนวณหาค่าความลึกวิกฤต d (Critical depth) ได้

8. เปรียบเทียบค่าระหว่างความลึกของน้ำในลำธารตรงปลายท่อกับค่า $\frac{d_c + D}{2}$

(D คือเส้นผ่าศูนย์กลางหรือความสูงของท่อ) ค่าที่มากกว่าจะเป็นค่า h_o

9. เมื่อทราบค่า h_o แล้ว คำนวณหาระดับน้ำที่ปากท่อ ในกรณีที่เป็น Outlet Control ได้จากสมการ

$$H_w = H + h_o - L S_o$$

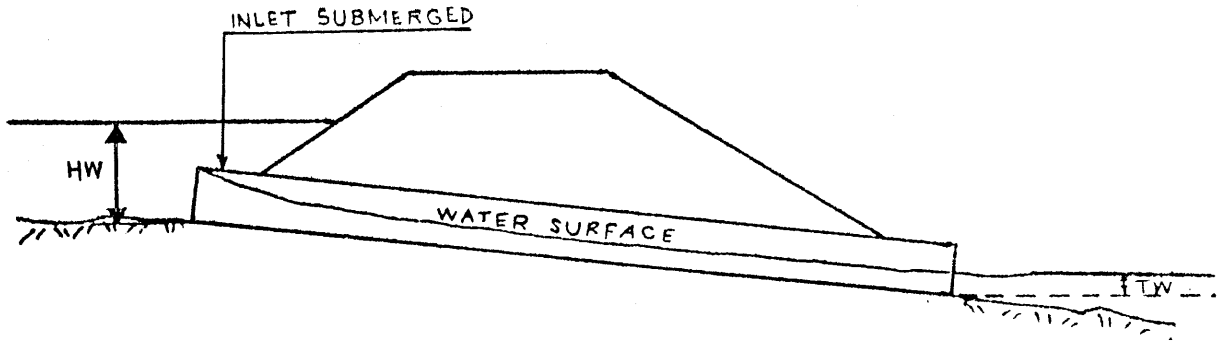
H_w = ความสูงของน้ำที่ปากท่อวัดจากพื้นของปากท่อ

L = ความยาวท่อ

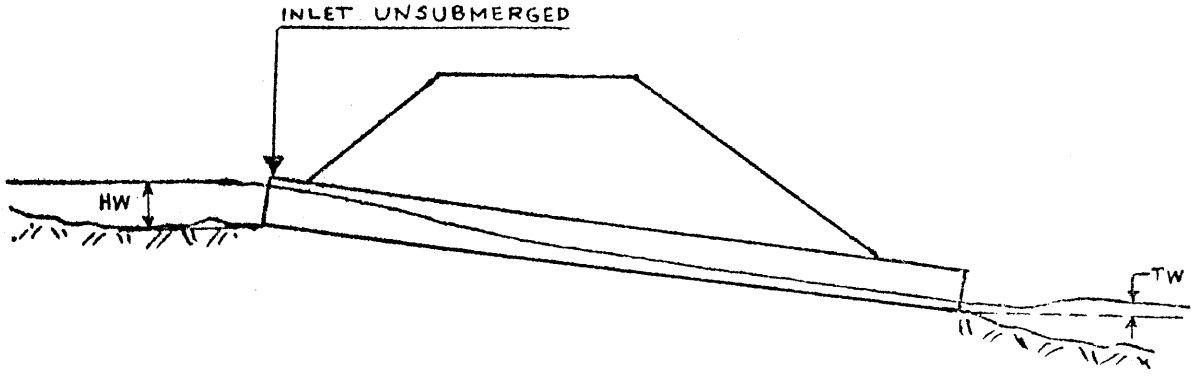
S_o = ความลาดเอียงของท่อ

10. เปรียบเทียบค่า H_w จากข้อ 5 กับข้อ 9 ถ้า H จากข้อ 5 มากกว่าการไหลจะเป็นแบบ Inlet Control ถ้า H_w จากข้อ 9 มากกว่าการไหลจะเป็นแบบ Outlet Control

11. เมื่อทราบลักษณะการไหลแล้วก็ตรวจสอบสภาพอื่นๆ เช่น Free board, ความเร็วของน้ำว่าเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่ ถ้าไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เช่น ระดับ H_w สูงเกินไป ทำให้ Free board ไม่เพียงพอ ก็เลือกขนาดใหม่



a) ORIFICE FLOW

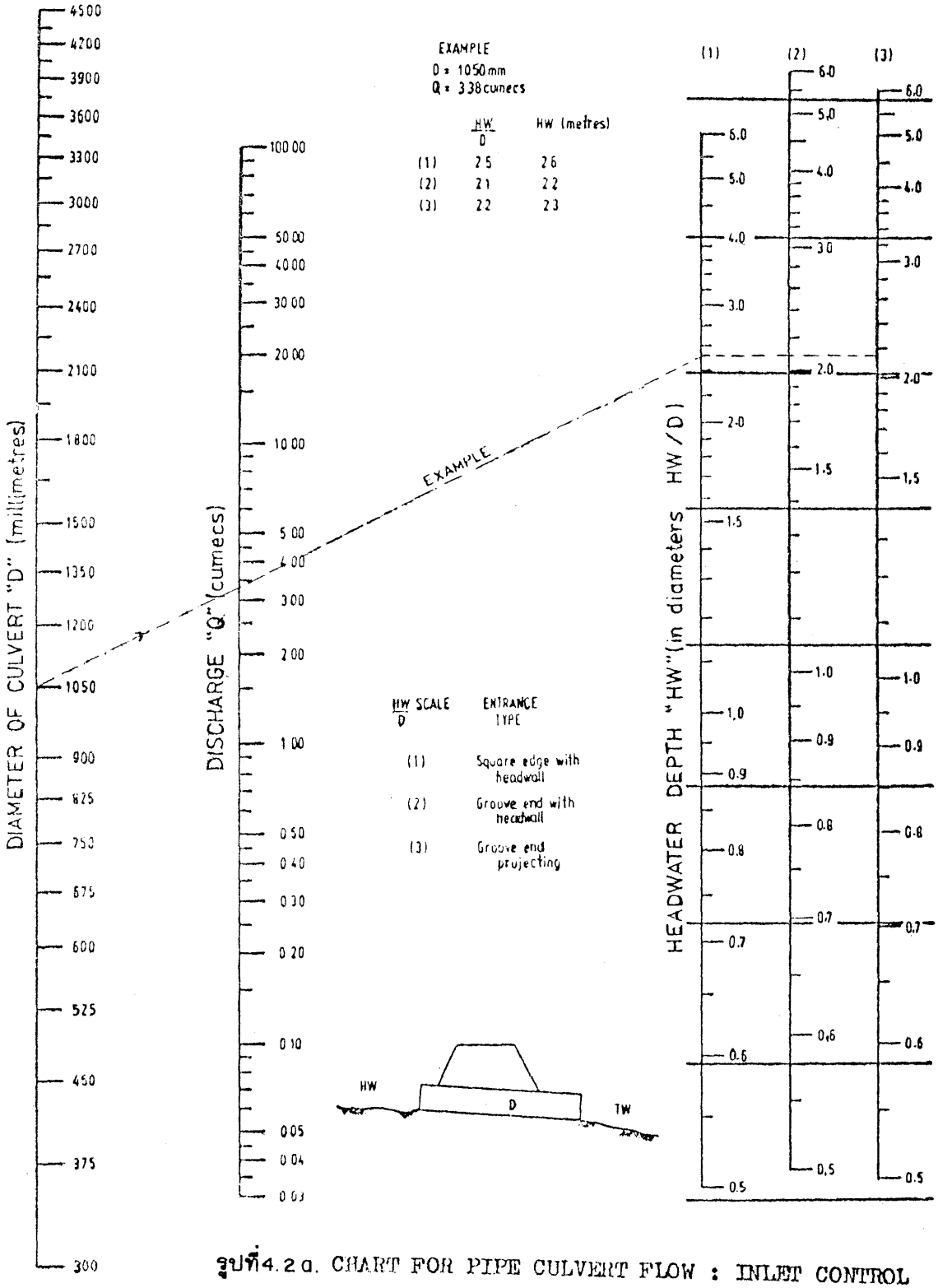


b) WEIR FLOW

รูปที่ 4.1 ลักษณะการไหลผ่านท่อลอดแบบ Inlet Control

PIPE CULVERT FLOW

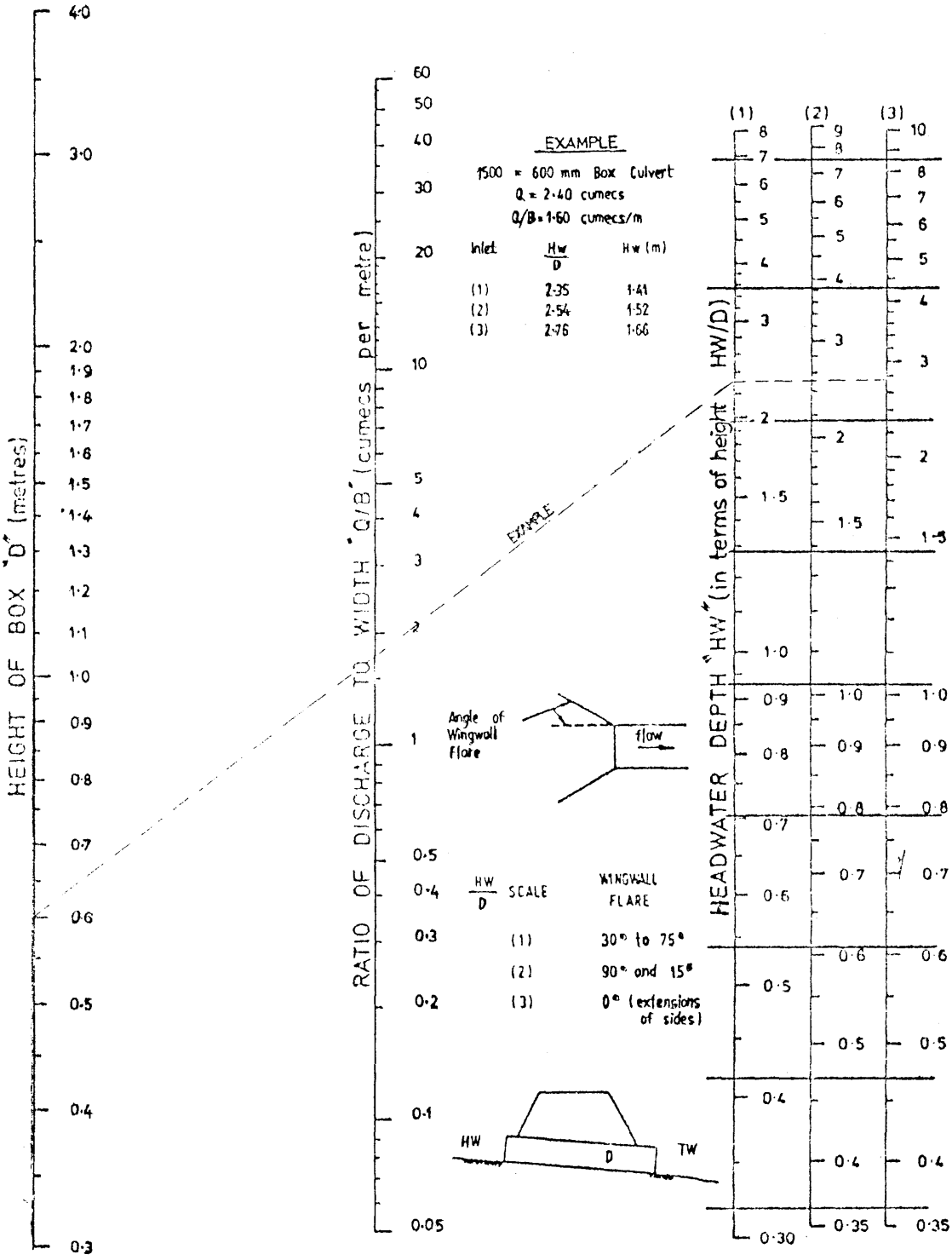
HEADWATER DEPTH FOR CONCRETE PIPES
INLET CONTROL



รูปที่ 4.2 a. CHART FOR PIPE CULVERT FLOW : INLET CONTROL

BOX CULVERT FLOW

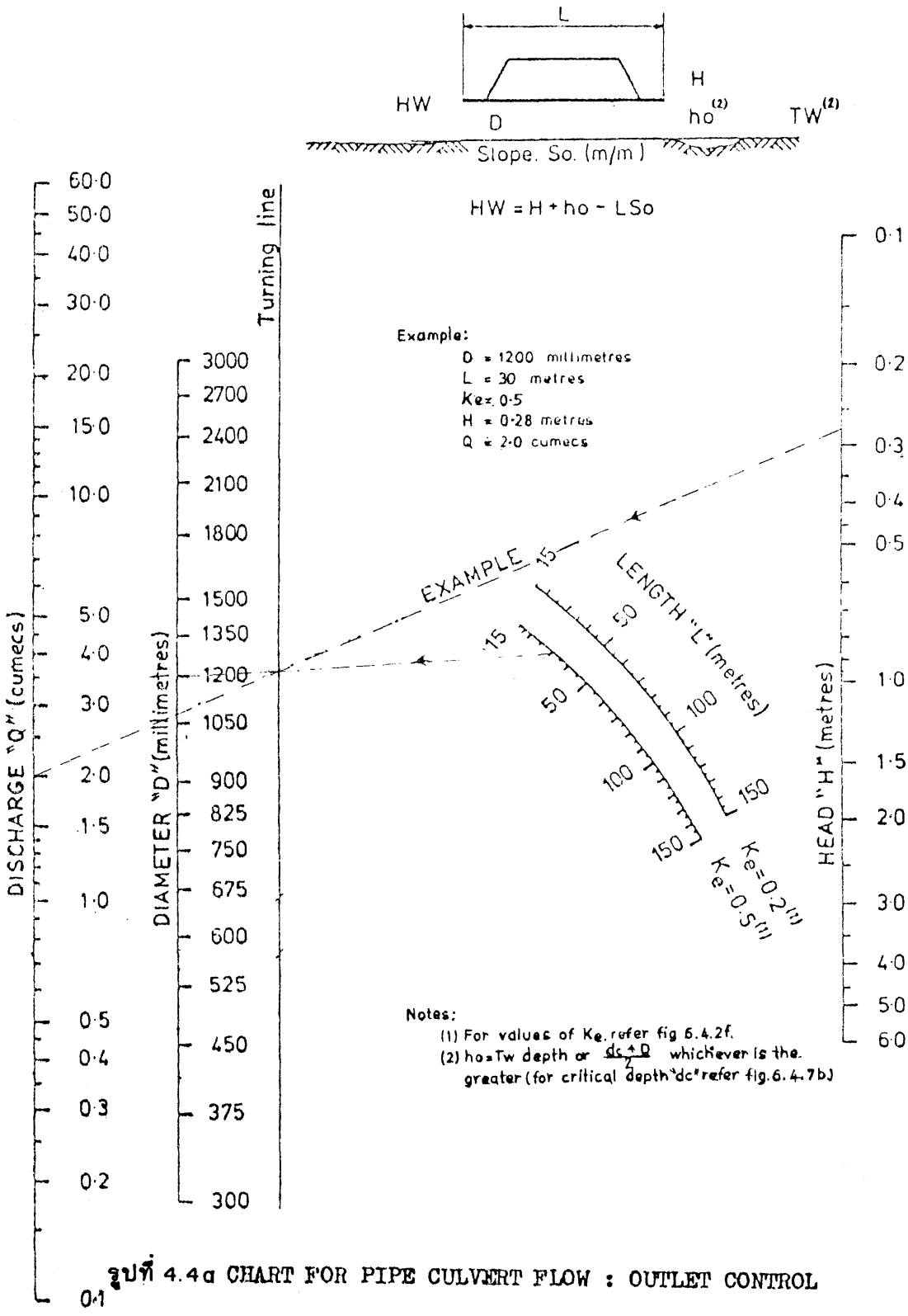
HEADWATER DEPTH FOR BOX CULVERTS
INLET CONTROL



รูปที่ 4.2b CHART FOR BOX CULVERT FLOW : INLET CONTROL

PIPE CULVERT FLOW

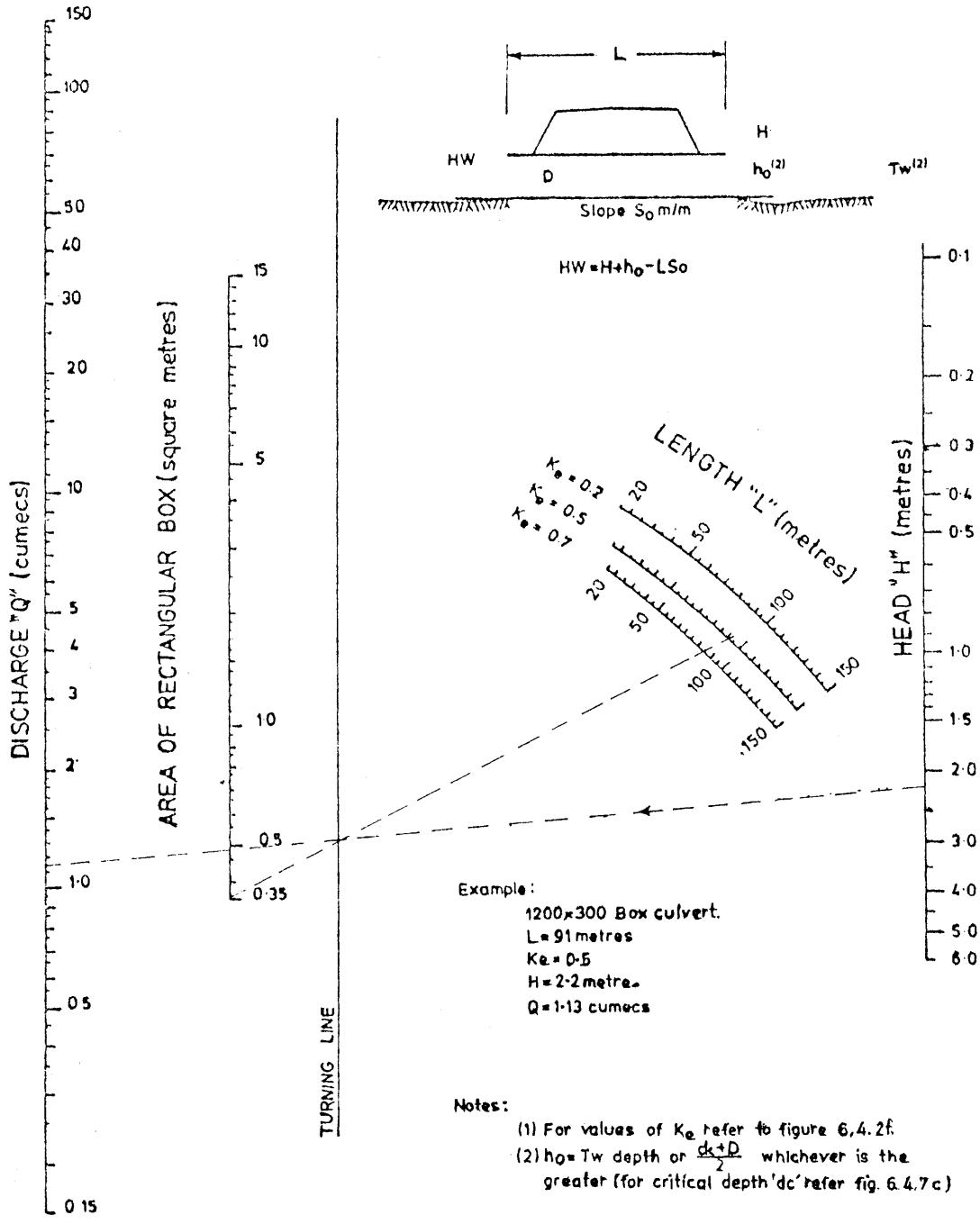
HEADWATER DEPTH FOR CONCRETE PIPES
OUTLET CONTROL



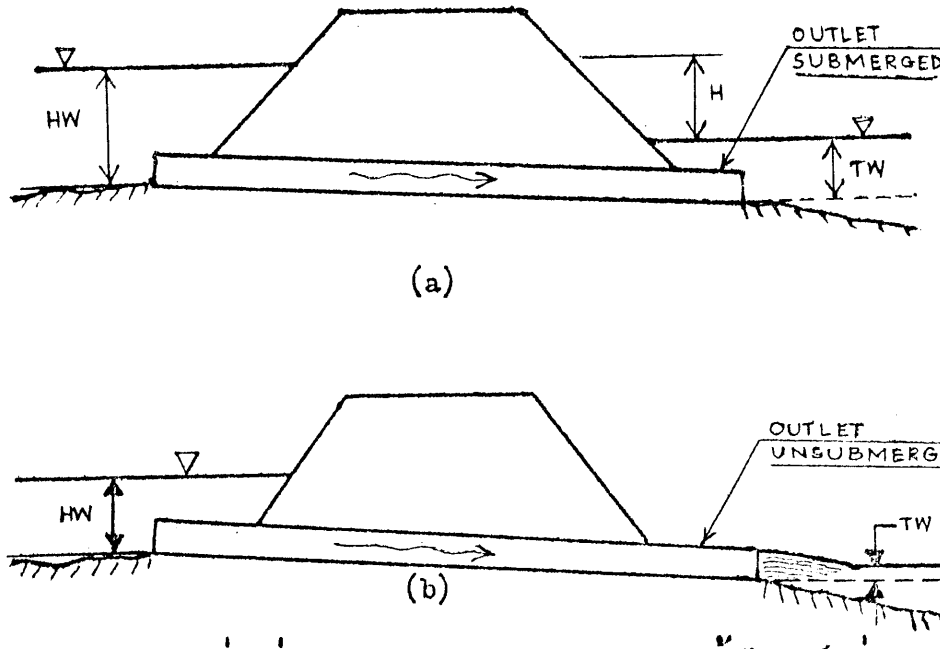
รูปที่ 4.4a CHART FOR PIPE CULVERT FLOW : OUTLET CONTROL

BOX CULVERT FLOW

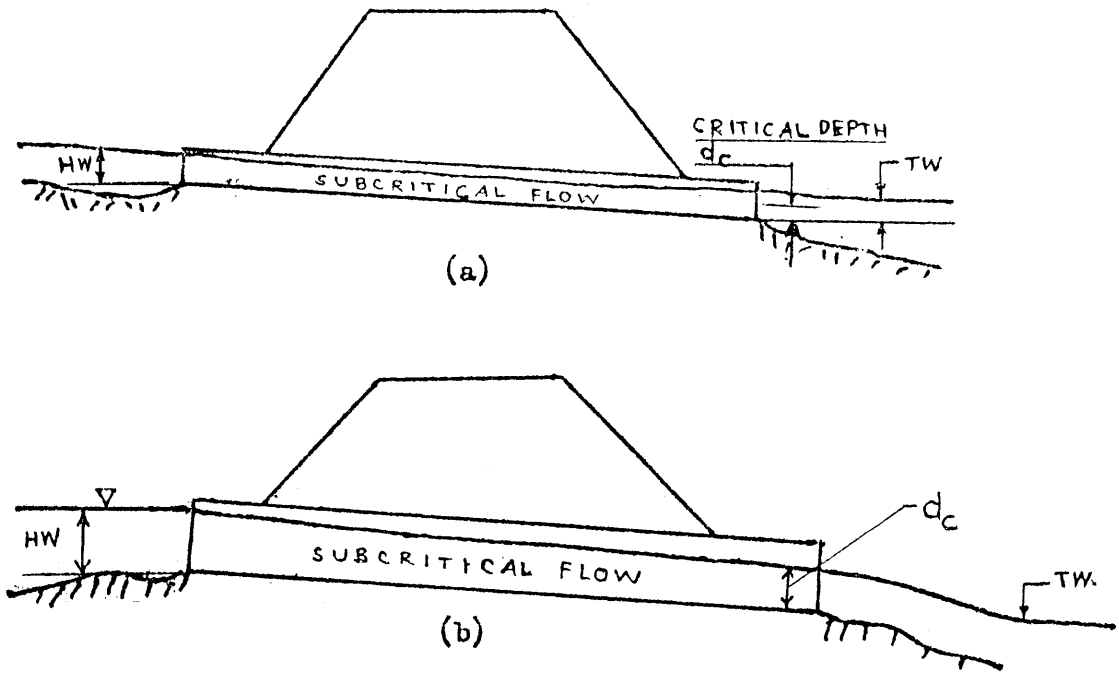
HEADWATER DEPTH FOR CONCRETE BOX CULVERTS
OUTLET CONTROL



รูปที่ 4.4 b CHART FOR BOX CULVERT FLOW : OUTLET CONTROL



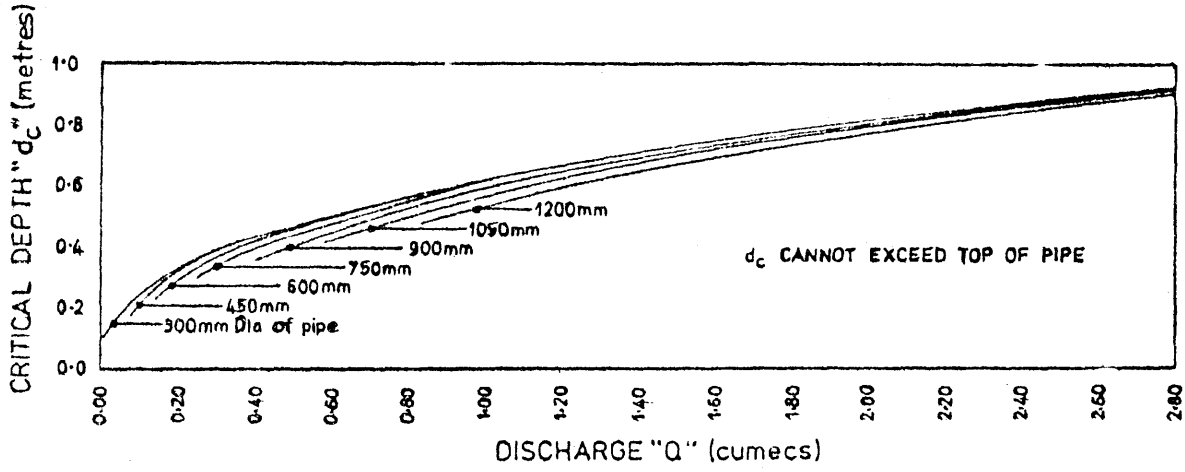
รูปที่4.3ลักษณะการไหลผ่านท่อลอดแบบ Outlet Control น้ำไหลเต็มท่อ

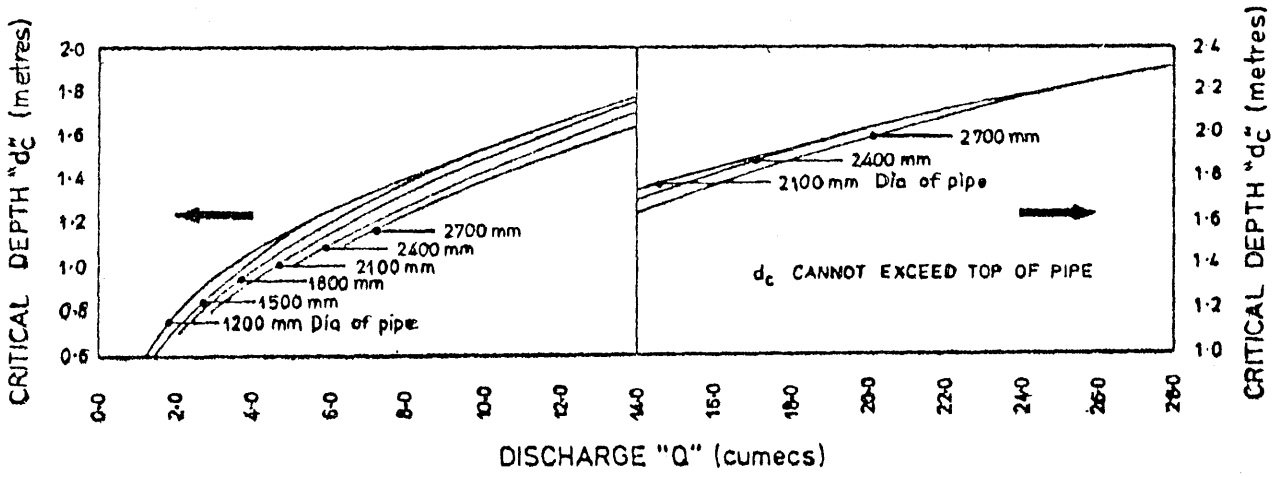


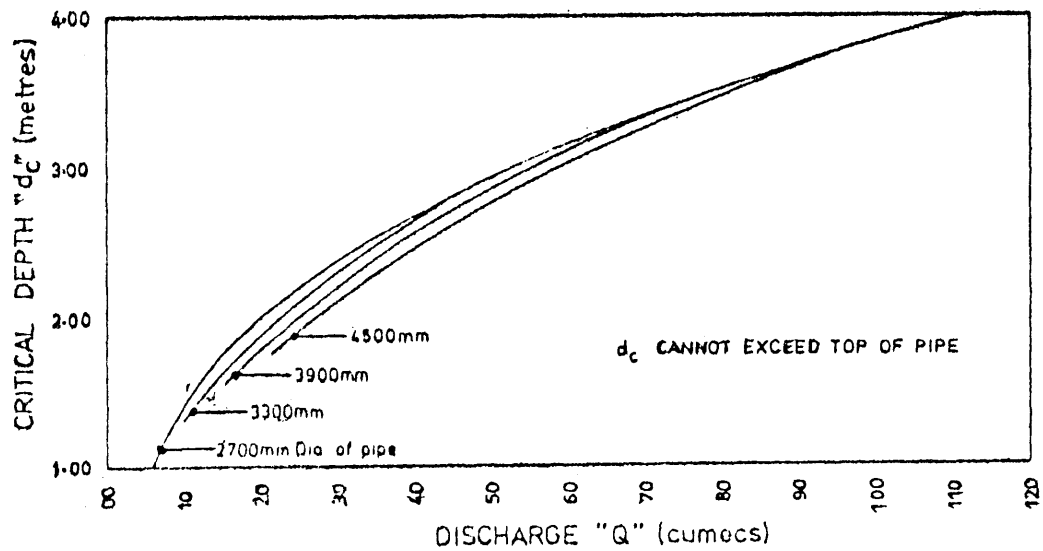
รูปที่4.5ลักษณะการไหลผ่านท่อลอดแบบ Outlet Control น้ำไหลไม่เต็มท่อ

CULVERT CAPACITY

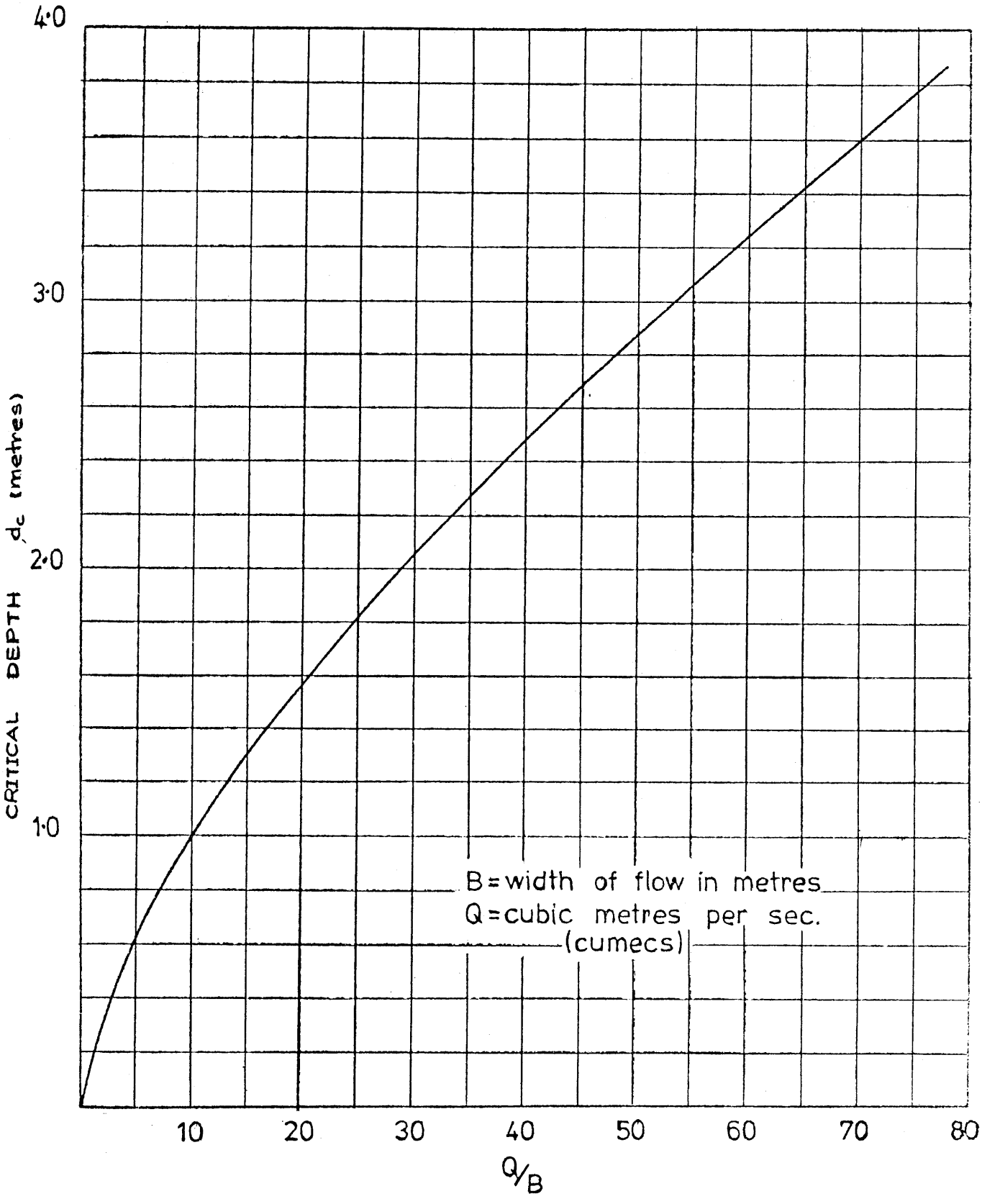
CRITICAL DEPTH "d_c" FOR CIRCULAR PIPES







รูปที่ 4.6a CRITICAL DEPTH สำหรับท่อกลม



รูปที่ 4.6 b CRITICAL DEPTH สำหรับท่อสี่เหลี่ยม

ภาค 2

คู่มือการออกแบบ
อาคารชลประทานในระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

ภาค 2

คู่มือการออกแบบ
อาคารชลประทานในระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

บทที่ 1 อาคารลำเลียงน้ำ (CONVEYANCE STRUCTURE) **หน้า**

1.1 ทั่วไป 77
1.1.1 จุดประสงค์ 77
1.2 ท่อลอดถนน (ROAD CROSSING) 77
1.2.1 จุดประสงค์ 77
1.2.2 การใช้งาน 77
1.2.3 ประโยชน์ 77
1.2.4 การพิจารณาออกแบบ 77
1.2.5 ตัวอย่างการออกแบบ 89
1.3 ท่อเชื่อม (INVERTED SIPHON) 91
1.3.1 จุดประสงค์ 91
1.3.2 การใช้งาน 91
1.3.3 ประโยชน์และโทษ 92
1.3.4 ส่วนประกอบของอาคาร 92
1.3.5 การพิจารณาออกแบบด้านชลศาสตร์ 93
1.3.6 ขั้นตอนการออกแบบ 96
1.3.7 ตัวอย่างการออกแบบ 97
1.4 รางน้ำและสะพานน้ำ (BENCH AND ELEVATED FLUMES) 100
1.4.1 จุดประสงค์ 100
1.4.2 การพิจารณาทางด้านชลศาสตร์ 101
1.4.3 ช่างต่อเชื่อม (TRANSITION) 102
1.4.4 การพิจารณาทางด้านโครงสร้างของ RECTANGULAR BENCH FLUME 103
1.4.5 ตัวอย่างการออกแบบ 103
1.5 น้ำตก หรืออาคารลดระดับ (DROP) 109
1.5.1 จุดประสงค์ 109
1.5.2 ข้อดีและข้อเสีย 110
1.5.3 ส่วนประกอบของอาคารน้ำตกเอียงแบบท่อชนิดที่ 1 110
1.5.4 การพิจารณาการออกแบบน้ำตกเอียงแบบท่อชนิดที่ 2 หรือท่อลดระดับชนิดที่ 2 112

1.5.5 ส่วนประกอบและการพิจารณาออกแบบน้ำตกเอียงแบบท่อชนิดที่ 2 หรือท่อลดระดับชนิดที่ 2 114
1.5.6 ตัวอย่างการคำนวณท่อลอดลดระดับชนิดที่ 1 115
1.6 รางเท (CHUTE) 128
1.6.1 จุดประสงค์ 128
1.6.2 รางเทแบบเปิด (OPEN CHANNEL CHUTE) 130
1.6.2.1 การพิจารณาออกแบบ 130
1.6.2.2 วิธีการออกแบบ 145
1.6.2.3 ตัวอย่างการออกแบบ 145
1.6.3 รางเทแบบท่อ (PIPE CHUTE) 160
1.6.3.1 จุดประสงค์ 160

บทที่ 2 อาคารควบคุม (REGULATING STRUCTURE)

2.1 ทั่วไป 169
2.2 อาคารอัดน้ำ (CHECK) 170
2.2.1 จุดประสงค์ 170
2.2.2 การนำเอาอาคารชนิดอื่นมาใช้ร่วมกับอาคารอัดน้ำ 170
2.2.3 การกำหนดระยะระหว่างอาคาร 172
2.2.4 การพิจารณาออกแบบ 172
2.2.5 ตัวอย่างการออกแบบ 173
2.3 อาคารอัดน้ำลดระดับ (CHECK DROP) 176
2.3.1 จุดประสงค์ 176
2.3.2 การพิจารณาออกแบบ 177
2.3.3 วิธีการใช้งาน 198
2.3.4 ตัวอย่างการออกแบบ 198
2.4 อาคารผันน้ำ (TURNOUT) 198
2.4.1 ท่อส่งน้ำเข้านา 198
2.4.2 ตัวอย่างการออกแบบ 200
2.5 อาคารแบ่งน้ำ (DIVISION STRUCTURE) 205
2.5.1 จุดประสงค์ 205
2.6 ปากทางเข้าท่อชนิดอัดน้ำ (CHECK AND PIPE INLET) 205
2.6.1 จุดประสงค์ 205
2.6.2 การใช้งาน 208
2.6.3 การพิจารณาออกแบบ 208
2.6.4 ลำดับอาคาร 211

2.6.5 ตัวอย่างการออกแบบ 211
2.7 ปากทางเข้าท่อชนิดควบคุมพลังงาน 219
2.7.1 จุดประสงค์ 219
2.7.2 การใช้งาน 220
2.7.3 การพิจารณาออกแบบ 220
2.7.4 ตัวอย่างการออกแบบ 223

บทที่ 3 อาคารทิ้งน้ำ (WASTEWAY STRUCTURE)

3.1 ทั่วไป 229
3.1.1 จุดประสงค์ 229
3.2 อาคารทิ้งน้ำ 229
3.2.1 รูปร่างลักษณะ 229
3.2.2 วิธีพิจารณาจุดที่ตั้งและจำนวนของอาคาร 232
3.2.3 วิธีการพิจารณาขนาดของอาคารทิ้งน้ำ 232
3.2.4 ขีดจำกัด (LIMITATION) 233
3.2.5 ทั่วไป 234
3.2.6 การพิจารณาออกแบบ 234
3.2.7 ตัวอย่างการออกแบบ 236
3.2.8 อาคารทิ้งน้ำชนิดใช้งาน (GATED WATEWAY TURNOUT) 243
3.2.8.1 ทั่วไป 243
3.2.8.2 การพิจารณาด้านชลศาสตร์ 244
3.2.8.3 เครื่องยกและเครื่องกว้าน (LIFTS AND HOISTS) 246
3.2.8.4 การพิจารณาสิ่งเบ็ดเตล็ด 248
3.2.8.5 ตัวอย่างการออกแบบ 248
3.2.9 ทางระบายน้ำล้นแบบไซฟอน (SIPHON SPILLWAY) 251
3.2.9.1 ทั่วไป 251
3.2.9.2 การพิจารณาออกแบบ 252
3.2.9.3 ตัวอย่างการออกแบบ 254
3.2.10 อาคารทิ้งน้ำชนิดเป็นอาคารอัดน้ำ (CHECK INLET WASTEWAY TURNOUT) 257
3.2.10.1 ทั่วไป 257
3.2.10.2 การพิจารณาออกแบบ 257
3.3 อาคารระบายน้ำตัดผ่านคลองส่งน้ำ 261
3.3.1 ท่อระบายน้ำ (CULVERT) 261
3.3.2 ส่วนประกอบของท่อระบายน้ำ 261
3.3.3 การคำนวณออกแบบ 261

3.3.3.1 การออกแบบทางชลศาสตร์ (HYDRAULIC DESIGN) 261
3.3.3.2 การออกแบบโครงสร้าง (STRUCTURE DESIGN) 262
3.3.3.3 ตัวอย่างการออกแบบ 264

บทที่ 4 อาคารสลายพลังงาน (ENERGY DISSIPATED STRUCTURE)

4.1 ทั่วไป 277
4.1.1 ส่วนสลายพลังงาน (ENERGY DISSIPATOR) 277
4.2 น้ำตกเอียงแบบพื้นแรงมีฟันตะเข้ (BAFFLED APRON DROP) 277
4.2.1 ทั่วไป 277
4.2.2 การพิจารณาออกแบบ 278
4.2.3 ตัวอย่างการออกแบบ 284
4.3 อาคารปากทางออกแบบมีแผงสลายพลังงาน (BAFFLED OUTLET) 291
4.3.1 วัตถุประสงค์ 291
4.3.2 การพิจารณาด้านชลศาสตร์ 291
4.3.3 การตกตะกอนและขยะ (SEDIMENT AND DEBRIS) 292
4.3.4 การป้องกันและกัดเซาะ (EROSION PROTECTION) 294
4.3.5 วิธีการกำหนดความกว้างอ่าง 294
4.3.6 ตัวอย่างการออกแบบ 294

บทที่ 5 อาคารวัดน้ำชลประทาน (WATER MEASUREMENT STRUCTURE)

5.1 ทั่วไป 297
5.1.1 การวัดน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 297
5.1.2 ลักษณะของเครื่องมือวัดน้ำที่ดี 298
5.2 ฝายวัดน้ำ 298
5.2.1 ข้อกำหนดในการติดตั้งฝายวัดน้ำ 299
5.2.2 การคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายวัดน้ำ 301
5.2.3 ข้อดีและข้อเสียของฝายวัดน้ำ 312
5.3 หลักการเบื้องต้นของรางวัดน้ำ 312
5.3.1 รางวัดน้ำแบบพาร์แชล (PARSHALL FLUME) 313
5.3.2 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล 313
5.3.3 การติดตั้งรางวัดน้ำแบบพาร์แชลเพื่อให้การไหลเป็นแบบอิสระ 327
5.3.4 ข้อกำหนดในการติดตั้งและการใช้งานของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล 329
5.3.5 ข้อดีและข้อเสียของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล 329
5.4 รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (CUT-THROAT FLUME) 330
5.4.1 อัตราการไหลผ่านแรงวัดน้ำแบบไม่มีคอ 330

5.4.2 การติดตั้งรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ 341
5.5 อาคารวัดน้ำชนิดที่มีความต่างระดับคงที่ (CHO) 342
5.6 การวัดความเร็วของกระแสน้ำ 346

บทที่ 6 เครื่องป้องกันเพื่อความปลอดภัย (SAFETY DEVICE)

6.1 ทั่วไป 349
6.2 การแบ่งชั้นอุบัติภัย 349
6.3 อุปกรณ์ความปลอดภัย 349
6.3.1 รั้ว (FENCING) 350
6.3.2 ราวป้องกัน (MOUNTING) 351
6.3.3 ป้ายสัญญาณเตือน (WARNING SIGN) 360
6.3.4 อุปกรณ์ป้องกันคนเดินผ่านท่อ (PIPE SAFETY BARRIER) 360

บทที่ 1
อาคารลำเลียงน้ำ
(Conveyance Structures)

1.1 ทั่วไป

1.1.1 จุดประสงค์ Conveyance structures คืออาคาร เช่น Road Crossing, Inverted Siphon, drop, Chute, flume อาคารเหล่านี้ใช้เพื่อนำน้ำผ่านทางน้ำธรรมชาติ หรือถนน

1.2 ท่อลอดถนน (Road Crossing)

1.2.1 จุดประสงค์ Road Crossing ใช้เพื่อนำน้ำผ่านถนน หรือทางรถไฟ โดยทั่วไปมักใช้ท่อกลม ในเรื่องที่จะกล่าวถึงนี้จะพูดถึง Road Crossing ที่เป็นท่อตรง (รูปที่ 1-1) Road Crossing อาจมีข้องอก็ได้ ซึ่งจะมีการทำงานเหมือน Inverted siphons, drop หรือ Chute

Road Crossing ที่เป็นท่อตรงจะออกแบบให้มีแรงดันในท่อต่ำหรือไม่มีเลย ซึ่งหมายความว่า hydraulic gradient ใกล้หรือต่ำกว่าด้านบนของท่อ

1.2.2 การใช้งาน การพิจารณาจะใช้ต่อเมื่อมี hydraulic head และราคาเหมาะสม เนื่องจากใช้ Road Crossing จะถูกกว่าใช้สะพาน ในกรณีที่ Q ไม่มากนัก และจะต้องมี Head พอสมควร จากการปฏิบัติงานจริงในสนามที่โครงการพิษณุโลก พบว่า Q < 2.5 cms และมี Head 5 cm. การใช้ Road Crossing จะถูกกว่าสะพาน

1.2.3 ประโยชน์ของ pipe road Crossing ประหยัด ออกแบบก่อสร้างง่าย และใช้ได้ผลดีในการนำน้ำลอดถนน โดยปกติแล้วการกัดเซาะที่ท้ายท่อของ road crossing ในคลองดินมีไม่มาก เมื่อมี Transition และ Riprap หรือ Gravel protection

Road Crossing ทำให้ Road bed สม่ำเสมอ และทำให้สามารถมีรางระบายน้ำตามถนนแทนที่จะต้องระบายลงคลอง

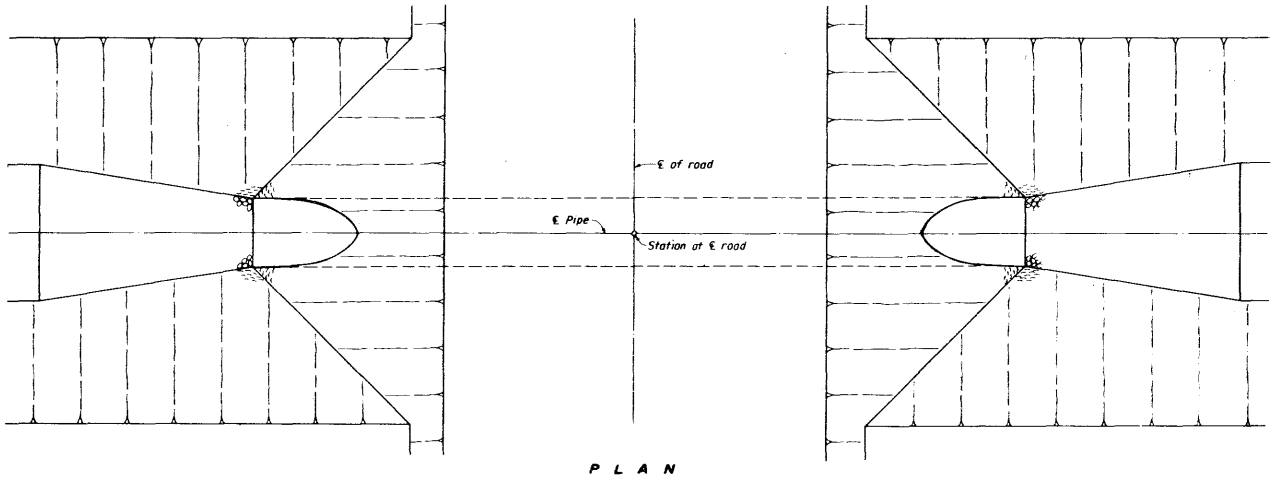
1.2.4 การพิจารณาออกแบบ

ก. Pipe (ท่อ) อาจใช้ท่อเหล็ก, ท่อ asbestos cement หรือ ท่อ คสล. หล่อสำเร็จรูป ท่อเหล็กนี้ไม่จำเป็นต้องห่วงเรื่อง Water tight มากนัก การจะเลือกใช้ท่อขึ้นอยู่กับ Hydraulic efficiency, ความคงทนต่อสิ่งแวดล้อมและราคา

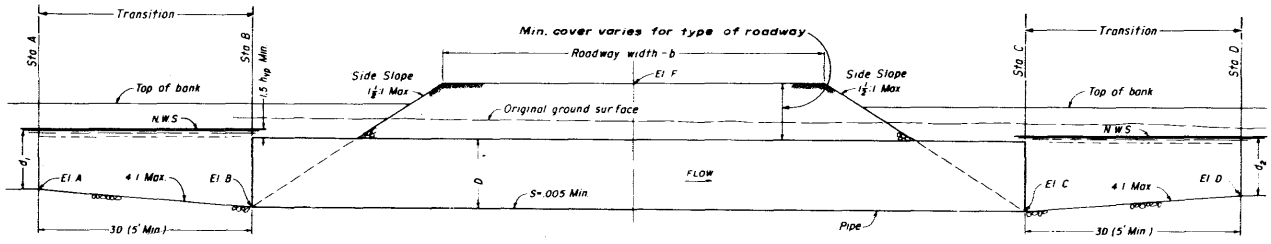
การเลือกขนาดความหนาของท่อเมื่อเป็นท่อชนิดสำเร็จรูปนั้นจะต้องดูจาก specification ของผู้ผลิต และเนื่องจากโดยปกติ Pressure ในท่อสำหรับอาคารแบบนี้ต่ำ หรือไม่มีเลย ดังนั้นการต่อท่อชนิด Type B ก็เป็นการเพียงพอแล้วดังแสดงในรูปที่ 1-2

ในการเลือกขนาด ของท่อจะต้องพิจารณาจาก

1. V < 1.0 m/s เมื่อใช้ eath trnsition
2. V < 1.5 m/s เมื่อใช้ Concrete transition

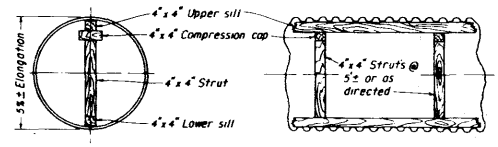


PLAN



LONGITUDINAL SECTION

PIPE DIAMETER SELECTION DATA					
MAX. V=3.5 fps (EARTH TRANSITION)		MAX. V=5.0 fps (CONC. TRANSITION)		PIPE	
Q (cfs)		Q (cfs)		DIA.	AREA
FROM	INCLUDING	FROM	INCLUDING	(INCHES)	(SQ. FT.)
0	2.7	0	3.9	12	0.785
2.7	4.3	3.9	6.1	15	1.227
4.3	6.2	6.1	8.8	18	1.767
6.2	8.4	8.8	12.0	21	2.405
8.4	11.0	12.0	15.7	24	3.142
11.0	13.9	15.7	19.9	27	3.976
13.9	17.2	19.9	24.5	30	4.909
17.2	20.8	24.5	29.7	33	5.940
20.8	24.7	29.7	35.3	36	7.069
24.7	29.0	35.3	41.5	39	8.296
29.0	33.7	41.5	48.1	42	9.621
33.7	38.7	48.1	55.2	45	11.045
38.7	44.0	55.2	62.8	48	12.566
44.0	49.7	62.8	70.9	51	14.186
49.7	55.7	70.9	79.5	54	15.904
55.7	62.0	79.5	88.6	57	17.721
62.0	68.7	88.6	98.2	60	19.635
68.7	75.8			63	21.648
75.8	83.2			66	23.758
83.2	90.9			69	25.967
90.9	99.0			72	28.274



METHOD OF STRUTTING CORRUGATED METAL PIPE

No strutting required for pipes less than 54-inches in diameter. Pipe strutting to be installed before backfill is placed, and to remain in place until embankment is completed

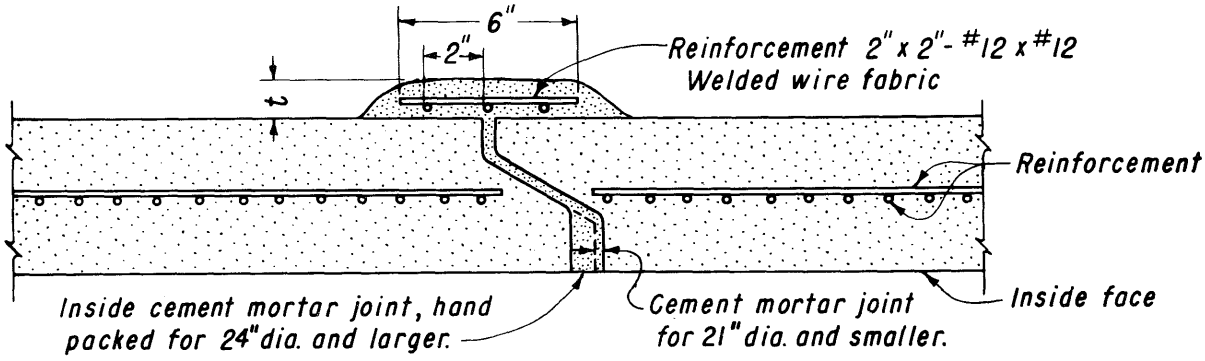
NOTES

Pipe may terminate in concrete structure or concrete transition at either end as directed

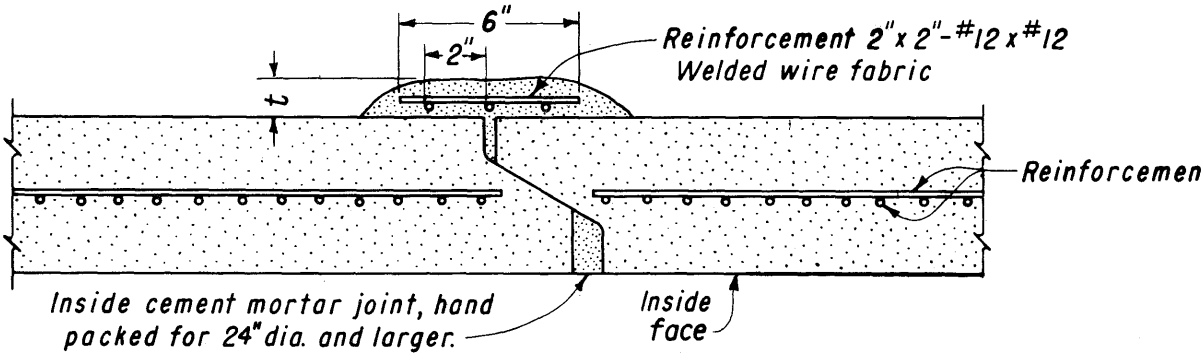
Elevation F is approximate elevation of finished grade of road

Pipe may be Corrugated Metal Pipe (CMP), Concrete Culvert Pipe (RCCP), or Precast Concrete Pressure Pipe (PCP)

รูปที่ 1-1 **Road crossing plan and section.**



TONGUE AND GROOVE JOINT
TYPE B



SELF-CENTERING JOINT
TYPE B-1

DIA OF PIPE	12" TO 20"	21" TO 24"	27" TO 33"	36" TO 45"	48" TO 51"	54" TO 60"	63" TO 96"
MINIMUM THICKNESS (t)	$\frac{5}{8}$"	$\frac{3}{4}$"	1"	$1\frac{1}{4}$"	$1\frac{1}{2}$"	$1\frac{3}{4}$"	2"

รูปที่ 1-2 Precast concrete pipe joints–types B and B-1.

3. น้ำควรจะท่วมปากท่อ $\not<$ 1.5 h_{vp} และไม่น้อยกว่า 8 cm.

4. ท่อควรจะลาด > 0.005 เพื่อที่จะไม่ให้เกิดน้ำขังในท่อ

ความลึกของดินทับหลังท่อ

1. สำหรับถนนทุกชนิดนอกจาก Farm Road จะต้องฝังท่อลึกไม่น้อยกว่า 90 ซม. ในกรณีที่มีทางระบายน้ำตามถนนด้วย จากระยะกันทางระบายน้ำถึงหลังท่อจะต้องไม่น้อยกว่า 60 ซม.

2. สำหรับ Farm Road ดินถมทับหลังท่อจะต้องไม่น้อยกว่า 60 ซม. หากจำเป็นอาจจะต้องทำ Farm Road ให้สูงขึ้นกว่าระดับถนนปกติแล้วทำลาด 1:10 ลงไปหาถนนเดิม

เนื่องจากกฎเกณฑ์ของดินถมทับหลังท่อนี้อาจทำให้จำเป็นที่จะต้องให้พื้นท่ออยู่ต่ำกว่าที่ระดับคำนวณ (ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ -(1.5 h_{vp} +dia)) แต่อย่างไรก็ตามระดับพื้นท่อจะอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นคลองได้ไม่มากกว่า 1/2 Dia. นอกจากว่ามีอาคารบังคับน้ำอย่างอื่นประกอบอยู่ด้วย

ความกว้างของถนน และลาด side slope ถนนจะต้องคงสภาพเช่นเดิม นอกจากมีกฎเกณฑ์เป็นอย่างอื่น side slope จะต้องไม่ชันกว่า 1:1$\frac{1}{2}$

ข. Transitions เนื่องจากคุณสมบัติของ Transitions มีเพื่อที่จะลด head losses, ลดการกัดเซาะ ดังนั้น จึงต้องเลือกว่าจะใช้ Transitions ประเภท concrete, ดิน, หรือดินผสมกับ Concrete

Road Crossing ที่ต้องออกแบบเป็น Concrete transition หรือ Control structure ชนิดทางด้าน Inlet และ Outlet เป็น Concrete Transition คือ

- ท่อลอดทางหลวงและทางรถไฟ
- ท่อลอดที่มีขนาด 1.0 ม. ขึ้นไป
- ท่อที่มีความเร็วมากกว่า 1.0 m/sec ที่ใช้กับคลองดิน

Transition รูปที่ 1-3 แสดง Concrete inlet transition-type 4

Transition รูปที่ 1-4 แสดง Concrete transition-type 1

ความยาวของ Transi5ion เท่ากับ 3 เท่าของ diameter ของท่อเป็นความยาวที่เพียงพอสำหรับเปลี่ยนให้ความเร็วของน้ำเรียบ

ระยะ B คือ ความยาวโดยประมาณที่ทำให้กำแพงด้านเอียง เริ่มที่จุด Head Wall สัมผัสกับปากท่อ

สำหรับ ss. = 1:1$\frac{1}{2}$ ค่า B = 0.303 D

ระยะ C ซึ่งเป็นความกว้างของพื้นตรงจุด Cutoff ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมของผิวน้ำ หากสมมุติให้ค่า

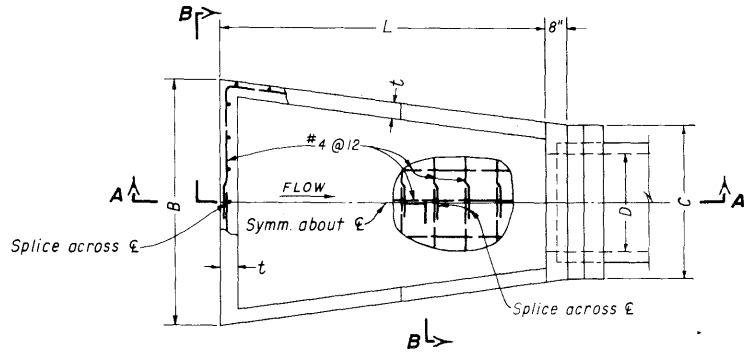
y-0.15 ม. = ความลึกของน้ำตรงส่วน cutoff ค่าของ C จะหาได้ดังนี้

สำหรับมุมผิวน้ำ 22$\frac{1}{2}$°

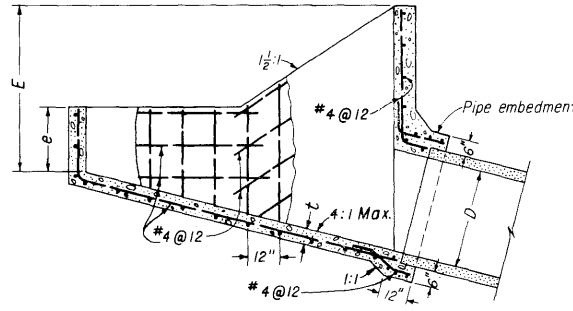
c = 0.5D เมื่อ D = d

c = 1.1D เมื่อ D = 1.25 d

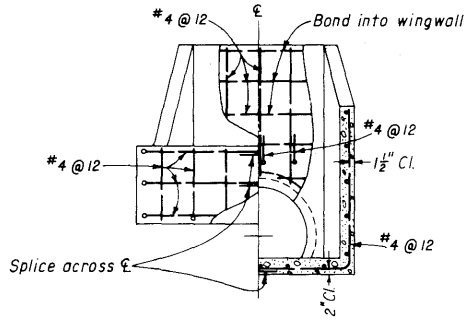
c = 1.5D เมื่อ D = 1.5 d



PLAN



SECTION A-A



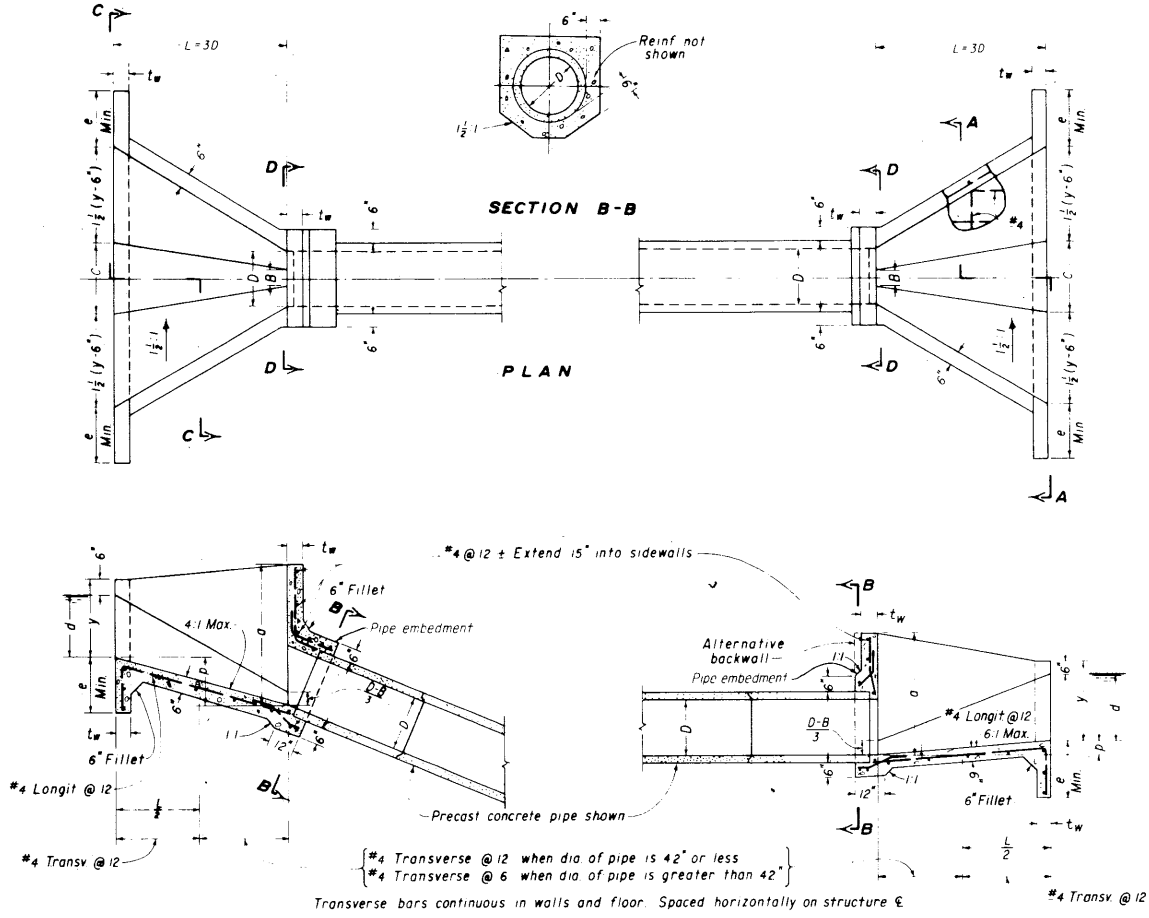
SECTION B-B

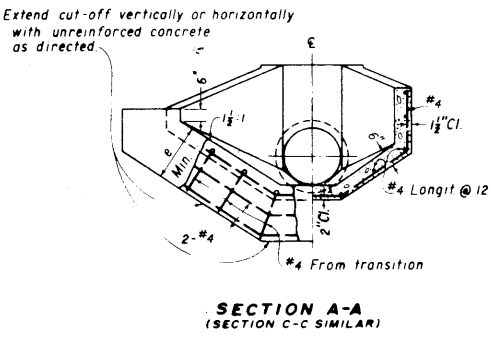
TABLE OF DIMENSIONS AND QUANTITIES

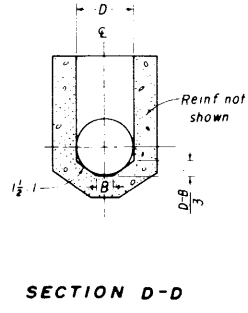
DIA.	E	e	L	B	C	t	CONC. (CU.YDS.)	REINF. (LBS.)
24"	4'-0"	24"	8'-0"	5'-0"	3'-6"	5"	1.7	120
30"	4'-6"	24"	9'-0"	6'-6"	4'-2"	5"	2.2	150
36"	5'-0"	24"	10'-0"	7'-6"	4'-8"	5"	2.7	190
42"	5'-6"	2'-6"	11'-0"	9'-0"	5'-3"	6"	4.0	280
48"	6'-0"	2'-6"	12'-0"	10'-6"	6'-0"	7"	4.8	340
54"	6'-6"	2'-6"	13'-0"	12'-0"	6'-7"	7"	5.6	390
60"	7'-0"	2'-6"	14'-0"	13'-6"	7'-2"	7"	6.5	460

Tabulated dimensions provide for control at the headwall with a full pipe velocity of 12 fps

รูปที่ 1-3 Concrete inlet transitions–type 4.







DIMENSIONS e AND t_w

DEPTH (d) OF WATER IN CANAL	e	t_w
0' to 3'	24"	6"
3' to 6'	2'-6"	8"
Greater than 6'	3'-0"	8"

DIMENSION C

RELATIONSHIP OF PIPE DIAMETER (D) TO DEPTH (d) IN CANAL	C WITH WATER SURFACE ANGLE OF 22½°	C WITH WATER SURFACE ANGLE OF 25°	C WITH WATER SURFACE ANGLE OF 27½°
D=d	.5D	8D	1.1D
D=1.25d	1.1D	1.4D	1.7D
D=1.5d	1.5D	1.8D	2.1D
D=2d	2.0D	2.3D	2.6D

NOTES

The minimum freeboard at the transition cutoff of structures in earth lined or unlined canals should be 6 inches for depths of water at the cutoff of 0 to 1.25 feet, 9 inches for depths 1.26 to 2.00 feet, and 12 inches for depths 2.00 to 5.00 feet.

The freeboard at the transition cutoff of structures in hard surface lined canals should be the same as the freeboard of the lining.

The freeboard at transition headwalls should be equal to or greater than the freeboard at the cutoff for 24 inch pipe and smaller and the freeboard should increase as the size of the structure increases.

B=.303D

y=Depth (d) at cutoff plus freeboard at cutoff.

The elevation of the invert at the headwall is determined from the required submergence at the headwall opening.

รูปที่ 1-4 Concrete transitions–type 1.

c = 2D เมื่อ D = 2 d

สำหรับมุมผิวน้ำ 25°

c = 0.8D เมื่อ D = d

c = 1.4D เมื่อ D = 1.25d

c = 1.8D เมื่อ D = 1.5d

c = 2.3D เมื่อ D = 2d

สำหรับมุมผิวน้ำ $27\frac{1}{2}^{\circ}$

c = 1.1D เมื่อ D = d

c = 1.7D เมื่อ D = 1.25d

c = 2.1D เมื่อ D = 1.5d

c = 2.6D เมื่อ D = 2d

เมื่อ D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ, d = ความลึกของน้ำตรง cut off หากต้องการความยาวของส่วน Transition เพิ่มเติมให้ถึงความกว้างของท้องคลองที่ต้องการอาจทำได้โดยต่อเป็นคลองดิน หรือเป็น Concrete lined transition

ระยะ y จะต้องไม่น้อยกว่าผลบวกของความลึกของน้ำที่ cutoff กับ Free board ที่ Design เพื่อที่จะไม่ได้เกิดการกัดเซาะมากเกินไปสำหรับคลองดินระดับของพื้นตรง cutoff กับระดับพื้นคลองจะต้องให้อยู่ในระดับเดียวกัน

Freeboard ที่ Transition cut off ตรงส่วนต่อระหว่างคลองดาดมักจะมีค่าเดียวกับส่วนที่ดาดคลอง สำหรับคลองไม่เกิน 1.4 cms. freeboard มักจะเป็น 15 ซม. และสำหรับคลองระหว่าง 1.4 cms - 2.5 cms. freeboard จะอยู่ระหว่าง 15-45 ซม.

สำหรับคลองดินค่า freeboare จะมีดังต่อไปนี้

ความลึกของน้ำตรง Cut off (ม.)	Minimum Freeboard (ม.)
0 ถึง 0.40	0.15
0.41 ถึง 0.60	0.25
0.61 ถึง 1..50	0.30

ค่า p คือค่าความต่างระหว่างระดับพื้น Transition ตรง Cut off กับที่ headwall Opening ระดับพื้นตรง headwall Opening กำหนดโดยให้น้ำท่วน Opening ตามที่ได้กล่าวถึงมาแล้ว และระดับพื้น Transition ที่ Cut off สมมุติให้อยู่ที่พื้นคลอง

สำหรับ inlet transition $p < \frac{3}{4} D$

สำหรับ Outlet transition $p < \frac{1}{2} D$

ระยะที่กำหนดเพื่อที่จะไม่ให้ slope ของพื้น Inlet transition ชันกว่า 1:4 และไม่ให้พื้น Outlet transition ชันกว่า 1:6 หากต้องการเพิ่มส่วน Transition เพื่อให้ถึงพื้นคลองต่อส่วนที่เหลือด้วย Earth Transition ในกรณีของคลองดินหากเป็นคลอง lined ก็ต่อด้วย Concrete

ระยะ a ขึ้นอยู่กับ Freeboard ที่ออกแบบตรง headwall และระดับพื้น Opening ตามที่ต้องการให้น้ำท่วม Opening ตามที่ได้กล่าวถึงมาแล้ว Freeboard ตรง Headwall สำหรับ Broken-back transition จะต้องเท่ากับหรือมากกว่า Freeboard ตรง Cutoff หลักเกณฑ์ปกติที่ใช้ในการกำหนด Freeboard คือ

สำหรับ $\varnothing < 0.60$; headwall freeboard = Cutoff freeboard

สำหรับ $\varnothing > 0.60$; headwall freeboard = Cutoff freeboard + 0.2 (cutoff freeboard)

สำหรับขนาดของ Cutoff ใช้ตามที่ได้กล่าวถึงมาแล้ว

สำหรับการต่อท่อกับ Transition มีแสดงไว้ในรูปที่ 1-5

รูปที่ 1-5 แสดง Precast Concrete Pipe Embedment

Transition type 2 รูปที่ 1-6 แสดงถึงแบบ transition type 2

Dimension ต่างๆ ตามตารางนั้นใช้สำหรับน้ำไหลเต็มท่อที่มีความเร็ว 10 ฟุต/วินาที และไหลเป็น free flow ที่มี Hydraulic control เกิดที่ Inlet headwall ในการออกแบบที่ใช้ Transition แบบนี้มักใช้กับ Cross-drainage structure ซึ่งโดยปรกติมักจะเป็นท่อที่ไหลแบบ free flow ซึ่งมีระดับน้ำตรงท้ายน้ำต่ำกว่าระดับพื้น Opening ด้านเหนือน้ำ ในการออกแบบ Cross drainage culvert ที่มี Concrete Outlet transition จะใช้ความเร็วสูงสุดไม่เกิน 10 ฟุต/วินาที

เพื่อป้องกันการกัดเซาะที่ด้าน Inlet ระดับของ Transition ตรง Cutoff จะกำหนดประมาณที่ระดับดินเดิมเนื่องจากพื้นที่ของ Transition เป็นลาดทำให้ Opening ที่ headwall ต่ำลงด้วย และเพราะว่า hydraulic control เกิดที่ Intel headwall ทำให้ระดับน้ำที่จะทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลมีระดับต่ำลงด้วย

Inlet Sidewall ต้องผายออกด้วยเหตุผล 3 อย่างคือ

1. เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพทาง hydraulic ที่ทางเข้าของ Opening ซึ่งมีลักษณะเป็น Orifice ดีขึ้นที่จุด Headwall
2. เพื่อเพิ่มความกว้างที่ cutoff เพื่อเป็นที่แน่ใจได้ว่า hydraulic control ที่ปากท่อเป็นไปอย่างดี
3. เพื่อเพิ่มความกว้างที่ Cutoff ซึ่งมีผลในการลดการกัดเซาะที่เกิดจากการลด depth และ Velocity เมื่อมี Flow น้อยกว่า flow ที่ design

การผายออกของ Outlet Sidewall ก็เพื่อให้น้ำไหลได้โดยมีการกัดเซาะน้อยเมื่อมีน้ำผ่านเป็นบางส่วน

จากตารางรูป (1-6) ค่า freeboard ที่ Inlet headwall เพิ่มตามขนาดของอาคาร หากการท่วมท่อที่ headwall ไม่ได้เป็นที่สนใจ ตารางเหล่านี้ก็ใช้ได้ด้วยความเร็วสูงถึง 12 ฟุต/วินาที ซึ่งหากใช้ความเร็วขนาดนี้จะต้องใช้ Baffled Outlet ช่วยสลายพลังงาน

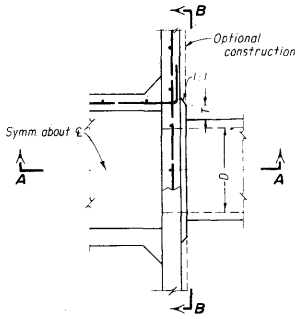
เพื่อที่จะให้ freeboard เหมาะสมสำหรับคลอง ระดับน้ำตรงด้าน Inlet ควรต่ำกว่าหลังคันไม่น้อยกว่า 2 ฟุต

สูตร $Q = CA\sqrt{2gh}$ จะใช้เมื่อคำนวณว่าระดับน้ำสูงเท่าไร จึงจะเพียงพอสำหรับปริมาณน้ำที่ต้องการไหลผ่านไปได้

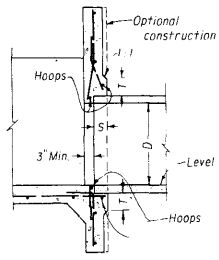
ค่า C ที่ใช้คือ 0.6

และระดับ h คือระดับจากปากบ่อถึงแนวศูนย์กลางท่อ

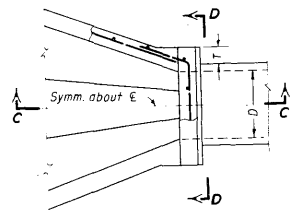
ค. Pipe collar ใช้เพื่อลดความเร็วที่ไหลผ่านด้านนอกของท่อ หรือผ่านดินในบริเวณนั้น เพื่อที่จะป้องกันการเคลื่อนตัวของดิน



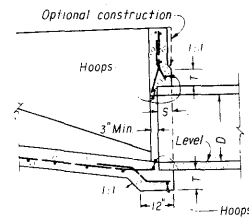
PARTIAL PLAN OF CHECK AND PIPE INLET OR CONTROL AND PIPE INLET
(WITHOUT GATE AT HEADWALL)



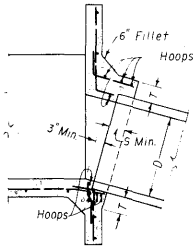
12" THROUGH 72" DIA.
SECTION A-A



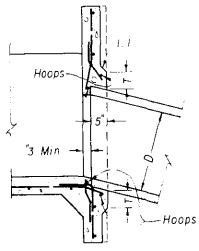
PARTIAL PLAN OF TRANSITION
(WITHOUT GATE AT HEADWALL)



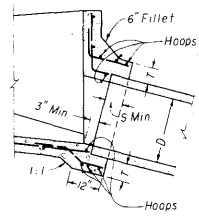
12" THROUGH 72" DIA.
SECTION C-C
(SECTION F-F SIMILAR)



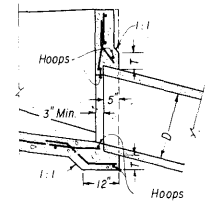
12" THROUGH 72" DIA.
SECTION A-A



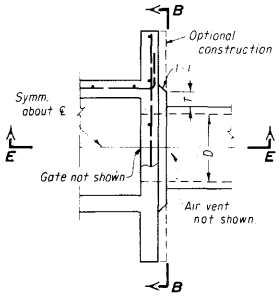
ALTERNATIVE DESIGN FOR
12" THROUGH 27" DIA.
SECTION A-A



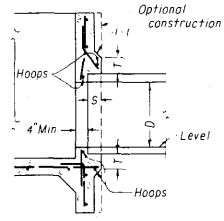
12" THROUGH 72" DIA.
SECTION C-C
(SECTION F-F SIMILAR)



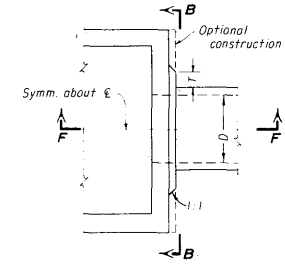
ALTERNATIVE DESIGN FOR
12" THROUGH 27" DIA.
SECTION C-C
(SECTION F-F SIMILAR)



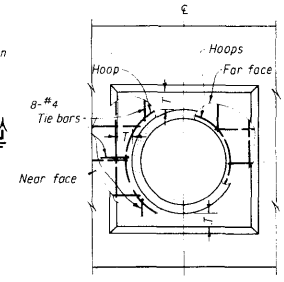
PARTIAL PLAN OF PIPE TURNOUT OR C.H.O. TURNOUT
(WITH GATE AT HEADWALL)



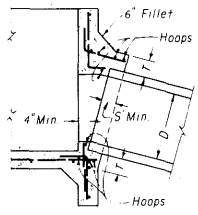
12" THROUGH 72" DIA.
SECTION E-E



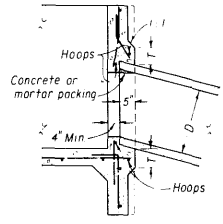
PARTIAL PLAN OF DIVISION BOX
PIPE DIVISION BOX, BAFFLED OUTLET
OR WEIR BOX
(WITHOUT GATE AT HEADWALL)



ELEVATION B-B

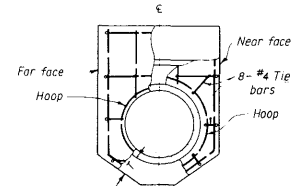


12" THROUGH 72" DIA.
SECTION E-E



ALTERNATIVE DESIGN FOR
12" THROUGH 27" DIA.
SECTION E-E

D INCHES	S INCHES	T INCHES	HOOP SIZE #
12	4	6	4
15	4	6	4
18	4	6	4
21	4	6	4
24	4	6	4
27	4	6	4
30	4	6	4
33	4	6	4
36	4	6	5
39	4 1/2	6	5
42	4 1/2	6	5
45	5	6	5
48	5	6	5
51	5 1/2	6	5
54	5 1/2	6	5
57	6	6	6
60	6	6	6
63	6 1/2	7	6
66	6 1/2	7	6
69	7	7	6
72	7	7	6

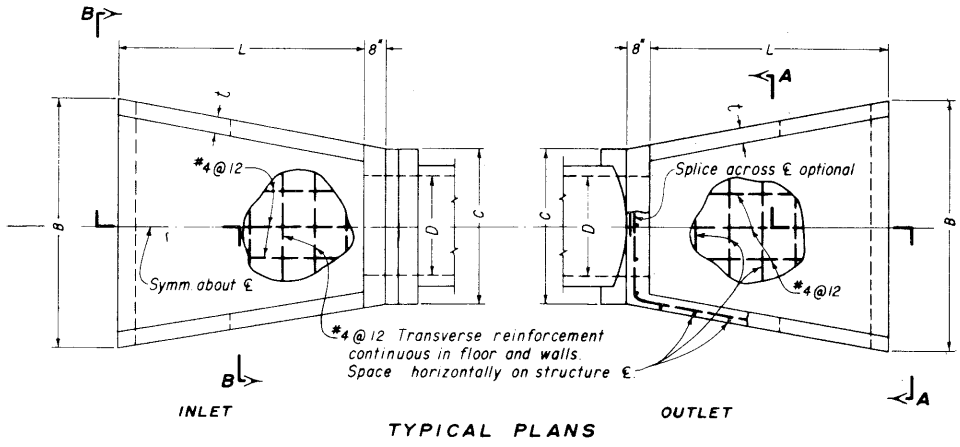


ELEVATION D-D

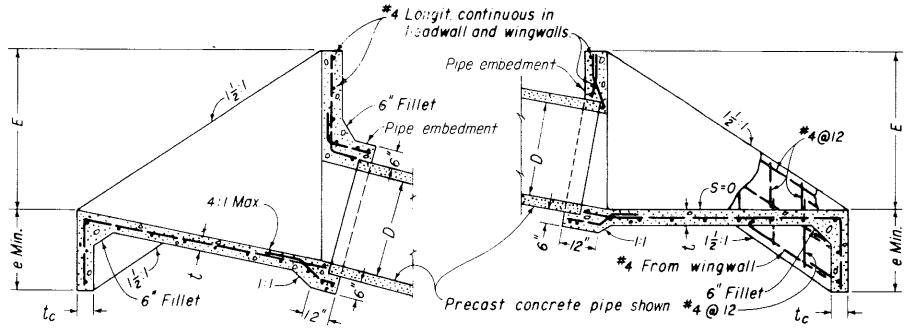
NOTE

Where pressure pipe is used, a pipe joint shall be placed within 18" from outside face of structure for pipe dia. ≤ 36" and within 1/2 dia. for pipe dia >36".

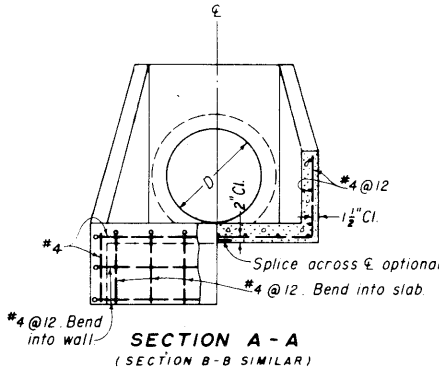
รูปที่ 1-5 Precast concrete pipe embedment (asbestos-cement pressure and reinforced plastic pressure pipe similar).



TYPICAL PLANS



LONGITUDINAL SECTIONS



SECTION A - A
(SECTION B-B SIMILAR)

TABLE OF DIMENSIONS AND EST. QUANTITIES

D	E	e	L	B	C	t	t_c	CONC. (CU.YDS.)	REINF. (LBS.)
24"	4'-0"	24"	6'-0"	5'-6"	3'-6"	5"	6"	1.7	140
27"	4'-6"	24"	6'-9"	5'-6"	3'-9"	5"	6"	2.0	160
30"	4'-6"	24"	6'-9"	6'-6"	4'-2"	5"	6"	2.2	180
33"	5'-0"	2'-6"	7'-6"	7'-6"	4'-4"	5"	8"	2.4	200
36"	5'-0"	2'-6"	7'-6"	7'-6"	4'-8"	5"	8"	2.7	220
39"	5'-6"	2'-6"	8'-3"	9'-0"	5'-0"	6"	8"	3.5	280
42"	5'-6"	2'-6"	8'-3"	9'-0"	5'-3"	6"	8"	3.6	290
45"	6'-0"	2'-6"	9'-0"	10'-6"	5'-6"	7"	8"	4.7	370
48"	6'-0"	2'-6"	9'-0"	10'-6"	6'-0"	7"	8"	4.8	380

รูปที่ 1-6 Concrete transitions–type 2.

ง. Canal Erosion Protection

Protection ใช้ที่จุดต่อระหว่างอาคารกับคลองดินที่อาจเกิดการกัดเซาะ โดยปกติแล้วจะใช้ Riprap กับ gravel ในการพิจารณาที่จะใช้ชนิดและความยาว จะต้องขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ เงื่อนไขต่างๆ ในการพิจารณาได้แก่ราคาของ Riprap, ราคาของ gravel, ผลเสียที่จะเกิดต่ออาคารพืชหรือคน, ชนิดของดิน, ความเร็วของน้ำ, ความหนาและความยาวของ Protection ที่กำหนดไว้นี้เป็นเพียงแนวทางเท่านั้น ค่าที่แท้จริงจะต้องปรับตามเงื่อนไขต่างๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

Type I Coarse gravel หนา 15 ซม.

Type II Coarse gravel หนา 30 ซม.

Type III Riprap หนา 30 ซม. บน Sand และ Graval หนา 15 ซม.

Type IV Riprap หนา 45 ซม. บน Sand และ Gravel หนา 15 ซม.

นอกจาก Cross-drainage structure แล้ว สำหรับความเร็วเกินกว่า 1.50 เมตร/วินาที minimum protection จะต้องเป็น Type 3 โดยไม่พิจารณาความลึกของน้ำ

Inverted siphon ค่าต่ำสุด (minimum)

ความลึก (ม.)	Intel	Outlet	ความยาวด้าน Intet	ความยาวด้าน Outlet
0-0.60	-	-	-	-
0.61-1.00	-	Type 1	-	2.5d หรือ > 1.5
1.01-2.00	Type 1	Type 2	1 d (1.0 min)	2.5d หรือ > 1.5

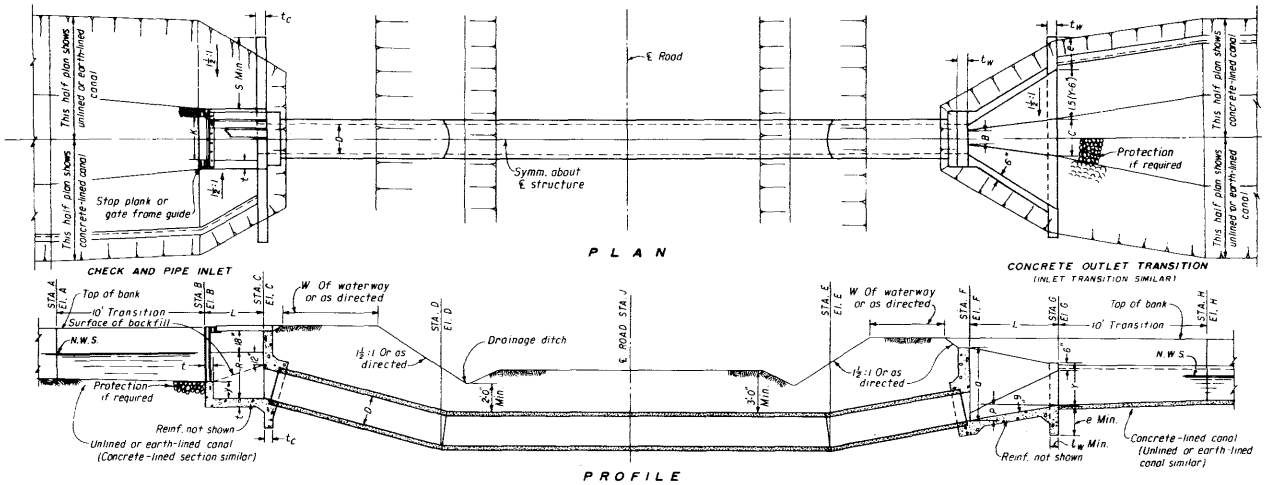
อาคารอื่น เช่น Flume, Check, Check-drop, inclined drop, chutes, turnout, road Crossing และ Pipe drop ที่เกิด hydraulic Control section บนคอนกรีต ซึ่งหมายความว่า Critical depth ไม่เกิดเลยจากส่วนที่เป็นคอนกรีต ใช้ค่าตามตารางต่อไปนี้

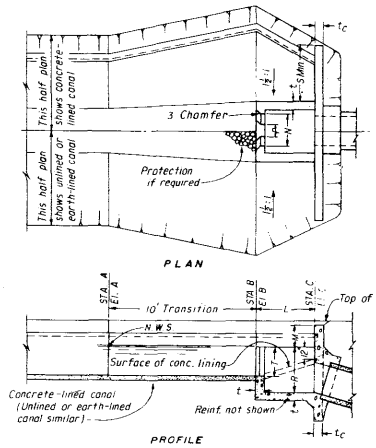
ความลึก (ม.)	Inlet	Outlet
0 - 0.60	-	Type 2
0.61 - 1.00	-	Type 2
0.01 - 2.00	Type 1	Type 3

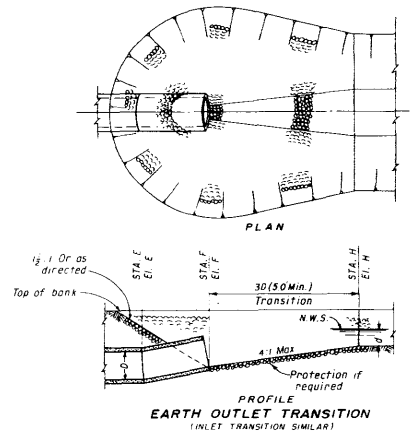
หาก Critical depth อาจเกิดเลยส่วนที่เป็นคอนกรีต ต้องเลือกใช้ค่าถัดไปที่สูงขึ้น

ความยาวปกติของ Protection ด้าน Outlet เท่ากับ 2.5d (1.5 min) หากเกิดน้ำปั่นป่วนจะต้องเพิ่มเป็น 4d

ความยาว Inlet = 1d (1.00 min)







PIPE DIAMETER SELECTION DATA							
MAX. V = 3.5 fps (EARTH TRANSITION)		MAX. V = 5.0 fps (CONC. TRANSITION)		MAX. V = 10.0 fps (CONC. TRANSITION)		PIPE	
Q (cfs)		Q (cfs)		Q (cfs)			
FROM	INCLUDING	FROM	INCLUDING	FROM	INCLUDING	DIA. (INCHES)	AREA (SQ. FT.)
0	2.7	0	3.9	0	7.9	12	0.785
2.7	4.3	3.9	6.1	7.9	12.3	15	1.227
4.3	6.2	6.1	8.8	12.3	17.7	18	1.767
6.2	8.4	8.8	12.0	17.7	24.1	21	2.405
8.4	11.0	12.0	15.7	24.1	31.4	24	3.142
11.0	13.9	15.7	19.9	31.4	39.8	27	3.976
13.9	17.2	19.9	24.5	39.8	49.1	30	4.909
17.2	20.8	24.5	29.7	49.1	59.4	33	5.940
20.8	24.7	29.7	35.3	59.4	70.7	36	7.069
24.7	29.0	35.3	41.5	70.7	83.0	39	8.296
29.0	33.7	41.5	48.1	83.0	96.2	42	9.621
33.7	38.7	48.1	55.2			45	11.045
38.7	44.0	55.2	62.8			48	12.566
44.0	49.7	62.8	70.9			51	14.186
49.7	55.7	70.9	79.5			54	15.904
55.7	62.0	79.5	88.6			57	17.721
62.0	68.7	88.6	98.2			60	19.635
68.7	75.8					63	21.648
75.8	83.2					66	23.758
83.2	90.9					69	25.967
90.9	99.0					72	28.274

NOTES

Locations of vertical P.I.'s at D and E are to be considered approximate only and may be adjusted to fit actual laying length of pipe.
Stations and elevations refer to invert unless otherwise shown.

รูป 1-7 **Inverted siphon plan and section.**

*สำหรับ Earth transition ของ Road crossing ใช้ความยาว

$$\left.\begin{array}{l}\text{Inlet} = 3d \\ \text{Outlet} = 4d\end{array}\right\} > 1.5 \text{ min.}$$

ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดท่อความสูงของน้ำท่วมปากท่อ

Q = 0.480 ลูกบาศก์เมตร/วินาที

B = 2.0 freeboard F = 0.05 ม.

D = 0.65 หลังถนนสูงกว่า N.G.L. 1.0 ม.

S = 1.10,00 N.G.L ต่ำกว่าระดับน้ำ 0.20 ม.

ss = $1:1\frac{1}{2}$

จาก $V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$ เมื่อ V = 0.252 ม./วินาที

$h_v = 0.003$

ท่อกลม $V \leq 1.0$ เพราะเป็น Earth transition

V = 1.00 ม. $A = 0.48$ ม.^{2}

∅ 0.6 ม. ให้ $A = 0.285$ ม.^{2}

∅ 0.80 ม. ให้ $A = 0.503$ ม.^{2} ใช้ได้

V = 0.954 ม./วินาที $h_v = 0.046$

$\Delta h_v = (0.046-0.003) = 0.043$

$1.5 * \Delta h_v = 1.5 * 0.043 = 0.065$ ใช้ 0.08 ม.

1.2.5 ตัวอย่างการออกแบบ

ตัวอย่างของ Road Crossing

รายการ	**U/s**	**D/s**
ปริมาณน้ำ, ม^3/วินาที (Q)	0.810	0.810
ความเร็ว, ม./วินาที (V)	0.292	0.292
ลาดตลิ่ง, (SS)	1:1	1:1
ความกว้างก้นคลอง, ม. (B)	2.00	2.00
ความลึก, ม. (D)	0.85	0.85
Freeboard, ม. (F)	0.50	0.50
ความกว้างหลังคันฝั่งซ้าย, ม. (TL)	2.00	2.00
ระดับหลังคันฝั่งซ้าย (T.B.L)	+36.300	+36.100
ระดับหลังคันขวา (T.B.R.)	+36.300	+36.100
ระดับน้ำสูงสุด (F.S.L)	+35.500	+35.600
ระดับก้นคลอง (B.L)	+34.950	+34.750
N.G.L	+35.600±	
ระดับหลังถนน	+36.650	
ความกว้างหลังคันฝั่งขวา, ม. (T_R)	3.00	3.00

การคำนวณ

ท่อลอดถนนชนิด Highway ดังนั้นต้องเลือกใช้อาคารชนิดที่มี Transition ชนิด Concrete และเลือกใช้ Type I (Broken back)

max. v = 1.50 ม./วินาที

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.810}{150} = 0.54 \text{ ม.}^2$$

ท่อ ∅ 0.80, A = 0.503 ม.^{2}, ท่อ ∅ 1.00 ม., A = 0.785 ม.^{2}

เลือกใช้ท่อ ∅ 1,00 ม., $V_p = \frac{0.810}{0.785} = 1.03$ ม./วินาที

$$h_v \text{ Canal} = \left(\frac{0.292}{2 \times 9.81}\right)^2 = 0.004 \text{ ม.}, \quad h_{vp} = 0.054 \text{ ม.}$$

Δhv = (0.054 - 0.004) = 0.050

1.5 Δhv = 0.075 ม.

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \; ; \; S^{1/2} = \frac{vn}{R^{2/3}} \; ; \; S = \left(\frac{vn}{R^{2/3}}\right)^2$$

$$S_f = \left(\frac{1.03 \times 0.014}{\left(\frac{1.00}{4}\right)^{2/3}}\right)^2 = 1.32 \times 10^{-3}$$

จาก Preliminary layout เมื่อต้องการให้ท่อ 1.00 ม. ซึ่งมีความหนา 0.10 ม. ฝั่งลึก 0.90 ม. จากถนนพื้นท่อจะต้องอยู่ที่ระดับ

36.650-(1.00+0.10) - 0.90	= 34.650
น้ำจะท่วมท่อทางด้าน Inlet	= 35.800 - (34.650 + 1.00)
	= 0.15 ม.
ความลึกของน้ำทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ	= +0.85
Freeboard ของ Cut off	= 0.25 ม.
Freeboard ของ headwall	= 1.20 x 0.25 = 0.30 ม.
Cut off ทางด้านเหนือน้ำ	= +36.050
headwall ทางดันเหนือน้ำ	= +36.100
Cut off ทางด้านท้ายน้ำ	= +35.850
ระดับ headwall ทางด้านท้ายน้ำ	= +35.900
ค่า min.Slope ของท่อ	= 0.005

จากข้อมูลต่างๆ นำกลับไปกำหนดใน Layout จะได้ระยะระหว่าง headwall จากรูปตัด จะทราบว่าความยาวของท่อในแนวราบคือ 15.00 ม.

เมื่อคิดด้วยค่า Min Slope ระดับพื้นท่อด้าน Outlet คือ 34.650-(0.005 x1 5.00)

= 34.575

เพื่อความสะดวกในการก่อสร้างใช้ระดับ 34.550

ดังนั้นความสูงของน้ำที่ท่วมท่อทางด้าน Outlet = 35.600 - (34.550 + 1.00)

$= 0.05 \text{ m} < \frac{1}{6}$ ใช้ได้

Total head losses = $h_f + h_t$

$= 15.00 \times 1.32 \times 10^{-3} + (0.4 + 0.7) \times 0.05$

= 0.075 ม. < 0.20 ม. ใช้ได้

การคำนวณหาความยาวของ Inlet Transition

มุมของผิวน้ำที่ต้องการคือ $27\frac{1}{2}^\circ$

ความยาว Inlet Transition = $\frac{1.00 + 1.5 \times 825 - 0.50}{\tan 27\frac{1}{2}^\circ}$ = 3.41 ม.

มุมผิวน้ำที่เกิดคือ $\tan^{-1} \frac{1.775}{3.40}$ = 27° - 34'02" < 30° ใช้ได้

การคำนวณหาความยาวของ Outlet Transition

มุมของผิวน้ำที่ต้องการคือ $22\frac{1}{2}^\circ$

ความยาว Outlet Transition = $\frac{1.775}{\tan 22\frac{1}{2}^\circ}$ = 4.25 ม.

ใช้ 4.25 ม.

มุมผิวน้ำที่เกิดขึ้นคือ $\tan^{-1} \frac{1.775}{4.25}$ = 22° - 44' - 04" < 25° ใช้ได้

Protection - ด้าน Inlet ไม่ต้องการ Protection

- ด้าน Outlet ต้องการ Protection Type 2 ยาว 2.5d - 4d

เลือกใช้ 4d

: Protection ยาว = 4 x 0.85 = 3.40 ม.

1.3 ท่อเชื่อม (Inverted Siphons)

1.3.1 จุดประสงค์

Inverted Siphon บางครั้งเรียกว่า Sag pipes หรือ Sag lines ใช้ในการนำน้ำจากคลองลอดใต้ถนน, ทางรถไฟ, คลองระบายน้ำ หรือที่ต่ำ ๆ โดยใช้ Gravity

Siphon เป็น closed conduit ที่ออกแบบให้น้ำไหลเต็มท่อและเป็น Under pressure อาคารจะต้องออกแบบโดยไม่เกิด excess head เมื่อปริมาณน้ำผ่านใน capacity ที่กำหนดไว้

Closed conduit ที่มี Excess head ได้แก่ drop & chute เป็นต้น

Closed conduit ที่มี Straingth Profile ลอดใต้ถนน หรือทางภายในที่มี Internal pressure ก็จัดว่าเป็น inverted siphon เช่นเดียวกัน

1.3.2 การใช้งาน

จะต้องมีการพิจารณาในทางต่าง ๆ รวมทั้งทางด้านเศรษฐกิจเพื่อที่จะหาความเหมาะสมว่าควรใช้ Siphon หรืออาคารอื่น และเพื่อที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ที่ต้องการ เราอาจใช้ elevated flume แทน Siphon ได้เมื่อ

คลองไหลผ่านที่ต่ำ, คลองระบายน้ำ, หรือคลองที่คนขุดขึ้น หรือเราอาจใช้สะพานข้ามคลองแทน Siphon ลอดใต้ถนนหรือทางรถไฟก็ได้ โดยทั่วไปแล้วสำหรับ Capacity ไม่เกิน 2.5 ลบ.ม./วินาที การใช้ Siphon จะประหยัดกว่าการทำสะพาน

1.3.3 ประโยชน์และโทษ

Inverted Siphon ประหยัด, ออกแบบและก่อสร้างได้ง่าย, ทำหน้าที่ได้ดี โดยปกติแล้วสำหรับคลองดินที่มีการออกแบบ Transition และ Protection อย่างดี จะไม่เกิด erosion ที่ท้ายอาคาร ราคาในการออกแบบ, การก่อสร้าง และการบำรุงรักษาล้วนเป็น Factor ที่ทำให้ Inverted Siphon มีความเหมาะสมกว่าอาคารอื่นในจุดประสงค์อย่างเดียวกัน

แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ Siphon จะทำได้เมื่อมี Head ตามที่ต้องการ มิฉะนั้นแล้วก็ต้องใช้สะพาน ในการใช้ Siphon นั้นอาจเป็นอันตรายสำหรับชีวิตคนและสัตว์ ในเขตที่มีประชากรหนาแน่น จึงต้องมีการออกแบบระบบป้องกันอันตรายในกรณีนี้ด้วย

1.3.4 ส่วนประกอบของอาคาร

ก) ท่อ จะต้องเป็นท่อ Internal pressure ซึ่งมีการต่อชนิด watertight ท่อที่ใช้อาจเป็น Precast reinforced Concrete (PCP), asbestos-cement pressure pipe (AC) หรือ reinforce plastic mortar pressure pipe (RPM) ซึ่งท่อเหล่านี้จะต้องต่อด้วย Rubbergesket Joint เพื่อเป็นที่แน่ใจว่าจะเป็น wetertight สำหรับ head ไม่เกิน 30 ม. มักจะใช้ท่อ PCP แต่ทั้งนี้จะต้องพิจารณา q จากราคาด้วย ในการเลือกท่อจะต้อง q จากคุณสมบัติว่าสามารถรับแรงดันภายในและรับ นน. ภายนอกได้เท่าใดให้เหมาะสมกับงานที่ใช้

ระยะที่หุ้มท่อจะเป็นตามเกณฑ์ต่างๆ ดังนี้

1) Siphon ลอดใต้ถนนทุกชนิดนอกจาก Farm Road Siphon ลอดใต้ทางรถไฟ จะต้องมีระยะหุ้มท่ออย่างน้อย 90 ซม. หากจำเป็นจะต้องทำลาดไม่ชันกว่า 1:10 เพื่อให้ได้ระยะหุ้มท่อตามต้องการ ถ้ามี Ditch ระบายน้ำข้างถนน จะต้องมีระยะจากกัน Ditch ถึงหลังท่อไม่น้อยกว่า 60 ซม.

2) สำหรับ Siphon ลอดคลองระบาย จะต้องมีระยะหุ้มท่ออย่างน้อย 90 ซม. เว้นไว้แต่หากได้รู้ล่วงหน้าแล้วว่าคลองระบายน้ำจะต้องมีการขุดลอกให้ลึกกว่าเดิมลงไปอีก

3) สำหรับ Siphon ลอดคลองดาด ระยะห่าง Lining กับผิวบนของท่อต้องไม่น้อยกว่า 15 ซม.

4) สำหรับ Siphon ที่ลอดคลองดิน จะต้องมีระยะหุ้มท่อไม่น้อยกว่า 60 ซม.

ความกว้าง และ Side slope ของถนนและทางรถไฟที่ Siphon ลอด จะต้องทำให้อยู่ในสภาพเดิมหรือกำหนดขึ้นใหม่ แต่จะต้องไม่ชันกว่า 1:1

ข) Transitions จะต้องใช้ Concrete Transition ในกรณีต่อไปนี้เช่นเดียวกับ Road Crossing คือ

1) Siphon ทั้งหมดที่ลอดทางหลวง และทางรถไฟ

2) ท่อที่มีขนาด 1.0 ม. ขึ้นไป

3) Siphon ในคลองที่ไม่ได้ line ที่มีความเร็วในท่อ มากกว่า 1.0 ม./วินาที

หากว่าต้องการที่จะ Control ระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำของ Siphon อาจใช้ประกอบกับ inlet ที่ทำหน้าที่เป็น Check structure ได้ด้วย ดูรูป 1-7

ค) Pipe Collars ไม่ค่อยใช้กับ Siphon แต่อาจจะทำเป็นเมื่อต้องการลดความเร็วของน้ำซึมข้าง ๆ ท่อ เพื่อป้องกันการกัดและเซาะ และพัดพาเอาอนุภาคดินที่อยู่รอบ ๆ ท่อออกไป

ง) Blow of structures อาคารนี้จะอยู่ที่จุดต่ำสุด หรือใกล้เคียงของ Siphon ที่ยาวมาก ๆ เพื่อที่จะสามารถระบายน้ำออกจากท่อ เพื่อการตรวจสอบ และซ่อมแซม

ส่วนประกอบที่สำคัญของ Blow off ประกอบด้วยท่อเหล็กที่มี Value ต่ออยู่กับท่อของตัว Siphon, Blow off สามารถใช้ในการทิ้งน้ำจากคลองในกรณีฉุกเฉิน โดยใช้ประกอบกับ wasteway สำหรับ Siphon สั้น ๆ การระบายน้ำมักจะใช้วิธีสูบน้ำออกจากปลายท่อด้านใดด้านหนึ่ง ถ้าการระบายน้ำจากท่อไม่ต้องทำบ่อย ๆ แล้ว สำหรับท่อที่ขนาด ∅ เล็กกว่า 60 ซม. ใช้วิธีเจาะหรือถอดท่อแล้วสูบน้ำออก จะประหยัดกว่าทำ Blow off

สำหรับ ∅ 1.0 ม. หรือใหญ่กว่ามักจะทำ Menhole ร่วมกับ Blow off สำหรับท่อยาว ๆ เพื่อที่จะตรวจสอบและบำรุงรักษาได้ดีขึ้น (ดูรูป 1-8 และ 1-9)

จ) Canal Freeboard and Erosion Protection จากหนังสือ Design of small structure แนะนำให้เพิ่ม Freeboard ขึ้นอีก 50% แต่ไม่เกิน 30 ซม. ทางด้านเหนือน้ำย้อนขึ้นไปไม่น้อยกว่า 15 ม. เพื่อป้องกันน้ำท่วมคันคลอง อันเนื่องมาจากฝนตกหนักกว่าที่คาด หรือการ Operate ไม่ถูกต้องในบางพื้นที่เท่านั้น ส่วน Erosion protection ดูเรื่อง ง. Canal Erosion Protection ของท่อลอดถนน (Road Crossing)

ฉ) Waste way มักจะมีที่ด้านเหนือน้ำของ Siphon เพื่อที่จะนำน้ำออกจากคลองในกรณีฉุกเฉิน

ช) Safety Feature ในกรณีที่เกรงว่าจะเกิดอันตรายแก่คนและสัตว์ จะต้องจัดทำอุปกรณ์ป้องกัน

1.3.5 การพิจารณาออกแบบด้านชลศาสตร์ ในการคำนวณกำหนดขนาดท่อจะต้องพิจารณาจาก Head ที่กำหนดให้, ราคา และความเร็วในท่อที่ยอมให้ หาก Head loss ยังไม่ได้กำหนดแน่นอน โดยผู้ออกแบบคลองเราจะหา Head looses ได้โดยสมมุติขนาดของ Siphon และหา Head loss ต่าง ๆ เช่น entrance, pipe friction, pipe bend และ exit ผลรวมของค่าต่าง ๆ ก็คือค่าประมาณของระดับต่างของน้ำระหว่างเหนือน้ำกับท้ายน้ำของ Siphon

โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ความเร็วในท่อจะอยู่ระหว่าง 1-3 ม./วินาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ Head ที่มี และการพิจารณาทางเศรษฐกิจ

การเลือกขนาดท่อขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์ดังต่อไปนี้

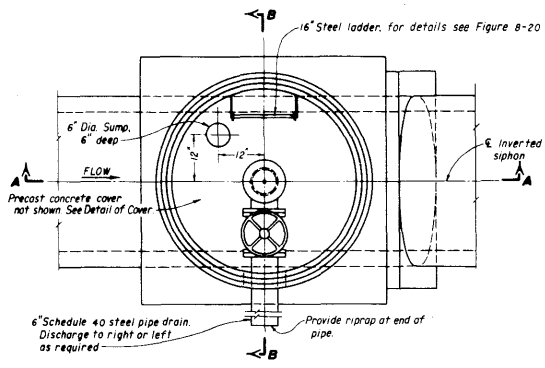
1) สำหรับ Siphon สั้นที่ใช้ Earth Transition ทั้งทางเข้าและทางออก ความเร็วจะต้องไม่เกิน 1.0 ม./วินาที

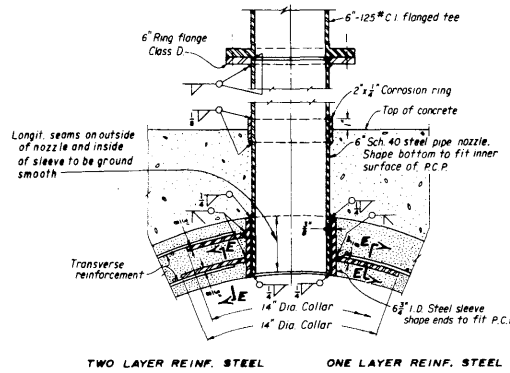
2) สำหรับ Siphon สั้นที่มี Concrete Transition ทางด้าน Outlet ความเร็วจะต้องไม่เกิน 1.5 ม./วินาที ทางด้าน Inlet มี Concrete Transition หรือ Cantrol จะต้องไม่เกิน 1.5 ม./วินาที เช่นกัน

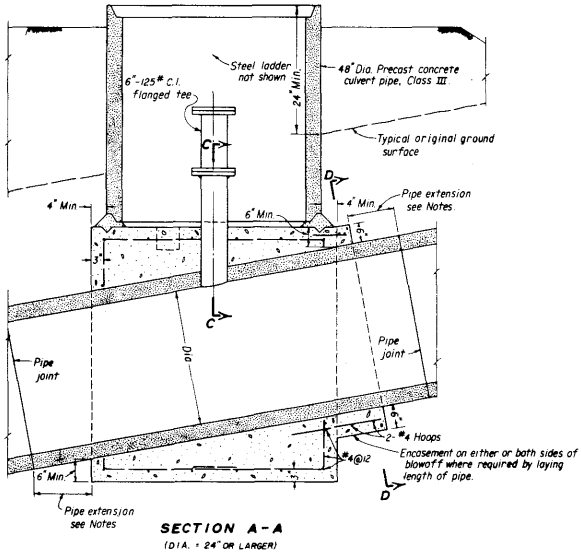
3) สำหรับ Siphon ยาวที่มี Concrete Transition หรือ Control structure ทางด้าน Outlet และมี Concrete Transition ทางด้าน Outlet ความเร็วจะต้องไม่เกิน 3 ม./วินาที

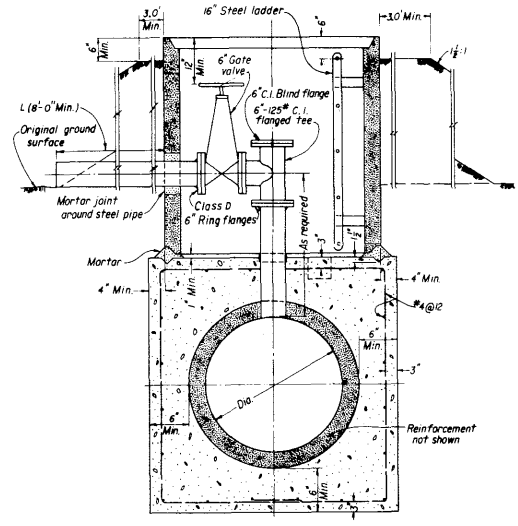
ความเร็วหรือขนาดของท่อสำหรับ Siphon ชนิดยาวมีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจมาก เพราะว่าเมื่อขนาดของท่อเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยจะทำให้ราคาเปลี่ยนแปลงไปมากมาย

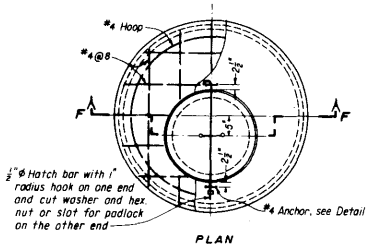
Head Losses ที่ต้องนำมาพิจารณาประกอบด้วย

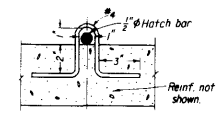


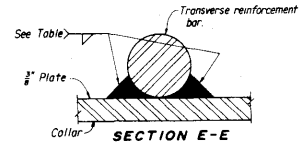




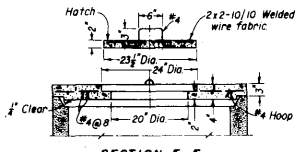


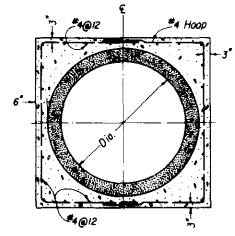






REINF. BAR	FILLET SIZE	LENGTH (IN.)
#4	¼"	2
#5	¼"	2
#6	¼"	2
#7	5/16"	2
#8	5/16"	3
#9	3/8"	3½
#10	3/8"	4
#11	½"	4½

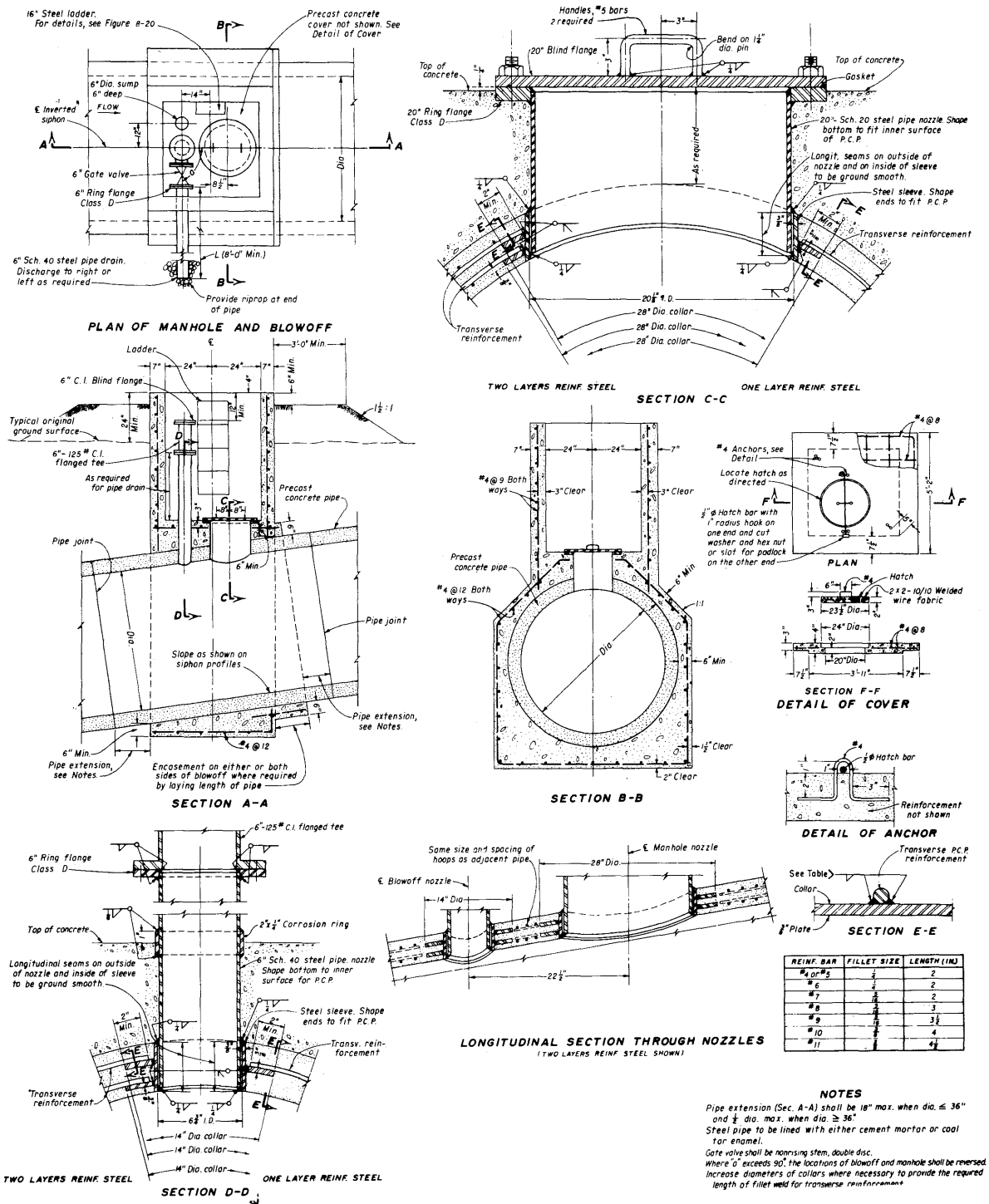




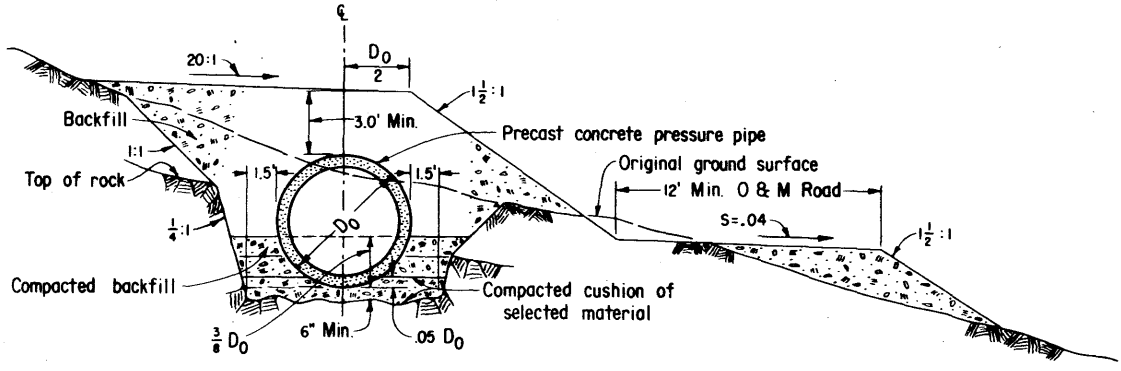
NOTES

Pipe extension (Sec. A-A) shall be 18" Max. when Dia. ≤ 36" and ½ Dia. Max. when Dia. > 36".
Gate valve shall be nonrising stem, double disc
Steel pipe to be lined with either cement mortar or coal tar enamel
Increase diameters of collars where necessary to provide the required length of fillet weld for transverse reinf.

รูปที่ 1-8 **Blowoff for precast concrete pipe.**



รูป 1-9 **Manhole and blowoff for concrete pressure pipe.**



รูป 1-10 **Concrete pipeline for bench construction.**

1) Convergence loss ที่ Inlet Transition

2) Check structure losses เมื่อติดตั้ง Check ที่ Inlet

3) Control Structure losses เมื่อติดตั้ง Control structure ที่ Inlet

4) Friction และ bend losses ของท่อ

5) Divergence losses ที่ Outlet Transition

6) Loss จาก Friction ของ Transition สำหรับอาคารชนิดนี้น้อยจนไม่ต้องคิด

7) Convergence และ Divergance head loss ที่ส่วน Earth Transition

เพื่อความปลอดภัยในการออกแบบหลังจากหาค่า Head losses ทั้งหมดแล้วควรเพิ่มอีก 10% เพื่อแน่ใจได้ว่า ได้กำจัดโอกาสที่ Siphon จะเป็นสาเหตุให้เกิด back water ขึ้นที่ด้านเหนือน้ำของ Siphon

Head loss ที่ Transition ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของ Velocity head ในคลอง และตรงเส้นตั้งฉากกับ Centerline ของท่อ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใช้กับ Broken back Transition คือ 0.4, 0.7 สำหรับ Intet และ Outlet ดังนั้น Inlet loss จะเป็น 0.4 h_v และ Outlet loss จะเป็น 0.7 h_v

เพื่อที่จะให้ Head loss น้อยที่สุด ควรจะกำหนดให้ระยะ Seal ที่ pipe inlet เป็น 1.5 h_v โดยต้องไม่น้อยกว่า 8 ซม. และให้ที่ pipe Outlet ระยะ Seal คือระยะตั้งฉากจากระดับน้ำถึงจุดบนสุดของ Siphon Opening

มุมของ Transition ที่ให้ผลดีที่สุดคือ Inlet ไม่เกิน $27\frac{1}{2}^\circ$ และ $22\frac{1}{2}^\circ$ หากต้องการประหยัดเราต้องออกแบบให้ทั้ง Inlet และ Outlet ขนาดเท่ากันโดยให้มีมุม 25° และค่า Inlet loss จะเป็น 0.5 h_v หาก seal ทางด้าน Outlet เกินกว่า 1/6 ของความสูงของ Opening ที่ Outlet แล้ว Head loss จะต้องคำนวณเป็น Sudden enlargement head loss จะเป็น 1.0 h_v ทั้ง Transition ชิดดินและ Contrete

1.3.6 ขั้นตอนการออกแบบ

1) หาว่า ต้องการ Inlet และ Outlet structure ชนิดใดและหาขนาดโดยประมาณของท่อ และชนิดของท่อ

2) จัดทำ preliminary layout Siphon profile (Siphon พร้อมทั้ง Inlet และ Outlet structure ที่ต้องการ) โดยใช้ N.G.L., คุณสมบัติของคลอง, จุดที่ตั้งอาคาร, และระดับปลายทั้งสองของอาคาร Layout นี้จะต้องประกอบด้วย ความลึกของการวางท่อ, ลาดท่อ, มุมหักของท่อ, ระยะที่น้ำท่วมท่อที่ Transition

3) คำนวณหา Head losses จาก preliminary layout นี้ หาก head loss ไม่เหมาะสมกับ Head loss ที่กำหนดในแบบคลองก็จำเป็นที่จะแก้ไข เช่น เปลี่ยนขนาดท่อ หรือถ้าจำเป็นจริงๆ ก็อาจจะต้องแก้ไขแบบคลอง

ถ้า loss ที่คำนวณได้น้อยกว่าระดับต่างของผิวน้ำทางด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำมากๆ เราอาจลดขนาดของท่อ หรือแก้ไขแบบคลองให้เหมาะสมได้

แต่ในการเปลี่ยนแปลงของท่อก็จะต้องไม่ทำให้เกิดความเร็วเกินกว่าที่กำหนดให้ สำหรับ Transition ของ Siphon มิฉะนั้นอาจเกิดปัญหาเรื่องการกัดเซาะขึ้นได้

4) สำหรับ Siphon ยาว จึงไม่เกิด Seal ทางด้าน Inlet นั้น มีโอกาสที่จะเกิดอาการ Blowback และการที่การไหลของน้ำไม่เป็นไปอย่างที่ต้องการ จะต้องตรวจสอบทางด้าน Inlet ให้เหมาะสม และต้องแก้ไขจนได้ดีที่สุดที่จะทำได้

5) หา Class ของ Pipe โดยพิจารณาจาก External load และ Internal pressure head แสดงใน pipe profile

1.3.7 ตัวอย่างการออกแบบ

ตารางการประกอบการออกแบบ

ชื่ออาคาร Hihgway Siphon

รายการ	Up stream	Down stream
ปริมาณน้ำ, ม.^{3}/วินาที (Q)	0.245	0.425
ความเร็ว; ม./วินาที (v)	0.311	0.311
ลาดตลิ่ง; (ss)	1:1.5	2.00
ความกว้างก้นคลอง; ม. (B)	2.00	2.00
ความลึก : ม. (D)	0.50	0.50
Freeboard; ม. (Fb)	0.50	0.50
ความกว้างหลังคันฝั่งซ้าย ม. (TL)	3.00	3.00
ความกว้างหลังคันฝั่งขวา ม. (TR)	2.00	2.00
ระดับดินเดิม (N.G.L)	+36.000±	+36.00±
ระดับหลังคันฝั่งซ้าย (T.B.L)	+36.900	+36.650
ระดับหลังคันฝั่งขวา (T.B.R)	+36.900	+36.650
ระดับน้ำสูงสุด (F.S.L)	+36.400	+36.150
ระดับพันคลอง (B.L)	+35.900	+35.650

ก. เนื่องจากถนนที่ Siphon ลอดเป็นถนนหลวง ดังนั้นจึงใช้ Concrte Transition ชนิด Broken Back ทั้ง Inlet และ Outlet

ข. การหาขนาดท่อ

Q = 0.425 ลบ.ม./วินาที

Vmax. = 1.5 ม./วินาที

Areq. = 0.283 ม.^{2}

Assume ใช้ท่อ ∅0.60, A = 0.2827 ≈ 0.283 ม.^{2} ใช้ได้

$$v = \frac{0.425}{0.285} = 1.5 \text{ ม./วินาที}$$

h_{vp} = 0.115 ม.

1.5 Δh = 1.5 (0.115-005) = 0.165 m.

$$R = \frac{D}{4} = 0.15$$

$$S = \left(\frac{vn}{R^{2/3}}\right)^2 = \left(\frac{1.5 \times 0.014}{(0.15)^{2/3}}\right)^2 = 5.53 \times 10^3 \text{ ม./ม.}$$

ค. หา Transition

Inlet : Seal = $1.5\ \Delta h_v$ = 0.165 ม. ท่อ ∅0.60 ม.

ถ้าไม่คิดถึงการที่ท่อเอียง ระดับพื้นจะเป็น (0.6 + 0.165) = 0.765 ม.

จากระดับน้ำ เมื่อให้เป็น 0.80 ม.

ระดับพื้นจะต้องเป็น +35.600

ในการวางท่อจะต้องให้ผิวบนของท่ออยู่ที่ต่ำกว่ากันทางระบายน้ำของถนนไม่น้อยกว่า 0.60 ม. จาก Layout วางท่อให้ระดับพื้นล่างท่อด้านในอยู่ที่ระดับ +34.400 ตรง ∅ ของถนน และ Slope ของท่อ 0.005 และให้ท่อยาวด้านละ 5.0 ม. จาก ∅

หลังคันคลองด้านแคบกว้าง 2.0 ม. ดังนั้นกำหนดให้ด้านติดถนนมีคันกว้าง 2.00 ม.

จากตาราง Freeboard cut off = 0.25 ม.

Free board ของ Head wall = 1.2 x 0.25 = 0.30 ม.

ระดับของ Head wall จะเป็น +36.700

จากการทำ Preliminary Layout ตามรูป 2 จะได้ความยาวของท่อด้านเอียงในแนวราบ = 4.5

ระดับท่อส่วนกลางตรงจุดหักจะเป็น 34.400 + (0.005 x 5.0)

= +34.425

มุมเอียงของท่อ $= \tan^{-1}\left(\frac{35.6000 - 34.425}{4.50}\right)$

$= \tan^{-1}\left(\frac{1.175}{4.50}\right)$

$= 14.63^\circ$

ความสูงจริงตรงท่อที่ปากท่อจะเป็น $\frac{0.6}{\text{Cos } 14.63^\circ}$ = 0.620 ม.

ดังนั้นระดับผิวบนของท่อจะเป็น 35.6000 + 0.620 = +36.220 ม.

ระยะหุ้มท่อ Seal = 36.400 - 36.220 = 0.1799 ม.

เมื่อเทียบกับ $1.5\ h_v$ = 0.165 ม. ใช้ได้

การหาความยาวของ Tansition

เมื่อคิดจาก ∅ ระยะผิวน้ำ = 1.0 + 1.5 x 0.5 = 1.75 ม.

ระยะของท่อ = 0.30 ม.

ความยาวของ Transition = $\frac{1.75 - 0.30}{\tan 27\frac{1}{2}^\circ}$ = 2.78 ม. ใช้ 2.80 ม.

ระดับต่างระหว่างกันคลองและพื้นท่อตรง Head wall = 35.900 - 35.600 = 0.30 m.

ลาของ Transition = $\frac{0.30}{2.80} = \frac{1}{9.333}$

Max. Slope = 1 : 4 ใช้ได้

Outlet Transiton

การออกแบบที่จะให้ Outlet Loss ให้ค่า K = 0.7 ได้จะต้องให้น้ำท่วมท่อไม่เกิน 1/6 ของ Opening ดังนั้นจะกำหนดให้น้ำท่วมปากท่อ ประมาณ 0.05 ม. โดยยังไม่ได้พิจารณาความสูงของท่อที่เปลี่ยนไปจากการเอียง

ระดับพื้นท่อ จะเป็น +36.156 - (0.60 + 00) = +35.00

ระดับ Head wall ของ Outlet ที่อยู่ +36.450

ระดับท่อส่วนกลางตรวจจุดหัก = 34.000 - (0.005 x 5)

imtnary Layout ความยาวของท่อเอียงด้าน Outlet ในแนวราบคือ 4 ม.

มุมเอียงของท่อ $= \tan^{-1}\left(\frac{35.500 - 34.375}{4}\right)$

$= \tan^{-1} 0.28125$

$= 15.709°$

ความสูงจริงตรงปากท่อจะเป็น $= 0.6/\cos 15.709° = 0.623$ ม.

ดังนั้นระดับปากท่อด้านบน $= +36.123$

ระยะน้ำท่วมท่อ $= 36.150 - 36.123 = 0.027$ ม.

Opening $= \frac{0.6}{6}$ $= 0.10$ ม. > 0.027 ม. ใช้ได้

ความยาว Outlet Transition $= \frac{1.45}{\tan 22\frac{1}{2}°} = 3.501$ ใช้ 3.5 ม.

ลาดของพื้น Transition $= \frac{35.650 - 35.500}{3.50} = \frac{1}{23.33}$

Max. slope $= 1 : 6$

Erosion Protection อาคารขนาดนี้ไม่ต้องการ Protection แต่ในกรณีที่ออกแบบเผื่อเอาไว้ จึงเลือกใช้ที่ระดับถัดไป คือ ไม่มี Protection ที่ Inlet และมี Protection Type 1 ที่ด้าน Outlet โดยให้ความยาว = 4 d

Protection ยาว $= 4 \times 0.5 = 2.0$ ม.

และเป็น Coarse Gravel หนา $= 15$ ซม.

Check Head losses

ความยาวท่อตามแนวราบ $= \frac{45}{\cos 14.63°} + 5.0 + 5.0 + \frac{4.0}{\cos 15.71°} = 18.206$ ม.

$H_f = 12.206 \times 5.534 \times 10^{-3} = 0.104$ ม.

$h_{vp} = 0.115$; $\Delta hv = 0.115 - 0.005 = 0.11$ ม.

Transitions loss $= (0.4 + 0.7)\ \Delta hv = 0.121$ ม.

Bend loss 14.63° $= 0.045 \times 0.115 = 0.005$ ม.

Bend loss 15.71° $= 0.050 \times 0.115 = 0.005$ ม.

Total head loss $= 0.104 + 0.121 + 0.005 + 0.000 = 0.236$ ม.

1.1 Total head = 0.2596 ม.

ประมาณ = 0.26 ม.

Head loss ที่มีอยู่จากแบบคลอง = 36.400 - 36.150 ม.

= 0.25 ใช้ได้

Check pipe collars ในพื้นที่นั้นเป็นดินชนิด Soft clay จาก Lene's Recomened weighted creep ratio จะได้ค่า 3

ระดับน้ำที่ต่างกันที่วิกฤติที่สุดสำหรับอาคารนี้คือจาก Up stream F.S.L ถึงก้นรางระบายน้ำทางด้านเหนือน้ำ

ระดับที่ต่างกันคือ 36.400 - 35.810 = 0.59 ม.

ในการคำนวณหา weighted creep length (Lw) จาก Inlet Transition ถึงก้นรางระบายน้ำ สมมุติว่าน้ำเดินทางตามใต้อาคารจาก Cut off จาก Transition ไปจนถึงจุดที่ตั้งรางระบายน้ำแล้วจึงขึ้นซึมผ่านท่อ และในที่สุด ซึมผ่านดินที่ทับถมท่อไปจนถึงก้นรางระบายน้ำ

การคิด Weighted creep Length คิดโดยหลักการดังต่อไปนี้

ถ้าเป็นการไหลของน้ำในแนวดิ่งและระหว่างอาคารกับดิน คูณด้วย 1

ถ้าเป็นการไหลของน้ำในแนวราบและระหว่างอาคารกับดิน คูณด้วย 1/3

ถ้าเป็นการไหลของน้ำผ่านดิน คูณด้วย 2

Lw = (2 x ระยะทางดิ่งของ Cut off) x 1 + (ระยะทางแนวราบ) x 1/3 + (เส้นผ่าศูนย์กลางท่อด้านนอก) x 1 + (ดินหุ้มท่อ) x 2

= (2 x 0.60) x 1 + (7.3) x 1/3 + (0.8) x 1 + (35.810 - 35.125) x 2

= 5.803 ม.

Percolation Factor $= \frac{Lw}{\Delta H} = \frac{5.803}{0.59} = 9.84$

P.F = 9.84 > 3.0 ใช้ได้

ดังนั้นจึงไม่ต้องการ Collar เพิ่มสำหรับอาคารนี้

1.4 รางน้ำและสะพานน้ำ (Bench and Elevated Flume)

1.4.1 จุดประสงค์

ก. ทั่วไป Flume ใช้เพื่อนำน้ำไปตามไหล่เขาที่ชันๆ หรือ เพื่อนำน้ำข้ามทางน้ำอื่น หรือทางระบายน้ำธรรมชาติ ในพื้นที่ซึ่ง right-of-way มีจำกัด หรือในพื้นที่ๆ ขาดวัสดุในการสร้างคลองก็อาจใช้ Flume ได้ด้วยเหมือนกัน

Flume ที่ตั้งอยู่บนชานที่เกิดจากการตัดไหล่เขาเรียกว่า Bench flume, Flume ที่ตั้งอยู่บนส่วนรองรับทำด้วย reinforced concrete, เหล็ก, หรือไม้ เรียกว่า Elevated flume

ข. Bench-flume ตามปกติ Bench flume จะมีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ทำด้วย reinforced concrete โดยมีส่วน Inlet และ Outlet Transition ต่อกับคลอง

การใช้ Bench flume ตามไหล่เขาที่ชันๆ นั้นมักจะมีราคาถูกกว่า และง่ายต่อการ Operated และ maintanance กว่าการสร้างเป็นคลองหรือท่อ

ในที่ซึ่งอาจมีหินตกลงมาทำความเสียหายต่อ flume จะต้องมีการป้องกันโดยสร้างคันใกล้กับยอดกำแพง flume ทางด้านติดกับเขา

ในพื้นที่ที่ต้องระวังกับการที่หินตกลงมาและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านน้อยจะประหยัดกว่าหากใช้ท่อ Precast ฝั่งลึก 0.90 ม. ตามรูป 1-10

ถ้าฝนตกลงมาในบางช่วงของ flume เท่านั้น ก็ควรออกแบบให้มีฝาปิดในช่วงนั้นๆ

ค. Elevated flume ในสมัยก่อนมีการใช้ Elevated flume ที่ทำด้วยเหล็กมีรูปตัดเป็นครึ่งวงกลมในการ นำน้ำผ่านทางระบายน้ำธรรมชาติหรือที่ลุ่ม แต่ในสมัยนี้ไม่ค่อยมีการใช้ เพราะมีปัญหาเรื่องการบำรุงรักษา, ปัญหาสิ่งแวดล้อม, ความสวยงาม และเพราะเดี๋ยวนี้มีท่อคอนกรีตสำเร็จรูป ซึ่งราคาถูกกว่าในการฝังท่อลอดใต้คลองระบายน้ำหรือที่ลุ่ม

1.4.2 การพิจารณาทางด้านชลศาสตร์

Flume section

ก. อัตราส่วน $\frac{b}{d}$ ที่ให้ Hydraulic efficiency ดีคือ $\frac{b}{d} = 2$

ถึงแม้ว่า อัตราส่วนนี้จะใช้กันมาก แต่อาจจะใช้ความกว้างกว่า หรือแคบกว่าก็ได้ ตัวอย่างเช่น การใช้ขนาดแคบจะประหยัดกว่าเมื่อไหล่เขาเป็นหินที่จะต้องขุดออกหรือเมื่อมี Right-of-way จำกัด ก็จำเป็นจะต้องใช้ section แคบ การใช้ section กว้างจะประหยัดกว่า เพราะสามารถลดความสูงของกำแพงได้

การศึกษาเกี่ยวกับอัตราส่วน $\frac{b}{d}$ โดยพิจารณาทางด้าน Hydraulic efficiency และราคาค่าก่อสร้าง พบว่าอัตราส่วน $\frac{b}{d}$ ควรอยู่ระหว่าง 1 ถึง 3 ซึ่งอัตราส่วนนี้เหมาะสมทางด้านพื้นที่, ความเร็ว, wetted parameter สำหรับ Slope ระหว่าง 1:10,000 ถึง 1:10 เมื่อปริมาณน้ำอยู่ระหว่าง 0-2.8 ลบ.ม./วินาที

ข. Slope and Velocity flume ที่ประหยัดจะต้องมีความเร็วสูงกว่าความเร็วในคลองดิน เพราะว่า Velocity ใน flume สูงกว่าคลองดิน ดังนั้น Slope จึงชันกว่า ตามปกติแล้วการออกแบบความเร็วใน flume จะช้ากว่า Critical Velocity ดังนั้นการไหลจึงเป็น Subcritical flow หากมีการออกแบบให้ความเร็วเกินกว่า critical จะเกิด -Supercritical flow ซึ่งจะต้องมี energy dissipator ที่ Outlet ของ Structure เช่นเดียวกับการออกแบบ Chute

จากการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วน $\frac{b}{d}$ อยู่ระหว่าง 1-3 และปริมาณน้ำไม่เกินกว่า 2.8 ลบ.ม./วินาที Slope ของพื้น flume ไม่ควรชันกว่า 1:500 (0.002) ซึ่งค่านี้ใกล้เคียงกับโอกาสที่จะเกิดการไหลของแบบ Supercritical ที่ต้องออกแบบให้ Slope แบนกว่า critical Slope ในการคำนวณหา Critical depth ต้องใช้ค่า "ก" น้อยกว่าค่า "ก" ที่ออกแบบตามปกติ 20%

ค. **Freeboard** Freeboard ของ Bench flume จะต้องใกล้เคียงกับคลองที่ติดต่อ เพื่อที่จะไม่ให้เกิดน้ำไหลข้าม ซึ่งจะป้องกันความเสียหายที่เกิดแก่คลอง, Flume, และสิ่งอื่นๆ ที่อยู่ทางเชิงเขา อันเนื่องมาจากน้ำไหลข้าม

Freeboard ของ Flume ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ขนาดของ Flume, ความเร็วของน้ำ, การวางโค้งและวิธีการ operate ที่คาดว่าจะเป็น guide ในการหาค่า minimum freeboard ของ flume

1.4.3 ช่วงต่อเชื่อม (Transition)

ก. ทั่วไป ในที่ซึ่งมีการใช้ Bench flume กับคลอง จะต้องมี Transition จาก Canal section มายัง flume section เพื่อที่จะให้ระดับน้ำเรียบ เพื่อไม่ให้เสีย Energy มากนัก และทางด้านต่อระหว่าง flume section กับ canal section ก็เช่นเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อคลองนั้นเป็นคลองชนิดที่ไม่ได้ดาด Concrete Transition ที่ใช้ในอาคารชนิด Inlet ตามปกติแล้วจะเป็นชนิด Broken-back (Type I) การเปลี่ยนรูป Prism ของน้ำจะต้องให้ค่อยๆ เปลี่ยน ดังนั้นจึงต้องค่อยเปลี่ยนความกว้างก้นคลองไปยังก้น flume และ Wingwall ของ flume จะต้องเพียงพอที่จะรับคันคลอง และทำหน้าที่เป็น Cut off เพื่อกันน้ำไหลผ่านด้านหัวด้านนอกของ flume

ข. Inlet ตามปกติแล้วความเร็วใน flume จะสูงกว่าความเร็วในคลอง ผลจากความเร็วเพิ่มขึ้นเมื่อผ่าน Inlet Transition และระดับน้ำที่ตกลงในระดับพอเพียงที่จะเพิ่มความเร็ว และชนะ friction & Transition loss โดยตัดค่า Transition friction ที่มีค่าน้อยมากออก และโดยสมมุติว่าค่า Loss ของ Broken-back transition เป็น 0.3 Δh_v ระดับน้ำที่ตกลงทั้งหมดคือ 1.3 Δh_v

ระดับพื้นของ Transition ที่ Cut-off ต้องกำหนดให้เหมาะกับคลองในขณะที่ระดับพื้นของ Transition ที่ flume ต้องกำหนดให้ต่ำกว่าระดับน้ำใน flume เท่ากับความลึกปกติของน้ำใน flume ความยาวของ Inlet transition จะหาได้จากมุม Convergence ไม่เกิน $27\frac{1}{2}^\circ$

ค. Outlet diver gence loss Outlet transition ชนิด Broken-back จะเป็นประมาณ 0.5 Δhv ดังนั้นเมื่อน้ำผ่าน flume ออกไปยังคลอง ระดับน้ำจะเพิ่มขึ้น (1-0.5) Δh_v = 0.5 Δh_v

กำหนดระดับพื้นที่ Cut off และที่ flume ก็กำหนดวิธีเดียวกับพื้นของ Inlet transition ยกเว้นแต่ 0.5 Δhv ใช้เพื่อกำหนดความต่างของระดับน้ำ

ความยาวของ Outlet transition หาได้โดยกำหนดมุม divergence ไม่เกิน $22\frac{1}{2}^\circ$

ง. Free board Freeboard ที่ Transition cut off ต่อกับคลองดาดคอนกรีต หรือคลองดาดชนิดอื่นตามปกติจะใช้เท่ากับ freeboard ของส่วน lining สำหรับคลองดินค่า Minimum freeboard

ความลึกน้ำ ม.	ความสูง Freeboard ม.
0.00 - 0.40	0.15
0.41 - 0.60	0.25
0.61 - 1.50	0.30

Freeboard ที่ต้น flume ใช้เช่นเดียวกับ freeboard ของ flume

จ. Cut off ของ Transition ใช้ค่า min. ดังนี้

ความลึกน้ำตรง Cut off ม.	ความลึก Cut off ม.	ความหนา Cut off ม.
0.00 - 0.90	0.60	0.15
0.91 - 1.80	0.75	0.20
1.81	0.90	0.20

1.4.4 การพิจารณาทางด้านโครงสร้างของ Rectangular Bench Flume

Flume Section

ก. Stability หลังจากที่ได้หาความต้องการของ Back fill แล้วจะต้องให้มีความต้านทานทางด้าน Sliding ที่เกิดจาก back fill ทางด้าน Uphill ถ้า deadweight ของ flume เปล่า ไม่เพียงพอที่จะต้านกับแรงดันด้าน Uphill แล้ว จะต้องมีการขยายฐานเพื่อที่จะเพิ่มน้ำหนักดิน อัตราส่วนของแรงในแนวขนานต่อแรงในแนวตั้งฉาก จะต้องไม่เกินกว่า Coefficient sliding ตามปกติแล้วค่า Coefficient of sliding ระหว่าง Concrete กับดินจะใช้ค่า 0.35 นั่นคือ $\frac{\Sigma H}{\Sigma V}$ ต้องเท่ากับหรือน้อยกว่า 0.35 แรงรวมทั้งหมด

ในการพิจารณาเกี่ยวกับ Sliding ควรจะต้องตกกับฐานของ flume ใน middle-third (2/3) เพื่อจะไม่ทำให้เกิด bearing pressure ที่ฐานต่างกันมากนัก

ข. Load ที่เกิดกับกำแพง ในการออกแบบทาง structure ของ Concrete bench flume จะต้องคิด Deadweight ของ flume และ backfill load ด้านนอกของ flume ทั้งเมื่อมีน้ำและไม่มีน้ำใน flume

ถ้าไม่ต้องการ back fill หลังกำแพงต้องสมมุติว่าระดับน้ำภายใน flume อยู่ที่ยอดปลายกำแพง สำหรับกำแพงด้านข้าง flume ที่ต้องรับ backfill มักจะไม่คิดแรงดันของน้ำภายใน โดยคิดแต่แรงดันภายนอกอันเกิดจาก back fill หากดินเป็น Saturated soil หรือมีน้ำหนักอื่น เช่น Wheel load ที่ต้องนำความคิดด้วย

ค. ความหนาของคอนกรีต ความหนาที่ฐานของกำแพงตั้งฉากที่เป็น Contilever ก็ออกแบบตามวิธีการของการออกแบบคอนกรีต ความหนาของพื้นมักจะใช้ความหนาเท่ากับความหนาของกำแพงส่วนที่มาต่อกับพื้น และมักจะหนาเท่ากันตลอดความกว้างของ flume

ง. หาก flume ผ่านพื้นที่มีโอกาสจะมีน้ำไหลผ่าน เนื่องจากมีการรับน้ำด้านหลังทางด้าน uphill ของ flume แล้ว จะต้องมีท่อระบายน้ำลอดใต้ flume เพื่อความแข็งแรงและไม่ให้เกิดปัญหาทางด้าน foundation

จ. joint Flume ควรมี joint ที่มี rubber water stop ทุกๆ 2.00 m. ตามปกติ joint เป็นชนิด butt joint ที่ไม่มี elastic filler นอกจากจะใช้ filler จาก PC (Point of Curverture) ถึง PT (Point of Targent) และส่วนที่ติดต่อกับ Transition ไม่ควรใช้ joint แบบ Belt joint

1.4.5 ตัวอย่างการออกแบบ

คลองดิน Q = 2.5 ลบ.ม./นาที, s = 1:2,000, n = 0.025, b = 3.00 ม., d = 0.90 ม., F_b = 0.60 A = 3.85 ม.^{2}

R = 0.620, V = 0.650 ม./วินาที, h_{vc} = 0.021

ด้าน Upstream ของ flume อยู่ที่ กม. 2 + 200 ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ +37.300 ระดับก้นคลองอยู่ที่ +36.400

ด้าน downstream ของ flume อยู่ที่ กม. 2 + 365 ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ +36.900 ระดับก้นคลองอยู่ที่ +36.000 ให้ใช้ broken - back inlet และ Outlet

ค่า Roughness coefficient (n) ให้เท่ากับ 0.014

(1) จากผลการสำรวจพบว่าบริเวณที่จะก่อสร้าง flume เป็นหินและไหล่เขาชันปานกลาง ทางด้านราคาค่าก่อสร้าง และการระเบิดหิน พบว่าจะประหยัดถ้าใช้อัตราส่วน b/d ประมาณ 1, Slope ระหว่าง 1:1,000 - 1:10 และ Q ระหว่าง 0 - 2.8 ลบ.ม./วินาที จ ะประหยัดที่สุด

จากหลักเกณฑ์ทาง hydraulic ระดับผิวน้ำจากคลองเข้า flume โดยผ่าน broken-back Transition จะเป็น 1.3 Δh_v และเมื่อน้ำออกจาก flume ระดับผิวน้ำจะสูงขึ้น 0.5 Δh_v ค่าทั้งสองนี้ควรเปลี่ยนได้เล็กน้อยและถ้า head loss ที่มีให้แตกต่างไปจากค่า loss ปกติของ flume ความต่างของระดับผิวน้ำที่จะเปลี่ยนไป

ฉะนั้นการต่างกันของระดับพื้นที่ของ flume เมื่อที่คลองทางด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำมี hydraulic property เหมือนกัน การต่างของระดับพื้นที่ Section รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า จาก Inlet ถึง Outlet คือ

Δ ระดับพื้น = Y - 0.8 Δh_v

เมื่อ y เป็นระดับที่ลดลงของพื้นคลองที่จัดเตรียมไว้สำหรับอาคาร

สมมุติว่าความเร็วสูงสุดใน flume เป็น 1.5 ม./วินาที

h_{vp} = 0.115 ม.

ดังนั้น Δ ระดับพื้น = y - 0.8 Δhv

= 0.48 - 0.85 x (0.115 - 0.021)

= 0.325 ม.

ประมาณความยาวของ Inlet และ Outlet ว่ายาวด้านละ 5 เมตร ดังนั้นความยาวของ flume ในส่วนที่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะเป็น

(2 + 365) - (2 + 200) = 155 ม.

ลาดของพื้น flume จะเป็น $S_b = \frac{0.325}{155} = 0.002$

ค่า s ที่ Recommended ให้ใช้เพื่อที่จะให้เกิด subcritical flow คือ s ไม่ชันกว่า 0.002 ดังนั้นในตัวอย่างนี้ใช้ได้

อัตราส่วน $\frac{b}{d} = 1$

ดังนั้น $A = d^2$, wp = 3d, $R = \frac{d^2}{3d} = 0.33\ d$

$R^{2/3} = 0.48\ d^{2/3}$

สูตร Manning $V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$

$$V = \frac{1}{0.014} \times 0.48d^{2/3} \times (0.002)^{1/2}$$

$$= 1.533\ d^{2/3}$$

และ $$V = \frac{Q}{A} = \frac{2.5}{d^2}$$

$$1.533\ d^{2/3} = \frac{2.5}{d^2}$$

$d = 1.20$ ม.

$A = 1.44$ ม.^{2}

$v = 1.74$ ม./วินาที

$h_{vf} = 0.154$ ม.

ความเร็วที่คำนวณได้ต่างกับที่กำหนดต้องเปลี่ยนค่า V ใหม่ กำหนดค่า V flume เป็น 1.6 m/s

$h_v = 0.130$ ม.

Δ ระดับพื้น $= 0.40 - 0.8 \times (0.13 - 0.021)$

$= 0.313$ ม.

$$S_b = \frac{0.313}{1.55} = 0.002$$

กำหนดค่า V ใน flume เป็น 1.7 ม./วินาที

$h_v = 0.147$

Δ ระดับพื้น $= 0.4 - 0.8 \times (0.147-0.021)$

$= 0.299$

$$S_b = \frac{0.295}{1.55} = 0.193 \times 10^{-3} = 0.0019$$

$$V = \frac{1}{0.014} \times 0.48d^{2/3} \times (0.0019)^{1/2}$$

$$= 1.506\ d^{2/3}$$

$$d^{2/3} = \frac{2.5}{1.506} = 1.66$$

$d = 1.2$ ม.

$A = 1.46$ ม.^{2}

$V = 1.71$ ม./วินาที

$h_f = 0.149$ ม.

ค่า v จากที่กำหนดและผลที่ได้จากการคำนวณใกล้เคียงกัน ดังนั้นค่า d ที่ควรใช้คือ 1.21 ม.

ในการหา Critical depth และ Critical slope เพื่อจะได้ทราบว่า slope ของก้น flume ซึ่งเรากำหนดไว้ราบพอที่จะให้น้ำไหลได้เรียบจะใช้ค่า $n = 0.014 \times 0.8 = 0.011$

จากการคำนวณตัวคัน

$d = 1.21$ และ $\frac{b}{d} = 1$

$b = 1.21$

ใช้ $b = 1.25$ ม.

ดังนั้น $q = \frac{Q}{b} = \frac{2.5}{1.25} = 2$ ลบ.ม./วินาที

$d_c = \frac{3\sqrt{q^2}}{g} = \frac{3\sqrt{2^2}}{9.81}$

$= 0.742$ ม.

$A = bxd_c = 1.25 \times 0.742 = 0.927$ ม.^{2}

$V_c = \frac{2.5}{0.927} = 2.70$ ม./วินาที

$W_{pc} = 1.25 + 2 + 0.742 = 2.734$ ม.

$Re = \frac{0.927}{2.734} = 0.339$

$R^{2/3} = 0.486$

$S_f = \left(\frac{Vn}{R^{2/3}}\right)^2 = \left(\frac{2.7 \times 0.04}{0.486}\right)^2$

$= 0.0037$

Slope ที่เราออกแบบคือ 0.0019 ซึ่งราบกว่า critical slope 0.0044 เมื่อ n = 0.011 มาก เพราะว่าเรากำหนดค่า b ให้คงตัว ดังนั้นจึงต้องคำนวณ Section ของ flume ใหม่

$Q = AV = A \times \frac{1}{n} \times R^{2/3} S^{1/2}$

$2.5 = AX \frac{1}{0.014} \times R^{2/3} \times (0.0019)^{1/2}$

$2.5 = 3.11\ AR^{2/3}$

Try

เมื่อ $d = 1.20$; $3.11\ AR^{2/3} = 2.578$

$d = 1.19$; $3.11\ AR^{2/3} = 2.552$

$d = 1.17$; $3.11\ AR^{2/3} = 2.499$ 2.50

$V = \frac{Q}{A} = \frac{2.5}{1.85 \times 1.17} = 1.709$ ม./วินาที

$h_f = 0.149$ m.

$H_f = 0.34\ h_v + h_f + 0.5\ \Delta hv$

$= 0.8\ \Delta h_v + s_f(L)$

= 0.8 x (0.149 - 0.021) + 0.0019 x 155

= 0.3969

head ที่กำหนดให้ในคลองคือ 0.40 ซึ่งต่างกันน้อยมากกับ head ที่คำนวณได้ จึงเป็นอันว่าการออกแบบนี้ใช้ได้

หากว่า head ที่คำนวณได้ต่างกับ head ที่มีอยู่ของคลองมากจะต้องทำให้เท่ากันทางทฤษฎีโดย

1) แก้ไขความกว้างก้น flume
2) แก้ไข slope ของพื้น flume
3) แก้ไขระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำเหนือหรือท้ายน้ำเพื่อให้ได้ head ตามที่คำนวณได้

(2) การหาความยาว Transition

Inlet Transition $\theta 1 = 27^{1/2}{}^{\circ}$

$$\tan \theta_1 = \left(\frac{1.5 + 0.90 \times 1.5) - (1.25/2}{L1}\right)$$

$$L_1 = \frac{2.225}{\tan\theta_1} = 4.27$$

ใช้ 4.25 ม.

Outlet Transition $\theta 2 = 22^{1/2}{}^{\circ}$

$$L_2 = \frac{2.225}{\tan\theta_2} = 5.37$$

ใช้ 5.35 ม.

(3) การกำหนดระดับของ Outlet Transition เพราะว่าอาคารนี้เป็นอาคารชนิดที่เป็นการ Control ที่ downstream ฉะนั้นจึงต้องออกแบบทางด้าน Outlet ก่อน แล้วจึงจะย้อนไปทางด้าน Inlet

จากทางทฤษฎีระดับน้ำทางด้าน Outlet จะสูงขึ้น 0.5 Δhv

ระดับจะสูงขึ้น = 0.5 x (0.149 - 0.021) = 0.064 ม.

ระดับพื้นของ Outlet Transition ทางด้านเหนือน้ำจะต้องเป็นระดับที่อยู่ใต้ระดับน้ำปกติเท่ากับผลรวมของระดับน้ำใน flume กับระดับน้ำที่สูงขึ้น

ระดับพื้น flume ทางด้านเหนือน้ำของ Outlet = 36.900 - (1.17 + 0.064)

= 35.666

ระดับทางด้านท้ายน้ำของ Outlet คือระดับคันคลอง = 36.000

(4) การกำหนดระดับของ Inlet Transition

ความยาวของ Inlet Transition 4.25 ม. ดังนั้นจุดที่ตั้งทางปลายด้านท้ายน้ำของ Inlet อยู่ที่ กม. 2 + 200 + 4.25 = 2 + 204.25

ความยาวของ Outlet Transition 5.35 ม. ดังนั้นจุดที่ตั้งทางปลายด้านเหนือน้ำของ Outlet อยู่ที่ กม. 2 + 365 - 5.35 = 2 + 359.65

ระดับด้านท้ายน้ำของ Inlet ต้องอยู่ที่ระดับเดียวกับระดับปลายทางด้านเหนือน้ำของ flume

ระดับพื้นทางด้านเหนือน้ำของ flume = ระดับพื้นด้านท้ายน้ำ + ความยาว xslope

= 35.666 + (2 + 359.65 - 2 + 20425) x 0.0019

= 35.961

ระดับทางด้านเหนือน้ำของ Inlet Transition ใช้ระดับเดียวกับระดับพื้นคลองทางด้านเหนือน้ำ คือ 36.400

Energy elevation ทางด้านท้ายน้ำของ Inlet Transition หาได้ตามวิธีการต่อไปนี้

Energy E = ระดับพื้น flume x d_n ของ flume + h_v flume

= 35.961 + 1.17 ++ 0.149

= 37.280

Energy elevation ที่ต้องการทางด้าน Upstream end ของ Transition เพื่อที่จะให้ปริมาณน้ำที่ออกแบบไหลผ่าน flume ได้คือ

Energy EI = Energy ที่ downstream and Transition

= 37.280 ++ 0.3 (h_{vf} - h_v) (1)

Energy elevation ที่จุดนี้ก็เป็น

Energy EI = ระดับก้นคลอง + d_n ของคลอง + h_v

= 36.400 + d_n = h_v (2)

(1) = (2) 37.280 + 0.3 (h_{vf} - h_v) = 36.400 + d + h_v

d + hv - 0.3 (h_{vf} - h_v) = 0.880 ม.

ต้องกำหนดค่า d ต่างๆ กันเพื่อให้สมการข้างบนได้ค่า 0.880 สมมุติค่า d = 0.9 ม. ใช้ได้

A = 3 x 0.9 + 0.9 x 1.5 x 0.9 = 3.915 ม.^{2}

V = 0.638 ม./วินาที

h_v = 0.021

0.9 + 0.021 - 0.30 x (0.149 - 0.021) = 0.883

สมมุติค่า d = 0.89

A = 3 x 089 + 0.89 x 1.5 x 0.89 = 3.858 ม.^{2}

V = 0.647 ม./วินาที

h_v = 0.021

0.89 + 0.021 - 0.3 x (0.149 - 0.021) = 0.883

สมมุติค่า d = 0.89 ม.

A = 3 x 089 + 0.89 x 1.5 x 0.89 = 3.858 ม.^{2}

V = 0.647 ม./วินาที

h_v = 0.021

0.89 + 0.021 - 0.3 x (0.149 - 0.021) = 0.883

สมมุติค่า d = 0.89 ม.

$A = 3 \times 089 + 0.89 \times 1.5 \times 0.89 = 3.858$ ม.^{2}

$V = 0.647$ ม./วินาที

$h_v = 0.021$

$0.89 + 0.021 - 0.3 \times (0.149 - 0.021) = 0.873$

แสดงว่า d ของคลองประมาณ 0.90 ม.

(5) free board จากตาราง

ค่า free board = 0.75 ฟุต = 0.23 ม.

และค่า depth ใน flume = 1.17 ม.

ฉะนั้นใช้ค่า free board = 0.33 ม.

เพื่อให้ความสูง flume ลงตัวเป็น 1.50 ม.

(6) Erosion protection

จากตารางที่กำหนดเมื่อความลึกของน้ำ 0.90 ม. ไม่ต้องการ protection ทางด้านเหนือน้ำและใช้ Type 2 ทางด้านท้ายน้ำ แต่เลือกใช้ถัดไปอีก 1 ขนาด ดังนั้น

ด้าน Inlet ใช้ Type I คือ Coarse gravel หนา 15 ซม. ยาว 1 d (1.0 min) คือต้องยาว 1 ม.

ด้าน Outlet ใช้ Type III คือ Riprap หนา 0.30 ซม. บน Sand และ Gravel หนา 0.15 ม.

ยาว 4d = 0.90 x 4 = 3.60 ใช้ 3.50 ม.

1.5 น้ำตก (Drops) หรืออาคารลดระดับ

หน้าที่ของน้ำตกก็คือการนำน้ำหรือส่งผ่านน้ำจากระดับที่สูงกว่าไปยังระดับที่ต่ำกว่า โดยมีอาคารสลายพลังงานรวมอยู่ด้วย จุดประสงค์ที่ต้องมีอาคารน้ำตกตามแนวคลองส่งน้ำก็อาจจะเนื่องมาจากความเอียงของพื้นดินมีค่ามาก กระแสน้ำในคลองอาจจะเร็วจนมีปัญหาเรื่องการกัดเซาะ การใช้อาคารน้ำตกจะช่วยให้ปรับความลาดชันของคลองให้ลดลงได้ ซึ่งมีผลให้ความเร็วของน้ำลดลง อาคารน้ำตกแบ่งออกเป็นหลายแบบ เช่น อาคารน้ำตกทางดิ่ง อาคารน้ำตกแบบราง เช่น chute, Baffled chute หรือ Baffled piers อาคารน้ำตกสี่เหลี่ยมแบบเอียง (Rectangular Inclined Drop) และอาคารน้ำตกเอียงแบบท่อ (pipe Drop) สำหรับในที่นี้จะขอกล่าวถึงอาคารน้ำตกเอียงแบบท่อ (pipe Drop)

1.5.1 จุดประสงค์

น้ำตกเอียงแบบท่อเป็นอาคารที่ใช้ลำเลียงน้ำจากระดับสูงลงไปสู่ระดับที่ต่ำกว่า โดยต้องสลายพลังงานส่วนเกินและปรับระดับน้ำให้ราบเรียบเพื่อไม่ให้เกิดการกัดเซาะทางด้านท้ายน้ำ น้ำตกเอียงแบบท่อมักใช้ลดระดับลงในช่วงระหว่าง 0.90-4.50 เมตร (3-15 ฟุต) น้ำตกเอียงแบบท่อสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

(ก) น้ำตกเอียงแบบท่อชนิดที่ 1 น้ำตกเอียงแบบท่อชนิดนี้มักใช้ในทางน้ำซึ่งไม่มีตะกอน และสิ่งแขวนลอย เช่น เศษวัชพืชมากับน้ำมากเพราะจะทำให้ท่ออุดตัน มักใช้ในคลองชลประทานมากเพราะค่อนข้างประหยัด น้ำตกเอียงแบบท่อชนิดนี้จะต้องออกแบบให้เกิด Hydraulic Jump ภายในท่อก่อนที่จะออกไปยัง Outlet

น้ำตกเอียงแบบท่อชนิดนี้ควรมีอาคารวัดน้ำหรืออาคารควบคุมที่ปากทางเข้า ส่วนทางออกอาจใช้เป็นดินหรือคอนกรีตก็ได้ ขึ้นอยู่กับความเร็วเมื่อน้ำไหลเต็มท่อ ซึ่งใช้ไม่เกิน 1.00 ม./วินาที สำหรับทางออกที่เป็นดินและ 1.50 ม./วินาที (5 ฟุต/วินาที) สำหรับทางออกที่เป็นคอนกรีต

(ข) น้ำตกเอียงแบบท่อชนิดที่ 2 มักใช้ในกรณีทางน้ำธรรมชาติซึ่งมีอัตราตะกอนและสิ่งแขวนลอยมากับน้ำมาก น้ำตกเอียงแบบท่อชนิดนี้จะสลายพลังงานส่วนเกินที่ทางออกแทนที่จะสลายพลังงานส่วนเกินภายในท่อแบบชนิดที่ 1 ซึ่งการสลายพลังงานส่วนเกินนี้อาจใช้ Baffled Oulet หรือ Stilling Pool อย่างไรก็ดีในกรณี ที่คาดว่าจะมีวัชพืชลอยตามน้ำมามาก การใช้ Stilling Pool จะเหมาะสมกว่า เพราะการใช้ Baffled Outlet อาจมีเศษวัชพืชไปเกาะติดได้ และหากใช้น้ำตกเอียงชนิดนี้เป็นอาคารในคลองควรติดตั้งอาคารวัดน้ำหรืออาคารควบคุมด้านหน้า แต่หากใช้ในงานระบายน้ำ การใช้ Transition คอนกรีตก็เพียงพอ

1.5.2 ข้อดีข้อเสีย

1) น้ำตกเอียงแบบท่อเป็นอาคารที่ง่ายต่อการออกแบบก่อสร้างและใช้งาน ช่วงทางเข้าอาจต่อเชื่อมมาจากคลองดินหรือคลองคาด และสำหรับทางออกก็เช่นกันอาจต่อเชื่อมกับทางน้ำที่เป็นดินหรือดาดคอนกรีตหรือทางน้ำธรรมชาติที่ไม่มีการควบคุมระดับน้ำด้านท้ายน้ำก็ได้

2) ทางเข้าอาจทำเป็นอาคารประกอบกับรูปตัดควบคุม (Control Notch), อาคารวัดน้ำหรือฝายได้ แต่หากใช้อาคารวัดน้ำด้านหน้าก็ควรมีสันระบายน้ำล้นด้านข้าง (Side Overflow Wall) เพื่อป้องกันคันคลองมิให้น้ำล้นข้ามคันคลองในกรณีที่การดูแลไม่ทั่วถึง

3) น้ำตกเอียงแบบท่ออาจนำไปใช้กับทางน้ำอื่นหรือใช้เป็นท่อลอดถนนก็ได้ สำหรับปริมาณน้ำน้อยๆ ราคาของน้ำตกเอียงแบบท่อจะประหยัดกว่าอาคารอื่น

4) น้ำตกเอียงแบบท่อต้องการการบำรุงรักษาไม่มากนัก หากการทำรอยต่อต่าง ๆ ด้วยความระมัดระวังโดยเฉพาะตรงช่วงที่โค้ง และเลือกใช้ท่อที่มีความทนทาน

5) น้ำตกเอียงแบบท่อ ที่ทำไปสู่ทางน้ำที่ไม่ดาดคอนกรีต จำเป็นต้องใช้กรวดและหินเรียงเพื่อป้องกันการกัดเซาะทางน้ำด้านท้ายน้ำอย่างเพียงพอ

6) ระดับที่ท่อลดระดับลงได้ไม่ควรเกินกว่า 4.50 เมตร

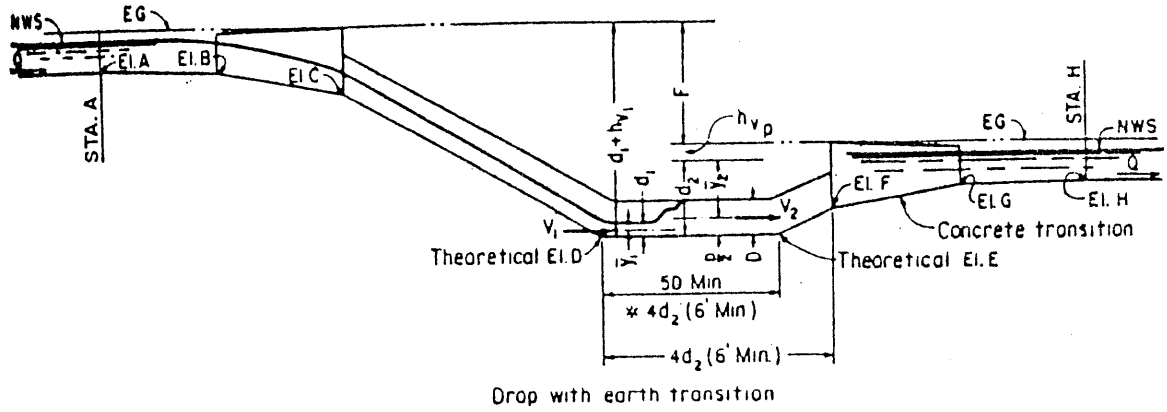
7) สำหรับน้ำตกเอียงแบบท่อชนิดที่ 1 ไม่ควรใช้ในทางน้ำที่มีตะกอนและสิ่งปะปนมากับน้ำเป็นจำนวนมาก เพราะอาจมีการอุดตันภายในท่อ และควรมีตะแกรงกันสวะด้านหน้า โดยกำหนดขนาดให้เล็กพอที่สามารถจะระบายสิ่งที่หลุดรอดเข้ามาออกไปได้โดยไม่เกิดการอุดตันภายในท่อ โดยปกติเรามักใช้น้ำตกเอียงแบบท่อชนิดที่ 2 กับทางน้ำประเภทนี้เพราะสามารถระบายสิ่งปะปนได้ดีกว่า

1.5.3 ส่วนประกอบอาคารน้ำตกเอียงแบบท่อชนิดที่ 1 หรือท่อลดระดับชนิดที่ 1

น้ำตกเอียงแบบท่อจะประกอบด้วย

- ปากทางเข้าด้านเหนือน้ำ (Upstream transition)
- ปากทางเข้า (Inlet)
- ท่อ (Pipe)
- ปากทางออก (Outlet transition)

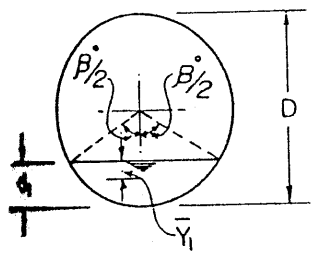
(ก) Transition ด้านเหนือน้ำ อาจใช้เป็นดินหรือคอนกรีตก็ได้ ถ้ามีอาคารควบคุมที่ทางเข้าระดับก้นทางน้ำกับท้องอาคารควบคุมมักใช้ระดับเดียวกัน ความยาวของ Transition ใช้ประมาณ 3.00 เมตร (10 ฟุต) และหากใช้อาคารอัดน้ำโดยทำ Transition ลาดลงมา ลาดของก้น Transition นี้ไม่ควรชันกว่า 1:4 (V:H) ความยาวของ Transition นี้ใช้ประมาณ 3.00 เมตร เช่นเดียวกัน สำหรับ Transition ที่เป็นดินต้องมีการป้องกันการกัดเซาะ ซึ่งโดยปกติอาจใช้หินเรียงหรือกรวดหนาประมาณ 15 ซม. เรียงยาวไปทางด้านเหนือน้ำเท่ากับ 2.5-3 เท่าของความลึกน้ำด้านหน้า



รูปที่ 1-11 การหาระดับ Sump สำหรับท่อลดระดับชนิดที่ 1

วิธีการในการคำนวณหาระดับ Sump

1. สมมุติค่า d_1
2. คำนวณค่า A_1, V_1
3. คำนวณค่า V_2 โดยคิด A_2 = พื้นที่หน้าตัดของท่อ
4. คำนวณค่า $\bar{Y}_1$
5. คำนวณค่า d_2
6. คำนวณค่า F
7. ตรวจสอบค่า F ที่คำนวณได้กับค่า F จริงๆ
8. หาค่า F ที่คำนวณไม่เท่ากับ F จริง ที่เกิดขึ้น กลับไปทำข้อ 1 ใหม่
9. ระดับ Sump = ระดับพลังงานท้ายน้ำ $-h_{vp}$ - 1.1 d_2 (ส่วนปลอดภัย 10%)



รูปที่ 1-12

$$\frac{\beta}{2} = \cos^{-1}\left(\frac{D-2d_1}{D}\right)$$

$$A_1 = \frac{D^2}{8}\left(\frac{\pi * \beta}{180} - \sin\beta\right)$$

$$\bar{Y} = \frac{\left(\sin^3(\frac{\beta}{2}) * D * 120\right)}{\pi * \beta - 180\sin\beta} - \frac{D}{2} + d_1 = \frac{\left(\sin^3(\frac{\beta}{2}) * D\right)^3}{12 * A_1} - \frac{D}{2} + d_1$$

จาก $A_1\bar{Y}_1 + \frac{QV_1}{g} = A_2Y_2 + \frac{QV_2}{g}$

$$\frac{Q\Delta V}{g} + A_1 Y_1 + \frac{A_2 D}{2} = A_2 d_2$$

$$d_2 = \frac{Q\Delta V}{A_2 g} + \frac{A_1 Y_1}{A_2} + \frac{D}{2}$$

$$F = d_1 + hv_1 - d_2 - hvp$$

$$\overline{Y}_2 = d_2 - \frac{D}{2}$$

$$\Delta V = V_1 - V_2$$

(ข) Inlet ปากทางเข้าสำหรับน้ำตกเอียงแบบท่อ มักประกอบด้วยอาคารควบคุมหรืออาคารอัดน้ำกับ Pipe Inlet ซึ่งอาจแยกพิจารณาได้ดังนี้

(1) ในกรณีที่ใช้อาคารควบคุมและ Pipe Inlet อาคารควบคุมจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดการกัดเซาะทางด้านเหนือน้ำ และต้องออกแบบให้ปริมาณน้ำที่ออกแบบสามารถผ่านไปได้โดยไม่ทำให้ระดับน้ำในคลองด้านหน้าสูงขึ้นหรือต่ำลง

หลักในการออกแบบอาคารควบคุม (Control Notch) คือออกแบบให้ระดับน้ำในคลองด้านหน้าอยู่ใกล้เคียงกับระดับปกติตลอดช่วงตั้งแต่ปริมาณน้ำที่ใช้ออกแบบสูงสุดจน ถึงประมาณ 20% ของปริมาณน้ำที่ใช้ออกแบบ และ Inlet ควรอยู่ห่างจากช่วงโค้งของคลองอย่างเพียงพอเพื่อป้องกันผลกระทบจากคลื่นอันเกิดจากการไหลไม่สมมาตร

2) กรณีที่ใช้อาคารอัดน้ำ โดยทั่วไปเรามักใช้อาคารอัดน้ำตรงช่วงทางเข้ากับน้ำตกเอียงแบบท่อ เราอาจใช้อาคารอัดน้ำนี้เป็นตัวควบคุมน้ำและความเร็วน้ำด้านเหนือน้ำได้ โดยการปรับบานหรือไม้อัดน้ำ ซึ่งเป็นปกติอยู่แล้วที่เราจะต้องอัดน้ำขึ้นเพื่อส่งน้ำไปยังแปลงเพาะปลูกด้านหน้า ในกรณีที่มีปริมาณน้ำมาเพียงบางส่วน นอกจากนี้อาคารอัดน้ำยังใช้เป็นอาคารแบ่งช่วงระหว่างคลองเส้นเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อควบคุมปริมาณน้ำด้านท้าย ซึ่งอาจปิดได้ถ้าไม่ต้องการ

(ค) Pipe ท่อที่ใช้กับน้ำตกเอียงแบบท่อนี้ อาจใช้ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหรือท่อซีเมนต์ใยหินก็ได้ (Asbestos Cement)

(ง) Outlet Transition ใช้เพื่อลดอัตราการกัดเซาะคลองดินด้านท้ายน้ำ และช่วยปรับระดับน้ำให้ราบเรียบ โดยปรับให้อัตราความเร็วใน Transition และอัตราความเร็วในคลองต่างกันน้อยที่สุด เราสามารถทำ Outlet Transition ได้ด้วยคอนกรีตหรือดินสำหรับคลองดิน เรามักใช้ Transition คอนกรีตเมื่ออาคารตัดผ่านทางรถไฟ, ถนนหลวง หรือขนาดของท่อที่ใช้มีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.90 เมตร ขึ้นไป หรือความเร็วของน้ำในท่ออยู่ระหว่าง 1.00-1.50 เมตร/วินาที สำหรับ Transition ที่ใช้มักใช้แบบ Broken-back

1.5.4 การพิจารณาออกแบบน้ำตกเอียงแบบท่อชนิดที่ 1

Hydraulic design

(ก) เลือกขนาดท่อโดยกำหนดความเร็วในท่อดังนี้

- ไม่เกิน 1.00 เมตร/วินาที เมื่อใช้ Transition ด้านใดด้านหนึ่งเป็นดิน
- ไม่เกิน 1.50 เมตร/วินาที เมื่อใช้ Transition เป็นคอนกรีตทั้งสองด้าน

$$\text{จาก } Q = AV$$

$$A = Q / V$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = Q / V$$

$$D = \frac{\sqrt{4Q}}{\pi * V} \rightarrow D = 1.13 \sqrt{Q/V}$$

ปรับค่าเส้นศูนย์กลางท่อให้ตรงกับขนาดที่มีขายตามท้องตลาด

(ข) ในกรณีที่มีอาคารควบคุมหรืออาคารอัดน้ำด้านหน้า

- คำนวณหาระดับก้นท่อที่ทางเข้าซึ่งต่ำพอที่จะทำให้การควบคุมการไหลเกิดขึ้นที่อาคารควบคุมนั้น ไม่ควรให้การควบคุมการไหลเกิดขึ้นที่ปากท่อ

(ค) ลาดของท่อที่ลาดจากปากทางเข้าไม่ควรชันกว่า 0.50

(ง) การคำนวณระดับท่อที่ต้องกดลง (SUMPED) ตรงช่วงทางออกใช้สมการโมเมนต์ตัมในการคำนวณ คือ (P1 + M1) = (P2 + M2)

รูปที่ 1-11 ได้แสดงกระบวนการในการหาระดับก้นท่อที่จุดเริ่มต้น Jump และควรจะมีลาดไปทางด้านท้ายน้ำไม่น้อยกว่า 0.005

(จ) ความยาวของช่วง Sumped

- ในกรณีที่ทางออกเป็นดิน ควรใช้ไม่น้อยกว่า 4 เท่าของความลึกน้ำด้านท้ายน้ำ หรือ 1.80 เมตร (6 ฟุต)

- ในกรณีที่เป็นคอนกรีต ควรใช้ความยาวไม่น้อยกว่า 5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และความยาวท่อไม่ควรน้อยกว่า 4 เท่าของความลึกน้ำด้านท้ายน้ำและช่วง Outlet Transition อาจทำลาดขึ้นไปหาทางน้ำได้

(ช) รอยต่อช่วงทางโค้ง (Bends) ในการเปลี่ยนลาดท่อและแนวท่ออาจใช้ข้อต่อสำเร็จ หรือใช้วิธีตัดต่อ และในการทำควรทำด้วยรัศมีที่ใหญ่เพียงพอ

(ฌ) ดินถมหลังท่อ สำหรับท่อลดระดับที่ลอดทางรถไฟหรือถนนหลวง ต้องมีดินถมหลังท่อไม่น้อยกว่า 0.90 เมตร (3 ฟุต) และถ้าเป็นถนนในไร่นาหรือทางลำเลียงต้องมีดินถมหลังท่อไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร (2 ฟุต) ในกรณีที่ถนนสูงไม่เพียงพอ มักทำเป็นลาดขึ้นมา (RAMP) ประมาณ 1:10 และหากมีคูระบายน้ำข้างถนนตัดผ่าน ระดับท้องคูต้องสูงกว่าหลังท่อไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร

(ฎ) Percolation การเลือกตำแหน่งของ INLET จะต้องวางไว้ในที่ที่สามารถทนทานต่อการไหลลอดใต้อาคารของน้ำได้ โดยการตรวจสอบใช้วิธี Lane Weighted Creep Method ในกรณีที่ความยาวไม่เพียงพอ อาจเพิ่มได้โดยใช้ Pipe Collar ซึ่งนอกจากจะช่วยเพิ่มระยะทางที่น้ำไหลลอดแล้ว ยังช่วยป้องกันมิให้สัตว์จำพวก หนู, กระต่าย ขุดโพรงลอดใต้อาคารด้วย

(ญ) Freeboard ท่อลดระดับชนิดที่ 1 ซึ่งมีอาคารอัดน้ำหรืออาคารควบคุมอยู่ด้านหน้าอาจใช้ Free-board เช่นเดียวกับของอาคารเหล่านั้น (0.30-0.45 ม.)

1.5.5 ส่วนประกอบและการพิจารณาออกแบบท่อลดระดับชนิดที่ 2 หรือน้ำตกเอียงแบบท่อชนิดที่ 2

ส่วนประกอบและการพิจารณาออกแบบ ท่อลดระดับชนิดที่ 2 ประกอบด้วย Transition ด้านเหนือน้ำ (INLET), ท่อ และ OUTLET ท่อลดระดับชนิดที่ 2 ส่วนใหญ่จะคล้ายคลึงกับท่อลดระดับชนิดที่ 1 เพียงแต่ Transition ที่ใช้อาจใช้ INLET TRASITION ชนิด 1, 2, 3 หรือ 4 ถ้าท่อลดระดับนี้ใช้ในงานระบายน้ำ และ Outlet มักใช้ Baffled Outlet หรือ Stilling Pool มากกว่าที่จะปล่อยให้เกิด Jump ภายในท่อ

(ก) Baffled Outlet มักใช้กับท่อลดระดับชนิดที่ 2 นี้ เพื่อสลายพลังงานส่วนเกิน

(ข) Stilling Pools บางครั้งในกรณีที่มีสิ่งปะปน เช่น เศษไม้ ใบหญ้าปะปนมากับน้ำมาก การใช้ Baffled Outlet อาจมีปัญหาเรื่องกำจัดเศษไม้ออก ดังนั้นเราจึงมักเลือกใช้ Stilling Pool แทน Stilling Pool ก็มีหน้าที่ เช่นเดียวกับ Baffled Outlet คือ ทำหน้าที่สลายพลังงาน ลดความเร็ว และความปั่นป่วนของน้ำตรงช่วงทางออก และลดการกัดเซาะทางน้ำด้านท้ายน้ำด้วย

สำหรับ Stilling Pools ที่ปล่อยลงสู่ทางน้ำที่ไม่มีการควบคุม จำเป็นต้องสร้างอาคารควบคุมระดับน้ำ เช่น ฝาย ไว้ทางท้ายอาคาร ทั้งนี้เพื่อให้เกิด Hydraulic Jump ภายใน stilling Pools นี้ โดยเราสามารถหาเส้นลาดพลังงาน (Energy Gradient) ทางด้านท้ายน้ำได้จากความลึกวิกฤตของน้ำที่ล้นข้ามสันฝาย อาคารควบคุมนี้มักจำเป็นต้องใช้อย่างยิ่งในกรณีที่ทางน้ำนั้นปล่อยน้ำลงสู่ทางน้ำธรรมชาติ ช่องเปิดของฝายจะใช้เพื่อระบายน้ำใน Stilling Pool ออก ระดับกันบ่อของ Stilling Pool ขึ้นอยู่กับระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำซึ่งสูงพอที่จะทำให้เกิด Hydraulic Jump ซึ่งหาจากระดับพลังงานต่ำสุดด้านท้ายน้ำ $(d_2 + hv_2)$

ในกรณีที่ใช้ Stilling Pools ในทางน้ำที่มีการไหลเป็นบางครั้งบางคราวและระยะเวลาที่มีน้ำไหลไม่นานนัก เช่น ทางระบายน้ำหรืออาคารซึ่งใช้ระบายน้ำบ่อ ความยาวของบ่อควรใช้อย่างน้อย 3 เท่าของความลึกน้ำด้านท้ายน้ำ แต่ถ้าระยะเวลาของการไหลนาน ควรใช้ความยาวไม่น้อยกว่า 4 เท่า

สำหรับบ่อรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งปริมาณน้ำไม่เกิน 2.800 CMS (100 cfs.) ความกว้างของบ่ออาจหาได้จากสูตรเอมไพริกัล คือ

$$b = \frac{360\sqrt{Q}}{Q + 350} \quad \text{ft.}$$

หรือ

$$b = \frac{18.48\sqrt{Q}}{Q + 9.92} \quad \text{m.}$$

เมื่อ b = ความกว้างของบ่อ เป็นฟุต (หรือ เมตร)

Q = ปริมาณน้ำ เป็น ลบ.ฟุต/วินาที (หรือ ลบ.เมตร/วินาที)

(ค) Outlet Transition ช่องทางออกจากบ่อสลายพลังงานไปยังทางน้ำท้ายน้ำที่เป็นดินหรือคลองดาดนั้น อาจใช้ Transitions ชนิดใดชนิดหนึ่ง เช่น Broken-back กำแพงตรงหรือโค้งต่อเชื่อมเพื่อป้องกันและลดการกัดเซาะทางน้ำด้านท้ายน้ำ โดยมีบางส่วนของ Transition ที่ต้องทำฝังเข้าไปในดิน (Cutoff) เพื่อป้องกันการกัดเซาะเนื่องจากความเร็วน้ำด้านท้ายอาคาร สำหรับ Transition ที่เป็นดิน เรามักใช้หินเรียงหรือกรวดเรียงเพื่อป้องกันการกัดเซาะ ในกรณีที่ใช้ Broken-back Transition ระดับของกำแพง Transition ควรใช้เท่ากับระดับกำแพงบ่อ

Cutoffs ที่ท้าย Transition ควรฝังลึกลงไปไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร (24 inches.) และหนาไม่น้อยกว่า 0.15 เมตร (6 inches.) ในกรณีที่ความลึกของน้ำตรง Cutoffs ลึกไม่เกิน 0.90 เมตร (3 ฟุต) และถ้าน้ำลึกระหว่าง 0.90-1.80 เมตร ควรใช้ความลึกของ Cutoffs ไม่น้อยกว่า 0.75 เมตร (2.5 ฟุต) และหนาไม่น้อยกว่า 0.20 เมตร

ในกรณีที่ใช้ Transition ดิน ควรใช้ความยาว Transition ไม่น้อยกว่า 3.00 เมตร (10 ฟุต)

(ง) การออกแบบเค้าโครง

โดยที่การออกแบบท่อลดระดับไม่อาจกำหนดลงไปแน่นอนได้ ดังนั้นวิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับกำหนดเค้าโครง คือ เขียนแนวระดับดินเดิมตรงแนวศูนย์กลางท่อระดับลงไปในแผนที่รูปตัดแล้วเขียนโครงร่างแนวท่อลดระดับ ดังนั้นเราสามารถกำหนดตำแหน่ง INLET STILLING POOL หรือ BAFFLED OUTLET อย่างคร่าวๆ ได้

1.5.6 ตัวอย่างการคำนวณท่อลอดระดับชนิดที่ 1

จากแผนที่ภูมิประเทศพบว่าคลองสายหนึ่งต้องตัดผ่านถนนแล้วลดระดับลงทันทีตามพื้นที่ ดังนั้น เห็นควรให้สร้างท่อลดระดับชนิดที่ 1 เพื่อลอดใต้ถนนและลดระดับลง โดยมีอาคารควบคุมและ Pipe Inlet เพื่อลดการกัดเซาะคลองดินด้านเหนือน้ำให้เหลือน้อยที่สุด และ Transition ด้านท้ายน้ำเลือกใช้เป็นคอนกรีต เพื่อจะได้ใช้ท่อขนาดเล็กลง

ข้อมูลที่มี

	U/S	D/S	หน่วย
ปริมาณน้ำ (Q)	1.400	1.400	ลบ.เมตร/วินาที
พื้นที่หน้าตัด (A)	2.440	2.440	ตร.เมตร
ความเร็ว (V)	0.583	0.583	เมตร/วินาที
รัศมีชลศาสตร์ (R)	0.526	0.526	เมตร
ความขรุขระ (n)	0.025	0.025	คลองดิน
ลาดท้องคลอง (S)	1:2,000	1:2,000	
ลาดข้างตลิ่ง (S:S)	1:1.5	1:1.5	
ความกว้างก้นคลอง (B)	1.50	1.50	เมตร
ความลึกน้ำ (D)	0.87	0.87	เมตร
Freeboard (F)	0.40	0.40	เมตร
ระดับท้องน้ำ (B.L.)	+100.000	+96.000	รทก.
ระดับน้ำ (F.S.L)	+100.870	+96.870	รทก.

จากรูป 1-11

(1) คำนวณ Energy elevation ที่จุด A :

$$E_A = F.S.L._A + h_{VA}$$

$$= + 100.870 + \frac{0.583^2}{2 \times 9.81}$$

$$= + 100.887$$

(2) คำนวณ Energy elevation ที่จุด H :

$$E_H = F.S.L._H + H_{VH}$$

$$= + 96.870 + \frac{0.583^2}{2 \times 9.81}$$

$$= + 96.887$$

(3) หาขนาดท่อโดยประมาณ : เพราะว่าเลือกใช้ Transition คอนกรีต ดังนั้นความเร็วในท่อที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ = 1.50 เมตร/วินาที

พื้นที่หน้าตัดท่อที่ต้องการ : $A(req'd) = \frac{Q}{V}$

$$= 1.40/.50$$

$$= 0.933 \text{ ตร.เมตร}$$

ใช้ท่อกลม : $A = \frac{\pi * D^2}{4}$

$$D(req'd) = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 * 0.933}{\pi}}$$

$$= 1.09 \text{ เมตร}$$

$\therefore$ เลือกใช้ท่อขนาด $\varnothing$1.20 เมตร (Area = 1.13 ตร.เมตร)

ความเร็วน้ำเมื่อไหลเต็มท่อ = 1.24 เมตร/วินาที < 1.50

(4) คำนวณขนาดของ Pipe Inlet

ความยาว Overflow wall L :

จาก $Q = CLH^{3/2}$

ให้ระดับ Overflow wall อยู่ต่ำกว่าระดับหลังคัน = 15 ซม. [F = 0.40 เมตร]

$H = 40 - 15 = 25$ ซม.

$C = 1.80$

$$2L = \frac{Q}{CH^{3/2}} \quad [\text{ Oveflow ทั้ง 2 ข้าง }]$$

$$= \frac{1.40}{1.8 \times (0.25)^{3/2}}$$

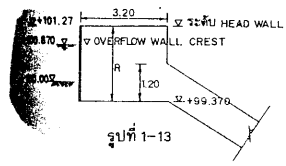
$2L = 6.22$ เมตร

$\therefore$ ใช้ความยาว Transition = 3.11 เมตร say 3.20 เมตร

ความลึก Pipe Inlet (R) :

ระดับน้ำควรท่วมปากท่อ ≈1.50 Δvh (losses ≅ 0.50 Δhv)

สมมุติไม่คิดความเร็วของน้ำที่ไหลเข้า (Approach velocity) :



รูปที่ 1–13

$\Delta hv = hv_P = V_P^2/2g$

$= 1.24^2/(2 \times 9.81)$

$= 0.08$ เมตร

$1.50\ \Delta hv = 0.12$ เมตร

ระดับปากท่อบนอยู่ที่ F.S.L – 1.50 Δhv

= +100.87 – 0.12

= +100.750

ระดับพื้นท่อ = +100.750 – 1.20

= +99.550

ความสูง R = 101.270 – 99.550

= 1.720 เมตร

เนื่องจากต้องการให้การไหลด้านเหนือน้ำเป็น freeflow ดังนั้นลดระดับท่อลงมาอีก

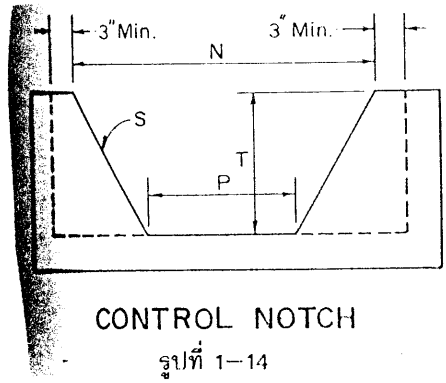
ใช้ความสูง R = 1.90 เมตร

(5) คำนวณ Control Notch

คำนวณ Normal depth ในคลองเมื่อ Q = 0.20 Q design

= 0.20 x 1.400

= 0.280 CMS



CONTROL NOTCH

รูปที่ 1–14

คำนวณ Yn = 0.37 เมตร

V = 0.372 m/sec

A = 0.760 m^2

$V^2/2g$ = 0.007 m

E = Yn + hv

= 0.37 + 0.007

$E_{(0.20Q)}$ = 0.377 เมตร

จากข้อมูล E_Q = 100.887 – 100

= 0.887 เมตร

FLOW (cfs)	b(ft.)	d(ft.)	S	E(ft.)
Qdesign = 49.4	4.92	2.854	0.005	2.91
$Q_{0.20}$ = 9.88	4.92	1.214	0.005	1.24

จากกราฟ เลือกใช้ P = 20" [P ≅ 0.50 m]

S = 0.50

$T = d_n = 0.87$ เมตร

$N = P = 2ST + 0.50 + 2 \times 0.5 \times 0.87 = 1.37$ เมตร Say 1.40 เมตร

(6) หาความกว้างภายในห้อง Pipe Inlet

จากขนาดท่อ : Min.width = Diameter + 2 x 0.15

= 1.20 + 0.30

= 1.50 เมตร

จากขนาด Notch : Min.Width = N + 2 x 0.15

= 1.40 + 0.30

= 1.70 เมตร

∴ ใช้ความกว้าง BOX = 1.70 เมตร

(7) คำนวณระดับต่างๆ ที่ใช้ :

ระดับปากท่อด้านเหนือน้ำ = ระดับกำแพง - R

= +101.270 - 1.90

= +99.370

ระยะของพลังงานที่ลดลง = $E_A - E_H$

= +100.887 - (+96.887)

= 4.00 เมตร

(8) คำนวณระดับ Sump (El.D) ตามรูปที่ 1-11

การคำนวณหาระดับ Sumped ทำได้โดยการ Trial & Error โดยสมมุติค่า d_1 แล้วคำนวณผลต่างของพลังงานจนเท่ากับระดับพลังงานที่ลดลง

สูตรที่ใช้ :

$$\beta = 2\cos^{-1}\left(\frac{D-2d_1}{D}\right)$$

$$A_1 = \frac{D^2}{8}\left(\frac{\pi\beta}{180} - \sin\beta\right)$$

$$\bar{Y}_1 = \left(\frac{\sin^3(\frac{\beta}{2}) \times D \times 120}{\pi * \beta - 180\sin\beta}\right) - \frac{D}{2} + d_1$$

$$\bar{Y}_1 = \left(\frac{\sin(\frac{\beta}{2}) \times D^3}{12 * A_1}\right) - \frac{D}{2} + d_1$$

$$V_1 = Q/A_1$$

$$A_2 = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$V_2 = Q/A_2$$

$$d_2 = \frac{Q(V_1 - V_2)}{A_2 * g} + \frac{(A_1 * Y_1)}{A_2} + \frac{D}{2}$$

$$F = d_1 + hv_1 + d_2 - h_{vp}$$

สมมุติ : $d_1 = 0.25$ m.

$$\beta = 2\cos^{-1}\left(\frac{D-2d_1}{D}\right) = 2\cos\left(\frac{1.20 - 2 \times 0.25}{1.20}\right) = 108.63^\circ$$

$$A_1 = \frac{D^2}{8}\left(\frac{\pi\beta}{180} - \sin\beta\right) = \frac{1.20^2}{8}\left(\frac{\pi \times 108.63}{180} - \sin 108.63\right) = 0.1707 \text{ m}^2$$

$$\bar{Y}_1 = \left(\frac{\sin(\beta/2) \times D}{12 * A_1}\right)^3 - D/2 + d_1 = \left(\frac{\sin 54.32 \times 1.20}{12 * 0.1707}\right)^3 - \frac{1.20}{2} + 0.25$$

$$= 0.1020 \text{ m.}$$

$$V_1 = Q/A_1 = \frac{1.400}{0.1707} = 8.202 \text{ m/s}$$

$$hv_1 = V_1^2/2g = 3.429 \text{ m.}$$

$$A_P = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 1.20^2}{4} = 1.131 \text{ m}^2$$

$$V_P = Q/A_2 = 1.400/1.131 = 1.238 \text{ m/sec.}$$

$$hV_P = 0.078 \text{ m.}$$

$$d_2 = Q\frac{(V_1 - V_2)}{A_2 * g} + \left(\frac{A_1}{A_2} * y_1\right) + \frac{D}{2}$$

$$= \frac{1.400(8.202 - 1.238)}{1.131 * 9.81} + \left(\frac{0.1707}{1.131} \times 0.1020\right) + \frac{1.20}{2}$$

$$= 1.494 \text{ m.}$$

$$F = d_1 + hv_1 - d_2 - hvp$$

$$= 0.25 + 3.429 - 1.494 - 0.078$$

$$= 2.107 \text{ m.} < 4.00 \text{ m.} \qquad \text{NO.K}$$

Assume : $d_1 = 0.21$ m.

$A_1 = 0.1329$ m^2

$Y_1 = 0.0854$ m.

$V_1 = 10.532$ m/sec

$hv_1 = 5.653$ m.

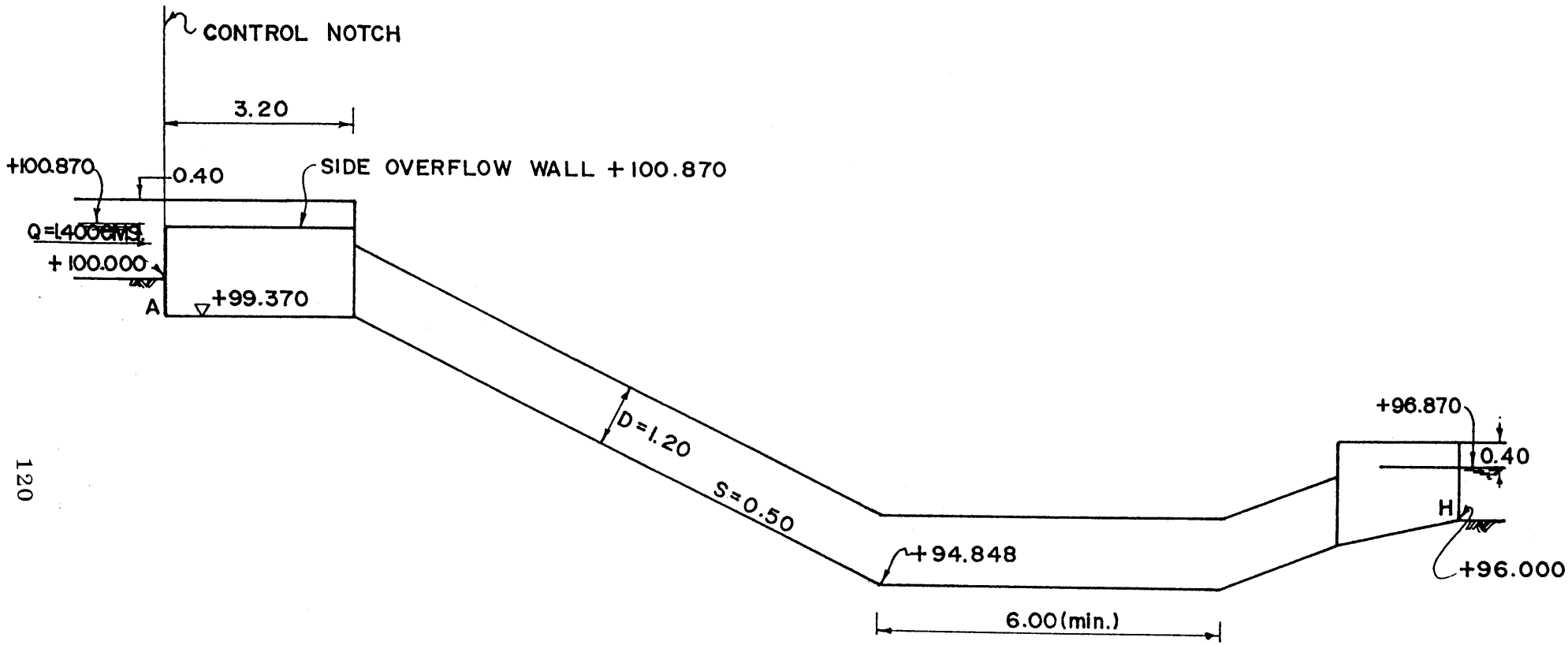
$d_2 = 1.783$ m.

$F = 4.002$ m. $\simeq$ 4.00 m. OK

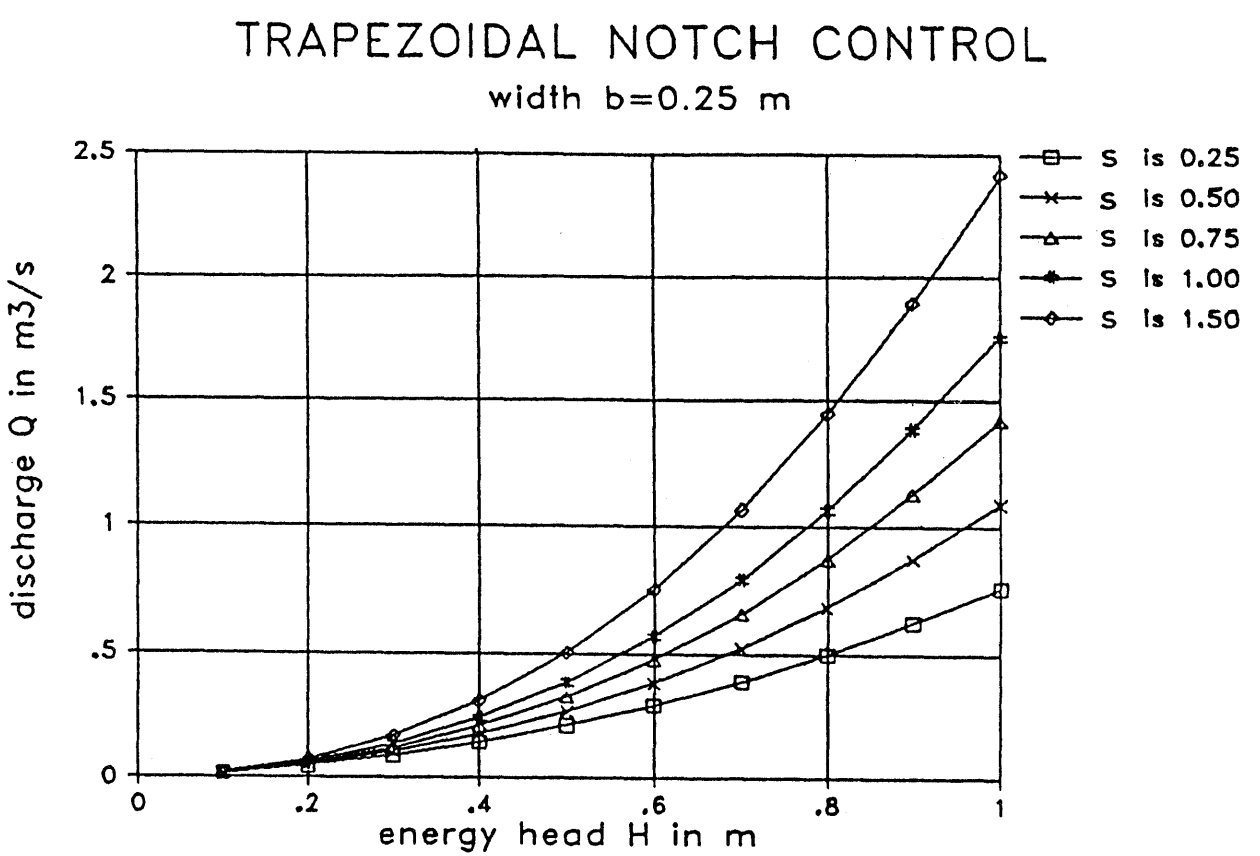
El. "D" = Energy El. at H - ($d_2 + hv_p + 0.1\ d_2$) [10% safety factor]

= +96.887 - (1.783 + 0.078 + 0.1 x 1.783)

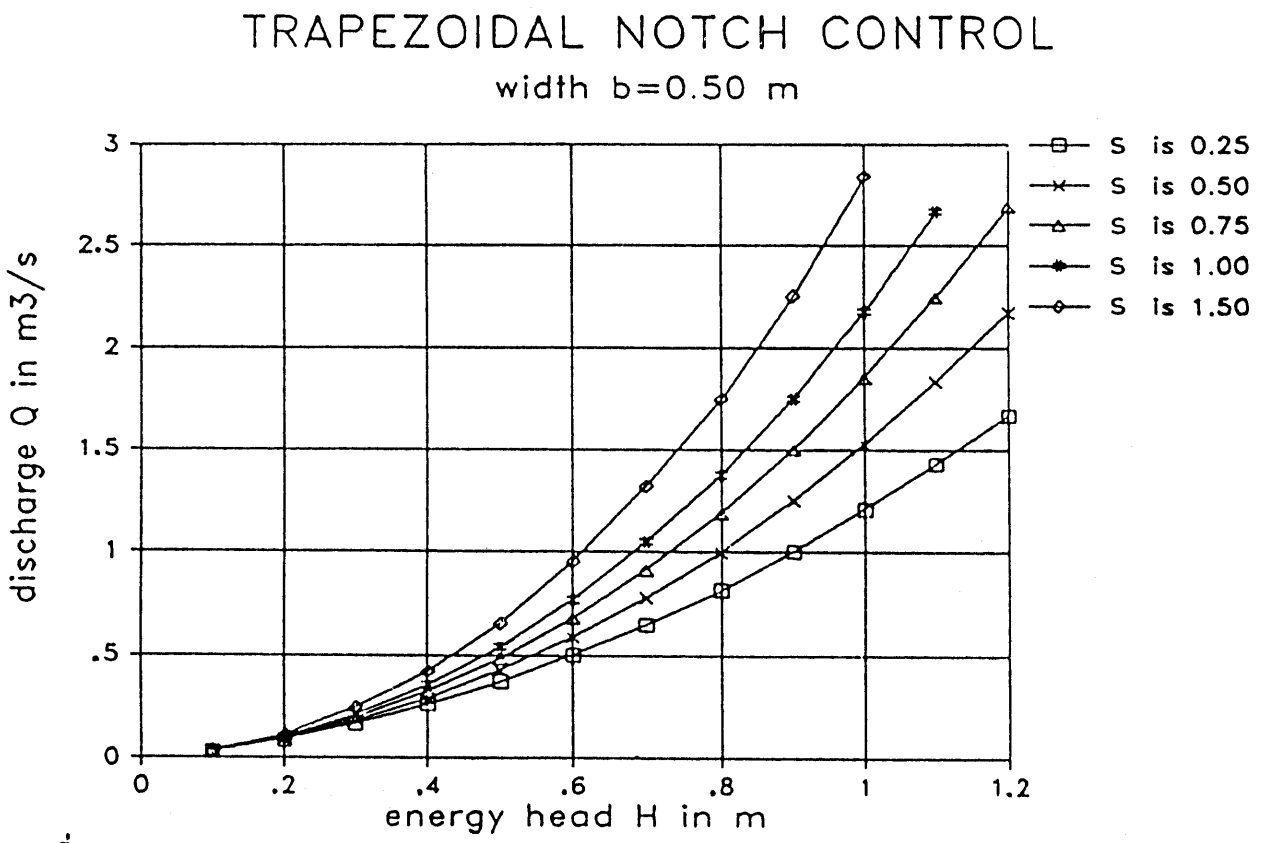
= +94.848



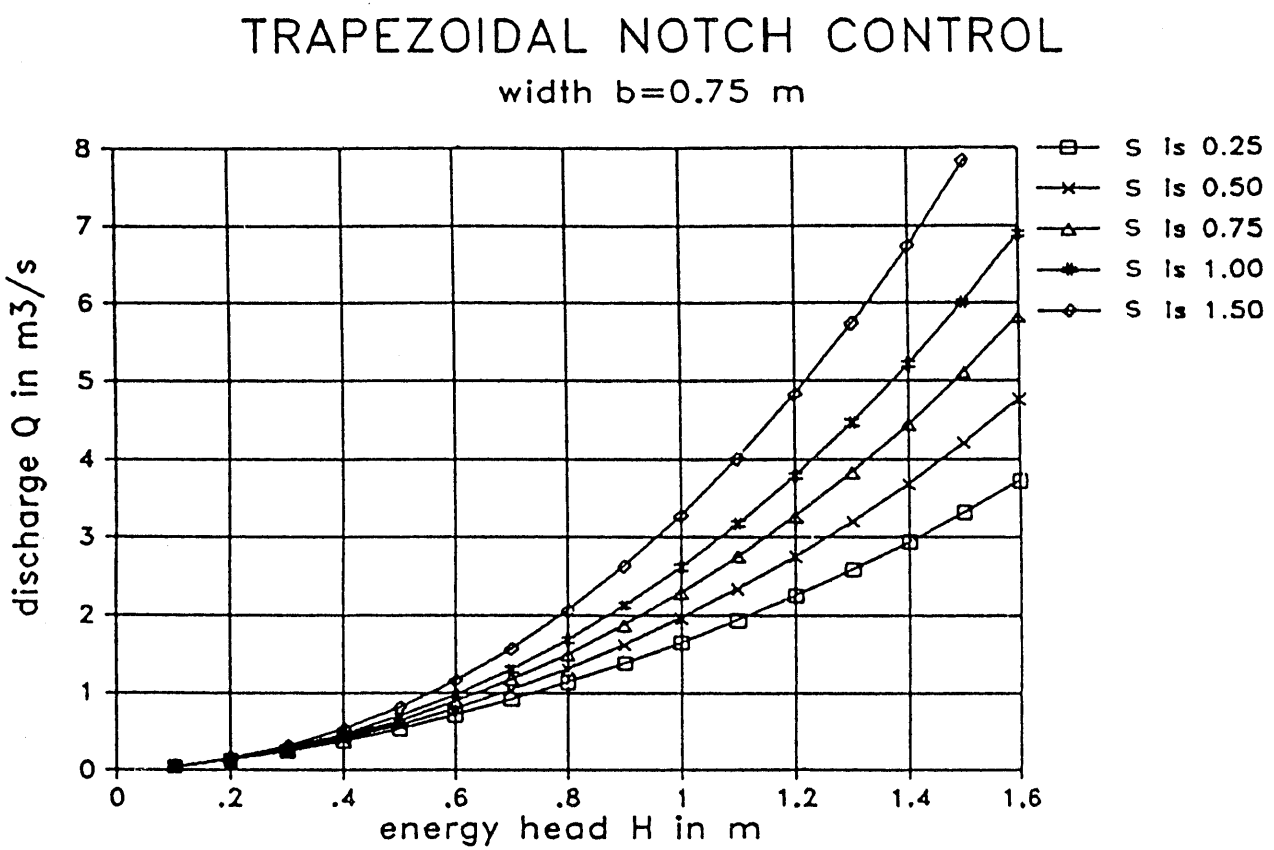
รูปที่ 1-15 PROFILE ของท่อลอดถนนลดระดับ



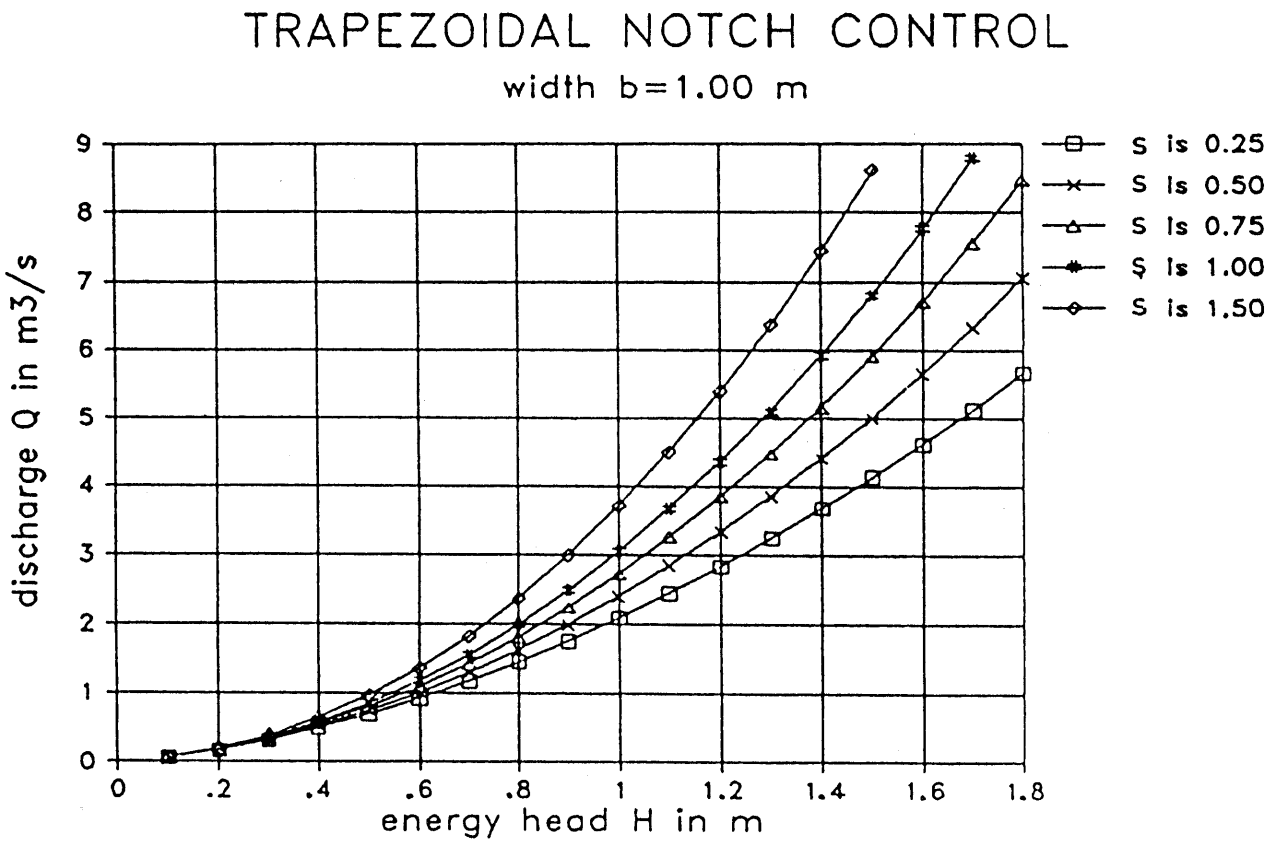
รูปที่ 1–16 *Trapezoidal Notch Control*



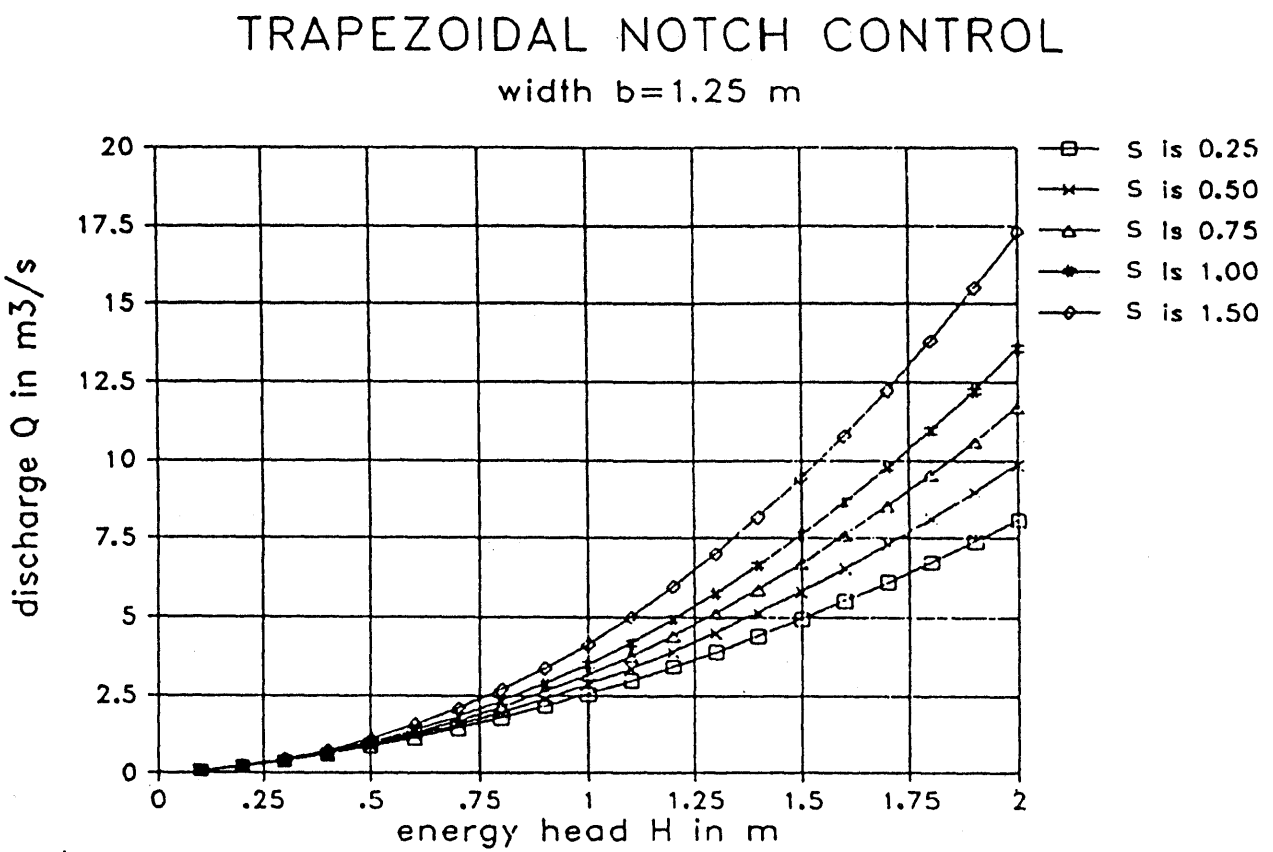
รูปที่ 1-17 *Trapezoidal Notch Control*



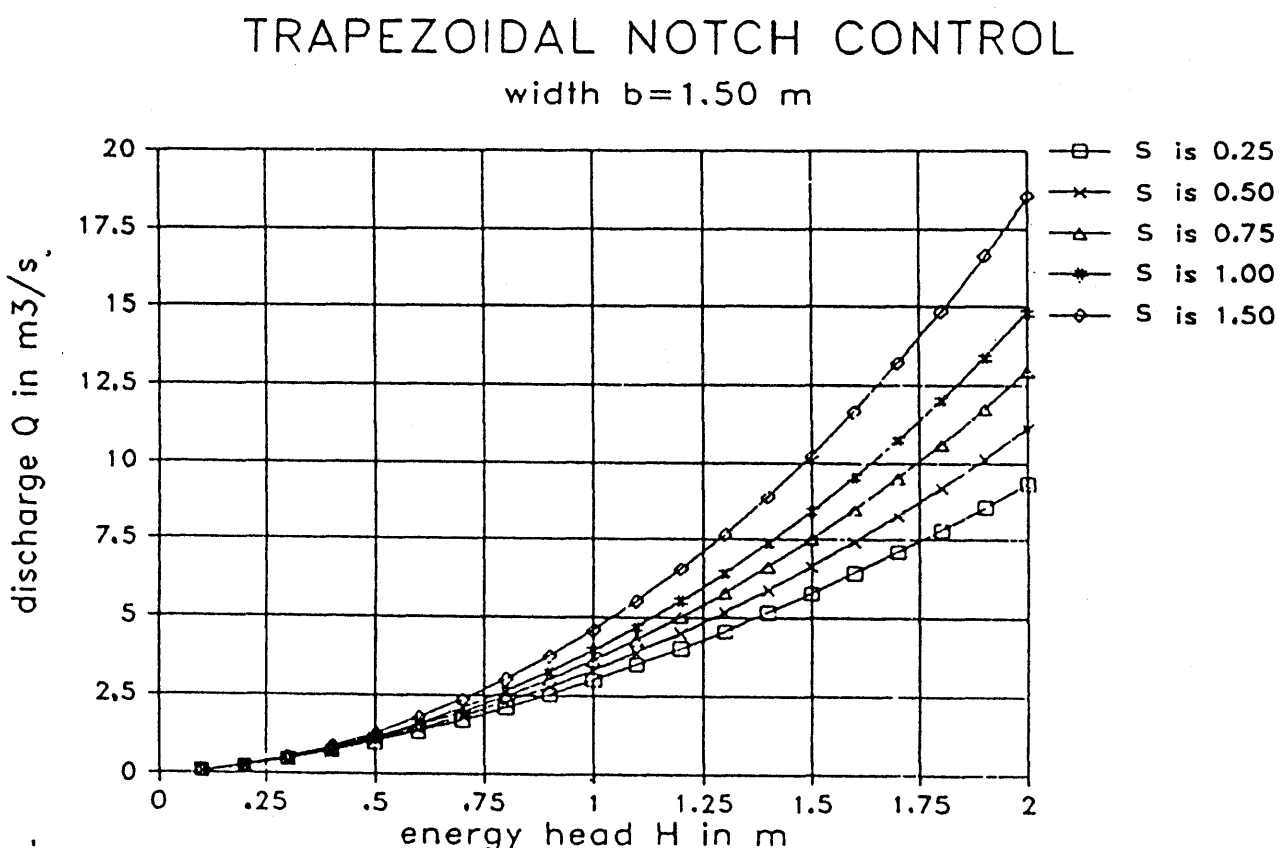
รูปที่ 1-18 *Trapezoidal Notch Control*



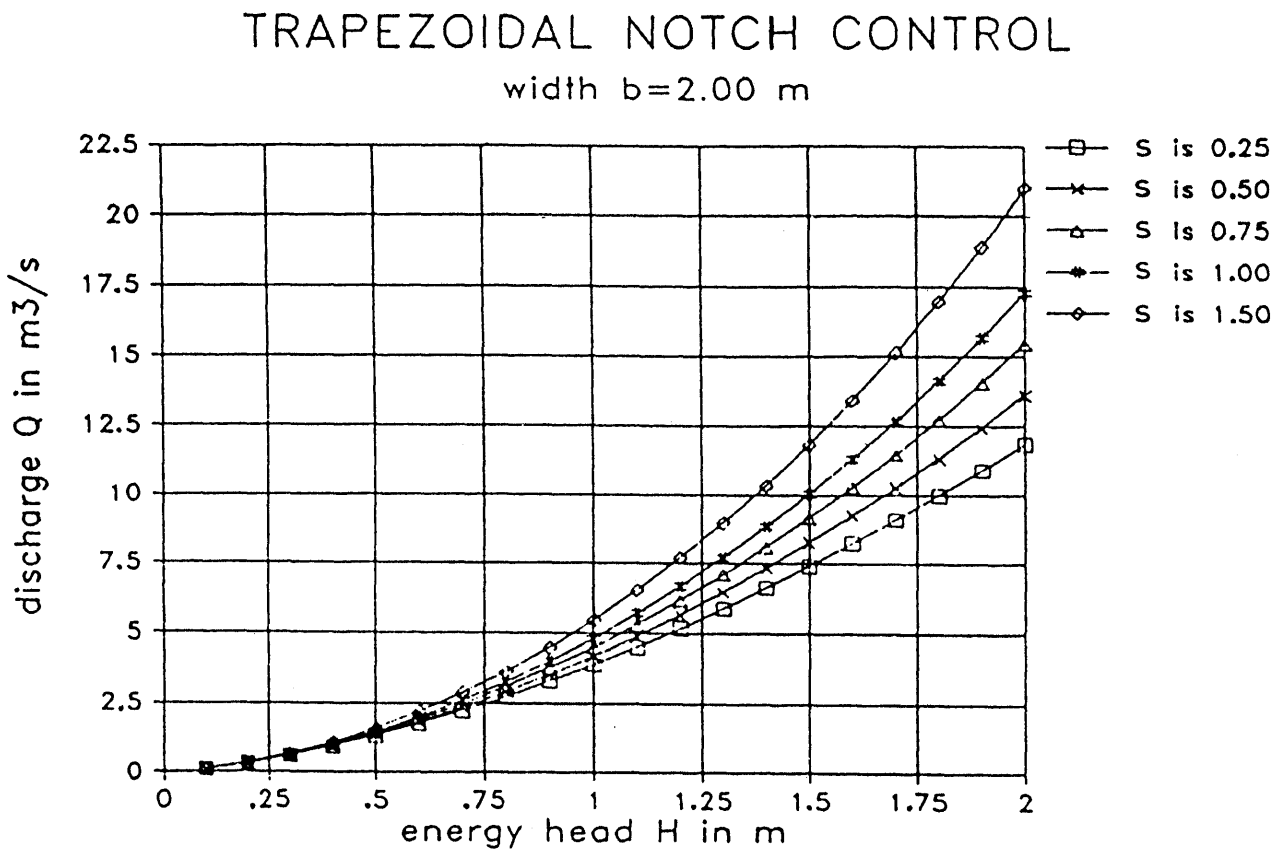
รูปที่ 1-19 *Trapezoidal Notch Control*



รูปที่ 1-20 *Trapezoidal Notch Control*



รูปที่ 1 – 21 *Trapezoidal Notch Control*



รูปที่ 1-22 *Trapezoidal Notch Control*

(9) กำหนดความยาวของช่วง Sumped

สำหรับ Transition คอนกรีตใช้ = 5 D (min) = 5 x 1.20 = 6.00 เมตร

(Transition ดิน ใช้ = 4 d_2 (min))

ความยาวท่อจนถึง Transition = 4 d_2 (min)

= 4 x 1.783

= 7.132 เมตร

Say = 8.00 เมตร

1.6 รางเท (Chute)

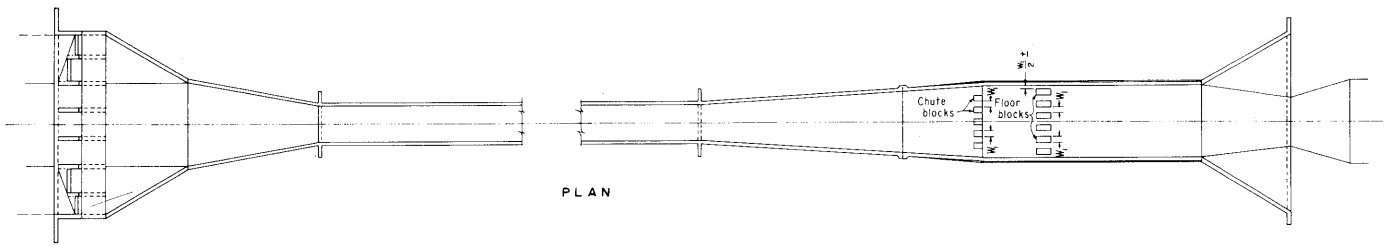
1.6.1 จุดประสงค์ รางเทใช้ในการลำเลียงน้ำจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ รางเทประกอบด้วยปากทางเข้า ส่วนรางเทอาคารสลายพลังงานและปากทางออก รูปที่ 1-23 แสดงถึงความสัมพันธ์ของส่วนประกอบต่างๆ ของอาคาร ส่วนรางเทนั้นอาจจะเป็นท่อ เรียกว่า รางเทแบบท่อ หรืออาจจะเป็นช่องทางเปิด เรียกว่า รางเทแบบเปิด รางเทคล้ายๆ กับน้ำตก ต่างกันตรงที่ว่ารางเทนำพาน้ำไปได้ไกลกว่า ความลาดเอียงราบกว่าและผ่านพื้นที่ที่ลาดต่างๆ กันมาก

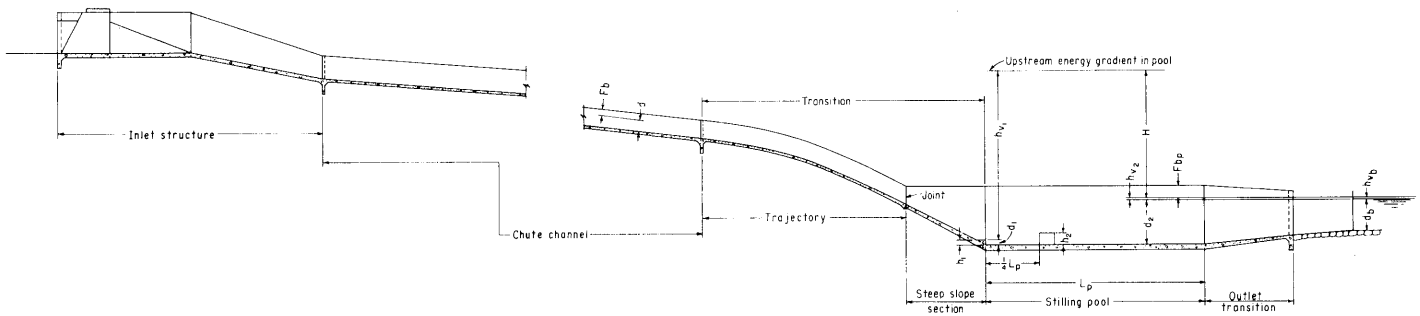
ส่วนปากทางเข้าจะมีส่วนเชื่อมต่อเพื่อรับน้ำทางด้านเหนือน้ำต่อจากคลองเข้ามาในส่วนรางเท ปากทางเข้าควรจะมีการควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลเร็วและเกิดการกัดเซาะในร่องน้ำได้ การควบคุมจะทำได้โดยรวมเอาอาคารอัดน้ำ, ฝาย หรืออาคารควบคุมแบบช่องน้ำตกอย่างใดอย่างหนึ่งเข้ากับปากทางเข้า ปากทางเข้านั้นควรจะวางให้สมดุลกับแนวศูนย์กลางของรางเทซึ่งสามารถรับน้ำได้เต็มความจุของน้ำด้านเหนือน้ำโดยมีระดับน้ำที่ระดับปกติหรือที่ออกแบบไว้ และสามารถระบายน้ำในร่องน้ำด้านเหนือน้ำออกได้เต็มที่ ควรมีกำแพงคัดอ๊อฟเพื่อให้ความยาวของการซึมลอดของน้ำเพียงพอตามการคำนวณโดยวิธี Lane's weighted creep การสูญเสียเฮดผ่านปากทางเข้าอาจตัดทิ้งได้ถ้ามีค่าน้อย ไม่เช่นนั้นจะต้องมีการคำนวณการสูญเสียพลังงาน เมื่อผ่านปากทางเข้าและใช้เป็นพลังงานเริ่มต้นของส่วนรางเท ถ้าพื้นปากทางเข้าแบนราบจะสมมุติให้การไหลวิกฤตเกิดขึ้นตรงช่วงต่อของพื้นราบปากทางเข้ากับช่วงลาดที่ชันกว่าของส่วนรางเท ถ้าลาดส่วนปากทาง เข้าชันจะทำให้ความเร็วของน้ำในช่วงนี้มากกว่าความเร็ววิกฤต ความเร็วและความลึกของน้ำควรจะคำนวณและใช้ในการหาลาดพลังงานตรงจุดเริ่มต้นของส่วนรางเท

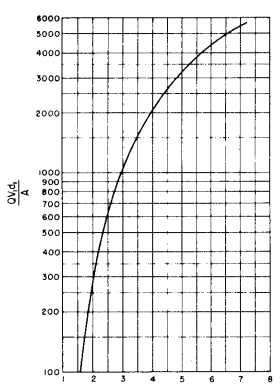
ส่วนรางเทไม่ว่าจะเป็นท่อหรือช่องทางเปิด โดยทั่วไปจะคำนวณไปตามระดับดินเดิมต่อเนื่องไปจนถึงอาคารสลายพลังงานในช่วงท้ายในหนังสือกลศาสตร์ของไหลส่วนมากอธิบายถึงพฤติกรรมของน้ำบนทางลาดชันและการกระโจนตัวของน้ำและวิเคราะห์สมการที่ใช้หาลักษณะการไหลของน้ำภายใต้สภาวะนี้ วิธีทำบางวิธีหามาได้จากการทดลองและหาความคลาดเคลื่อนหรือใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการหาซึ่งจะยุ่งยากน้อยลง

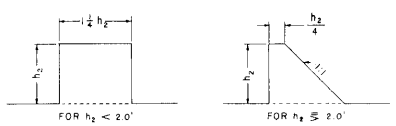
อ่างน้ำนิ่งหรือปากทางออกชนิดมีแผงสลายพลังงานใช้เป็นอาคารสลายพลังงานในอาคารรางเท

ส่วนเชื่อมต่อปากทางออกใช้ในกรณีที่ต้องการเชื่อมการไหลระหว่างอาคารสลายพลังงานและร่องน้ำด้านท้ายน้ำ ถ้าระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำมีผลต่ออาคารสลายพลังงาน ระดับน้ำที่ปากทางออกนี้ ควรจะต้องมีการควบคุม ถ้าส่วนเชื่อมต่อด้านท้ายน้ำปากทางออกเป็นคอนกรีตและไม่มีการควบคุมการไหลของน้ำในร่องน้ำด้านท้ายน้ำ ส่วนเชื่อมต่อนี้จะใช้ในการกักน้ำให้เอ่อล้น โดยการยกพื้นให้สูงขึ้นตรงกำแพงคัดอ๊อฟตามรูป 1-23 บางทีอาจจะสร้างอาคารควบคุมระดับน้ำในส่วนเชื่อมต่อด้านท้ายน้ำปากทางออก การสูญเสียเฮดในส่วนเชื่อมต่อด้านท้ายน้ำปากทางออกไม่นำมาคิด









EXPLANATION

A_1 ..... Area of water prism at beginning of the hydraulic jump.
d_1 ..... Computed depth at beginning of hydraulic jump.
h_{v_1} ..... Velocity head at beginning of hydraulic jump.
d_2 ..... Depth at end of hydraulic jump.
h_{v_2} ..... Velocity head at end of hydraulic jump.
d_b ..... Normal water depth in canal or channel downstream.
$\frac{V^2}{2g}$ ..... Velocity head for canal or channel downstream.
d' ..... Maximum computed water depth in chute channel.
h_1 ..... Height of chute blocks, usually set equal to d_1.
h_2 ..... Height of floor blocks in pool, usually set equal to $\frac{1}{4}d_2$ for d_2 from 0' to 8'; then vary uniformly formly from $\frac{1}{4}d_2$ to $\frac{1}{8}d_2$ for values of d_2 from 8' to 24'; $\frac{1}{8}d_2$ for d_2 greater than 24'. Minimum h_2 equals 8".
V_1 ..... Velocity at the beginning of the hydraulic jump.
W_1 ..... Width and spacing of chute and pool floor blocks, usually set equal to d_1 with 8" minimum.
L_p ..... Length of stilling pool.
Fb_p ..... Freeboard in stilling pool. (See curve.)
Fb ..... Freeboard in chute.
H ..... Energy loss in hydraulic jump.

รูปที่ 1-23 รูปแบบรางเทลี่เหลี่ยมผืนผ้า

1.6.2 รางเทแบบเปิด (**Open Channel Chute**)

1.6.2.1 การพิจารณาออกแบบ

ก. ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืด n (Manning's coefficient of roughness's) ค่า n จะนำมาใช้ในการคำนวณลักษณะการไหลของน้ำในอาคารรางเท, การคำนวณหาความสูงกำแพงของรางเทคอนกรีต เราสมมุติให้ n = 0.014 ในการคำนวณหาค่าพลังงานเราสมมุติให้ n = 0.010

ข. ส่วนเชื่อมต่อ ส่วนเชื่อมต่อในรางเทแบบเปิดจะต้องออกแบบเพื่อป้องกันการเกิดคลื่นการเปลี่ยนแปลงรูปตัดอย่างทันทีทันใด ไม่ว่าจะเป็นการสอบเข้าหรือผายออกอาจทำให้เกิดคลื่นในขณะที่น้ำไหลผ่านส่วนรางเทและอาคารสลายพลังงาน เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดคลื่น ค่า cotangent ของมุมหักเหของผิวน้ำในแปลนแต่ละด้านของส่วนเชื่อมต่อรางเทไม่ควรน้อยกว่า 3.375 เท่าของ Froude number (F) ข้อจำกัดของมุมหักนี้สามารถนำไปใช้ในกรณีการเปลี่ยนขนาดในปากทางเข้า ในส่วนรางเท หรือในอ่างน้ำนิ่ง ถ้าข้อจำกัดนี้ไม่ได้นำมาใช้บังคับมุมหักเห มุมหักเหมากที่สุดของผิวน้ำในส่วนเชื่อมต่อปากทางเข้าด้านเหนือน้ำอาจจะใช้ประมาณ 30° มุมหักเหของผิวน้ำที่ทำกับแนวศูนย์กลางในส่วนเชื่อมต่อปากทางออกด้านท้ายน้ำอาจจะใช้มากที่สุดประมาณ 25°

มุมหักเหมากที่สุดคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Cotangent } \alpha = 33.375 \times F \qquad (1)$$

โดย

$$F = \frac{V}{\sqrt{(1-k)gd\cos\theta}} \qquad (2)$$

ค่าเฉลี่ยของ ค่า F ที่จุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของส่วนเชื่อมต่อจะนำมาใช้

d = ความลึกของน้ำตั้งฉากกับพื้นของรางเท ใช้

$$d = \frac{\text{พื้นที่รูปตัด}}{\text{ความกว้างผิวน้ำของรูปตัด}}$$

โดยใช้ได้กับรูปร่างต่างๆ ของรูปตัด

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

= 9.81 ม./วินาที^{2}

K = ตัวประกอบของอัตราเร่ง หาได้ดังนี้

กรณีพื้นของส่วนเชื่อมต่อ รวม

K = 0

กรณีพื้นของส่วนเชื่อมต่อเป็นโค้งวงกลม

$$K = \frac{V^2}{gR\cos\theta} \qquad (3)$$

กรณีพื้นของส่วนเชื่อมต่อเป็นโค้งพาราโบลิค

$$K = \frac{(\tan\theta_L - \tan\theta_O)2h_V COS^2\theta_O}{L_T} \quad (4)$$

USBR กำหนดค่า K มากที่สุด = 0.5 เพื่อให้มั่นใจว่าความดันเป็นบวกที่พื้นใน (3) และ (4)

h_v = เฮดความเร็วที่จุดเริ่มต้นของส่วนโค้งพุ่ง

L_T = ความยาวของส่วนโค้งพุ่ง

R = รัศมีความโค้งของพื้น

V = ความเร็วตรงจุดที่พิจารณา

θ = มุมเอียงของพื้นตรงจุดที่พิจารณา

θ_O = มุมเอียงของพื้นตรงจุดเริ่มต้นของส่วนโค้งพุ่ง

θ_L = มุมเอียงของพื้นตรงจุดสิ้นสุดของส่วนโค้งพุ่ง

มุมผายออกและความกว้างของจุดหลายจุดตามส่วนเชื่อมต่อสามารถคำนวณหาได้และเขียนออกมาโดยการใช้เส้นคอร์ดซึ่งประมาณส่วนโค้งนำมาเขียนลงเพื่อพิจารณาส่วนผายออก การจำกัดมุมของการผายออกในส่วนเชื่อมต่อปากทางเข้าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในการที่จะทำให้การไหลไม่ปั่นป่วนในช่วงของอาคารส่วนนั้น ส่วนเชื่อมต่อปากทางเข้าที่ไม่สมดุลกันและการเปลี่ยนแนวอย่างทันทีทันใด ด้านเหนือน้ำของอาคารจะต้องหลีกเลี่ยง เพราะว่าจะก่อให้เกิดคลื่นทางขวางหรือการไหลของน้ำทางขวางซึ่งจะไหลเข้าไปในช่วงรางเทได้

ค) ส่วนรางเท

รูปร่างทั่วไปของรางเทแบบเปิดนั้นมักเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่ลักษณะการไหลแบบรูปร่างอื่นก็ควรจะพิจารณาในแง่การป้องกันไม่ให้เกิดคลื่น, ความประหยัดและความสะดวกในการก่อสร้างก็จะนำมาพิจารณาในการกำหนดรูปร่างของรางเทด้วย เมื่อจำเป็นต้องป้องกันการเลื่อนตัวของรางเขาควรจะมีกำแพงคัดอ๊อฟเป็นตัวยึดไว้กับฐานราก

รางเทที่มีความยาวน้อยกว่า 9 ม. ความฝืดในรางเทตัดทิ้งได้สมการ Bernoulli จะใช้ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำที่พื้นของรางเท โดยมีสมการ

$$d_1 + h_{v1} + Z = d_2 + h_{v2} \quad (5)$$

หาผลลัพธ์โดยวิธีทดลอง ระยะ Z คือระดับที่แตกต่างกันของพื้นที่รางเท สำหรับรางเทที่ยาวกว่า 9 ม. จะต้องนำการสูญเสียเนื่องจากความฝืดมาคิดด้วย จะได้สมการดังนี้

$$d_1 + h_{v1} + Z = d_2 + h_{v2} + h_f \quad (6)$$

ค่า h_f คือการสูญเสียจากความฝืดในช่วงที่เราพิจารณา และเท่ากับลาดความฝืดเฉลี่ย S_a ในช่วงนั้นคูณด้วยความยาวของช่วง L ค่า Mainning's n สมมุติให้เท่ากับ 0.010 ลาดความฝืด S_f ที่จุดต่าง ๆ ในส่วนรางเทคำนวณได้ดังนี้

$$S_f = \frac{n^2V^2}{R^{4/3}}$$

R = รัศมีชลศาสตร์ของรูปตัด

ในสมการ (5) และ (6)

d_1 = ความลึกของน้ำด้านเหนือน้ำของช่วงที่พิจารณา

h_{v1} = เฮดความเร็วด้านเหนือน้ำของช่วงที่พิจารณา

d_2 = ความลึกของน้ำด้านท้ายน้ำของช่วงที่พิจารณา

h_{v2} = เฮดความเร็วด้านท้ายน้ำของช่วงที่พิจารณา

ใช้สมการ (5) หรือ (6) สมมุติค่า d_2 แล้วคำนวณหาระดับพลังงาน นำมาเปรียบเทียบกันจนกระทั่งระดับพลังงานทั้งสองจะสมดุล

รูปแบบสมการอีกแบบที่คิดความฝืด คือ

$$L = \frac{(d_1 + h_{V1}) - (d_2 + h_{V2})}{S_a - S} \qquad (7)$$

โดยที่

S_a = ลาดความฝืดเฉลี่ย

S = ลาดพื้นร่องน้ำ

การใช้สมการที่ (7) ขั้นตอนการใช้สมมุติให้มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานทีละน้อยและจะนำมาหาความยาวที่เกี่ยวพันกับการเปลี่ยนพลังงานนี้ การหานี้จะหาไปทีละช่วงเรื่อยๆ ไปจนกระทั่งได้ความยาวทั้งหมดเท่ากับความยาวของช่วงรางเทที่พิจารณา ค่าความยาวยิ่งน้อยค่าความละเอียดยิ่งมาก

ความสูงของกำแพงในส่วนรางเทแบบเปิดควรจะเท่ากับความลึกของน้ำสูงสุดที่คำนวณได้บวกด้วยระยะพันน้ำหรือ 0.4 เท่าของความลึกวิกฤตในส่วนรางเทบวกด้วยระยะพันน้ำ โดยขึ้นอยู่กับว่าค่าไหนจะมากกว่ากัน ระยะพันน้ำน้อยที่สุดของรางเทแบบเปิด (อัตราการไหล 2.83 ม.^{3}/วินาที หรือน้อยกว่า) คือ 0.30 ม. ความลึกและระยะพันน้ำจะวัดตั้งฉากกับพื้นของรางเท

ที่ความเร็วมากกว่า 9 ม./วินาที ในน้ำจะมีฟองอากาศ ดังนั้นระยะพันน้ำที่ใช้สำหรับกำแพงรางเทจะต้องเผื่อความสูงของฟองอากาศด้วย

ง) ส่วนโค้งพุ่ง เมื่ออาคารสลายพลังงานเป็นอ่างน้ำนิ่ง ส่วนที่มีความลาดชันสั้นๆ ควรต่อส่วนโค้งพุ่งกับอ่างน้ำนิ่ง ลาดของส่วนที่ชันนี้ควรจะอยู่ระหว่าง 1:1.5 และ 1:3 แต่ควรจะเป็น 1:2 กรณีที่ลาดราบกว่านี้อาจจะใช้ในกรณีพิเศษ แต่ลาดที่ราบกว่า 1:6 ไม่ควรใช้โค้งแนวดิ่งที่ใช้ต่อระหว่างส่วนรางเทกับส่วนลาดชันโค้งพาราโบลิคจะให้ค่าคงที่ K ต่อความยาวของโค้งและใช้โดยทั่วไป ส่วนโค้งพุ่งพาราโบลิคอาจหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$Y = \frac{X\tan\theta_O + (\tan\theta_L - \tan\theta_O)X^2}{2\,L_T} \qquad (8)$$

โดยที่

X = ระยะทางราบจากจุดเริ่มต้นถึงจุดบนส่วนโค้งพุ่ง

Y = ระยะทางดิ่งจากจุดเริ่มต้นถึงจุด X บนส่วนโค้งพุ่ง

L_r = ความยาวทางราบจากจุดเริ่มต้นถึงจุดปลายส่วนโค้งพุ่ง

θ_O = มุมเอียงของรางเทที่จุดเริ่มต้นของส่วนโค้งพุ่ง

θ_L = มุมเอียงของรางเทที่จุดปลายส่วนโค้งพุ่ง

ความยาวของส่วนโค้งพุ่งควรเลือกค่าที่แทนในสมการ (4) แล้วได้ค่า K = 0.5 หรือน้อยกว่า แล้วนำค่า L_T นี้ไปแทนค่าในสมการ (8) เพื่อหาค่า Y

ส่วนโค้งพุ่งควรจะสิ้นสุดตรงหรือด้านเหนือน้ำที่กำแพงรางเทตัดกับกำแพงบ่อน้ำนิ่ง เราอาจจะใช้โค้งรัศมียาวที่ค่อนข้างราบกว่า ส่วนโค้งพุ่งที่คำนวณได้ในทางปฏิบัติส่วนโค้งพุ่งจะทาบกับส่วนเชื่อมต่อที่ต้องการ

ตัวแปรต่างๆ ในการไหลบนส่วนโค้งพุ่งและส่วนชันให้คำนวณเหมือนกับช่วงรางเท ระดับของพื้นอ่างน้ำนิ่งจะสมมุติขึ้นมา แล้วคำนวณลาดพลังงานตรงจุดตัดกันของส่วนรางเทกับพื้นอ่าง ตัวแปรการไหลตรงจุดนี้จะใช้ตัวแปรก่อนเริ่มเกิดการกระโจนตัวของน้ำในส่วนการออกแบบอ่างน้ำนิ่ง

จ) อ่างน้ำนิ่ง ในอ่างน้ำนิ่งไหลลงจากส่วนลาดชันด้วยความเร็วมากกว่าความเร็ววิกฤต การเปลี่ยนส่วนลาดชันแล้วมาพบกับพื้นอ่างน้ำนิ่งทำให้เกิดการกระโจนตัวของน้ำ และพลังงานถูกสลายไปจากผลของการปั่นป่วนนี้ การกระโจนตัวจะเกิดในอ่างน้ำนิ่ง ค่า Froude number ($F = V_1/\sqrt{gd_1}$) มีค่าระหว่าง 4.5 ถึง 15 เมื่อน้ำไหลเข้ามาในอ่างน้ำนิ่ง จะต้องมีการศึกษาเป็นกรณีพิเศษหรือทำแบบจำลองในกรณีที่ Froude number ไม่อยู่ในช่วง 4.5 ถึง 15 ถ้า Froude number น้อยกว่า 4.5 การกระโจนตัวของน้ำที่มั่นคงอาจจะไม่เกิดขึ้น ถ้า Froude number มากกว่า 10 อ่างน้ำนิ่งอาจจะไม่ใช่อาคารสลายพลังงานที่เลือกใช้ได้ดีที่สุด อ่างน้ำนิ่งต้องการระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำเพื่อผลักดันการกระโจนตัวของน้ำให้เกิดความปั่นป่วนภายในอ่างน้ำนิ่ง

อ่างน้ำนิ่งโดยทั่วไปจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กำแพงขนานกันและพื้นราบ สมการต่อไปนี้ใช้หาความกว้างของอ่างและความลึกของน้ำหลังจากเกิดการกระโจนตัวของน้ำ อ่างที่มีรูปร่างผายออกนำมาใช้เป็นกรณีพิเศษในบางครั้ง สำหรับอัตราการไหลไม่เกิน 2.83 $ม^3$/วินาที สมการที่ใช้คือ

$$b = \frac{198.75\sqrt{Q}}{0.0283Q + 350}$$

โดย b = ความกว้างของอ่างเป็น ม.

Q = อัตราการไหลเป็น $ม^3$/วินาที

สมการนี้อาจจะใช้หาความกว้างของอ่างในการคำนวณเริ่มต้น ความลึกของน้ำหลังจากการกระโจนตัวของน้ำหาได้จากสูตร

$$d_2 = -\frac{d_1}{2} + \sqrt{\frac{2v_1^2 d_1}{g} + \frac{d_1^2}{4}}$$

H/d_c	0		0.1		0.2		0.3		0.4		0.5		0.6		0.7		0.8		0.9	
	d_2/d_1	d_1/d_c	d_2/d_1	d_1/d_c	d_2/d_1	d_1/d_c	d_2/d_1	d_1/d_c	d_2/d_1	d_1/d_c	d_2/d_1	d_1/d_c	d_2/d_1	d_1/d_c	d_2/d_1	d_1/d_c	d_2/d_1	d_1/d_c	d_2/d_1	d_1/d_c
0	1.0	1.0	2.07	.680	2.48	.614	2.81	.572	3.09	.541	3.35	.516	3.60	.494	3.82	.477	4.04	.461	4.24	.448
1	4.44	.436	4.64	.425	4.82	.415	5.00	.405	5.18	.397	5.36	.389	5.53	.381	5.69	.375	5.86	.368	6.02	.362
2	6.18	.356	6.33	.351	6.49	.345	6.64	.340	6.79	.336	6.94	.331	7.09	.327	7.23	.323	7.38	.319	7.52	.315
3	7.66	.311	7.80	.308	7.94	.304	8.07	.301	8.21	.298	8.34	.295	8.48	.292	8.61	.289	8.74	.286	8.87	.284
4	9.00	.281	9.13	.278	9.26	.276	9.39	.274	9.51	.271	9.64	.269	9.76	.267	9.89	.265	10.01	.263	10.13	.261
5	10.25	.259	10.38	.257	10.50	.255	10.62	.253	10.73	.251	10.85	.250	10.97	.248	11.09	.246	11.21	.244	11.32	.243
6	11.44	.241	11.55	.240	11.67	.238	11.78	.237	11.90	.235	12.01	.234	12.12	.233	12.24	.231	12.35	.230	12.46	.228
7	12.57	.227	12.68	.226	12.79	.225	12.90	.223	13.01	.222	13.12	.221	13.23	.220	13.34	.219	13.45	.218	13.56	.216
8	13.66	.215	13.77	.214	13.88	.213	13.98	.212	14.09	.211	14.19	.210	14.30	.209	14.41	.208	14.51	.207	14.61	.206
9	14.72	.205	14.82	.204	14.93	.203	15.03	.202	15.13	.202	15.23	.201	15.34	.200	15.44	.199	15.54	.198	15.64	.197
10	15.74	.197	15.84	.196	15.95	.195	16.05	.194	16.15	.193	16.25	.193	16.35	.192	16.45	.191	16.54	.191	16.64	.190
11	16.74	.189	16.84	.188	16.94	.187	17.04	.187	17.13	.186	17.23	.185	17.33	.185	17.43	.184	17.52	.183	17.62	.183
12	17.72	.182	17.81	.181	17.91	.181	18.01	.180	18.10	.180	18.20	.179	18.29	.178	18.39	.178	18.48	.177	18.58	.176
13	18.67	.176	18.77	.175	18.86	.175	18.95	.174	19.05	.174	19.14	.173	19.24	.173	19.33	.172	19.42	.171	19.52	.171
14	19.61	.170	19.70	.170	19.79	.169	19.89	.169	19.98	.168	20.07	.168	20.16	.167	20.25	.167	20.34	.166	20.44	.166
15	20.53	.165	20.62	.165	20.71	.164	20.80	.164	20.89	.164	20.98	.163	21.07	.163	21.16	.162	21.25	.162	21.34	.161
16	21.43	.161	21.52	.160	21.61	.160	21.70	.160	21.79	.159	21.88	.159	21.97	.158	22.05	.158	22.14	.157	22.23	.157
17	22.32	.157	22.41	.156	22.50	.156	22.58	.155	22.67	.155	22.76	.155	22.85	.154	22.93	.154	23.02	.154	23.11	.153
18	23.19	.153	23.28	.152	23.37	.152	23.45	.152	23.54	.151	23.63	.151	23.71	.151	23.80	.150	23.89	.150	23.97	.150
19	24.06	.149	24.14	.149	24.23	.148	24.31	.148	24.40	.148	24.49	.147	24.57	.147	24.66	.147	24.74	.146	24.83	.146
20	24.91	.146	24.99	.145	25.08	.145	25.16	.145	25.25	.145	25.33	.144	25.42	.144	25.50	.144	25.58	.143	25.67	.143
21	25.75	.143	25.83	.142	25.92	.142	26.00	.142	26.08	.141	26.17	.141	26.25	.141	26.33	.141	26.42	.140	26.50	.140
22	26.58	.140	26.66	.139	26.75	.139	26.83	.139	26.91	.139	26.99	.138	27.08	.138	27.16	.138	27.24	.138	27.32	.137
23	27.40	.137	27.48	.137	27.57	.136	27.65	.136	27.73	.136	27.81	.136	27.89	.135	27.97	.135	28.05	.135	28.13	.135
24	28.22	.134	28.30	.134	28.38	.134	28.46	.134	28.54	.133	28.62	.133	28.70	.133	28.78	.133	28.86	.132	28.94	.132
25	29.02	.132	29.10	.132	29.18	.131	29.26	.131	29.34	.131	29.42	.131	29.50	.131	29.58	.130	29.66	.130	29.74	.130
26	29.82	.130	29.89	.129	29.97	.129	30.05	.129	30.13	.129	30.21	.128	30.29	.128	30.37	.128	30.45	.128	30.52	.128
27	30.60	.127	30.68	.127	30.76	.127	30.84	.127	30.92	.127	31.00	.126	31.07	.126	31.15	.126	31.23	.126	31.31	.126
28	31.38	.125	31.46	.125	31.54	.125	31.62	.125	31.69	.125	31.77	.124	31.85	.124	31.93	.124	32.00	.124	32.08	.124
29	32.16	.123	32.23	.123	32.31	.123	32.39	.123	32.46	.123	32.54	.122	32.62	.122	32.69	.122	32.77	.122	32.85	.122
30	32.92	.121	33.00	.121	33.08	.121	33.15	.121	33.23	.121	33.31	.121	33.38	.120	33.46	.120	33.53	.120	33.61	.120
31	33.68	.120	33.76	.119	33.84	.119	33.91	.119	33.99	.119	34.06	.119	34.14	.119	34.21	.118	34.29	.118	34.36	.118
32	34.44	.118	34.51	.118	34.59	.118	34.66	.117	34.74	.117	34.81	.117	34.89	.117	34.96	.117	35.04	.117	35.11	.116
33	35.19	.116	35.26	.116	35.34	.116	35.41	.116	35.49	.116	35.56	.115	35.63	.115	35.71	.115	35.78	.115	35.86	.115
34	35.93	.115	36.00	.115	36.08	.114	36.15	.114	36.23	.114	36.30	.114	36.37	.114	36.45	.114	36.52	.113	36.59	.113
35	36.67	.113	36.74	.113	36.81	.113	36.89	.113	36.96	.112	37.03	.112	37.11	.112	37.18	.112	37.25	.112	37.33	.112
36	37.40	.112	37.47	.112	37.55	.111	37.62	.111	37.69	.111	37.76	.111	37.84	.111	37.91	.111	37.98	.111	38.05	.110
37	38.13	.110	38.20	.110	38.27	.110	38.34	.110	38.42	.110	38.49	.110	38.56	.109	38.63	.109	38.70	.109	38.78	.109
38	38.85	.109	38.92	.109	38.99	.109	39.06	.109	39.14	.108	39.21	.108	39.28	.108	39.35	.108	39.42	.108	39.49	.108
39	39.56	.108	39.64	.107	39.71	.107	39.78	.107	39.85	.107	39.92	.107	39.99	.107	40.06	.107	40.14	.107	40.21	.106
40	40.28	.106	40.35	.106	40.42	.106	40.49	.106	40.56	.106	40.63	.106	40.70	.106	40.77	.105	40.84	.105	40.91	.105

Relation of energy loss, critical depth, and depth before and after jump, for hydraulic jumps in rectangular channels with level floor.

H = Difference in energy levels at upstream and downstream ends of jump.

d_c = Critical depth for flow considered, based on pool width. $d_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$

d_1 = Depth at upstream end of jump.

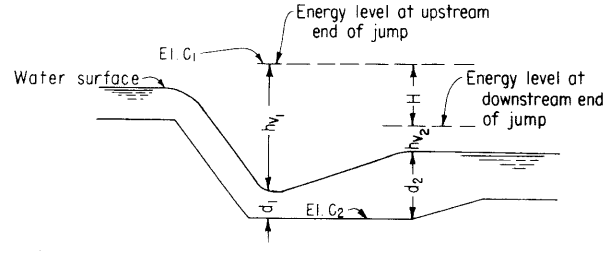
d_2 = Depth at downstream end of jump.

$K = d_2 \div d_1$

El. C_2 = El. $C_1 - (d_1 + h_{v_1})$ = El. $C_1 - (d_2 + h_{v_2} + H)$

$$\frac{d_1}{d_c} = \sqrt[3]{\frac{2}{K\,(K+1)}}$$

$$\frac{H}{d_c} = \frac{(K-1)^3}{4K}\sqrt[3]{\frac{2}{K(K+1)}}$$



รูปที่ 1–24 การสูญเสียพลังงานจากการกระโจนตัวของน้ำ

โดย d_1 = ความลึกก่อนเกิดการกระโจนตัวของน้ำ

v_1 = ความเร็วก่อนเกิดการกระโจนตัวของน้ำ

d_2 = ความลึกหลังเกิดการกระโจนตัวของน้ำ

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วง

อาคารที่ลดระดับในแนวดิ่งน้อยกว่า 4.57 ม. ความลึกของน้ำหลังจากเกิดการกระโจนตัวของน้ำอาจหาได้จากรูป 1-24 ระดับของลาดพลังงานหลังจากเกิดการกระโจนตัวของน้ำควรจะสมดุลกับลาดพลังงานในร่องน้ำด้านท้ายน้ำของอาคาร ถ้าลาดพลังงานไม่สมดุล ระดับของพื้นอ่างหรือความกว้างของอ่างจะต้องสมมุติขึ้นมาใหม่ แล้วคำนวณระดับพลังงานจนกระทั่งสมดุลกันพอดี

ระดับของพื้นอ่างน้ำนิ่งที่เลือกใหม่นี้จะต้องมั่นใจว่าจะสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อมีการไหลของน้ำไม่เต็มความจุของรางเท การออกแบบโดยปกติจะตรวจสอบการไหล 1 ใน 3 ของการไหลที่ออกแบบไว้ ซึ่งโค้งอาจจะเขียนได้ดังแสดงในรูป 1-25 ถ้าจากการตรวจสอบแล้วจำเป็นจะต้องลดระดับพื้นอ่างหรือมีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของอ่างใหม่วิธีการออกแบบจะต้องทำการคำนวณซ้ำอีก

ความยาวน้อยที่สุดของอ่าง (L_P ในรูป 1-23) สำหรับอาคารในคลองโดยปกติใช้ L_P = 4 เท่า ของ d_2 สำหรับอาคารในทางระบายน้ำทิ้งหรือในทางระบาย ซึ่งการไหลของน้ำเป็นช่วงๆ และช่วงสั้นๆ ความยาวน้อยที่สุดอาจจะประมาณ 3 เท่า ของ d_2 ระยะพ้นน้ำสำหรับอ่างน้ำนิ่งหาได้จากรูป 1-23 ระยะพ้นน้ำวัดจากลาดพลังงานสูงสุดด้านท้ายน้ำ

เมื่อน้ำไหลออกจากอ่างน้ำนิ่งเป็นช่วงๆ หรือไหลลงร่องน้ำธรรมชาติหรือร่องน้ำที่ไม่ได้มีการควบคุม อาคารควบคุมควรจะสร้างที่ปากทางออกของอ่างน้ำนิ่งเพื่อให้มีระดับน้ำท้ายน้ำเพียงพอ ความลึกวิกฤตในส่วนควบคุมจะใช้หาลาดพลังงานด้านท้ายน้ำ เมื่อน้ำไหลผ่านอ่างน้ำนิ่งลงร่องน้ำที่มีการควบคุมระดับน้ำ ความลึกของน้ำในร่องน้ำคำนวณได้จากค่า n ซึ่งจะลดลง 20% ของ n ในร่องน้ำปกติ และใช้ความลึกนี้หาลาดพลังงานด้านท้ายน้ำถ้ามีการใช้อ่างที่ผายออก มุมที่ผายออกของกำแพงข้างไม่ควรมากกว่ามุมที่ยอมให้สำหรับกำแพงรางเท รูระบายน้ำหุ้มด้วยกรวด (รูป 1-26) จะมีไว้เพื่อลดความดันของน้ำที่พื้นและที่กำแพงของอ่างน้ำนิ่งรอบทั้งที่ปากทางออกด้วย

แท่งคอนกรีตตรงปลายรางเท (chute blocks) และแท่งคอนกรีตตรงกลางพื้นด้านท้ายน้ำ (floor blocks) มีไว้เพื่อหยุดกวาดไหลพุ่งของน้ำ และทำให้การกระโจนตัวของน้ำมั่นคง ตำแหน่งระยะห่างและรายละเอียดของแท่งคอนกรีต (blocks) แสดงไว้ในรูป 1-23

ถ้าส่วนเชื่อมต่อปากทางออกไม่เป็นคอนกรีต ควรจะต้องมีสันธรณีตันตรงปลาย (end sill) (ดูรูป 1-27) ลาดด้านเหนือน้ำของสันธรณี (sill) ควรจะใช้ 1:2 และด้านท้ายน้ำควรจะตั้งตรงระดับบนสุดของสันธรณีควรกำหนดให้มีระดับน้ำท้ายน้ำเพื่อการกระโจนตัวของน้ำ

การสร้างอ่างน้ำและส่วนเชื่อมต่อปากทางออกดังกล่าวอาจจะไม่สมบูรณ์พอที่จะบรรจุละอองน้ำที่เกิดจากความปั่นป่วนภายในอาคาร แต่อาคารนั้นควรจำกัดวงความปั่นป่วนไว้เพียงพอที่จะป้องกันความเสียหายจากการกัดเซาะด้านท้ายอาคาร

ฉ) การเกิดคลื่น คลื่นในรางเทเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเพราะว่าจะทำให้เกิดน้ำไหลข้ามกำแพงรางเทได้และเป็นสาเหตุให้เกิดคลื่นกระฉอก (Surging) ในอาคารสลายพลังงาน อ่างน้ำนิ่งอาจจะไม่ใช่อาคารสลายพลังงานที่มีประสิทธิภาพกับการไหลแบบนี้ เพราะว่าการกระโจนตัวของน้ำที่มั่นคงไม่สามารถเกิดขึ้น (ดูรูป 1-28) ชนิดของการไหลเป็นจังหวะที่ไม่มั่นคงนี้เรียกว่า Slug flow หรือ roll waves อาจจะเกิดขึ้นในรางเทยาวและชัน (ดูรูป 1-29 และ 1-30) คลื่นเหล่านี้ปกติจะเกิดในร่องรางเทที่มีความยาวมากกว่า 60 ม. และมีลาดแบนกว่า 20° ความสูงของคลื่นมากที่สุดเป็น 2 เท่าของความลึกปกติ ปริมาณ slug flow มากที่สุดเป็น 2 เท่าของปริมาณการไหลปกติ การไหลทางขวางหรือคลื่นทางขวางอาจเกิดขึ้นในรางเท คลื่นเหล่านี้เกิดขึ้นโดย

(1) มีการเปลี่ยนแปลงส่วนเชื่อมต่อแบบทันทีทันใด

(2) อาคารไม่ได้สัดส่วนสมมาตรกัน

(3) โค้งหรือมุมในแนวของรางเท

โอกาสการเกิดคลื่นนี้อาจจะลดลงได้โดยการค่อยๆ เปลี่ยนมุมหักเหและสร้างอาคารให้สมมาตรกันโดยหลีกเลี่ยงการเปลี่ยนทิศทางในอาคาร

รูปตัดรางเทบางรูปตัดทำให้เกิดคลื่นได้มากกว่าบางรูปตัด รูปตัดตื้นและกว้างจะเกิดการไหลทางขวางขณะที่รูปตัดลึก รูปตัดแคบจะป้องกันทั้งการไหลทางขวางและ slug flow รูปตัดรางเททางทฤษฎีควรออกแบบเพื่อป้องกันการก่อตัวของคลื่นที่จะมีในรูปตัดรางเทนั้นๆ รูปตัดรางเทที่ไม่เกิดคลื่น แสดงในรูป 1-31

รูป 1-32 และ 1-33 สร้างขึ้นมาเพื่อทำนายความเป็นไปได้ของการเกิด slug flow ในรางเท การใช้รูปทั้งสองนี้จะต้องดำเนินการดังนี้

(1) แบ่งรางเทเป็นช่วง ๆ ตามรูป 1-34 จุด 1 ควรอยู่ที่จุดเริ่มต้นของส่วนรางเท

(2) ใช้สมการ (6) หรือ (7) ด้วย Q เท่ากับ 0.2, 0.5 และ 1.0 เท่าของ Q ที่ออกแบบไว้คำนวณความลึกน้ำและระดับพลังงานที่จุดต่างๆ ตามส่วนรางเท เพื่อใช้ในการตรวจสอบ slugging โดยใช้ค่า Manning's n = 0.010

(3) หา SL ของจุดที่จะตรวจสอบ (รูป 1-34)

(4) ตรงจุดที่พิจารณา

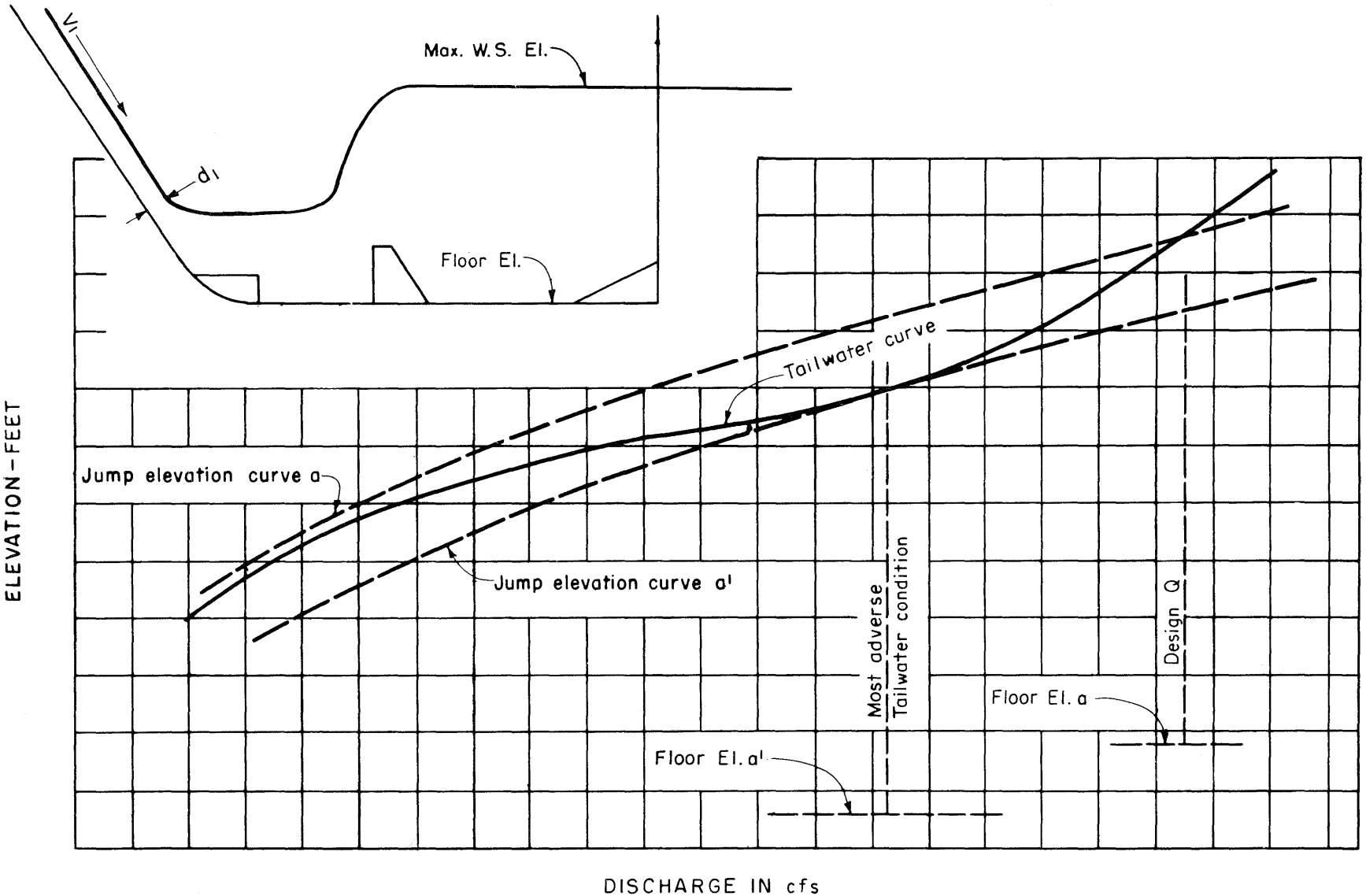
ก. คำนวณหา vedernikov number ($\underline{V}$)

$$\underline{V} = \frac{2\,b}{3\,WP} \times \frac{V}{\sqrt{gd\cos\theta}} \qquad (10)$$

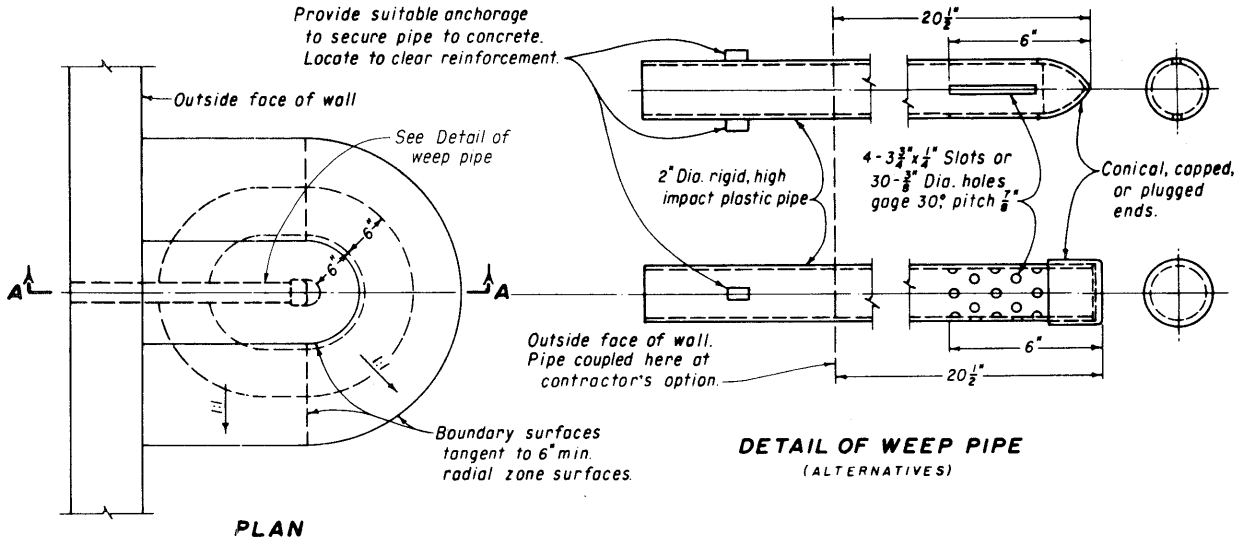
ข. คำนวณ Montuori number ($\underline{M}$) ยกกำลังสอง

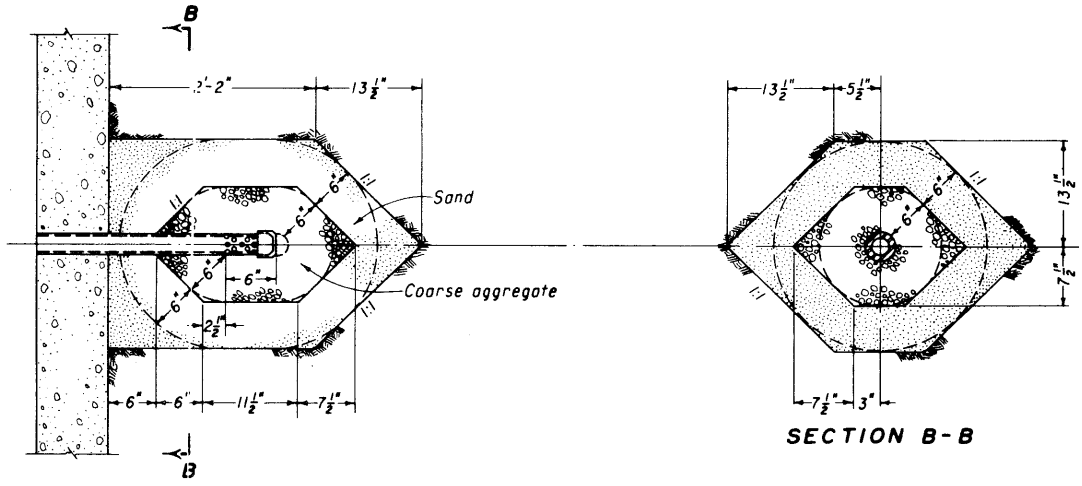
$$\underline{M}^2 = \frac{V^2}{g\,sL\cos\theta} \qquad (11)$$

ในสมการ (10) และ (11)



รูปที่ 1-25 โค้งแสดงระดับท้ายน้ำและการกระโจนตัวของน้ำ





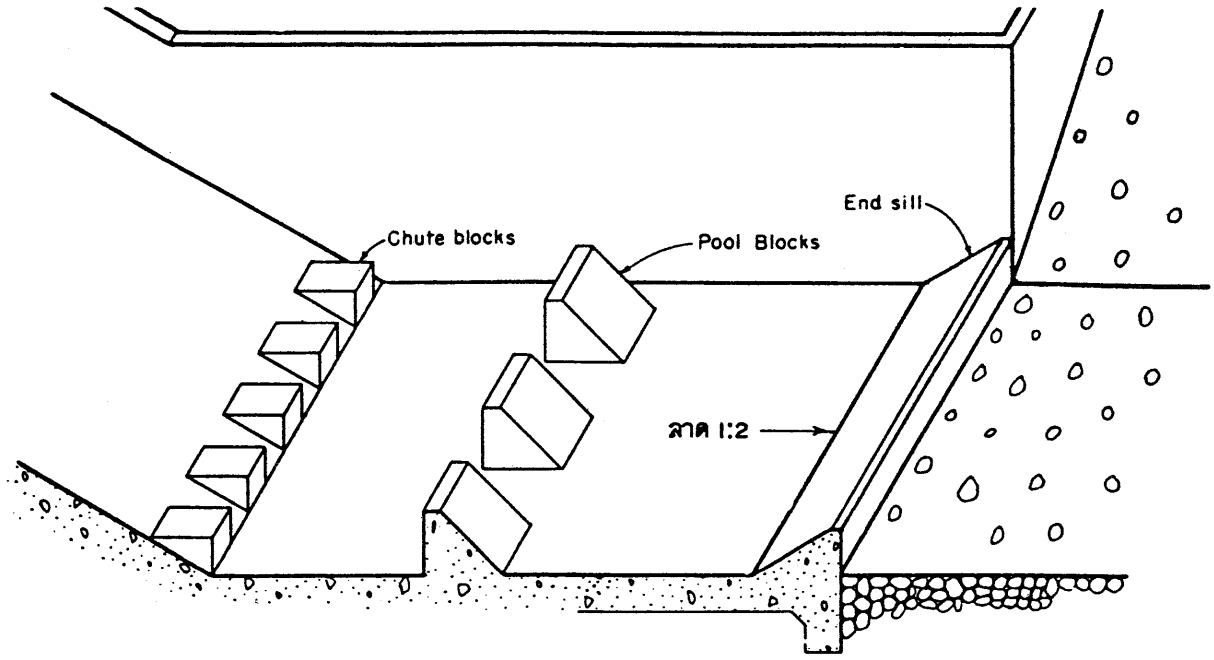
GRADATION OF FILTER MATERIALS

FILTER MATERIAL	PERCENT (BY WEIGHT) RETAINED ON STANDARD SEIVE									
	No. 200	No. 100	No. 50	No. 30	No. 16	No. 8	No. 4	3/8"	3/4"	1 1/2"
SAND	97-100	93-97	74-85	38-70	15-45	5-25	0-5			
COARSE AGGREGATE					95-100	75-90	60-80	40-60	20-35	0

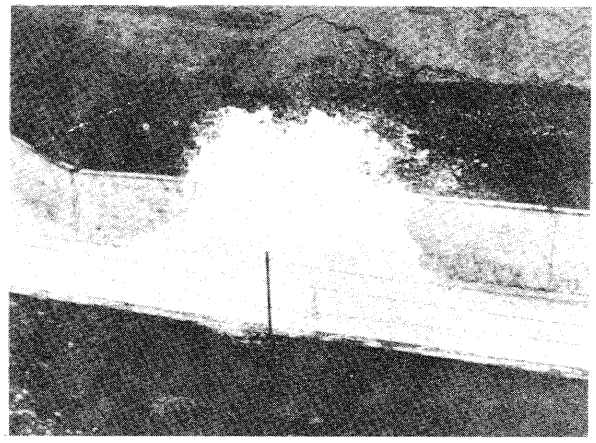
NOTE

The configuration of the filter envelope may be changed to suit construction, provided that a minimum radial thickness of 6" is maintained for each zone.

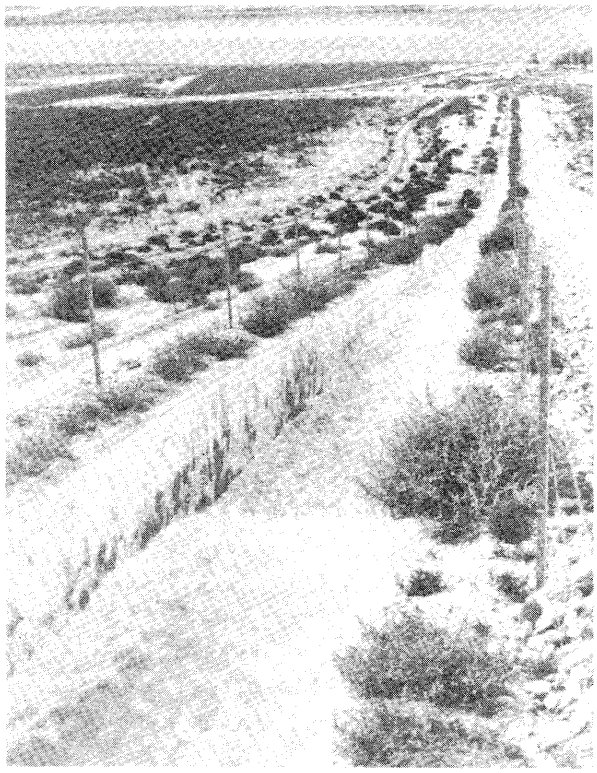
รูปที่ 1-26 รูระบายหุ้มด้วยกรวด



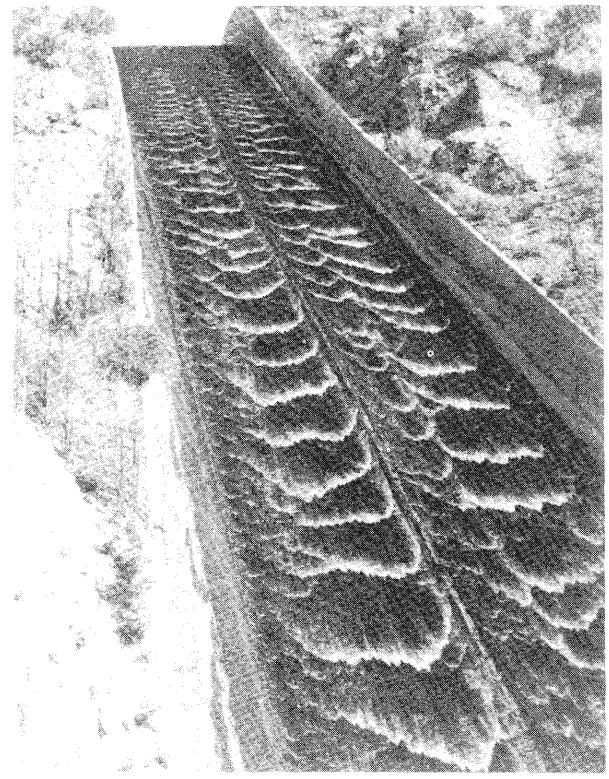
รูป 1-27 อ่างน้ำนิ่งพร้อมด้วย End sill



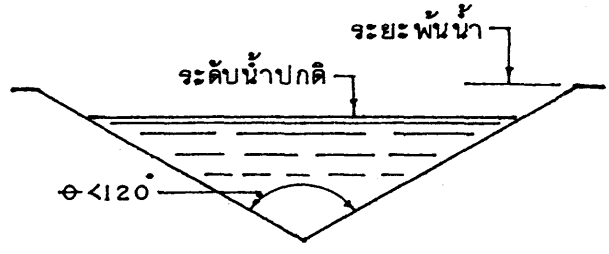
รูป 1-28 คลื่นกระฉอก (Surging) ในอ่างน้ำนิ่งที่เกิดจากการไหลที่ไม่มั่นคงในอาคารรางเท



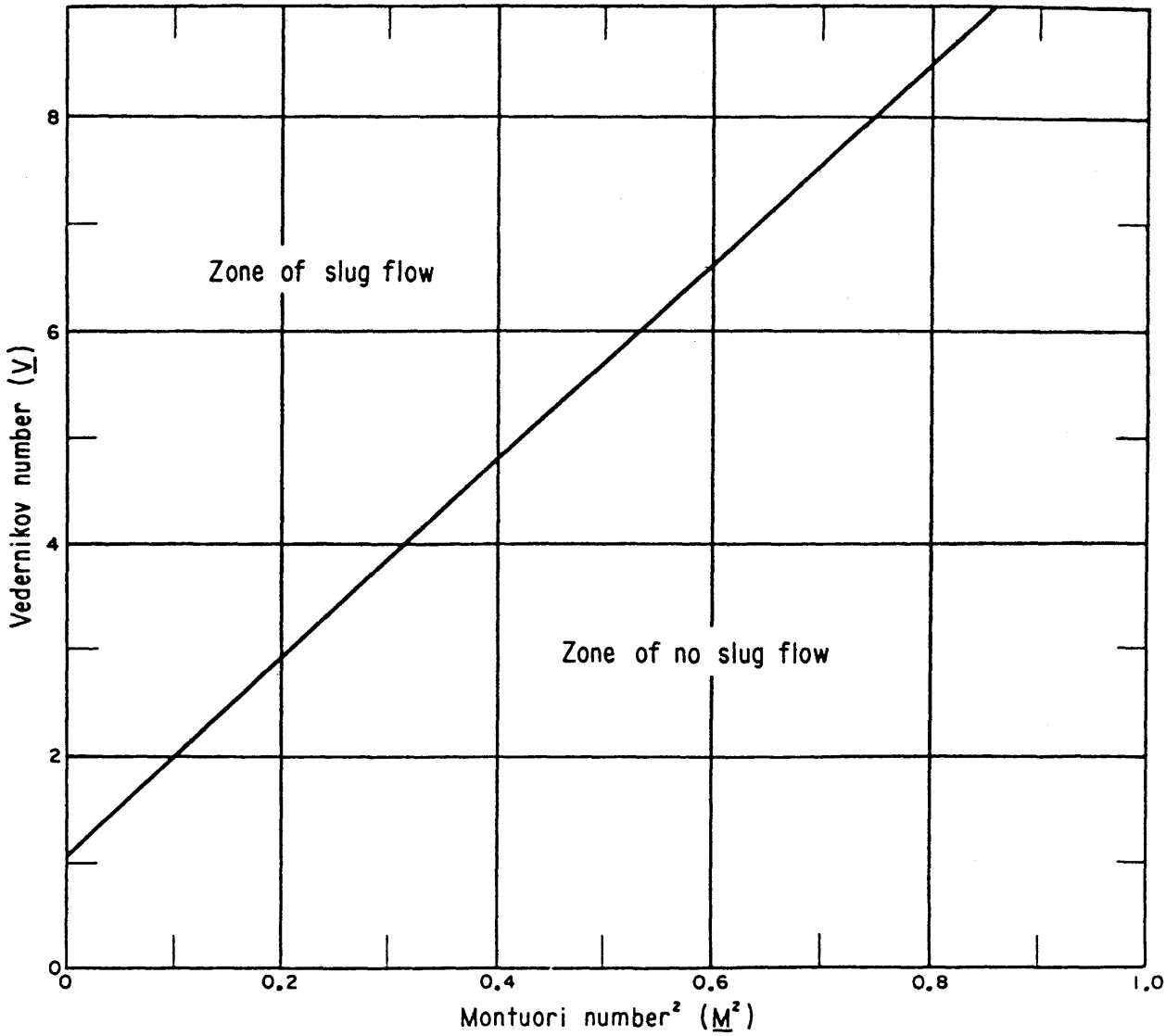
รูป 1-29 ลักษณะเกิดการไหลเป็นจังหวะในรางเทชั้น



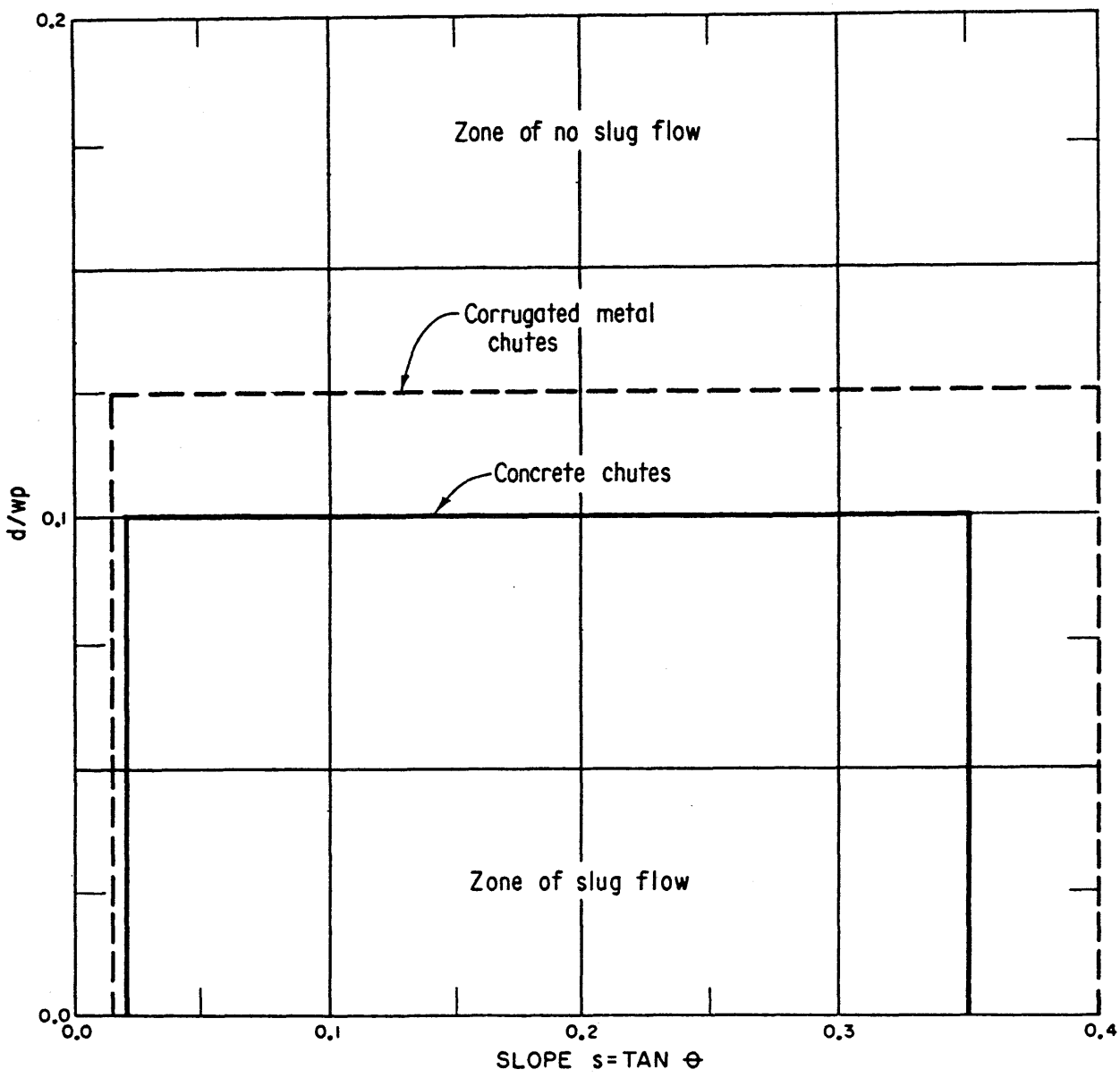
รูป 1-30 ลักษณะเกิดการไหลไม่มั่นคงที่ความลึกนี้



รูป 1-31 รูปตัดที่ไม่เกิดคลื่น รูปสามเหลี่ยมป้องกันทั้งคลื่นทางขวางและ slug flow.



รูป 1-32 เกณฑ์สำหรับ Slug Flow



รูป 1-33 เกณฑ์รูปร่างและลาดสำหรับ Slug Flow

b = ความกว้างพื้นของส่วนรางเท

d = ความลึกเฉลี่ยของน้ำในรางเท

$$d = \frac{\text{พื้นที่ของน้ำรูปปริซึม}}{\text{ความกว้างส่วนบนของน้ำรูปปริซึม}}$$

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วง

L = ความยาวของช่วงที่พิจารณา

S = ความเอียงเฉลี่ยของลาดพลังงาน

$S = \tan\theta$

V = ความเร็ว

wp = เส้นขอบเปียกของรูปตัด

θ = มุมเอียงของลาดพลังงาน

(5) นำค่าที่คำนวณได้มากำหนดเป็นจุดลงในรูป 1-32 ถ้าจุดใดเข้าไปอยู่ zone of slug flow ให้ตรวจสอบหาจุดที่เริ่มเข้าสู่ zone of slug flow คือจุดที่เริ่มเกิดคลื่น

(6) คำนวณหาค่าตัวประกอบรูปร่างสำหรับช่วงรางเท

$$\frac{d}{WP}$$

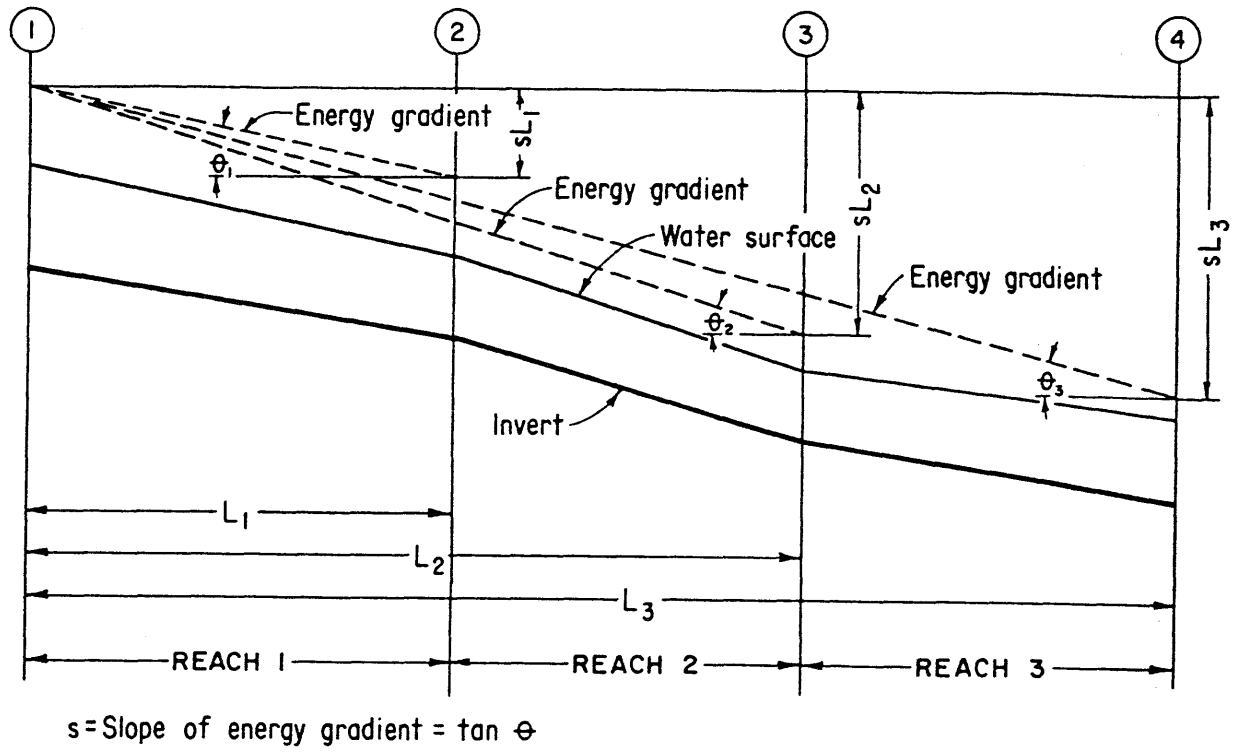
(7) กำหนดจุดที่คำนวณได้ของค่า $\frac{d}{WP}$ กับความเอียงของลาดพลังงาน S ลงในรูป 1-33

คลื่นโดยทั่วไปไม่น่าจะเกิดขึ้นในอาคาร ถ้าจุดที่เขียน (จุดที่ได้จากข้อ 5 และ ข้อ 7) ไม่ตกอยู่ใน slugging zone ทั้งในรูป 1-32 และ 1-33

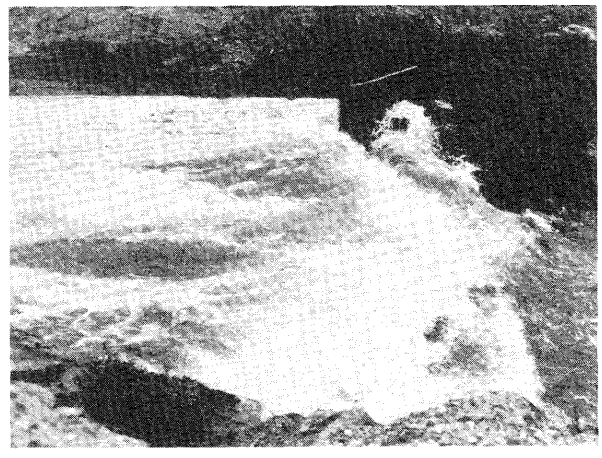
ถ้าแผนภูมิชี้ให้เห็นว่า slug flow จะเกิดขึ้น การออกแบบจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อลดโอกาสที่จะเกิดคลื่นหรืออาจจะต้องมีการปรับปรุงอาคารให้เหมาะสมกับการไหลแบบกระฉอก (Surging flow) ที่เกิดขึ้น การออกแบบที่ต้องเปลี่ยนแปลงคือ

1. แบ่งการไหลในส่วนรางเท โดยมีกำแพงกั้นที่ศูนย์กลางของรางเท
2. เปลี่ยนรูปร่างของรูปตัด โดยให้มีรูปร่างที่ไม่เกิดคลื่น
3. ลดความยาวของรางเท โดยพิจารณาเป็นรางเทที่สั้นลงหรืออาคารน้ำตกแทน
4. ทำให้ชันมากขึ้น
5. เปลี่ยนรางเทแบบเปิดเป็นท่อแทน

ถ้าการเปลี่ยนแปลงการออกแบบเหล่านี้ไม่ได้ผลจริง ส่วนรางเทอาจจะปรับปรุงให้เหมาะสมกับ surging flow โดย



รูป 1 – 34 พื้น, ผิวน้ำและรูปตัดตามยาวของอาคารรางเท



รูป 1 – 35 คลื่นกวาดผ่านส่วนเชื่อมต่อปากทางออกของอ่างน้ำนิ่ง

1. เพิ่มระยะพื้นน้ำของกำแพงรางเท
2. ใช้รางเทแบบมีฝาคลุม เพื่อเก็บคลื่นไม่ให้ล้นออกมา
3. ป้องกันดินถมรอบรางเทด้วยหินเรียงหรือการคาด

รวมทั้งดัดแปลงอ่างน้ำนิ่ง โดย

1. ออกแบบอ่างเพื่อรับ surge discharge ที่เกิดขึ้นบางครั้งได้ โดยการทำอ่างให้ยาวขึ้น และกำแพงอ่างให้สูงขึ้น
2. เรียงหินเพื่อป้องกันร่องน้ำด้านท้ายน้ำและดินถมรอบอ่าง
3. ทำอุปกรณ์กำจัด surge ในอ่างน้ำนิ่ง แผงสลายพลังงานหรือกำแพงฝายในอ่างจะป้องกันการไหลจากการกวาดผ่านอ่างและส่วนเชื่อมต่อปากทางออก (รูปที่ 1-35) กำแพงฝายจะเป็นตัวยกระดับน้ำท้ายน้ำให้สูงขึ้นท่วม surge แพหรืออาคารต้านคลื่นลอยอื่นๆ สามารถนำมาใช้ได้
4. อาคารสลายพลังงานที่มีความไวต่อ surging น้อย สามารถนำมาใช้ได้

การศึกษาเรื่องคลื่นในอาคารรางเทข้อมูลส่วนใหญ่ได้จากการทดลอง ถ้าเกิดปัญหาเรื่องคลื่นอย่างมากควรศึกษาในรายละเอียดอย่างลึกซึ้งเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

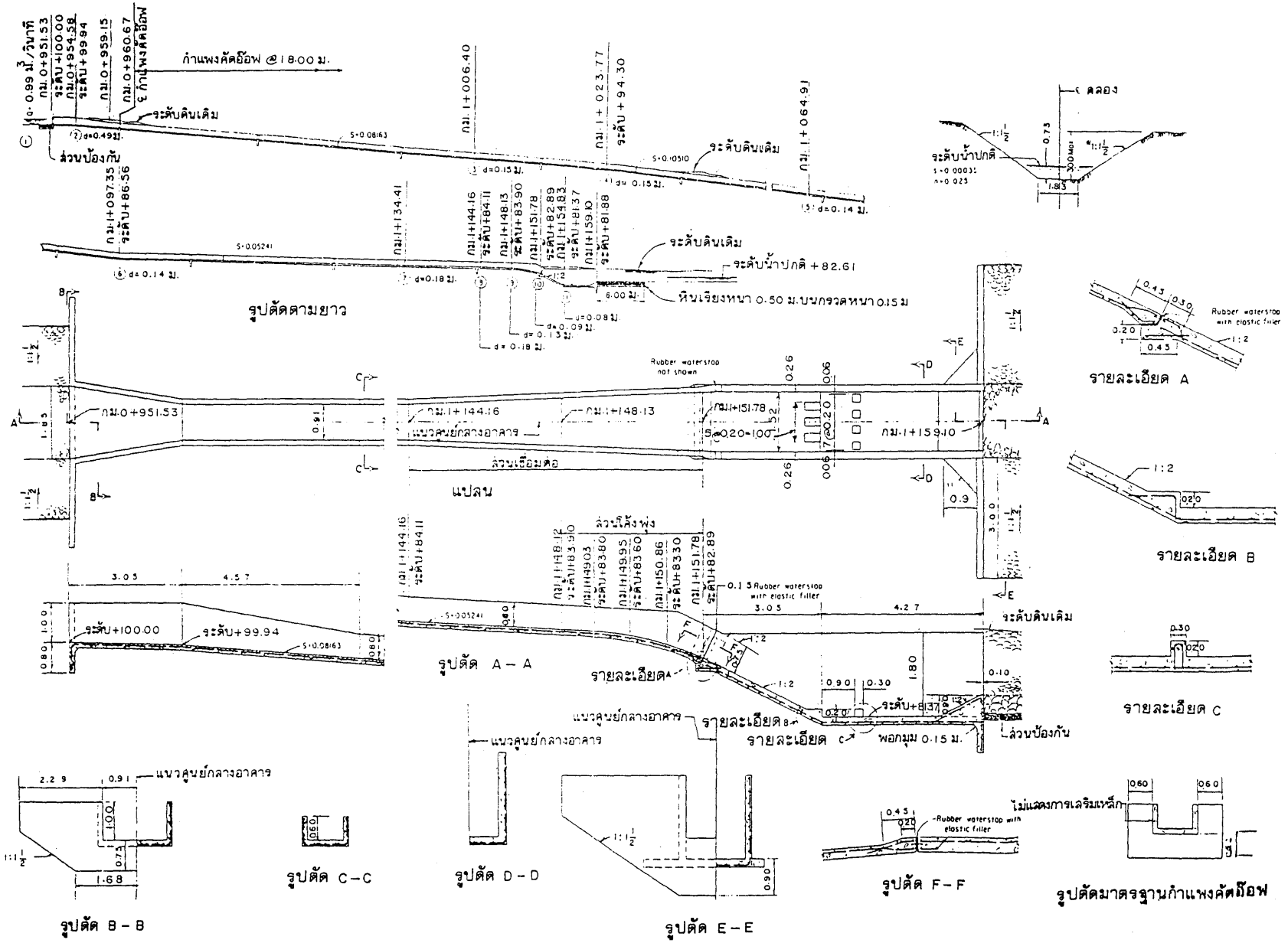
1.6.2.2 วิธีการออกแบบ

1. เลือกและออกแบบปากทางเข้า
2. หาลาดพลังงานที่จุดเริ่มต้นของส่วนรางเท
3. คำนวณการไหลของน้ำในส่วนรางเทช่วงถัดไป
4. ออกแบบส่วนโค้งพุ่งและส่วนชันของส่วนรางเท
5. สมมุติระดับพื้นของอ่างน้ำนิ่งและคำนวณลักษณะการไหลด้านเหนือน้ำของการกระโจนตัวของน้ำ

หาค่า d_2 และลาดพลังงานหลังจากการกระโจนตัวของน้ำ

6. หาลาดพลังงานในร่องน้ำท้ายน้ำและนำมาเปรียบเทียบกับลาดพลังงานหลังจากการกระโจนตัวของน้ำ
7. อาจจะต้องสมมุติระดับพื้นอ่างใหม่ แล้วคำนวณอีกจนกว่าจะได้ลาดพลังงานที่เข้ากันได้พอดี
8. ตรวจสอบกรณีการไหลเมื่อปริมาณน้ำไม่เต็มความจุ
9. หาความยาวของอ่างและความสูงของกำแพงอ่าง
10. ออกแบบรางเทและแท่งคอนกรีตที่หล่อติดกับพื้นและสันธรณีตรงปลายหรือส่วนเชื่อมต่อปากทางออกตามต้องการ
11. ตรวจสอบการเกิดคลื่นในอาคาร
12. ป้องกันร่องน้ำด้านท้ายน้ำตามต้องการ

1.6.2.3 ตัวอย่างการออกแบบ ให้ออกแบบรางเทแบบเปิดเพื่อนำน้ำ 0.99 ม.^{3}/วินาที ตามรูปตัดตามยาวที่แสดงในรูป 1-36 ใช้อ่างน้ำนิ่งสลายพลังงานส่วนเกินที่ด้านท้ายน้ำของรางเท อาคารนี้ใช้กับคลองที่มีรูปตัดดังแสดงในแบบ



รูป 1-36 รางเทพร้อมด้วยอ่างน้ำนิ่ง

การออกแบบปากทางเข้า

การออกแบบปากทางเข้าเพื่อควบคุมร่องน้ำด้านเหนือน้ำ คุณสมบัติของร่องน้ำที่จุด ① จากรูป 1-36 คือ

$Q = 0.99$ ม.^{3}/วินาที

$b = 1.83$ ม.

$d = 0.73$ ม.

$n = 0.025$

$S = 0.00035$ ม/ม.

SS = 1:1.5

ถ้าไม่ได้กำหนดคุณสมบัติของร่องน้ำไว้ ให้ใช้ตาราง 1-1 และ 1-2 คำนวณคุณสมบัติของการไหลระดับลาดพลังงานที่จุด ① คำนวณได้ดังนี้

$A1 = 2.07$ ม.^{2}

$V1 = 0.48$ ม./วินาที

$h_{V1} = 0.01$ ม.

$E_1 = d_1 + h_{V1} = 0.73 + 0.01 = 0.74$ ม.

ระดับของลาดพลังงานในร่องน้ำด้านเหนือน้ำ (จุด ①) เท่ากับระดับพื้น $+E_1$ หรือ $+100.00 + 0.74 = +100.74$

สมมุติว่าความลึกวิกฤตเกิดขึ้นที่จุด ② ด้วยอัตราการไหล 0.99 ม.^{3}/วินาที ความกว้างของรูปตัดรางเท 0.90 ม. มีเหตุผลใช้ได้ ระดับพื้นที่จุด ② จะเป็น

$$d_C = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{1.09^2}{9.81}} = 0.49 \text{ ม.}$$

$A_C = 0.45$ ม.^{2}

$V_C = 2.20$ ม./วินาที

$h_{VC} = 0.25$ ม.

$R_C = 0.24$ ม.

$n = 0.010$

$$S_C = \left(\frac{2.20 \times 0.010}{0.386}\right)^2 = 0.00325$$

$E_C = d_C + h_{VC} = 0.50 + 0.25 = 0.75$ ม.

การสูญเสียในส่วนเชื่อมต่อปากทางเข้า คือ

1. การสูญเสียจากการหุบเข้าสมมุติให้เท่ากับ 0.2 เท่าของเฮดความเร็วระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดปลายของส่วนเชื่อมต่อ

2. การสูญเสียจากความฝืด เท่ากับลาดความฝืดเฉลี่ยในปากทางเข้าคูณด้วยความยาวของปากทางเข้า

การสูญเสียจากปากทางเข้า

การสูญเสียจากการหุบเข้า = 0.2 x (0.25 - 0.01) = 0.05 ม.

ด้วยความยาวของส่วนเชื่อมต่อ 3.05 จะได้การสูญเสียจากความฝืด

$$= \frac{0.00035 + 0.00325 \times 3.05}{2} = 0.0055 \text{ ม.}$$

ด้วยการสมดุลของพลังงานในคลองด้านเหนือน้ำ พื้นของปากทางเข้าที่จุด ② ต้องเท่ากับ

$$= +100.732 - E_c - \text{การสูญเสียจากส่วนเชื่อมต่อ}$$

$$= +100.74 - 0.74 - 0.05 - 0.0055$$

$$= +99.94$$

ระดับ +99.94 ที่จุด ② จะใช้ควบคุมการไหลในร่องรางเทหา

คำนวณหามุมหักเหสูงสุดของกำแพงข้างปากทางเข้า

จากสมการ (1) cotangent α = 3.375 x F

$$F = \frac{V}{\sqrt{[1-K)\, g]\, d \cos\theta}}$$

$$K = 0,\ \cos\theta = 0.99984$$

$$F_1 = \frac{0.74}{\sqrt{9.81 \times 0.73 \times 0.99984}}$$

$$F_2 = \frac{2.20}{\sqrt{9.81 \times 0.49 \times 0.99984}}$$

ค่า F เฉลี่ย = 0.64

cotangent α = 3.375 x 0.64 = 2.16

α = ประมาณ 25°

ส่วนเชื่อมต่อยาว 3.05 มุมหักเหประมาณ 8.5° คลื่นจะไม่เกิดขึ้นในปากทางเข้า

หาการไหลของน้ำในส่วนรางเท

การไหลที่จุด ② เป็นการไหลวิกฤต ลักษณะการไหลในส่วนรางเทคำนวณโดยใช้สมการ Bernoulli (6) เพื่อสมดุลพลังงานที่จุดต่างๆ บนส่วนรางเท การไหลแบบสม่ำเสมอบนลาด 0.08163 จะได้ความลึก 0.15 ม. ซึ่งจะเป็นความลึกที่จุด ③ ห่างจากจุด ② 51.82 ม.

พลังงานที่จุด ②

$E_2 = d_2 + h_{V2} + Z$

$Z = S \times L = 0.08163 \times 51.82$

$= 4.23$ ม.

$E_2 = 0.49 + 0.25 + 4.23$

$= 4.97$ ม.

พลังงานที่จุด ③

$E_3 = d_3 + h_{V3} + h_f$

h_f = การสูญเสียจากความฝืดในช่วงจุด ② ถึงจุด ③

h_f = ลาดความฝืดเฉลี่ยคูณด้วย L

$h_f = S_a \times L$

$d_3 = 0.15$ ม.

$A_3 = 0.14$ ม.^{2}

$V_3 = 7.07$ ม./วินาที

$h_{V3} = 2.55$ ม.

$S_3 = 0.08163$

$$S_a = \frac{0.08163 + 0.00325}{2} = 0.0424$$

$h_f = 0.0424 \times 51.82 = 2.20$

$E_3 = 0.15 + 2.55 + 2.20$

$= 4.90$ ม.

E_3 ใกล้เคียงกับ E_2 ถือว่าสมดุลกัน

การไหลระหว่าง ③ และ ④ เป็นการไหลแบบสม่ำเสมอ การสูญเสียพลังงานในระดับ Z จะเท่ากับการสูญเสียจากความฝืด h_f ในช่วงระหว่างจุดทั้ง 2 นี้

การไหลระหว่าง ④ และ ⑥

ความลึกปกติของลาด 0.10510 คือ 0.15 ม. ความลึกนี้จะเป็นความลึกที่จุด ⑤ ด้วย และระดับพลังงานที่จุด ④ กับ ⑤ จะต้องสมดุลกันระหว่างจุด ⑤ กับ ⑥ จะเป็นการไหลแบบสม่ำเสมอด้วยความลึก 0.15 ม.

การไหลระหว่างจุด ⑥ และ ⑧

ความลึกปกติ 0.18 ม. เป็นความลึกที่จุด ⑦ ด้วย และการไหลระหว่างจุด ⑦ กับ ⑧ เป็นการไหลแบบสม่ำเสมอด้วยความลึก 0.18 ม.

ด้วยความลึกของน้ำที่เกิดขึ้นในส่วนรางเท กำแพงสูงอย่างน้อยที่สุด 0.60 ม. จะทำให้มีระยะพ้นน้ำ 0.30 ม.

การออกแบบส่วนโค้งพุ่ง

ลักษณะการไหลในช่วงส่วนโค้งพุ่งและช่วงลาดชันสามารถคำนวณได้เช่นเดียวกันกับในช่วงรางเท ความลึกของน้ำที่คำนวณได้แสดงในรูป 1-36

ใช้ความยาวส่วนเชื่อมต่อ 7.62 ม. ผายความกว้างพื้นจาก 0.91 เป็น 1.52 ม. ลักษณะการไหลที่จุดเริ่มต้นของส่วนเชื่อมต่อ (จุด ⑧) คือ

d_8 = 0.18 ม.
A_8 = 0.16 ม.^{2}
V_8 = 6.19 ม./วินาที
h_{v8} = 1.95 ม.
R_8 = 1.26 ม.
S_8 = 0.05241 ม/ม.

ที่จุดเริ่มต้นของส่วนโค้งพุ่ง (จุด ⑨) คุณสมบัติการไหลคือ

d_9 = 0.13 ม.
A_9 = 0.16 ม.^{2}
V_9 = 6.19 ม./วินาที
h_{v9} = 1.95 ม.
R_9 = 0.11 ม.
S_9 = 0.0683 ม/ม.

ค่า K ที่ใช้คำนวณส่วนโค้งพุ่ง จำกัดไว้ที่ค่า 0.5 ความยาวส่วนโค้งพุ่งสั้นที่สุดจะหาได้โดยใช้ค่า K นี้กับสมการ (4)

$$L_T = (0.5 - 0.0524) \times \frac{1.95 \times 0.99863}{0.50} \times 2$$

$$= 3.49 \text{ ม.}$$

ทำส่วนโค้งพุ่งให้ยาว 3.66 ม. พิกัดของจุดในส่วนโค้งพุ่งคำนวณได้โดยใช้สมการ (8)

X (ม.)	Y (ม.)
0.91	0.10
1.83	0.30
2.74	0.60
3.66	1.01

ที่จุดต่ำสุดของส่วนเชื่อมต่อและส่วนโค้งพุ่ง (จุด ⑩) คุณสมบัติของการไหลจะเป็น

d_{10} = 0.09 ม.
A_{10} = 0.14 ม.^{2}
V_{10} = 7.07 ม./วินาที

$R_{10} = 0.08$

$S_{10} = 0.08$

$S_{10} = 0.14107$

มุมหักเหมากที่สุดกำแพงข้างของส่วนเชื่อมต่อหาได้จากสมการ (1)

F_8 ที่ ⑧ ด้วย $K = 0.0$

$$F_8 = \frac{6.19}{\sqrt{9.81 \times 0.18 \times 0.99863}} = 4.66$$

F_{10} ที่ ⑩ หาค่า K จากสมการ (4)

$$K_{10} = \frac{(0.5 - 0.052) \times 2 \times 1.95}{3.66} \times 0.999^2$$

$$= 0.48$$

$$F_{10} = \frac{7.07}{\sqrt{[1-0.48) \times 9.81] \times 0.09 \times 0.89441}}$$

$$= 11.03$$

$$F_a = \frac{4.66 + 11.03}{2} = 7.85$$

Cotangent $\alpha = 3.375 \times 7.85 = 26.49$

$\alpha = 2^\circ - 9' \pm$

มุมหักเหของส่วนเชื่อมต่อที่ยาว 7.62 ม. จะเป็น

$$\text{tangent } \alpha = \frac{0.30}{7.62} = 0.04$$

$\alpha = 2^\circ - 15' \pm$

มุมหักเหของส่วนเชื่อมต่อใช้ได้

การออกแบบอ่างน้ำนิ่ง

ระดับพื้นของอ่างน้ำนิ่งจะต้องสมมุติขึ้นมาก่อนที่จะคำนวณคุณสมบัติของการไหลที่พื้นส่วนลาดชัน สมมุติระดับพื้นอ่างเป็น +81.37 ใช้การสมดุลของพลังงานระหว่างปลายส่วนโค้งพุ่ง ⑩ และพื้นของส่วนลาดชัน⑪ จะได้คุณสมบัติของการไหลที่พื้นส่วนลาดชันหรือส่วนเริ่มเกิดการกระโจนตัวของน้ำ

$d_{11} = 0.08$ ม.

$A_{11} = 0.12$ ม.^{2}

$V_{11} = 8.25$ ม./วินาที

$h_{v11} = 3.47$ ม.

Froude number ที่จุดนี้

$$F = \frac{8.25}{\sqrt{9.81 \times 0.08}} = 9.31$$

ค่า Froude number อยู่ในขอบเขตซึ่งอ่างน้ำนิ่งทำหน้าที่เป็นอาคารสลายพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความลึกของน้ำหลังจากการกระโจนตัวของน้ำ d_2 คำนวณได้จากสมการ (9)

$$d_2 = -\frac{0.08}{2} + \sqrt{\frac{2 \times 8.25^2 \times 0.08}{9.81} + \frac{0.08^2}{4}}$$

$$= 1.01 \text{ ม.}$$

ลักษณะการไหลหลังจากกระโจนตัวของน้ำ คือ

$A_2 = 1.53 \text{ ม.}^2$

$V_2 = 0.65 \text{ ม./วินาที}$

$h_{v2} = 0.02 \text{ ม.}$

$E_2 = 1.01 + 0.02 = 1.03 \text{ ม.}$

ระดับของลาดพลังงานหลังจากการกระโจนตัว = +81.37 + 1.03 = +82.40 พลังงานนี้ต้องสมดุลกับพลังงานในร่องน้ำด้านท้ายน้ำซึ่งคำนวณด้วย n ในร่องน้ำลดลง 20%

พลังงานด้านท้ายน้ำของอาคาร

$Q = 0.99 \text{ ม.}^3/\text{วินาที}$

$n = 0.025 \times 0.80 = 0.02$

$b = 1.83 \text{ ม.}$

$d = 0.66 \text{ ม.}$

$A = 1.86 \text{ ม.}^2$

$V = 0.54 \text{ ม./วินาที}$

$h_v = 0.01 \text{ ม.}$

$E = 0.66 + 0.01 = 0.67 \text{ ม.}$

ระดับพื้นคลองต่ำสุดที่สมดุลกับพลังงานหลังจากการกระโจนตัวของน้ำคือ

+82.40 - 0.67 = +81.73

ระดับพื้นคลองในรูป 1-36 คือ +81.88 พลังงานสมดุลกัน ดังนั้นระดับพื้นอ่างน้ำนิ่งที่กำหนดไว้ซึ่งใช้ได้โดยทั่วไปจะต้องมีการสมมุติระดับพื้นอ่างหลายครั้ง หรือความกว้างของอ่างต่างๆ กัน ต้องทำก่อนการตรวจสอบระดับพลังงานที่ได้รับ

ความยาวอ่างน้ำนิ่งประมาณ 4 เท่าของ d_2 หรือ 4 x 1.01 = 4.04 ม. ใช้ 4.50 ม. จากรูป 1-23 ระยะพันน้ำของอ่างน้ำนิ่งประมาณ 0.60 ม. ระยะพันน้ำนี้ควรอยู่เหนือระดับพลังงานด้านท้ายน้ำสูงสุด ใช้กำแพงรางเทสูง 1.80 ม. ขนาดและตำแหน่งของรางเทและแท่งคอนกรีตที่ติดกับพื้นอ่าง แสดงในรูป 1-23

การออกแบบส่วนเชื่อมต่อปากทางออก

ส่วนเชื่อมต่อปากทางออกที่เป็นคอนกรีตจะใช้เชื่อมการไหลจากอ่างน้ำนิ่งไปยังร่องน้ำด้านท้ายน้ำเมื่อต้องการ ในตัวอย่างนี้ไม่ใช้ส่วนเชื่อมต่อปากทางออก แต่ใช้สันธรณีตรงปลายที่ปลายสุดของอ่างน้ำนิ่งและกำหนดระดับบนสุดของสันธรณีเพื่อให้มีระดับน้ำท้ายน้ำรับการกระโจนตัวของน้ำ พลังงานวิกฤตตรงปลายอ่างน้ำนิ่งคือ

d_c = 0.35 ม.

h_{VC} = 0.18 ม.

E_c = 0.53 ม.

ความสูงต่ำสุดของสันธรณีกำหนดให้ควบคุมการไหลด้านท้ายน้ำเท่ากับพลังงานหลังจากการกระโจนตัวของน้ำ E_2 ลบด้วยพลังงานวิกฤตตรงปลายของอ่าง E_c หรือ 1.03 - 0.53 = 0.50 ม. ในตัวอย่างการออกแบบใช้สันธรณีสูง 0.51 ม.

ในส่วนของอาคารที่น้ำไหลผ่านด้วยความเร็วสูง ระยะของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมน้อยที่สุดจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของน้ำดังนี้

ความเร็ว ม./วินาที	ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กน้อยที่สุดที่เพิ่มขึ้น (ซม.)
3	0
6	1.30
9	2.50

ส่วนเชื่อมต่อในร่องน้ำท้ายน้ำและการป้องกันร่องน้ำควรจะมีเพื่อทำให้อาคารสมบูรณ์แบบ

ตรวจสอบ slug flow

เราควรจะตรวจสอบดูความเป็นไปได้ของการเกิดคลื่นในอาคารที่จุด ④, ⑥, และ ⑧ ที่จุด ⑧ (กม. 1 + 144.16) ระดับพื้น +84.11 การตรวจสอบที่อัตราการไหลที่ออกแบบไว้ปรากฏว่าคลื่นจะไม่เกิด การตรวจสอบขั้นต่อไปที่ 0.5 เท่าของอัตราการไหลที่ออกแบบโดยสาธิตขั้นตอนที่ต้องการตรวจสอบ slug flow ดังนี้

Q = 0.5 ม.^{3}/วินาที

1) ที่จุด ② (กม. 0 + 954.58) ระดับพื้น +99.94

$$d_c = 3\sqrt{\frac{0.55^2}{9.81}}$$

A_c = 0.28 ม.^{2}

V_c = 1.78 ม./วินาที

h_{VC} = 0.16 ม.

ระดับของลาดพลังงานที่จุด ② คือ

+99.94 + 0.31 + 0.16 = +100.41 ม.

2) ที่จุด ⑧ ด้วย Q = 0.5 ม.^{3}/วินาที

โดยใช้สมการ (6) ลักษณะการไหลระหว่าง ② และ ⑧ คำนวณได้ดังนี้

ที่ ⑧

d = 0.12 ม.

A = 0.11 ม.^{2}

V = 4.55 ม./วินาที

h_v =. 1.06 ม.

WP = 1.14 ม.

ระดับลาดพลังงานที่ ⑧ = +84.11 + 0.12 + 1.06 = +85.29 ม.

3) หา sL (จากรูป 1-34)

sL = 100.42 - 85.29 = 15.13 ม.

4) หา L และ S

L = 1144.16 - 954.58

= 189.58 ม.

$$S = \tan\theta = \frac{15.13}{189.58} = 0.0798$$

θ = ประมาณ 4° -33′ - 45″

$\cos\theta$ = 0.99683

5) ใช้สมการ (10) คำนวณ V

$$\underline{V} = \frac{2}{3} \times \frac{0.91}{1.14} \times \frac{4.55}{\sqrt{9.81 \times 0.12 \times 0.99683}}$$

$\underline{V}$ = 2.24

6) ใช้สมการ (11) คำนวณ $\underline{M}$

$$\underline{M}^2 = \frac{4.55^2}{9.81 \times 15.13 \times 0.99683} = 0.14$$

7) เขียนค่าลงในรูป 16.10 จุดตกใกล้บริเวณ slugging

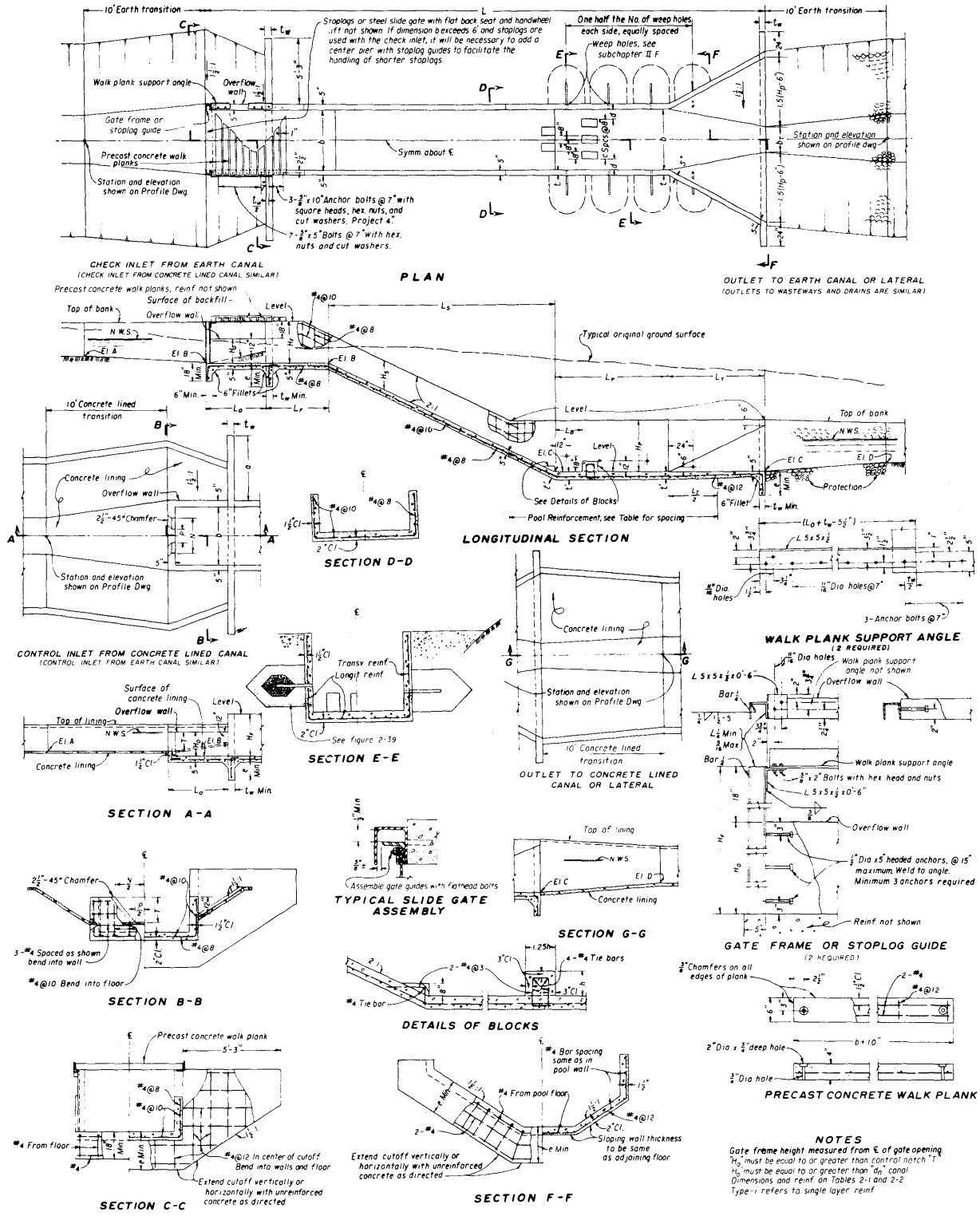
8) ตรวจสอบรูปร่างและลาดพารามีเตอร์

$$\frac{\underline{d}}{wp} = \frac{0.12}{1.14} = 0.11$$

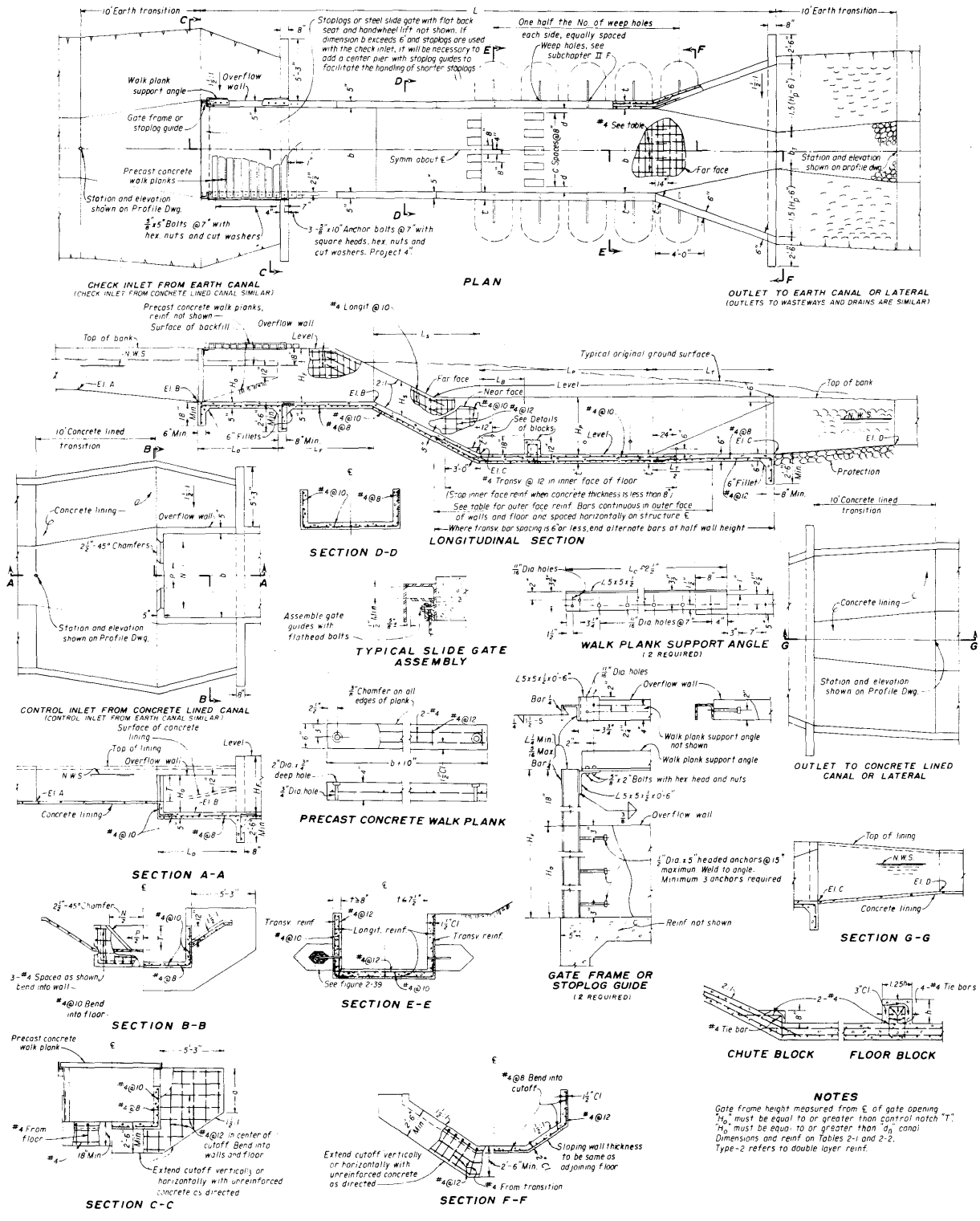
s = 0.0798

9) เขียนลงในรูป 1-33 จุดตกใกล้บริเวณของ slug flow

10) จากค่าที่ได้ชี้ให้เห็นว่าคลื่นอาจจะเกิดในอาคารที่ 0.5 Q ในตัวอย่างนี้ความลึกน้ำมีค่าน้อย ดังนั้น slug flow จะไม่ก่อให้เกิดปัญหา ถ้า slug flow บ่งบอกว่าจะทำให้เกิดคลื่นซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ ควรจะต้องแก้ไขการออกแบบใหม่



รูปที่ 1-37 Rectangular inclined drop-type 1.



รูปที่ I-38 Rectangular inclined drop-type 2.

Table 1-1. - wasteway and drain rectangular inclined drop dimensions and reinfor use with figs. 1-37 (sheet 1 of 2)

TYPE I
SINGLE LAYER REINFORCEMENT IN POOL FLOOR

STRUCT. NO.	H MAX.	Q MAX.	L_F	L_B	L_P	H_P	$d_2 + hv_2$	h	t	t'	NO. OF WEEP HOLES	POOL REINF			QUANTITIES		
												TRANSV. BARS IN WALLS & FLOORS	LONGIT. REINF. FLOORS	LONGIT. REINF. WALLS	CONC. (CU.YDS.)	REINF. STEEL (LBS.)	MISC. METAL (LBS.)
30-11	11.0	30	7'-7"	2'-6"	12'-6"	5'-0"	3.14'	10"	6"	7"	8	#4@10	#4@7	#4@8	16.5	1800	260
30-13	13.0	30	8'-2"	2'-7"	13'-0"	5'-2"	3.26'	10"	6"	7"	8	#4@9	#4@7	#4@8	17.8	1990	260
30-15	15.0	30	8'-9"	2'-8"	13'-6"	5'-4"	3.36'	10"	6"	7½"	8	#4@8	#4@6½	#4@6	19.4	2200	260
40-3	3.0	40	5'-9"	2'-1"	10'-6"	4'-4"	2.67'	8"	5"	6½"	8	#4@10	#4@7½	#4@10	12.4	1230	295
40-5	5.0	40	6'-5"	2'-4"	11'-6"	4'-9"	2.95'	9"	5"	6½"	8	#4@8	#4@7½	#4@10	14.3	1500	295
40-7	7.0	40	7'-1"	2'-6"	12'-6"	5'-0"	3.16'	10"	6"	7"	8	#4@10	#4@7	#4@8	16.7	1710	295
40-9	9.0	40	7'-8"	2'-8"	13'-0"	5'-3"	3.34'	10"	6"	7"	8	#4@8	#4@7	#4@8	18.2	1970	295
40-11	11.0	40	8'-4"	2'-9"	13'-6"	5'-5"	3.49'	11"	6"	7"	8	#4@8	#4@7	#4@8	19.7	2150	295
40-13	13.0	40	9'-0"	2'-11"	14'-6"	5'-7"	3.62'	11"	6"	7½"	8	#4@7½	#4@6½	#4@8	21.6	2400	295
40-15	15.0	40	9'-7"	3'-0"	15'-0"	5'-9"	3.73'	11"	6"	7½"	8	#4@7	#4@6½	#4@8	23.0	2600	295
50-3	3.0	50	6'-3"	2'-3"	11'-0"	4'-7"	2.89'	9"	5"	6½"	8	#4@9	#4@7½	#4@10	13.9	1410	310
50-5	5.0	50	7'-0"	2'-6"	12'-6"	5'-0"	3.19'	10"	6"	7"	8	#4@10	#4@7	#4@8	16.7	1700	310
50-7	7.0	50	7'-8"	2'-8"	13'-6"	5'-4"	3.41'	10"	6"	7"	8	#4@8	#4@7	#4@8	18.6	2010	310
50-9	9.0	50	8'-4"	2'-9"	14'-0"	5'-7"	3.59'	11"	6"	7"	8	#4@7½	#4@7	#4@8	20.3	2240	310
50-11	11.0	50	9'-0"	3'-0"	15'-0"	5'-10"	3.76'	12"	6"	7½"	8	#4@7	#4@6½	#4@8	22.5	2530	310
50-13	13.0	50	9'-8"	3'-1"	15'-6"	6'-0"	3.89'	12"	6"	7½"	10	#4@6½	#4@6½	#4@8	24.1	2770	310
60-3	3.0	60	6'-6"	2'-5"	12'-0"	4'-10"	3.07'	9"	5"	6½"	8	#4@8	#4@7½	#4@10	15.4	1610	345
60-5	5.0	60	7'-3"	2'-8"	13'-0"	5'-3"	3.38'	10"	6"	7"	8	#4@8	#4@7	#4@8	18.2	1950	345
60-7	7.0	60	8'-0"	2'-9"	14'-0"	5'-7"	3.61'	11"	6"	7"	8	#4@7½	#4@7	#4@8	20.3	2230	345
60-9	9.0	60	8'-8"	3'-0"	15'-0"	5'-10"	3.81'	12"	6"	7"	8	#4@7	#4@7	#4@8	22.3	2510	345
60-11	11.0	60	9'-5"	3'-2"	16'-0"	6'-1"	3.97'	12"	6"	7½"	10	#4@6	#4@6½	#4@8	24.6	2880	345
70-3	3.0	70	6'-9"	2'-6"	12'-6"	5'-0"	3.21'	10"	6"	6½"	8	#4@10	#4@7½	#4@8	17.2	1740	350
70-5	5.0	70	7'-6"	2'-9"	14'-0"	5'-5"	3.54'	11"	6"	7"	8	#4@8	#4@7	#4@8	20.0	2150	350
70-7	7.0	70	8'-3"	3'-0"	15'-0"	5'-10"	3.78'	11"	6"	7"	8	#4@7	#4@7	#4@8	22.4	2500	350
70-9	9.0	70	9'-0"	3'-2"	16'-0"	6'-1"	3.99'	12"	6"	7½"	10	#4@6	#4@6½	#4@8	24.9	2900	350
70-11	11.0	70	9'-9"	3'-4"	16'-6"	6'-4"	4.15'	13"	7"	7½"	10	#4@7½	#4@6½	#4@7	27.5	3060	350
80-3	3.0	80	7'-0"	2'-8"	13'-6"	5'-4"	3.46'	10"	6"	6½"	10	#4@8	#4@7½	#4@8	18.1	1930	355
80-5	5.0	80	7'-9"	3'-0"	15'-0"	5'-9"	3.80'	12"	6"	7"	10	#4@7	#4@7	#4@8	21.1	2350	355
80-7	7.0	80	8'-6"	3'-3"	16'-0"	6'-1"	4.06'	12"	6"	7"	10	#4@6	#4@7	#4@8	23.4	2730	355
80-9	9.0	80	9'-4"	3'-5"	17'-0"	6'-5"	4.27'	13"	7"	7½"	10	#4@7	#4@6½	#4@7	26.9	3020	355
90-3	3.0	90	7'-3"	2'-9"	13'-6"	5'-4"	3.56'	11"	6"	6½"	10	#4@8	#4@7½	#4@8	19.6	2100	395
90-5	5.0	90	8'-0"	3'-1"	15'-0"	5'-10"	3.91'	12"	6"	7"	10	#4@7	#4@7	#4@8	22.7	2530	395
90-7	7.0	90	8'-10"	3'-4"	16'-6"	6'-3"	4.18'	13"	7"	7"	10	#4@6½	#4@7	#4@7	26.3	3010	395
90-9	9.0	90	9'-8"	3'-6"	17'-6"	6'-8"	4.40'	13"	7"	7½"	10	#4@6½	#4@6½	#4@7	29.3	3360	395
100-3	3.0	100	7'-10"	2'-11"	14'-6"	5'-8"	3.78'	11"	6"	6½"	10	#4@7½	#4@7½	#4@8	20.8	2270	400
100-5	5.0	100	8'-8"	3'-3"	16'-0"	6'-2"	4.14'	12"	6"	7"	10	#4@6	#4@7	#4@8	24.0	2800	400
100-7	7.0	100	9'-6"	3'-6"	17'-6"	6'-7"	4.42'	13"	7"	7"	10	#4@5½	#4@7	#4@7	27.7	3330	400
100-9	9.0	100	10'-5"	3'-8"	18'-6"	6'-11"	4.65'	14"	7"	7½"	10	#4@5½	#4@6½	#4@7	30.8	3710	400

Table 1-1. - wasteway and drain rectangular inclined drop dimensions and reinfor use with figs. 1-37 (sheet 2 of 2)

TYPE I
SINGLE LAYER REINFORCEMENT IN POOL FLOOR

STRUCT. NO.	H MAX.	Q MAX.	L_F	L_B	L_P	H_P	$d_2 + hv_2$	h	t	t'	NO. OF WEEP HOLES	POOL REINF			QUANTITIES		
												TRANSV. BARS IN WALLS & FLOORS	LONGIT. REINF. FLOORS	LONGIT. REINF. WALLS	CONC. (CU.YDS.)	REINF. STEEL (LBS.)	MISC. METAL (LBS.)
5-3	3.0	5	3'-8"	12"	5'-0"	2'-7"	1.28'	8"	5"	6½"	4	#4@12	#4@7½	#4@10	4.7	470	165
5-5	5.0	5	3'-8"	14"	6'-0"	2'-9"	1.42'	8"	5"	6½"	4	#4@12	#4@7½	#4@10	5.5	560	165
5-7	7.0	5	3'-8"	15"	6'-0"	2'-11"	1.54'	8"	5"	6½"	4	#4@12	#4@7½	#4@10	6.1	630	165
5-9	9.0	5	4'-0"	16"	6'-6"	3'-0"	1.63'	8"	5"	6½"	4	#4@12	#4@7½	#4@10	6.8	710	165
5-11	11.0	5	4'-4"	17"	7'-0"	3'-1"	1.71'	8"	5"	6½"	4	#4@12	#4@7½	#4@10	7.5	790	165
5-13	13.0	5	4'-8"	17"	7'-0"	3'-2"	1.77'	8	5"	6½"	4	#4@12	#4@7½	#4@10	8.1	860	165
5-15	15.0	5	5'-0"	18"	7'-6"	3'-3"	1.84'	8"	5"	6½"	4	#4@12	#4@7½	#4@10	8.8	940	165
10-3	3.0	10	3'-8"	16"	7'-0"	2'-10"	1.70'	8"	5"	6½"	4	#4@12	#4@7½	#4@10	5.9	600	205
10-5	5.0	10	3'-10"	18"	7'-6"	3'-1"	1.89'	8"	5"	6½"	6	#4@12	#4@7½	#4@10	6.9	700	205
10-7	7.0	10	4'-3"	20"	8'-0"	3'-3"	2.03'	8"	5"	6½"	6	#4@12	#4@7½	#4@10	7.8	800	205
10-9	9.0	10	4'-8"	21"	8'-6"	3'-4"	2.15'	8"	5"	6½"	6	#4@12	#4@7½	#4@10	8.6	900	205
10-11	11.0	10	5'-0"	22"	9'-0"	3'-5"	2.25'	8"	5"	6½"	6	#4@12	#4@7½	#4@10	9.4	990	205
10-13	13.0	10	5'-5"	23"	9'-6"	3'-6"	2.33'	8"	5"	7"	6	#4@12	#4@7	#4@10	10.3	1090	205
10-15	15.0	10	5'-10"	24"	10'-0"	3'-7"	2.42'	8"	5"	7"	6	#4@12	#4@7	#4@10	11.1	1190	205
15-3	3.0	15	4'-0"	19"	8'-0"	3'-4"	1.96'	8"	5"	6½"	6	#4@12	#4@7½	#4@10	7.1	710	210
15-5	5.0	15	4'-5"	21"	8'-6"	3'-7"	2.18'	8"	5"	6½"	6	#4@12	#4@7½	#4@10	8.1	830	210
15-7	7.0	15	4'-10"	23"	9'-6"	3'-10"	2.34'	8"	5"	6½"	6	#4@12	#4@7½	#4@10	9.3	960	210
15-9	9.0	15	5'-4"	24"	10'-0"	4'-0"	2.48'	8"	5"	6½"	6	#4@12	#4@7½	#4@10	10.4	1080	210
15-11	11.0	15	5'-9"	2'-1"	10'-6"	4'-2"	2.58'	8"	5"	7"	6	#4@11	#4@7	#4@10	11.5	1220	210
15-13	13.0	15	6'-2"	2'-2"	11'-0"	4'-3"	2.69'	8"	5"	7"	6	#4@11	#4@7	#4@10	12.4	1330	210
15-15	15.0	15	6'-8"	2'-3"	11'-0"	4'-4"	2.77'	9"	5"	7"	6	#4@10	#4@7	#4@10	13.2	1440	210
20-3	3.0	20	5'-0"	20"	8'-6"	3'-6"	2.15'	8"	5"	6½"	6	#4@12	#4@7½	#4@10	8.3	830	250
20-5	5.0	20	5'-0"	23"	9'-6"	3'-10"	2.39'	8"	5"	6½"	6	#4@12	#4@7½	#4@10	9.5	980	250
20-7	7.0	20	5'-6"	24"	10'-0"	4'-1"	2.56'	8"	5"	6½"	6	#4@12	#4@7½	#4@10	10.7	1110	250
20-9	9.0	20	6'-0"	2'-2"	11'-0"	4'-4"	2.70'	8"	5"	7"	6	#4@10	#4@7	#4@10	12.2	1300	250
20-11	11.0	20	6'-6"	2'-3"	11'-6"	4'-6"	2.83'	9"	5"	7"	6	#4@9	#4@7	#4@10	13.3	1470	250
20-13	13.0	20	7'-0"	2'-4"	12'-0"	4'-8"	2.94'	9"	5"	7"	6	#4@8	#4@7	#4@10	14.4	1630	250
20-15	15.0	20	7'-6"	2'-5"	12'-0"	4'-9"	3.03'	9"	5"	7"	6	#4@8	#4@7	#4@10	15.4	1740	250
25-3	3.0	25	5'-2"	22"	9'-0"	3'-10"	2.29'	8"	5"	6½"	6	#4@12	#4@7½	#4@10	9.2	920	255
25-5	5.0	25	5'-6"	24"	10'-0"	4'-2"	2.53'	8"	5"	6½"	6	#4@11	#4@7½	#4@10	10.6	1100	255
25-7	7.0	25	6'-0"	2'-2"	11'-0"	4'-6"	2.72'	8"	5"	6½"	6	#4@9	#4@7½	#4@10	12.1	1310	255
25-9	9.0	25	6'-7"	2'-4"	11'-6"	4'-8"	2.87'	9"	5"	7"	8	#4@8	#4@7	#4@10	13.4	1500	255
25-11	11.0	25	7'-2"	2'-5"	12'-0"	4'-10"	3.00'	9"	5"	7"	8	#4@8	#4@7	#4@10	14.6	1640	255
25-13	13.0	25	7'-8"	2'-6"	12'-6"	5'-0"	3.11'	10"	6"	7"	8	#4@10	#4@7	#4@8	16.3	1780	255
25-15	15.0	25	8'-2"	2'-7"	13'-0"	5'-2"	3.22'	10"	6"	7½"	8	#4@9	#4@6½	#4@8	17.8	1980	255
30-3	3.0	30	5'-6"	23"	9'-6"	4'-0"	2.41'	8"	5"	6½"	8	#4@12	#4@7½	#4@10	10.2	1030	260
30-5	5.0	30	5'-10"	2'-1"	10'-6"	4'-4"	2.66'	8"	5"	6½"	8	#4@10	#4@7½	#4@10	11.7	1230	260
30-7	7.0	30	6'-5"	2'-3"	11'-0"	4'-7"	2.85'	9"	5"	7"	6	#4@9	#4@7	#4@10	13.2	1430	260
30-9	9.0	30	7'-0"	2'-5"	12'-0"	4'-10"	3.00'	9"	5"	7"	8	#4@8	#4@7	#4@10	14.7	1640	260

Table 1-2. - wasteway and drain rectangular inclined drop dimensions and reinfor use with figs. 1-38

TYPE 2
DOUBLE LAYER REINFORCEMENT IN POOL FLOOR

STRUCT. NO.	H MAX.	Q MAX.	L_F	L_B	L_P	H_P	$d_2 + hv_2$	h	t	t'	NO. OF WEEP HOLES	POOL REINF. OUTER LAYER			QUANTITIES		
												TRANSV. REINF.	LONGIT. REINF. FLOORS	LONGIT. REINF. WALLS	CONC. (CU.YDS.)	REINF. STEEL (LBS.)	MISC. METAL (LBS.)
50-15	15.0	50	10'-5"	3'-3"	16'-0"	6'-2"	4.02'	12"	6"	8"	10	#4@6	#4@16	#4@8	25.9	3160	310
60-13	13.0	60	10'-1"	3'-4"	16'-6"	6'-3"	4.12'	13"	7"	8"	10	#4@7½	#4@16	#4@7	27.4	3150	345
60-15	15.0	60	10'-10"	3'-5"	17'-0"	6'-5"	4.26'	13"	7"	8"	10	#4@7	#4@16	#4@7	29.1	3410	345
70-13	13.0	70	10'-6"	3'-5"	17'-0"	6'-6"	4.31'	13"	7"	8"	10	#4@6½	#4@16	#4@7	29.7	3530	350
70-15	15.0	70	11'-3"	3'-7"	17'-6"	6'-8"	4.44'	14"	7"	8"	10	#4@6½	#4@16	#4@7	31.5	3760	350
80-11	11.0	80	10'-1"	3'-7"	17'-6"	6'-8"	4.46'	14"	7"	8"	10	#4@6½	#4@16	#4@7	29.2	3480	355
80-13	13.0	80	10'-10"	3'-8"	18'-6"	6'-10"	4.63'	14"	7"	8"	10	#4@6	#4@16	#4@7	31.3	3810	355
80-15	15.0	80	11'-8"	3'-10"	19'-0"	7'-0"	4.77'	15"	7"	8½"	10	#4@5½	#4@15	#4@7	33.6	4160	355
90-11	11.0	90	10'-6"	3'-8"	18'-0"	7'-0"	4.59'	14"	7"	8"	10	#4@5½	#4@16	#4@7	31.9	3980	395
90-13	13.0	90	11'-4"	3'-10"	19'-0"	7'-2"	4.75'	14"	7"	8"	10	#4@5	#4@16	#4@7	34.2	4390	395
90-15	15.0	90	12'-1"	3'-11"	19'-6"	7'-4"	4.90'	15"	8"	8½"	10	#4@6	#4@15	#4@16	37.8	4880	395
100-11	11.0	100	11'-3"	3'-10"	19'-0"	7'-2"	4.85'	15"	7"	8"	10	#4@5	#4@16	#4@7	33.4	4290	400
100-13	13.0	100	12'-1"	4'-0"	20'-0"	7'-4"	5.02'	15"	8"	8½"	10	#4@6	#4@15	#4@16	37.4	4830	400
100-15	15.0	100	13'-0"	4'-2"	20'-6"	7'-6"	5.17'	16"	8"	8½"	10	#4@5½	#4@15	#4@16	39.6	5220	400

STRUCT. Q MAX.	STANDARD DIMENSIONS										CHECK INLET			TYPE I ONLY	
	b_T	a	b	L_O	H_F MIN.	H_O MIN.	H_S	c	d	L_T	GATE SIZE	FRAME HT.	NO. OF WALK PLANKS	e	t_w
5	24"	21"	3'-0"	2'-7"	2'-6"	12"	20"	3	6"	5'-0"	36"x12"	5'-0"	7	24"	6"
10	24"	2'-1"	3'-6"	3'-7"	2'-10"	16"	24"	3	9"	6'-0"	42"x16"	5'-6"	8	24"	6"
15	24"	2'-5"	4'-0"	3'-7"	3'-2"	20"	2'-2"	5	4"	7'-0"	48"x20"	5'-6"	8	24"	6"
20	24"	2'-7"	4'-6"	4'-7"	3'-4"	22"	2'-4"	5	7"	8'-0"	54"x22"	5'-6"	10	24"	6"
25	24"	2'-9"	5'-0"	4'-7"	3'-6"	24"	2'-5"	5	10"	8'-0"	60"x24"	5'-6"	10	24"	6"
30	24"	3'-0"	5'-6"	4'-7"	3'-9"	2'-3"	2'-6"	7	5"	9'-0"	66"x27"	6'-0"	10	24"	6"
40	24"	3'-6"	6'-0"	5'-7"	4'-0"	2'-6"	2'-8"	7	8"	9'-0"	72"x30"	6'-0"	11	2'-6"	8"
50	2'-6"	4'-0"	6'-6"	5'-7"	4'-3"	2'-9"	2'-9"	7	11"	10'-0"	78"x33"	6'-0"	11	2'-6"	8"
60	2'-6"	4'-3"	7'-0"	6'-7"	4'-6"	3'-0"	2'-10"	9	6"	10'-0"	84"x36"	6'-0"	13	2'-6"	8"
70	3'-0"	4'-6"	7'-6"	6'-7"	4'-9"	3'-3"	2'-11"	9	9"	11'-0"	90"x39"	6'-6"	13	2'-6"	8"
80	3'-0"	4'-6"	7'-6"	6'-7"	5'-0"	3'-6"	3'-0"	9	9"	11'-0"	90"x42"	6'-6"	13	2'-6"	8"
90	3'-6"	5'-0"	8'-0"	7'-7"	5'-3"	3'-9"	3'-1"	11	4"	12'-0"	96"x45"	6'-6"	15	2'-6"	8"
100	3'-6"	5'-3"	8'-0"	7'-7"	5'-6"	4'-0"	3'-3"	11	4"	12'-0"	96"x45"	6'-6"	15	2'-6"	8"

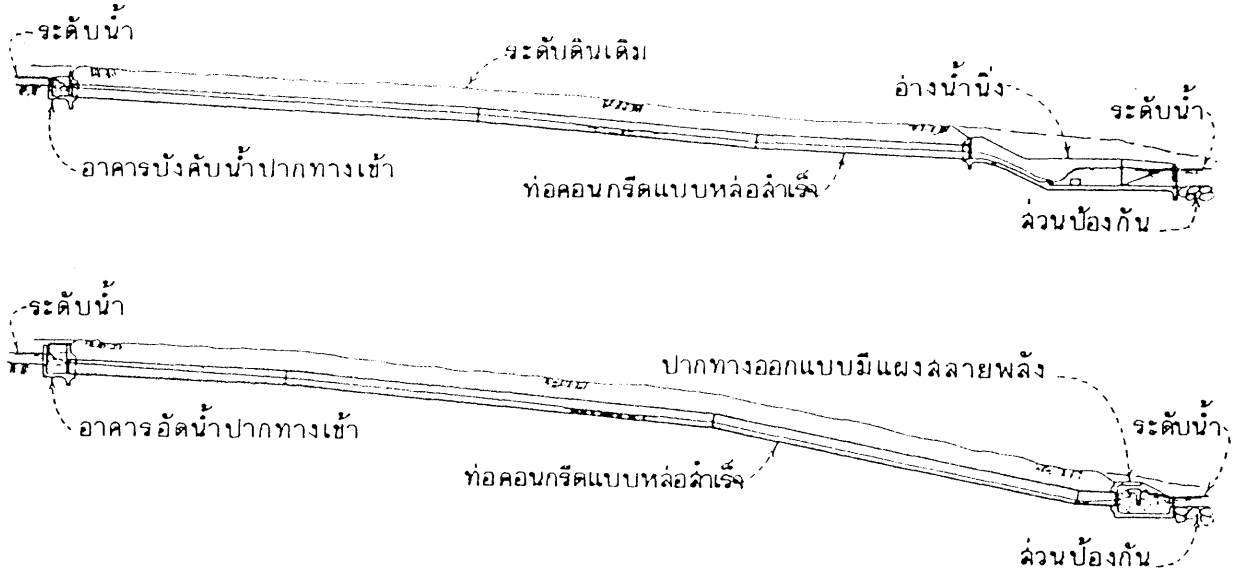
DESIGN CRITERIA

Structure No. 5-3 indicates Q = 5 c.f.s., H = 3 ft.
The dimensions of the control notch at the inlet of the structure should be determined for design Q and 20% of design Q with control notch graphs as shown in design example.
The base width of the structure is determined from the formula $b = \frac{360\sqrt{Q}}{Q+350}$
The minimum downstream energy gradient for full design capacity is determined by reducing the assumed "n" value for the channel by 20% and computing the depth.
"H" is the vertical fall from the normal upstream energy gradient to the minimum downstream energy gradient.
"d_2" is the height of the downstream end of the hydraulic jump and may be determined from the formula $d_2 = \frac{-d_1}{2} + \sqrt{\frac{2V_1^2 d_1}{g} + \frac{d_1^2}{4}}$ *or from figure 2-37.*
"d_1" may be determined by using figure 2-37, then from d_1, A_1 and V_1 can be determined.
The invert El. of the stilling pool is found by subtracting d_2+hv_2 from the downstream energy gradient.
The minimum stilling pool length is $4d_2$.
The minimum freeboard for the stilling pool is obtained by using figure 2-33 as a guide.
The minimum distance between chute blocks and floor blocks is $.8d_2$.
Reinforcement steel design is based on working stresses of 24,000 p.s.i. with a specified minimum yield strength of 60,000 p.s.i.
Monolithic concrete design based on a compressive strength of 4,000 p.s.i. at 28 days with a working stress of 1,800 p.s.i.
When a gate with a specified height is not available, a gate with next greater available height should be used with appropriate frame height.

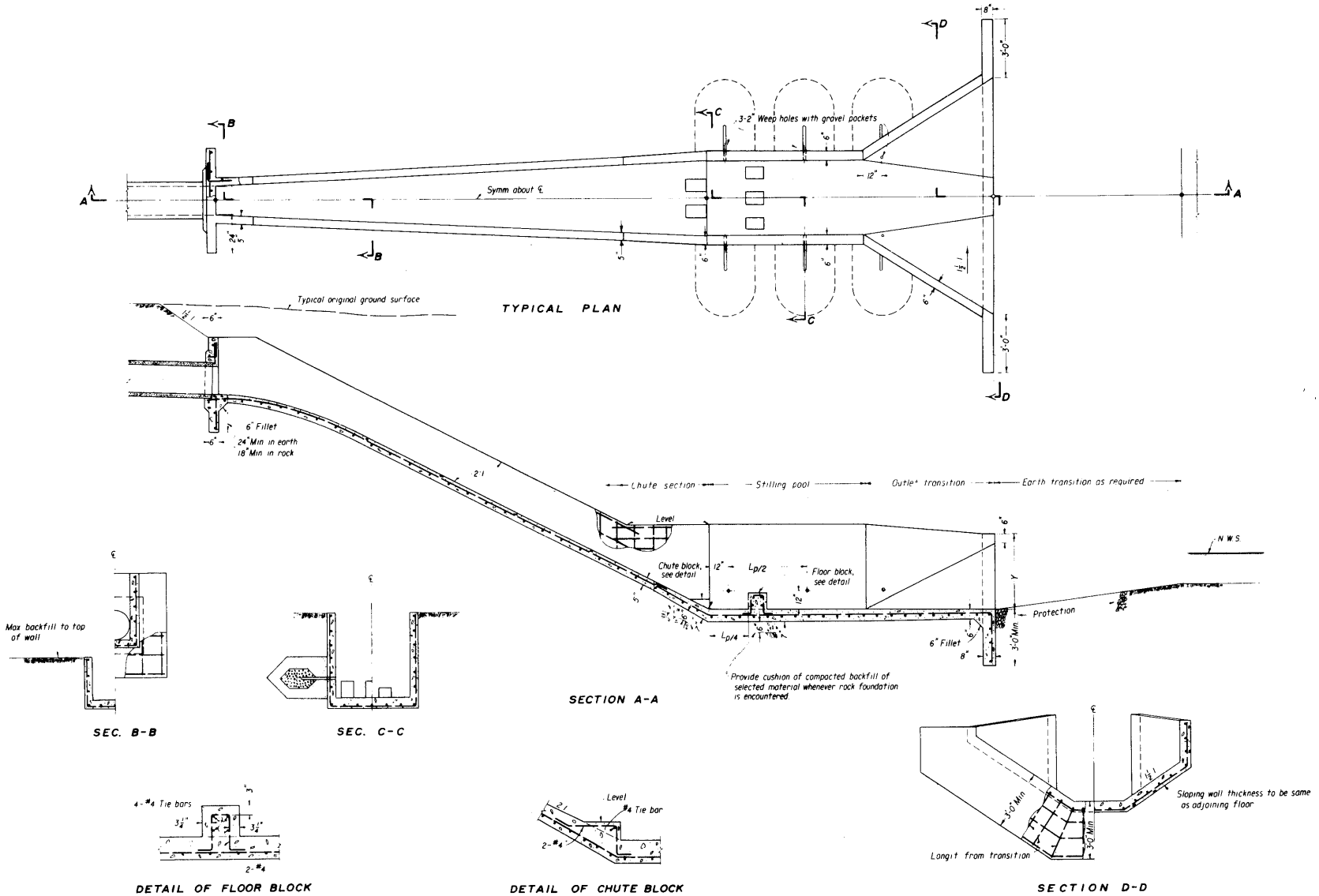
1.6.3 รางเทแบบท่อ (Pipe Chute)

1.6.3.1 จุดประสงค์รางเทแบบท่อ คือ รางเทที่ใช้ท่อแทนส่วนรางเทเปิด (รูป 1-39) รางเทแบบท่อใช้เป็นอาคารตัดผ่านหรือทำไร่ทำนาบนอาคารได้ ท่อส่วนใหญ่จะฝังใต้ดินเพื่อรักษาความสวยงามของบริเวณนั้น ปากทางออกชนิดมีแผงสลายพลังงาน หรืออ่างน้ำนิ่งจะใช้เป็นอาคารสลายพลังงาน รูปที่ 1-40 แสดงอ่างน้ำนิ่งที่ด้านท้ายของรางเทแบบท่อ วิธีการออกแบบรางเทแบบท่อคล้ายคลึงกับวิธีการออกแบบรางเทแบบเปิด ส่วนเชื่อมต่อปากทางเข้าควรออกแบบให้ควบคุมการไหลของน้ำผ่านอาคารเพื่อป้องกันการไหลตรงทางเข้าท่อ ส่วนเชื่อมต่อที่เป็นคอนกรีตระหว่างน้ำเปิดและส่วนที่เป็นท่อเป็นเรื่อง transition ขนาดท่อ จะออกแบบให้น้ำไหลเต็มท่อด้วยความเร็วสูงสุดไม่เกิน 3.60 ม./วินาที อากาศในท่อจะเป็นปัญหาที่ยุ่งยากจึงต้องระมัดระวังในการกำหนดลาดของท่อ โดยลาดที่เลือกจะต้องป้องกันการเกิดการกระโจนตัวของน้ำในท่อด้วย USBR กำหนดไว้ว่าท่อที่ชันกว่าค่าวิกฤต ลาดต่ำสุดควรเป็นสองเท่าของลาดวิกฤต ลาดของท่อไม่ควรเปลี่ยนจากลาดที่ชันกว่าเป็นลาดที่แบนกว่า ถ้าต้องเปลี่ยนเป็นลาดที่แบนกว่าแล้วท่อควรจะเชื่อมต่อด้วยรางเทแบบเปิดในช่วงสั้นๆ และการเปลี่ยนลาดจะทำในส่วนเปิดนี้

ค่าตัวแปรต่างๆ ของการไหลในรูปตัดกลมสามารถใช้ตามตาราง 1-5 ได้ สำหรับท่อคอนกรีตใช้ Manning's n = 0.010

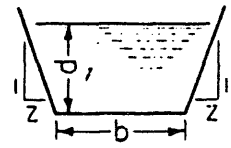


รูป 1-39 รางเทแบบท่อ



รูปที่ 1—40 อ่างน้ำนิ่งในรางเทแบบท่อ

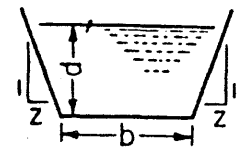
ตาราง 1-3 การไหลอย่างสม่ำเสมอในร่องสี่เหลี่ยมคางหมูโดยสูตรของ Manning

d/b[1]	Values of $\frac{Qn}{b^{8/3} S^{1/2}}$ 									
	z = 0	z = 1/4	z = 1/2	z = 3/4	z = 1	z = 1-1/4	z = 1-1/2	z = 1-3/4	z = 2	z = 3
.02	.00213	.00215	.00216	.00217	.00218	.00219	.00220	.00220	.00221	.00223
.03	.00414	.00419	.00423	.00426	.00429	.00431	.00433	.00434	.00437	.00443
.04	.00661	.00670	.00679	.00685	.00690	.00696	.00700	.00704	.00707	.00722
.05	.00947	.00964	.00980	.00991	.0100	.0101	.0102	.0103	.0103	.0106
.06	.0127	.0130	.0132	.0134	.0136	.0137	.0138	.0140	.0141	.0145
.07	.0162	.0166	.0170	.0173	.0176	.0177	.0180	.0182	.0183	.0190
.08	.0200	.0206	.0211	.0215	.0219	.0222	.0225	.0228	.0231	.0240
.09	.0240	.0249	.0256	.0262	.0267	.0271	.0275	.0279	.0282	.0296
.10	.0283	.0294	.0305	.0311	.0318	.0324	.0329	.0334	.0339	.0358
.11	.0329	.0342	.0354	.0364	.0373	.0380	.0387	.0394	.0400	.0424
.12	.0376	.0393	.0408	.0420	.0431	.0441	.0450	.0458	.0466	.0497
.13	.0425	.0446	.0464	.0480	.0493	.0505	.0516	.0527	.0537	.0575
.14	.0476	.0501	.0524	.0542	.0559	.0573	.0587	.0599	.0612	.0659
.15	.0528	.0559	.0585	.0608	.0628	.0645	.0662	.0677	.0692	.0749
.16	.0582	.0619	.0650	.0676	.0699	.0720	.0740	.0759	.0776	.0845
.17	.0638	.0680	.0717	.0748	.0775	.0800	.0823	.0845	.0867	.0947
.18	.0695	.0744	.0786	.0822	.0854	.0883	.0910	.0936	.0961	.105
.19	.0753	.0809	.0857	.0900	.0936	.0970	.100	.103	.106	.117
.20	.0813	.0875	.0932	.0979	.102	.106	.110	.113	.116	.129
.21	.0873	.0944	.101	.106	.111	.115	.120	.123	.127	.142
.22	.0935	.101	.109	.115	.120	.125	.130	.134	.139	.155
.23	.0997	.109	.117	.124	.130	.135	.141	.146	.151	.169
.24	.106	.116	.125	.133	.139	.146	.152	.157	.163	.184
.25	.113	.124	.133	.142	.150	.157	.163	.170	.176	.199
.26	.119	.131	.142	.152	.160	.168	.175	.182	.189	.215
.27	.126	.139	.151	.162	.171	.180	.188	.195	.203	.232
.28	.133	.147	.160	.172	.182	.192	.201	.209	.217	.249
.29	.139	.155	.170	.182	.193	.204	.214	.223	.232	.267
.30	.146	.163	.179	.193	.205	.217	.227	.238	.248	.286
.31	.153	.172	.189	.204	.217	.230	.242	.253	.264	.306
.32	.160	.180	.199	.215	.230	.243	.256	.269	.281	.327
.33	.167	.189	.209	.227	.243	.257	.271	.285	.298	.348
.34	.174	.198	.219	.238	.256	.272	.287	.301	.315	.369
.35	.181	.207	.230	.251	.270	.287	.303	.318	.334	.392
.36	.190	.216	.241	.263	.283	.302	.319	.336	.353	.416
.37	.196	.225	.251	.275	.297	.317	.336	.354	.372	.440
.38	.203	.234	.263	.289	.311	.333	.354	.373	.392	.465
.39	.210	.244	.274	.301	.326	.349	.371	.392	.412	.491
.40	.218	.254	.286	.314	.341	.366	.389	.412	.433	.518
.41	.225	.263	.297	.328	.357	.383	.408	.432	.455	.545
.42	.233	.279	.310	.342	.373	.401	.427	.453	.478	.574
.43	.241	.282	.321	.356	.389	.418	.447	.474	.501	.604
.44	.249	.292	.334	.371	.405	.437	.467	.496	.524	.634

[1]For d/b less than 0.04, use of the assumption R = d is more convenient and more accurate than interpolation in the table.

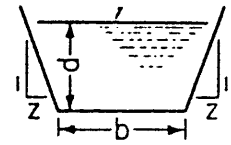
ค่า $\frac{Qn}{b^{8/3} s^{1/2}}$ ดังแสดงในตารางให้คูณด้วย 0.673 สำหรับหน่วยเมตริก

ตาราง 1–3 (ต่อ) การไหลอย่างสม่ำเสมอในร่องสี่เหลี่ยมคางหมูโดยสูตรของ Manning

d/b	Values of $\frac{Qn}{b^{8/3} S^{1/2}}$ 									
	z = 0	z = 1/4	z = 1/2	z = 3/4	z = 1	z = 1-1/4	z = 1-1/2	z = 1-3/4	z = 2	z = 3
.45	.256	.303	.346	.385	.422	.455	.487	.519	.548	.665
.46	.263	.313	.359	.401	.439	.475	.509	.541	.574	.696
.47	.271	.323	.371	.417	.457	.494	.530	.565	.600	.729
.48	.279	.333	.384	.432	.475	.514	.552	.589	.626	.763
.49	.287	.345	.398	.448	.492	.534	.575	.614	.652	.797
.50	.295	.356	.411	.463	.512	.556	.599	.639	.679	.833
.52	.310	.377	.438	.496	.548	.599	.646	.692	.735	.906
.54	.327	.398	.468	.530	.590	.644	.696	.746	.795	.984
.56	.343	.421	.496	.567	.631	.690	.748	.803	.856	1.07
.58	.359	.444	.526	.601	.671	.739	.802	.863	.922	1.15
.60	.375	.468	.556	.640	.717	.789	.858	.924	.988	1.24
.62	.391	.492	.590	.679	.763	.841	.917	.989	1.06	1.33
.64	.408	.516	.620	.718	.809	.894	.976	1.05	1.13	1.43
.66	.424	.541	.653	.759	.858	.951	1.04	1.13	1.21	1.53
.68	.441	.566	.687	.801	.908	1.01	1.10	1.20	1.29	1.64
.70	.457	.591	.722	.842	.958	1.07	1.17	1.27	1.37	1.75
.72	.474	.617	.757	.887	1.01	1.13	1.24	1.35	1.45	1.87
.74	.491	.644	.793	.932	1.07	1.19	1.31	1.43	1.55	1.98
.76	.508	.670	.830	.981	1.12	1.26	1.39	1.51	1.64	2.11
.78	.525	.698	.868	1.03	1.18	1.32	1.46	1.60	1.73	2.24
.80	.542	.725	.906	1.08	1.24	1.40	1.54	1.69	1.83	2.37
.82	.559	.753	.945	1.13	1.30	1.47	1.63	1.78	1.93	2.51
.84	.576	.782	.985	1.18	1.36	1.54	1.71	1.87	2.03	2.65
.86	.593	.810	1.03	1.23	1.43	1.61	1.79	1.97	2.14	2.80
.88	.610	.839	1.07	1.29	1.49	1.69	1.88	2.07	2.25	2.95
.90	.627	.871	1.11	1.34	1.56	1.77	1.98	2.17	2.36	3.11
.92	.645	.898	1.15	1.40	1.63	1.86	2.07	2.28	2.48	3.27
.94	.662	.928	1.20	1.46	1.70	1.94	2.16	2.38	2.60	3.43
.96	.680	.960	1.25	1.52	1.78	2.03	2.27	2.50	2.73	3.61
.98	.697	.991	1.29	1.58	1.85	2.11	2.37	2.61	2.85	3.79
1.00	.714	1.02	1.33	1.64	1.93	2.21	2.47	2.73	2.99	3.97
1.05	.759	1.10	1.46	1.80	2.13	2.44	2.75	3.04	3.33	4.45
1.10	.802	1.19	1.58	1.97	2.34	2.69	3.04	3.37	3.70	4.96
1.15	.846	1.27	1.71	2.14	2.56	2.96	3.34	3.72	4.09	5.52
1.20	.891	1.36	1.85	2.33	2.79	3.24	3.68	4.09	4.50	6.11
1.25	.936	1.45	1.99	2.52	3.04	3.54	4.03	4.49	4.95	6.73
1.30	.980	1.54	2.14	2.73	3.30	3.85	4.39	4.90	5.42	7.39
1.35	1.02	1.64	2.29	2.94	3.57	4.18	4.76	5.34	5.90	8.10
1.40	1.07	1.74	2.45	3.16	3.85	4.52	5.18	5.80	6.43	8.83
1.45	1.11	1.84	2.61	3.39	4.15	4.88	5.60	6.29	6.98	9.62

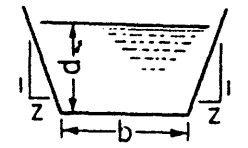
ค่า $\frac{Qn}{b^{8/3} S^{1/2}}$ ดังแสดงในตารางให้คูณด้วย 0.673 สำหรับหน่วยเมตริก

ตาราง 1–3 (ต่อ) การไหลอย่างสม่ำเสมอในร่องสี่เหลี่ยมคางหมูโดยสูตรของ Manning

d/b	Values of $\frac{Qn}{b^{8/3} S^{1/2}}$ 									
	z = 0	z = 1/4	z = 1/2	z = 3/4	z = 1	z = 1-1/4	z = 1-1/2	z = 1-3/4	z = 2	z = 3
1.50	1.16	1.94	2.78	3.63	4.46	5.26	6.04	6.81	7.55	10.4
1.55	1.20	2.05	2.96	3.88	4.78	5.65	6.50	7.33	8.14	11.3
1.60	1.25	2.15	3.14	4.14	5.12	6.06	6.99	7.89	8.79	12.2
1.65	1.30	2.27	3.33	4.41	5.47	6.49	7.50	8.47	9.42	13.2
1.70	1.34	2.38	3.52	4.69	5.83	6.94	8.02	9.08	10.1	14.2
1.75	1.39	2.50	3.73	4.98	6.21	7.41	8.57	9.72	10.9	15.2
1.80	1.43	2.62	3.93	5.28	6.60	7.89	9.13	10.4	11.6	16.3
1.85	1.48	2.74	4.15	5.59	7.01	8.40	9.75	11.1	12.4	17.4
1.90	1.52	2.86	4.36	5.91	7.43	8.91	10.4	12.4	13.2	18.7
1.95	1.57	2.99	4.59	6.24	7.87	9.46	11.0	12.5	14.0	19.9
2.00	1.61	3.12	4.83	6.58	8.32	10.0	11.7	13.3	14.9	21.1
2.10	1.71	3.39	5.31	7.30	9.27	11.2	13.1	15.0	16.8	23.9
2.20	1.79	3.67	5.82	8.06	10.3	12.5	14.6	16.7	18.7	26.8
2.30	1.89	3.96	6.36	8.86	11.3	13.8	16.2	18.6	20.9	30.0
2.40	1.98	4.26	6.93	9.72	12.5	15.3	17.9	20.6	23.1	33.4
2.50	2.07	4.58	7.52	10.6	13.7	16.8	19.8	22.7	25.6	37.0
2.60	2.16	4.90	8.14	11.6	15.0	18.4	21.7	25.0	28.2	40.8
2.70	2.26	5.24	8.80	12.6	16.3	20.1	23.8	27.4	31.0	44.8
2.80	2.35	5.59	9.49	13.6	17.8	21.9	25.9	29.9	33.8	49.1
2.90	2.44	5.95	10.2	14.7	19.3	23.8	28.2	32.6	36.9	53.7
3.00	2.53	6.33	11.0	15.9	20.9	25.8	30.6	35.4	40.1	58.4
3.20	2.72	7.12	12.5	18.3	24.2	30.1	35.8	41.5	47.1	68.9
3.40	2.90	7.97	14.2	21.0	27.9	34.8	41.5	48.2	54.6	80.2
3.60	3.09	8.86	16.1	24.0	32.0	39.9	47.8	55.5	63.0	92.8
3.80	3.28	9.81	18.1	27.1	36.3	45.5	54.6	63.5	72.4	107
4.00	3.46	10.8	20.2	30.5	41.1	51.6	61.9	72.1	82.2	122
4.50	3.92	13.5	26.2	40.1	54.5	68.8	82.9	96.9	111	164
5.00	4.39	16.7	33.1	51.5	70.3	89.2	108	126	145	216

ค่า $\frac{Qn}{b^{8/3} S^{1/2}}$ ดังแสดงในตารางให้คูณด้วย 0.673 สำหรับหน่วยเมตริก

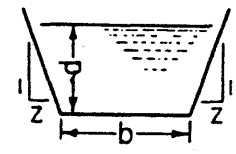
ตาราง 1-4 การไหลอย่างสม่ำเสมอในร่องสี่เหลี่ยมคางหมูโดยสูตรของ Manning

d/b[1]	Values of $\frac{Qn}{d^{8/3} S^{1/2}}$ 									
	z = 0	z = 1/4	z = 1/2	z = 3/4	z = 1	z = 1-1/4	z = 1-1/2	z = 1-3/4	z = 2	z = 3
.01	146.7	147.2	147.6	148.0	148.3	148.6	148.8	148.9	149.2	149.9
.02	72.4	72.9	73.4	73.7	74.0	74.3	74.5	74.8	74.9	75.6
.03	47.6	48.2	48.6	49.0	49.3	49.5	49.8	50.0	50.2	50.9
.04	35.3	35.8	36.3	36.6	36.9	37.2	37.4	37.6	37.8	38.6
.05	27.9	28.4	28.9	29.2	29.5	29.8	30.0	30.2	30.5	31.2
.06	23.0	23.5	23.9	24.3	24.6	24.8	25.1	25.3	25.5	26.3
.07	19.45	19.97	20.4	20.8	21.1	21.3	21.6	21.8	22.0	22.8
.08	16.82	17.34	17.73	18.13	18.43	18.70	18.95	19.18	19.40	20.2
.09	14.78	15.29	15.72	16.08	16.39	16.66	16.91	17.14	17.36	18.21
.10	13.16	13.66	14.14	14.44	14.75	15.02	15.28	15.51	15.74	16.60
.11	11.83	12.33	12.76	13.11	13.42	13.69	13.94	14.18	14.41	15.28
.12	10.73	11.23	11.65	12.00	12.31	12.59	12.84	13.08	13.31	14.19
.13	9.80	10.29	10.71	11.06	11.37	11.65	11.90	12.14	12.38	13.26
.14	9.00	9.49	9.91	10.26	10.57	10.85	11.10	11.35	11.58	12.48
.15	8.32	8.80	9.21	9.57	9.88	10.16	10.42	10.67	10.89	11.80
.16	7.72	8.20	8.61	8.96	9.27	9.55	9.81	10.06	10.29	11.20
.17	7.19	7.67	8.08	8.43	8.74	9.02	9.28	9.53	9.77	10.68
.18	6.73	7.20	7.61	7.96	8.27	8.55	8.81	9.05	9.30	10.21
.19	6.31	6.78	7.18	7.54	7.85	8.13	8.39	8.64	8.88	9.80
.20	5.94	6.40	6.81	7.16	7.47	7.75	8.01	8.26	8.50	9.43
.21	5.60	6.06	6.47	6.82	7.13	7.41	7.67	7.92	8.16	9.09
.22	5.30	5.75	6.16	6.50	6.82	7.10	7.36	7.61	7.86	8.79
.23	5.02	5.47	5.87	6.22	6.53	6.81	7.08	7.33	7.58	8.51
.24	4.77	5.22	5.62	5.96	6.27	6.56	6.82	7.07	7.32	8.26
.25	4.54	4.98	5.38	5.73	6.04	6.32	6.58	6.84	7.08	8.03
.26	4.32	4.77	5.16	5.51	5.82	6.10	6.37	6.62	6.87	7.81
.27	4.13	4.57	4.96	5.31	5.62	5.90	6.16	6.42	6.67	7.62
.28	3.95	4.38	4.77	5.12	5.43	5.71	5.98	6.23	6.48	7.43
.29	3.78	4.21	4.60	4.95	5.25	5.54	5.81	6.06	6.31	7.26
.30	3.62	4.05	4.44	4.78	5.09	5.38	5.64	5.90	6.15	7.10
.31	3.48	3.90	4.29	4.63	4.94	5.23	5.49	5.75	6.00	6.96
.32	3.34	3.76	4.15	4.49	4.80	5.08	5.35	5.61	5.86	6.82
.33	3.21	3.64	4.02	4.36	4.67	4.95	5.22	5.48	5.73	6.69
.34	3.09	3.51	3.89	4.23	4.54	4.83	5.09	5.35	5.60	6.56
.35	2.98	3.40	3.78	4.12	4.43	4.71	4.98	5.23	5.49	6.45
.36	2.88	3.29	3.67	4.01	4.32	4.60	4.87	5.12	5.38	6.34
.37	2.78	3.19	3.56	3.90	4.21	4.49	4.76	5.02	5.27	6.24
.38	2.68	3.09	3.47	3.81	4.11	4.40	4.67	4.92	5.17	6.14
.39	2.59	3.00	3.37	3.71	4.02	4.30	4.57	4.83	5.08	6.05
.40	2.51	2.92	3.29	3.62	3.93	4.21	4.48	4.74	4.99	5.96
.41	2.43	2.84	3.20	3.54	3.85	4.13	4.40	4.66	4.91	5.88
.42	2.36	2.76	3.13	3.46	3.77	4.05	4.32	4.58	4.83	5.80
.43	2.29	2.68	3.05	3.38	3.69	3.97	4.24	4.50	4.76	5.73
.44	2.22	2.61	2.98	3.31	3.62	3.90	4.17	4.43	4.68	5.66

[1]For d/b less than 0.04, use of the assumption R = d is more convenient and more accurate than interpolation in the table.

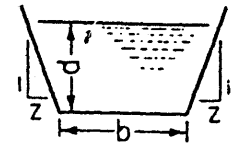
ค่า $\frac{Qn}{d^{8/3} S^{1/2}}$ ดังแสดงในตารางให้คูณด้วย 0.673 สำหรับหน่วยเมตริก

ตาราง 1–4 (ต่อ) การไหลอย่างสม่ำเสมอในร่องลึ่เหลี่ยมคางหมูโดยสูตรของ Manning

d/b	Values of $\frac{Qn}{d^{8/3} S^{1/2}}$ 									
	z = 0	z = 1/4	z = 1/2	z = 3/4	z = 1	z = 1-1/4	z = 1-1/2	z = 1-3/4	z = 2	z = 3
.45	2.15	2.55	2.91	3.24	3.55	3.83	4.10	4.36	4.61	5.59
.46	2.09	2.48	2.85	3.18	3.48	3.77	4.04	4.29	4.55	5.52
.47	2.03	2.42	2.78	3.12	3.42	3.70	3.97	4.23	4.49	5.46
.48	1.977	2.36	2.72	3.06	3.36	3.64	3.91	4.17	4.43	5.40
.49	1.923	2.31	2.67	3.00	3.30	3.58	3.85	4.12	4.37	5.34
.50	1.872	2.26	2.61	2.94	3.25	3.53	3.80	4.06	4.31	5.29
.52	1.777	2.16	2.51	2.84	3.14	3.43	3.70	3.96	4.21	5.19
.54	1.689	2.06	2.42	2.74	3.05	3.33	3.60	3.86	4.11	5.09
.56	1.608	1.977	2.33	2.66	2.96	3.24	3.51	3.77	4.02	5.00
.58	1.533	1.900	2.25	2.57	2.87	3.16	3.43	3.69	3.94	4.92
.60	1.464	1.827	2.17	2.50	2.80	3.08	3.35	3.61	3.86	4.85
.62	1.400	1.760	2.11	2.43	2.73	3.01	3.28	3.54	3.79	4.77
.64	1.340	1.697	2.04	2.36	2.66	2.94	3.21	3.47	3.72	4.71
.66	1.285	1.638	1.979	2.30	2.60	2.88	3.15	3.41	3.66	4.64
.68	1.234	1.583	1.922	2.24	2.54	2.82	3.09	3.35	3.60	4.59
.70	1.184	1.531	1.868	2.18	2.48	2.76	3.03	3.29	3.55	4.53
.72	1.139	1.482	1.818	2.13	2.43	2.71	2.98	3.24	3.49	4.48
.74	1.096	1.437	1.770	2.08	2.38	2.66	2.93	3.19	3.45	4.43
.76	1.056	1.393	1.725	2.04	2.33	2.61	2.88	3.15	3.40	4.38
.78	1.018	1.353	1.683	1.998	2.29	2.57	2.84	3.10	3.35	4.34
.80	.982	1.315	1.642	1.954	2.25	2.53	2.80	3.06	3.31	4.30
.82	.949	1.278	1.604	1.916	2.21	2.49	2.76	3.02	3.27	4.26
.84	.917	1.245	1.568	1.886	2.17	2.45	2.72	2.98	3.23	4.22
.86	.887	1.211	1.534	1.843	2.14	2.41	2.68	2.94	3.20	4.18
.88	.858	1.180	1.501	1.810	2.10	2.38	2.65	2.91	3.16	4.15
.90	.831	1.153	1.470	1.777	2.07	2.35	2.62	2.87	3.13	4.12
.92	.805	1.122	1.441	1.747	2.04	2.32	2.58	2.84	3.10	4.08
.94	.781	1.095	1.413	1.718	2.01	2.29	2.55	2.81	3.07	4.05
.96	.758	1.070	1.396	1.690	1.981	2.26	2.53	2.78	3.04	4.03
.98	.736	1.046	1.360	1.663	1.954	2.23	2.50	2.76	3.01	4.00
1.00	.714	1.022	1.335	1.638	1.928	2.21	2.47	2.73	2.99	3.97
1.05	.666	.969	1.278	1.579	1.871	2.14	2.41	2.67	2.92	3.91
1.10	.622	.920	1.226	1.525	1.813	2.09	2.36	2.61	2.87	3.85
1.15	.583	.876	1.178	1.477	1.763	2.04	2.30	2.56	2.82	3.80
1.20	.548	.836	1.136	1.432	1.717	1.993	2.26	2.51	2.77	3.76
1.25	.516	.800	1.098	1.392	1.676	1.950	2.22	2.47	2.73	3.71
1.30	.487	.767	1.062	1.354	1.638	1.912	2.18	2.43	2.69	3.67
1.35	.460	.736	1.028	1.320	1.603	1.876	2.14	2.40	2.65	3.64
1.40	.436	.708	.998	1.288	1.570	1.843	2.11	2.37	2.62	3.60
1.45	.414	.682	.970	1.259	1.540	1.812	2.08	2.34	2.59	3.57
1.50	.393	.658	.944	1.231	1.512	1.784	2.05	2.31	2.56	3.54
1.55	.374	.636	.920	1.206	1.486	1.757	2.02	2.28	2.53	3.52
1.60	.357	.615	.897	1.182	1.461	1.731	1.995	2.25	2.51	3.49
1.65	.341	.596	.876	1.160	1.438	1.708	1.972	2.23	2.48	3.47
1.70	.325	.578	.856	1.139	1.416	1.686	1.949	2.21	2.46	3.44

ค่า $\frac{Qn}{d^{8/3} S^{1/2}}$ ดังแสดงในตารางให้คูณด้วย 0.673 สำหรับหน่วยเมตริก

ตาราง 1–4 (ต่อ) การไหลอย่างสม่ำเสมอในร่องสี่เหลี่ยมคางหมูโดยสูตรของ Manning

d/b	Values of $\frac{Qn}{d^{8/3} S^{1/2}}$ 									
	z = 0	z = 1/4	z = 1/2	z = 3/4	z = 1	z = 1-1/4	z = 1-1/2	z = 1-3/4	z = 2	z = 3
1.75	.312	.561	.838	1.119	1.396	1.666	1.928	2.19	2.44	3.42
1.80	.298	.546	.820	1.101	1.377	1.646	1.905	2.17	2.42	3.40
1.85	.286	.531	.804	1.083	1.359	1.628	1.890	2.15	2.40	3.38
1.90	.275	.517	.788	1.067	1.342	1.610	1.872	2.13	2.38	3.37
1.95	.264	.504	.773	1.051	1.326	1.594	1.856	2.11	2.36	3.35
2.00	.254	.491	.760	1.036	1.310	1.578	1.840	2.10	2.35	3.33
2.10	.236	.469	.734	1.009	1.282	1.549	1.811	2.07	2.32	3.30
2.20	.219	.448	.711	.984	1.256	1.523	1.784	2.04	2.29	3.27
2.30	.205	.430	.690	.962	1.233	1.499	1.760	2.02	2.27	3.25
2.40	.1919	.413	.671	.941	1.212	1.477	1.737	1.993	2.24	3.23
2.50	.1800	.398	.653	.922	1.192	1.457	1.717	1.972	2.22	3.21
2.60	.1693	.383	.637	.905	1.174	1.438	1.698	1.954	2.21	3.19
2.70	.1597	.371	.623	.889	1.157	1.422	1.681	1.937	2.19	3.17
2.80	.1508	.359	.609	.874	1.142	1.406	1.665	1.920	2.17	3.15
2.90	.1427	.348	.596	.861	1.128	1.391	1.650	1.905	2.16	3.14
3.00	.1354	.338	.585	.848	1.114	1.377	1.636	1.891	2.14	3.12
3.20	.1223	.320	.563	.825	1.090	1.353	1.611	1.865	2.12	3.10
3.40	.1111	.305	.545	.805	1.069	1.331	1.589	1.843	2.09	3.07
3.60	.1015	.291	.529	.787	1.050	1.312	1.569	1.823	2.07	3.05
3.80	.0932	.279	.514	.771	1.033	1.294	1.552	1.805	2.06	3.04
4.00	.0859	.268	.501	.757	1.019	1.279	1.536	1.790	2.04	3.02
4.50	.0711	.245	.474	.727	.987	1.246	1.502	1.755	2.01	2.98
5.00	.0601	.228	.453	.704	.962	1.220	1.476	1.729	1.979	2.96

ค่า $\frac{Qn}{d^{8/3} s^{1/2}}$ ดังแสดงในตารางให้คูณด้วย 0.673 สำหรับหน่วยเมตริก

ตาราง 1-5 การไหลอย่างสม่ำเสมอในรูปตัดวงกลมที่ไหลไม่เต็มท่อ

d = depth of flow
D = diameter of pipe
A = area of flow
R = hydraulic radius
Q = discharge in cubic feet per second by Manning's formula
n = Manning's coefficient
S = slope of the channel bottom and of the water surface

$\frac{d}{D}$	$\frac{A}{D^2}$	$\frac{R}{D}$	$\frac{Qn}{D^{8/3}S^{1/2}}$	$\frac{Qn}{d^{8/3}S^{1/2}}$	$\frac{d}{D}$	$\frac{A}{D^2}$	$\frac{R}{D}$	$\frac{Qn}{D^{8/3}S^{1/2}}$	$\frac{Qn}{d^{8/3}S^{1/2}}$
0.01	0.0013	0.0066	0.00007	15.04	0.51	0.4027	0.2531	0.239	1.442
0.02	0.0037	0.0132	0.00031	10.57	0.52	0.4127	0.2562	0.247	1.415
0.03	0.0069	0.0197	0.00074	8.56	0.53	0.4227	0.2592	0.255	1.388
0.04	0.0105	0.0262	0.00138	7.38	0.54	0.4327	0.2621	0.263	1.362
0.05	0.0147	0.0325	0.00222	6.55	0.55	0.4426	0.2649	0.271	1.336
0.06	0.0192	0.0389	0.00328	5.95	0.56	0.4526	0.2676	0.279	1.311
0.07	0.0242	0.0451	0.00455	5.47	0.57	0.4625	0.2703	0.287	1.286
0.08	0.0294	0.0513	0.00604	5.09	0.58	0.4724	0.2728	0.295	1.262
0.09	0.0350	0.0575	0.00775	4.76	0.59	0.4822	0.2753	0.303	1.238
0.10	0.0409	0.0635	0.00967	4.49	0.60	0.4920	0.2776	0.311	1.215
0.11	0.0470	0.0695	0.01181	4.25	0.61	0.5018	0.2799	0.319	1.192
0.12	0.0534	0.0755	0.01417	4.04	0.62	0.5115	0.2821	0.327	1.170
0.13	0.0600	0.0813	0.01674	3.86	0.63	0.5212	0.2842	0.335	1.148
0.14	0.0668	0.0871	0.01952	3.69	0.64	0.5308	0.2862	0.343	1.126
0.15	0.0739	0.0929	0.0225	3.54	0.65	0.5404	0.2882	0.350	1.105
0.16	0.0811	0.0985	0.0257	3.41	0.66	0.5499	0.2900	0.358	1.084
0.17	0.0885	0.1042	0.0291	3.28	0.67	0.5594	0.2917	0.366	1.064
0.18	0.0961	0.1097	0.0327	3.17	0.68	0.5687	0.2933	0.373	1.044
0.19	0.1039	0.1152	0.0365	3.06	0.69	0.5780	0.2948	0.380	1.024
0.20	0.1118	0.1206	0.0406	2.96	0.70	0.5872	0.2962	0.388	1.004
0.21	0.1199	0.1259	0.0448	2.87	0.71	0.5964	0.2975	0.395	0.985
0.22	0.1281	0.1312	0.0492	2.79	0.72	0.6054	0.2987	0.402	0.965
0.23	0.1365	0.1364	0.0537	2.71	0.73	0.6143	0.2998	0.409	0.947
0.24	0.1449	0.1416	0.0585	2.63	0.74	0.6231	0.3008	0.416	0.928
0.25	0.1535	0.1466	0.0634	2.56	0.75	0.6319	0.3017	0.422	0.910
0.26	0.1623	0.1516	0.0686	2.49	0.76	0.6405	0.3024	0.429	0.891
0.27	0.1711	0.1566	0.0739	2.42	0.77	0.6489	0.3031	0.435	0.873
0.28	0.1800	0.1614	0.0793	2.36	0.78	0.6573	0.3036	0.441	0.856
0.29	0.1890	0.1662	0.0849	2.30	0.79	0.6655	0.3039	0.447	0.838
0.30	0.1982	0.1709	0.0907	2.25	0.80	0.6736	0.3042	0.453	0.821
0.31	0.2074	0.1756	0.0966	2.20	0.81	0.6815	0.3043	0.458	0.804
0.32	0.2167	0.1802	0.1027	2.14	0.82	0.6893	0.3043	0.463	0.787
0.33	0.2260	0.1847	0.1089	2.09	0.83	0.6969	0.3041	0.468	0.770
0.34	0.2355	0.1891	0.1153	2.05	0.84	0.7043	0.3038	0.473	0.753
0.35	0.2450	0.1935	0.1218	2.00	0.85	0.7115	0.3033	0.477	0.736
0.36	0.2546	0.1978	0.1284	1.958	0.86	0.7186	0.3026	0.481	0.720
0.37	0.2642	0.2020	0.1351	1.915	0.87	0.7254	0.3018	0.485	0.703
0.38	0.2739	0.2062	0.1420	1.875	0.88	0.7320	0.3007	0.488	0.687
0.39	0.2836	0.2102	0.1490	1.835	0.89	0.7384	0.2995	0.491	0.670
0.40	0.2934	0.2142	0.1561	1.797	0.90	0.7445	0.2980	0.494	0.654
0.41	0.3032	0.2182	0.1633	1.760	0.91	0.7504	0.2963	0.496	0.637
0.42	0.3130	0.2220	0.1705	1.724	0.92	0.7560	0.2944	0.497	0.621
0.43	0.3229	0.2258	0.1779	1.689	0.93	0.7612	0.2921	0.498	0.604
0.44	0.3328	0.2295	0.1854	1.655	0.94	0.7662	0.2895	0.498	0.588
0.45	0.3428	0.2331	0.1929	1.622	0.95	0.7707	0.2865	0.498	0.571
0.46	0.3527	0.2366	0.201	1.590	0.96	0.7749	0.2829	0.496	0.553
0.47	0.3627	0.2401	0.208	1.559	0.97	0.7785	0.2787	0.494	0.535
0.48	0.3727	0.2435	0.216	1.530	0.98	0.7817	0.2735	0.489	0.517
0.49	0.3827	0.2468	0.224	1.500	0.99	0.7841	0.2666	0.483	0.496
0.50	0.3927	0.2500	0.232	1.471	1.00	0.7854	0.2500	0.463	0.463

ค่า $\frac{Qn}{D^{8/3}S^{1/2}}$ และ $\frac{Qn}{d^{8/3}S^{1/2}}$ ดังแสดงในตารางให้คูณด้วย 0.673 สำหรับหน่วยเมตริก

บทที่ 2

อาคารควบคุม
(Regurating structure)

2.1 บททั่วไป

อาคารควบคุมในระบบชลประทานแบบเปิด โดยทั่วไปใช้เพื่อควบคุมการไหลของน้ำผ่านอาคาร ควบคุมระดับผิวน้ำด้านเหนือน้ำ อาคารเหล่านี้ได้แก่

1. อาคารอัดน้ำ (Check)
2. อาคารอัดน้ำลดระดับ (Check-drop)
3. อาคารจ่ายน้ำ (Turnout)
4. อาคารแบ่งน้ำ (Division structure)
5. อาคารอัดน้ำ ด้านทางเข้า (Check Inlet)
6. อาคารควบคุมน้ำ ด้านทางเข้า (Control Inlet)

การควบคุมการส่งน้ำสามารถใช้ ฝาย, อาคารควบคุมน้ำด้านทางเข้า, บานอัดน้ำ (Stoplog) และประตูเลื่อนอัดน้ำ (Slide Gate)

อาคารควบคุมน้ำด้านทางเข้า (Control Inlet) เหมาะสำหรับใช้ควบคุมอย่างมีขอบเขต, บานอัดน้ำและประตูอัดน้ำ จะสามารถปรับได้ตามความต้องการ ถ้าต้องการวัดปริมาณน้ำที่อาคารด้วย ก็ใช้ฝายวัดน้ำ หรือฝายวัดน้ำปรับระดับได้ การติดตั้งฝาย และประตูเลื่อนอัดน้ำทำได้โดยยึดติดกับกำแพงอัดน้ำ หรือประกอบลงในกรอบบาน (Frame) แล้วใส่ลงในช่องเปิด (Grooves) ของอาคาร

บานอัดน้ำ และประตูอัดน้ำ ใช้สำหรับการควบคุมการไหลของน้ำในคลองทั้งสิ้น บานอัดน้ำราคาจะถูกสามารถปรับระดับได้รวดเร็ว แต่การควบคุมการไหลทำได้ไม่แม่นยำ เมื่อใช้บานอัดน้ำการคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านอาคารจะเหมือนกับการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยม โดยคิดจากสูตร

$$Q = C\,L\,H^{3/2}$$

ประตูเลื่อน จะใช้สูตรคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านช่องเปิดใต้น้ำ (Orifice) ในการคำนวณ

$$Q = C\,A\,\sqrt{2gH}$$

จากทั้ง 2 สูตรจะพบว่าการไหลข้ามบานอัดน้ำ จะตอบสนองการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำได้ดีกว่า

ขยะที่ลอยมากับน้ำ จะสามารถข้ามบานอัดน้ำไปได้ แต่อาจเกิดปัญหากับประตูอัดน้ำได้ เนื่องจากขยะจะถูกดูดจมลง และจะไปขัดที่ช่องเปิดของประตูได้

ถ้าต้องการควบคุมการไหลของน้ำในคลองอย่างละเอียดแม่นยำ หรือใช้การควบคุมทางไกลโดยระบบอัตโนมัติ จำเป็นต้องใช้ประตูอัดน้ำในการควบคุม ซึ่งการปิดเปิดบานประตูจะใช้วิธีธรรมชาติ หรือติดตั้งเครื่องยนต์ช่วยในการปิดเปิดซึ่งเหมาะสำหรับใช้กับระบบอัตโนมัติ

2.2 อาคารอัดน้ำ (Check)

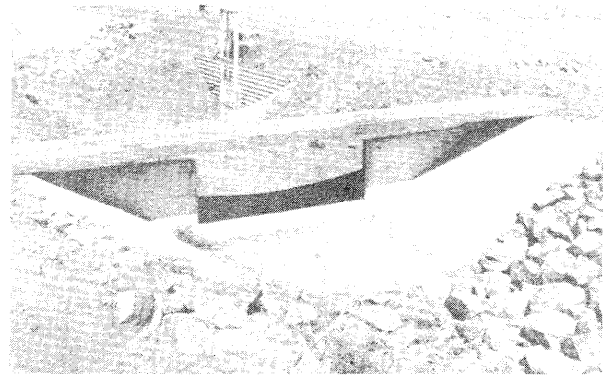
2.2.1 จุดประสงค์

อาคารอัดน้ำ ใช้สำหรับการควบคุมระดับน้ำด้านเหนือน้ำ และควบคุมปริมาณน้ำด้านท้ายน้ำเมื่อการไหลของน้ำในคลองไม่สม่ำเสมอ อาคารอัดน้ำจะทำหน้าที่ยกระดับน้ำด้านเหนือน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการอยู่เสมอ ระดับน้ำที่อาคารอัดไว้นี้ เรียกว่าระดับน้ำหน้าอาคาร (Control water surface) หรือระดับเก็บกัก (Retention level) ซึ่งก็คือระดับน้ำสูงสุดของอาคารอัดน้ำนั่นเอง

ในกรณีคันคลองชำรุด อาคารอัดน้ำจะมีส่วนในการกำหนดปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องสูญเสียไป และป้องกันไม่ให้คลองแห้ง ถ้าต้องการทำความสะอาดหรือซ่อมแซมคลองบางส่วน ก็ใช้อาคารอัดน้ำปิดคลองในช่วงที่ต้องการซ่อมได้

ส่วนประกอบของอาคารอัดน้ำที่เพิ่มเติมเพื่อความสะดวกในการใช้งาน คือ สะพานทางเดินหลังอาคาร (Check deck) ช่วงของทางเดินนี้จะต้องยาวพอที่จะคิดตั้งบานอัดน้ำหรือประตูอัดน้ำได้

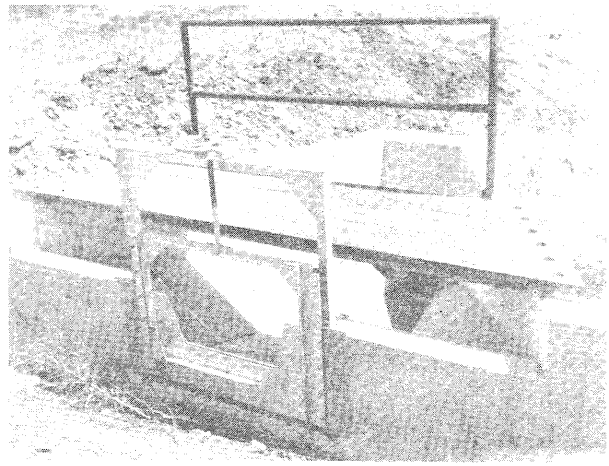
กำแพงน้ำล้น หรือ กำแพงอัดน้ำ จะอยู่ที่ข้างประตูอัดน้ำหรือบานอัดน้ำสันของกำแพงนี้ จะกำหนดไว้ที่ระดับน้ำสูงสุด หรือสูงกว่าเล็กน้อย ปริมาณน้ำในคลองจะต้องไหลข้ามสันกำแพงนี้ไปได้ โดยที่ระดับน้ำในคลองไม่สูงกว่าระดับที่กำหนดให้ และต้องไม่ท่วมคันคลอง ปริมาณน้ำที่ไหลล้นกำแพงนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำส่วนที่เกินที่ได้คาดหมายไว้ และเพิ่มส่วนอัตราความปลอดภัยของคลอง และอาคารตามมาตรฐาน



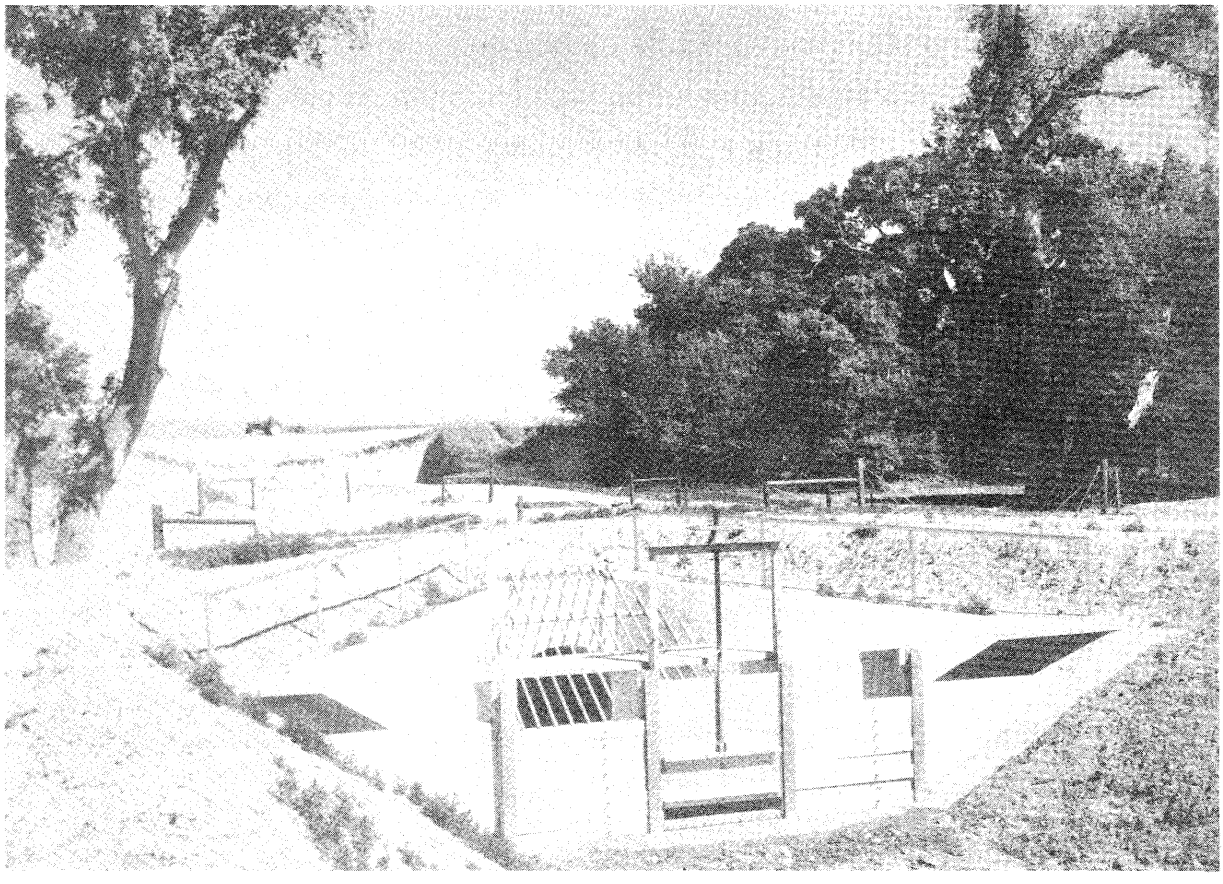
รูปที่ 2-1 แสดงรูปมาตรฐานอาคารอัดน้ำพร้อมหินเรียงป้องกันท้ายน้ำ

2.2.2 การนำอาคารชนิดอื่นมาใช้ร่วมกับอาคารอัดน้ำ

อาคารอัดน้ำจะใช้เพียงลำพัง หรือใช้ร่วมกับอาคารอื่น โดยนำอาคารอัดน้ำประกอบเข้าที่บริเวณปากทางเข้าของอาคารอื่น เช่น อาคารตัดผ่านถนน (Road Crossing), กาลักน้ำ (Syphon), น้ำตกชนิดท่อ (Pipe drop), อาคารน้ำตก (Rectangular inclined Drop) และรางเท (Chute) เมื่อประกอบอาคารอัดน้ำเข้ากับอาคารชนิดอื่น จะช่วยป้องกันการกัดเซาะด้านเหนือน้ำ เนื่องจากระดับน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว และการใช้อาคารร่วมกันจะเป็นการประหยัดด้วย



รูป 2-2 อาคารอัดน้ำ พร้อมฝายปรับระดับน้ำ



รูป 2-3 อาคารอัดน้ำหน้าท่อ พร้อมบานอัดน้ำและประตูอัดน้ำ

2.2.3 การกำหนดระยะระหว่างอาคาร

อาคารอัดน้ำ จะกำหนดเป็นระยะ ๆ ในคลองส่งน้ำ เพื่อกำหนดระดับผิวน้ำในคลองให้ได้ตามที่ต้องการ คลองที่ชันย่อมต้องการความถี่ของอาคารอัดน้ำมากกว่าคลองที่ราบ จุดสำคัญในการเลือกที่ตั้งอาคารอัดน้ำคือ ระดับผิวน้ำที่ควบคุม หรือระดับเก็บกักหน้าอาคารอัดน้ำ จะต้องสามารถส่งน้ำเข้าท่อส่งน้ำท่อที่อยู่ห่างที่ตั้งอาคารมากที่สุดได้

ในคลองดาด การกำหนดระยะห่างของอาคารอัดน้ำจะต้องคำนึงถึงความแตกต่างของระดับผิวน้ำระหว่างอาคารอัดน้ำ เมื่อมีการใช้งาน ระดับน้ำในคลองที่เปลี่ยนจากระดับการไหลธรรมดา มาเป็นระดับควบคุม จะทำให้เกิดการเอ่อท้น ซึ่งจะทำให้คลองดาดเสียหายได้

หลักเกณฑ์การพิจารณาระยะห่างของอาคารอัดน้ำ

1. คำนึงถึง การเก็บกักน้ำไว้ในลำคลอง
2. ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับผู้ควบคุมอาคาร ที่จะใช้ในการควบคุม
3. โดยปกติควรมีอาคารอัดน้ำในจุดที่คลองเปลี่ยนขนาด

2.2.4 การพิจารณาออกแบบ

ก) ความมั่นคง และป้องกันการซึมผ่านอาคาร อาคารอัดน้ำจะต้องสามารถรับแรงดันน้ำสูงสุดได้ คือ เมื่อมีน้ำเต็มด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำแห้ง ความยาวของอาคารอัดน้ำจะต้องยาวพอที่จะลดความปั่นป่วนของน้ำ (Turbulent) อันเนื่องการไหลทันข้ามบานอัดน้ำหรือเนื่องมาจากน้ำไหลลอด (Jet) บานประตู ความยาวนี้จะต้องสามารถป้องกันการพัดพาวัสดุใต้อาคารอัดน้ำ เนื่องจากอัตราการซึมผ่าน ซึ่งอาจจะต้องเพิ่มกำแพงคอนกรีตใต้อาคารเพื่อลดความยาวของอาคารตัวอาคารจะต้องมีความมั่นคงป้องกันการไหลเลื่อน (Sliding) และการพลิกกลับ (Overturning) ได้

ข) บานอัดน้ำ ประตูอัดน้ำ และสะพานทางเดิน

เมื่อใช้บานอัดน้ำ ความเร็วของน้ำไม่ควรเกิน 1.0 ม./วินาที เฉพาะที่ไหลผ่านอาคารอัดน้ำ เพื่อให้การควบคุมบาน เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อใช้ประตูอัดน้ำจะสามารถใช้ความเร็วได้ถึง 1.5 ม./วินาที

บานอัดน้ำ (Stop log) ควรใช้เมื่อ

1. ปริมาณน้ำไหลผ่านไม่เกิน 1.4 ม.^{3}/วินาที
2. ความกว้างของช่องบานไม่เกิน 1.5 ม.
3. ความลึกของน้ำน้อยกว่า 1.8 ม.

โดยปกติช่องใส่บานอัดน้ำจะอยู่ในแนวดิ่ง ถ้าจำเป็นต้องทำบานอัดน้ำที่มีความลึกเกินกว่า 1.8 ม. ควรทำร่องเอียงประมาณ 4:1 จะทำให้การถอดหรือใส่บานง่ายขึ้น

การกำหนดน้ำหนักบรรทุกของทางเดินหลังอาคารอัดน้ำ (Deck)

ไม่ติดตั้งบานอัดน้ำ (Stop log)	ใช้ 500	กก./ม.^{2}
ติดตั้งบานอัดน้ำ	ใช้ 750	กก./ม.^{2}

เพื่อความปลอดภัยทางเดินหลังอาคาร (Deck) ควรกว้างอย่างน้อย 0.60 ม. แต่ถ้าความสูงของทางเดินหลังอาคารเกิน 1.20 ม. ควรให้กว้างอย่างน้อย 0.90 ม. ที่พื้นของทางเดินควรทำให้หยาบ หรือใช้ไม้กวาดลากให้เป็นรอยเพื่อกันลื่น ควรเพิ่มราวสะพานด้านท้ายน้ำเมื่อความสูงของทางเดินอยู่ระหว่าง 1.20-1.50 ม. ถ้าสูงเกิน 1.50 ม. ควรใส่ราวสะพานทั้ง 2 ด้าน

ค.) การสูญเสียค่าระดับน้ำ (Head loss)

ค่าความสูญระดับเมื่อผ่านอาคารอัดน้ำ = 0.5 Δh_v

$\Delta h_v = h_v$ ที่ช่องเปิดของบาน - h_v ปกติด้านเหนือน้ำ

โดยค่า 0.5 Δh_v จะต้องไม่น้อยกว่า 0.03 ม.

โดยปกตินอกจากค่าความสูญเสียนี้แล้ว อาคารอัดน้ำจะไม่ทำให้ระดับน้ำต่ำลง เมื่อน้ำไหลไม่เต็ม จำนวน และมีการอัดน้ำด้านเหนืออาคารอัดน้ำ น้ำที่ไหลผ่านอาคารจะมีระดับต่ำลง

2.2.5 ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนดให้คลองส่งน้ำมีปริมาณน้ำไหลผ่าน 0.7 ลบ.ม./วินาที ความลึกน้ำปกติ 0.55 ม. ให้ระดับก้นคลองด้านเหนือน้ำ "A" = + 100 ม.

จากรูปที่ 2-4 แสดงรูปมาตรฐานอาคารอัดน้ำ พร้อมทั้งขนาดและมิติต่างๆ จากตารางขนาดของอาคาร เลือกขนาดของอาคารที่มีปริมาณน้ำไหลผ่าน 0.7 ลบ.ม./วินาที จากอาคารหมายเลข 4 จะได้ปริมาณน้ำไหลผ่านได้ใกล้เคียงที่สุด คือ .74 ลบ.ม./วินาที การพิจารณาเลือกขนาดของอาคาร ถ้ามีค่าใกล้เคียงกันเกินกว่า 1 อาคาร ให้เลือกขนาดของอาคารที่เหมาะสมกับขนาดของคลองที่สุด ถ้ามีการติดตั้งประตูก็ต้องเลือกอาคารที่พอดีกับขนาดประตูด้วย

การคำนวณหาระดับ "B"

ระดับท้องน้ำ "A"	+ 100.00	
ความลึกของน้ำ	0.55	ม.
ระดับผิวน้ำด้านเหนือน้ำ	100.55	

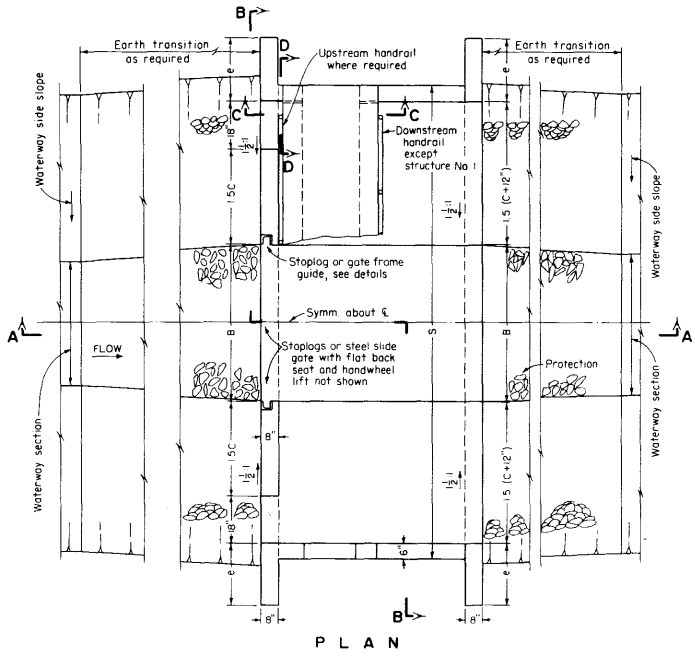
ระดับสันกำแพงอัดน้ำ (Check wall) จะต้องเท่ากับ หรือสูงกว่าระดับผิวน้ำด้านเหนือน้ำ จากรูป 2-4 ค่า C ของอาคารหมายเลข 4 = 0.81 เมตร

ระดับสันกำแพงอัดน้ำ	+ 100.55	
ระยะ C	0.81	ม.
ระดับ "B"	+ 99.74	

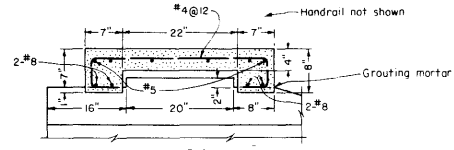
ระดับ "B" จะต้องต่ำกว่า หรือเท่ากับระดับ "A" เพื่อป้องกันการเอ่อท้นของน้ำ ถ้าระดับ "B" สูงกว่าระดับ "A" ควรเลือกขนาดของอาคารที่มีค่า C มากกว่าเดิม

การหาค่าระดับ "C"

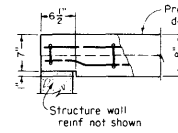
ค่าความสูญเสียระดับน้ำ จะคำนวณได้จากสูตรในหัวข้อ 2.2.4ค.) H = 0.5 Δh_v แต่จากตัวอย่างนี้จะใช้ค่า H = 0.05 ม.



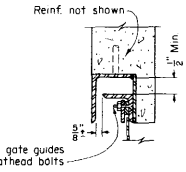
PLAN



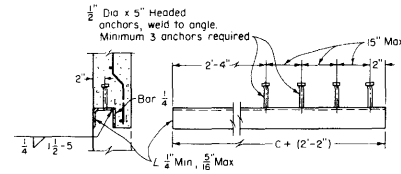
SECTION C-C



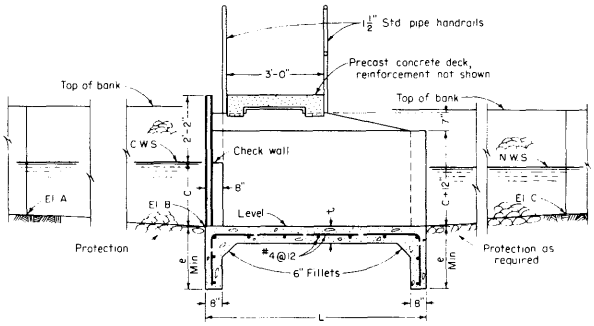
SEC. D-D



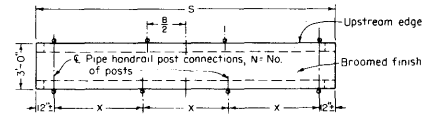
TYPICAL SLIDE GATE ASSEMBLY



STOPLOG OR GATE FRAME GUIDE DETAILS
(TWO REQUIRED)



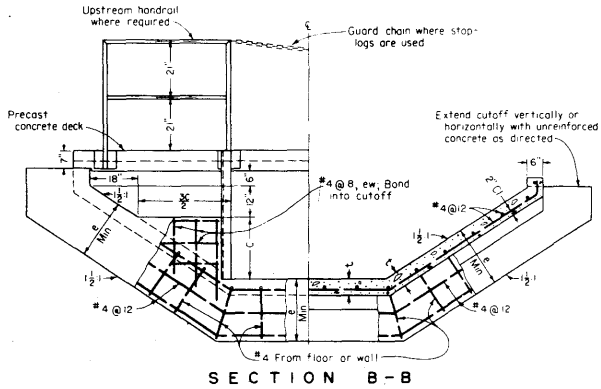
SECTION A-A



PLAN OF PRECAST CONCRETE DECK

NOTES

Gate frame height measured from center of gate opening
Transverse bars to be continuous in walls and floor
Set Elevation B so that top of check wall is at Control Water Surface Elevation (C.W.S.).

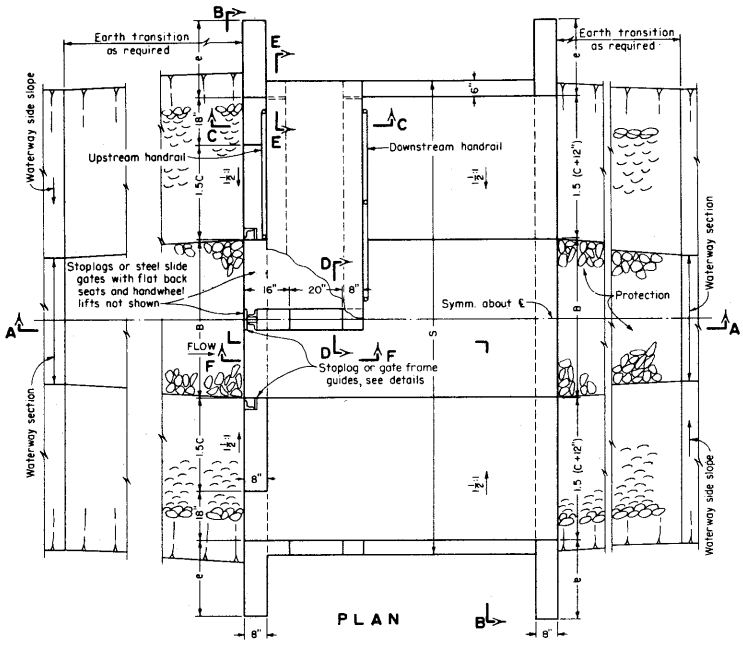


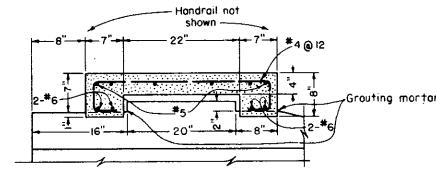
SECTION B-B

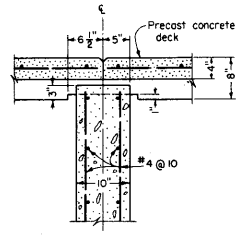
STR NO.	MAX Q CFS	SLIDE GATE WIDTH X HEIGHT*	FRM. HT.	STANDARD DIMENSIONS B	C	L	S	X	N	e	t	ESTIMATED QUANTITIES CONC., CU. YDS.	REINF. STEEL, LBS.	MISC. METAL, LBS.
1	10	36"x12"	5'	3'-0"	14"	4'-6"	10'-6"	—	—	24"	6"	2.9	360	80
2	15	36"x18"	6'	3'-0"	20"	4'-6"	12'-0"	5'-0"	3	24"	6"	3.3	420	200
3	21	36"x24"	6'	3'-0"	2'-2"	5'-0"	13'-6"	5'-8"	3	24"	7"	3.9	480	220
4	26	36"x30"	6'	3'-0"	2'-8"	6'-0"	15'-0"	6'-6"	3	24"	8"	5.2	560	240
5	21	48"x18"	6'	4'-0"	21"	4'-6"	13'-3"	5'-7"	3	24"	6"	3.6	460	210
6	28	48"x24"	6'	4'-0"	2'-3"	5'-0"	14'-9"	6'-4"	3	24"	7"	4.4	530	230
7	35	48"x30"	6'	4'-0"	2'-9"	6'-0"	16'-3"	7'-0"	3	24"	8"	5.6	600	250
** 8	42	48"x36"	6'	4'-0"	3'-3"	7'-0"	17'-9"	7'-10"	3	2'-6"	8"	7.2	730	400
9	35	60"x24"	6'	5'-0"	2'-3"	5'-0"	15'-9"	6'-10"	3	24"	7"	4.6	560	240
10	43	60"x30"	6'	5'-0"	2'-9"	6'-0"	17'-3"	7'-7"	3	24"	8"	5.9	640	260
** 11	52	60"x36"	6'	5'-0"	3'-3"	7'-0"	18'-9"	5'-6"	4	2'-6"	8"	7.6	770	440
12	42	72"x24"	6'	6'-0"	2'-3"	5'-0"	16'-9"	7'-4"	3	24"	7"	4.9	590	240
13	53	72"x30"	6'	6'-0"	2'-9"	6'-0"	18'-3"	5'-4"	4	24"	8"	6.1	670	280
** 14	63	72"x36"	6'	6'-0"	3'-3"	7'-0"	19'-9"	5'-10"	4	2'-6"	8"	7.9	800	440

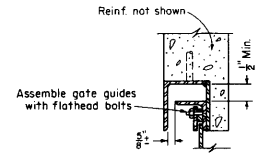
* When a gate of specified height is not available, a gate with next greater available height shall be used with appropriate frame height.
**Upstream handrail required

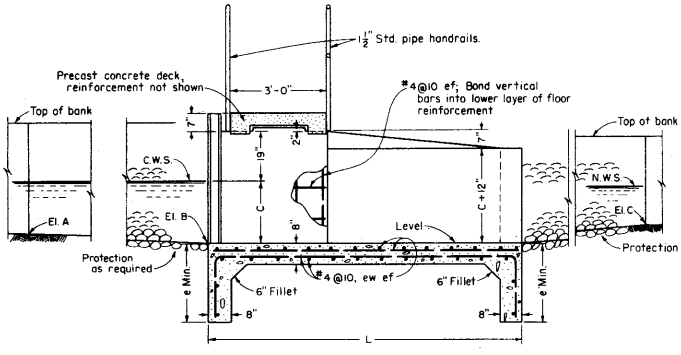
รูป 2 - 4 อาคารอัดน้ำมาตรฐาน ปริมาณน้ำน้อยกว่า 2 ลบ.ม./วินาที

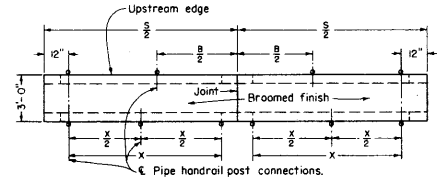


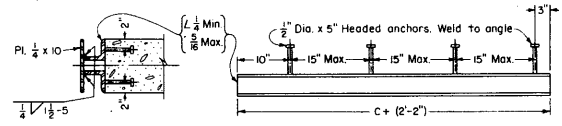


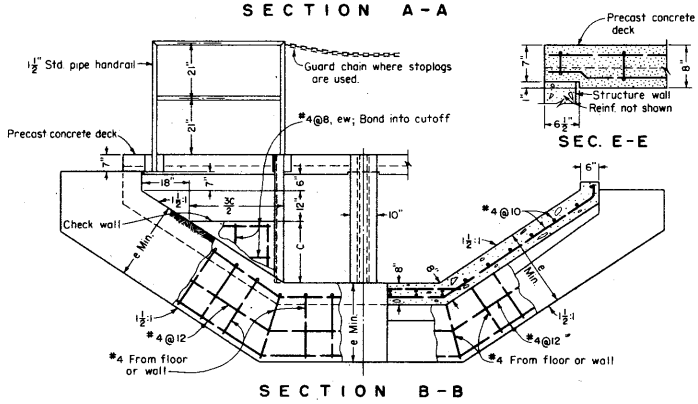


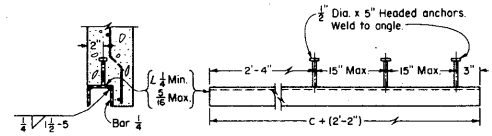












NOTES

Outer face transverse bars to be continuous in walls and floor.
Set Elevation B so that top of check wall is at Control Water Surface Elevation (C.W.S.).
Gate frame height measured from center of gate opening.

STR. NO.	MAX. Q, CFS	**SLIDE GATES WIDTH x HEIGHT	*FRM. HT.	STANDARD DIMENSIONS B	C	L	e	S	X	ESTIMATED QUANTITIES CONC., CU. YDS.	REINF. STEEL, LBS.	MISC. METAL, LBS.
1	74	42"x 36"	7'-0"	7'-10"	3'-2"	7'-0"	2'-6"	21'-4"	9'-2"	8.9	910	620
2	86	42"x 42"	7'-6"	7'-10"	3'-8"	7'-6"	2'-6"	22'-10"	10'-0"	10.0	1000	660
3	98	42"x 48"	8'-0"	7'-10"	4'-3"	8'-0"	2'-6"	24'-7"	10'-10"	11.3	1100	710
4	84	48"x 36"	7'-0"	8'-10"	3'-3"	7'-0"	2'-6"	22'-7"	9'-10"	9.4	960	630
5	98	48"x 42"	7'-6"	8'-10"	3'-9"	7'-6"	2'-6"	24'-1"	10'-8"	10.5	1050	680
6	105	60"x 36"	7'-0"	10'-10"	3'-3"	7'-6"	2'-6"	24'-7"	10'-10"	10.4	1050	640

*When a gate of specific height is not available, a gate with next greater available height shall be used with appropriate frame height.
**Two gates required for each check.

รูป 2 - 5 อาคารอัดน้ำมาตรฐาน ปริมาณน้ำระหว่าง 2 ถึง 3 ลบ. ม./วินาที

ระดับผิวน้ำด้านเหนือน้ำ	+ 100.55	
- ความสูญเสียระดับน้ำ	0.05	ม.
ระดับผิวน้ำด้านท้ายน้ำ	+ 100.50	
- ความลึกน้ำปกติ	0.55	ม.

ระดับ "C" (ระดับท้องน้ำท้ายอาคาร) = + 99.95

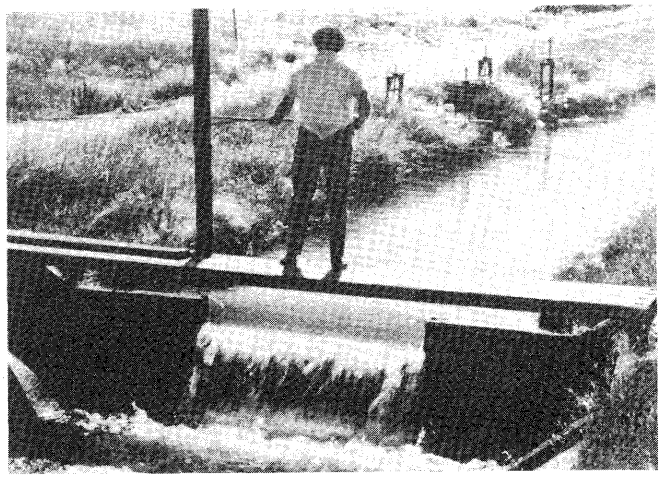
ช่องต่อระหว่างอาคารและคลอง (Transition) จะต้องแต่งให้เข้ากันได้พอดี ถ้าคลองส่งน้ำไม่มีการดาดผิวคลอง จะต้องออกแบบให้มีการป้องกันการกัดเซาะเนื่องจากอิทธิพลของอาคารด้วย

สำหรับคลองที่มีปริมาณน้ำระหว่าง 2-3 ลบ.ม./วินาที ให้ใช้แบบมาตรฐานตามรูปที่ 2-5 ในการพิจารณาออกแบบ

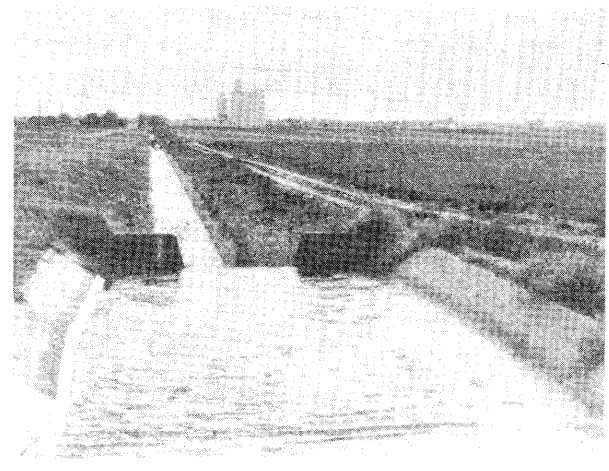
2.3 อาคารอัดน้ำลดระดับ (Check drop)

2.3.1 จุดประสงค์ อาคารอัดน้ำลดระดับ คือ อาคารที่ใช้สำหรับคลองที่ไม่เปลี่ยนขนาดมาก แต่จะเปลี่ยนระดับมาก เป็นการผสมผสานระหว่างอาคารลดระดับทางดิ่งกับอาคารอัดน้ำ ซึ่งอาคารลดระดับทางดิ่งต้องการสลายพลังน้ำจากการลดระดับ อาคารอัดน้ำต้องการควบคุมระดับผิวน้ำด้านเหนือน้ำและควบคุมปริมาณน้ำด้านท้ายน้ำด้วย รูป 2-6, 2-7, 2-8, 2-9 และ 2-10 แสดงลักษณะทั่วไปของอาคารอัดน้ำลดระดับ

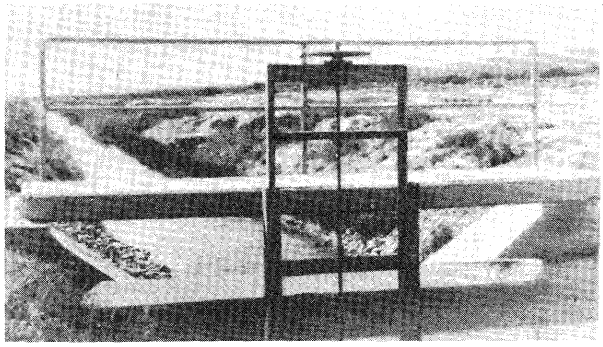
การออกแบบ และการใช้งานของส่วนอัดน้ำของอาคารอัดน้ำลดระดับเหมือนอาคารอัดน้ำ และการใช้ส่วนประกอบของอาคารอัดน้ำลดระดับก็ใช้บานอัดน้ำ ประตูอัดน้ำ และฝายสำหรับการควบคุมระดับน้ำเช่นเดียวกับอาคารอัดน้ำ



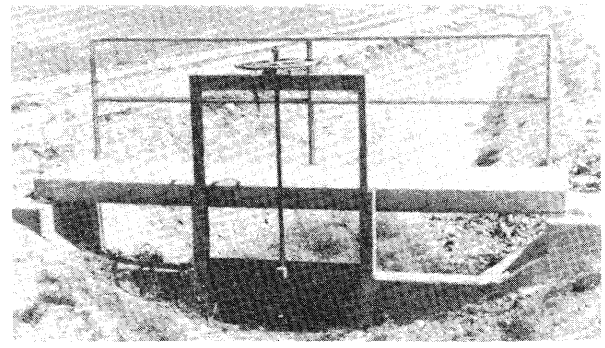
รูปที่ 2-6
อาคารอัดน้ำลดระดับระหว่างการยกบานอัดน้ำ



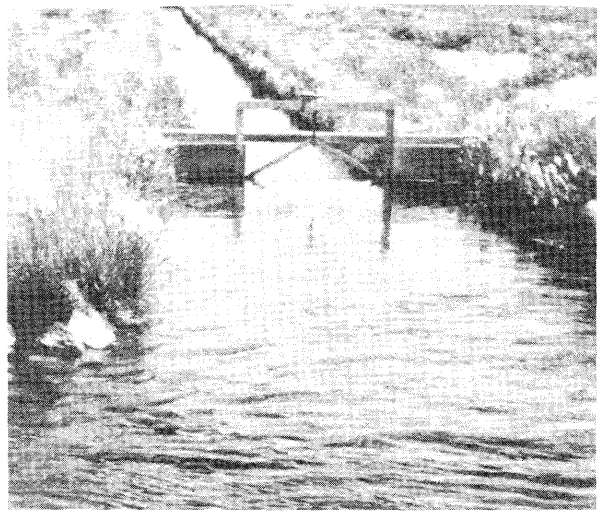
รูปที่ 2-7
คลองลดระดับใช้ฝายในการควบคุม



รูปที่ 2-8
อาคารอัดน้ำพร้อมประตูอัดน้ำ



รูปที่ 2-9
อาคารอัดน้ำลดระดับ



รูปที่ 2-10
อาคารอัดน้ำลดระดับ มองจากด้านเหนือน้ำ

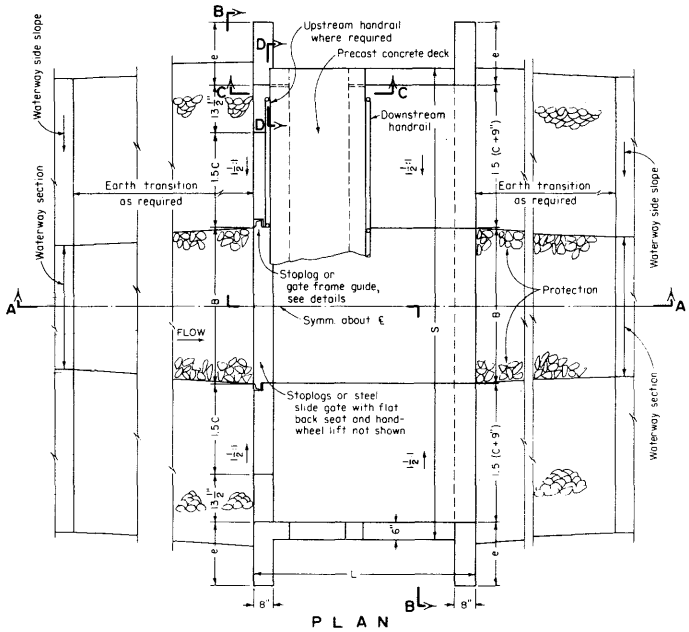
2.3.2 การพิจารณาออกแบบ

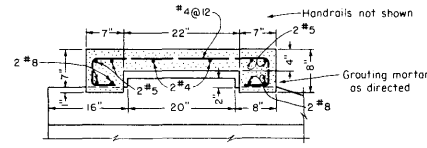
การลดระดับทางดิ่งสำหรับคลองที่ไม่ดาด ไม่ควรเกิน 1.00 ม. สำหรับปริมาณน้ำไม่เกิน 2 ม.^{3}/วินาที และถ้าปริมาณน้ำมากกว่านี้จะให้ค่าต่างกันของระดับไม่เกิน 0.50 ม.

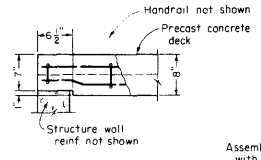
สำหรับคลองดาด จะให้การลดระดับทางดิ่งได้ถึง 2.7 ม. ถ้าอาคารที่ต้องการลดระดับมากกว่านี้ ใช้อาคารลดระดับชนิดอื่นจะเป็นการประหยัด และมีความมั่นคงมากกว่า

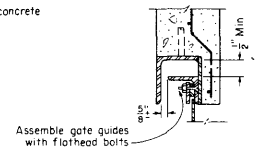
อาคารอัดน้ำลดระดับ ต้องออกแบบเพื่อป้องกันการซึมลอด มีความมั่นคงความเร็วของน้ำ และความปลอดภัยเหมือนอาคารอัดน้ำ ที่ต้องเพิ่มคือความยาวของอาคารด้านท้ายน้ำต้องยาวเพียงพอ สำหรับน้ำตก และบ่อน้ำนิ่ง เพื่อควบคุมความปั่นป่วนของน้ำด้านท้ายน้ำ

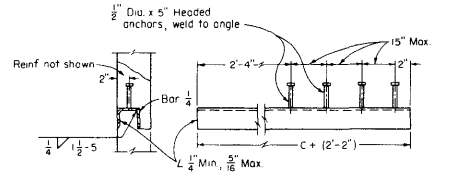
กำแพงน้ำล้นทั้ง 2 ด้านของช่องอัดน้ำ ทำหน้าที่เช่นเดียวกับอาคารอัดน้ำ

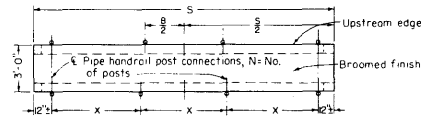


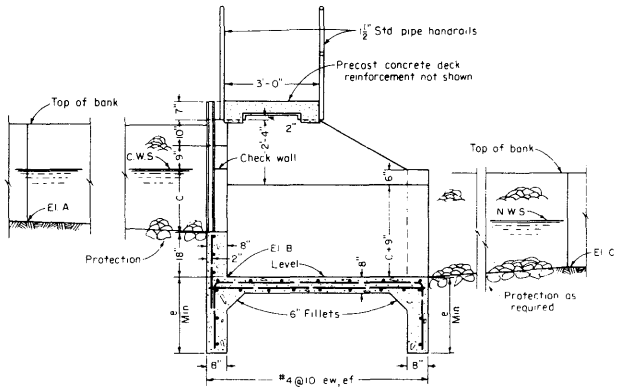


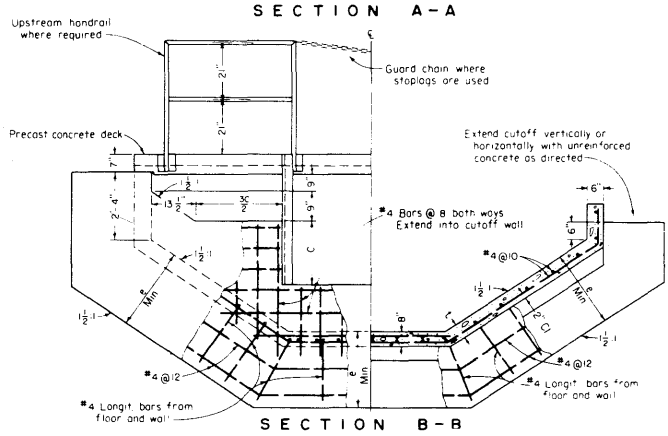












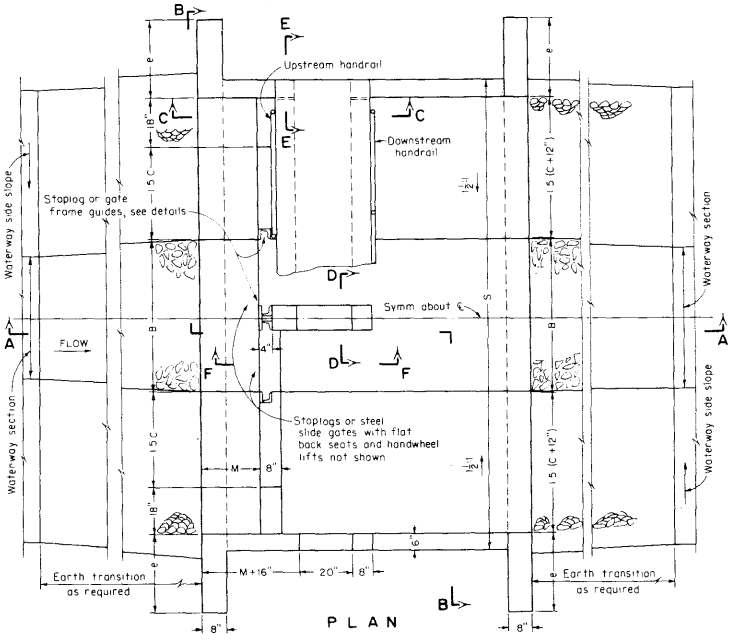
NOTES

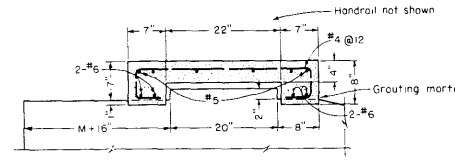
Outer face transverse bars to be continuous in walls and floor.
Set Elevation B so that top of check wall is at Control Water Surface Elevation (C.W.S.)
Gate frame height measured from center of gate opening.

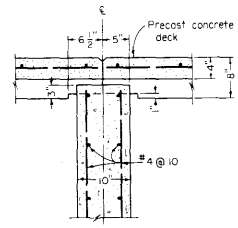
STR. NO.	MAX Q, cfs	SLIDE GATE WIDTH X HEIGHT*	FRM HT.	STANDARD DIMENSIONS B	C	L	S	X	N	e	t	ESTIMATED QUANTITIES CONC., CU. YDS.	REINF. STEEL, LBS.	MISC. METAL, LBS.
1	10	36"x12"	5'	3'-0"	14"	6'-6"	9'-9"	7'-9"	2	24"	6"	3.9	440	160
2	15	36"x18"	5'	3'-0"	20"	6'-6"	11'-3"	4'-7"	3	24"	6"	4.5	500	200
3	21	36"x24"	6'	3'-0"	2'-2"	7'-0"	12'-9"	5'-4"	3	24"	7"	5.3	550	220
4	26	36"x30"	6'	3'-0"	2'-8"	7'-6"	14'-3"	6'-1"	3	2'-6"	7"	7.0	660	240
5	21	48"x18"	5'	4'-0"	21"	7'-0"	12'-6"	5'-3"	3	24"	6"	5.0	560	210
6	28	48"x24"	6'	4'-0"	2'-3"	7'-6"	14'-0"	6'-0"	3	24"	7"	6.2	640	230
7	35	48"x30"	6'	4'-0"	2'-9"	8'-0"	15'-6"	6'-9"	3	2'-6"	7"	7.7	720	250
** 8	42	48"x36"	6'	4'-0"	3'-3"	8'-6"	17'-0"	7'-6"	3	2'-6"	8"	9.0	790	400
9	35	60"x24"	6'	5'-0"	2'-3"	7'-6"	15'-0"	6'-6"	3	24"	7"	6.3	650	240
10	43	60"x30"	6'	5'-0"	2'-9"	8'-0"	16'-6"	7'-3"	3	2'-6"	7"	8.1	760	260
** 11	52	60"x36"	6'	5'-0"	3'-3"	8'-6"	18'-0"	8'-0"	3	2'-6"	8"	9.7	850	420
12	42	72"x24"	6'	6'-0"	2'-3"	7'-6"	16'-0"	7'-0"	3	24"	7"	6.7	690	240
13	53	72"x30"	6'	6'-0"	2'-9"	8'-0"	17'-6"	7'-9"	3	2'-6"	7"	7.6	800	260
** 14	63	72"x36"	6'	6'-0"	3'-3"	8'-6"	19'-0"	5'-8"	4	2'-6"	8"	10.2	890	430

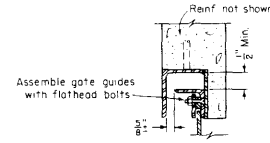
* When a gate of specified height is not available a gate with next greater available height shall be used with appropriate frame height.
** Upstream handrail required

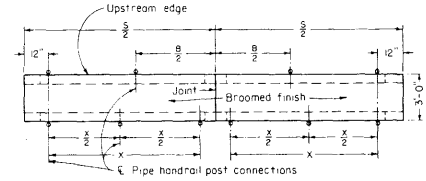
รูปที่ 2 - 11 อาคารอัดน้ำลดระดับมาตรฐาน ปริมาณน้ำไม่เกิน 2 ลบ.ม./วินาที

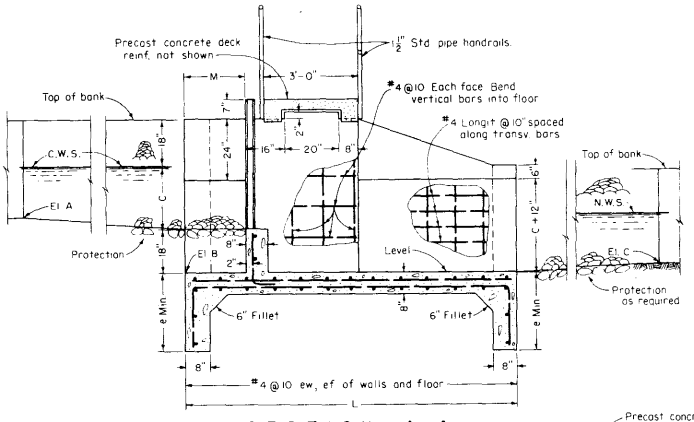


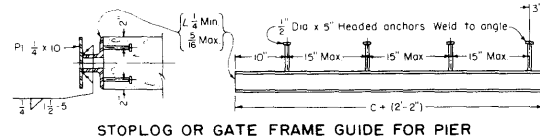


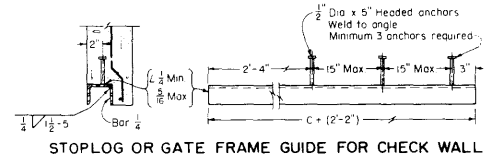


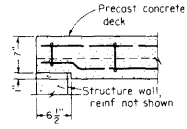


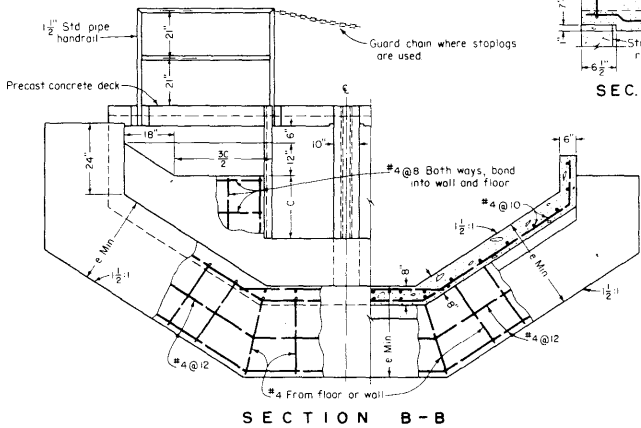












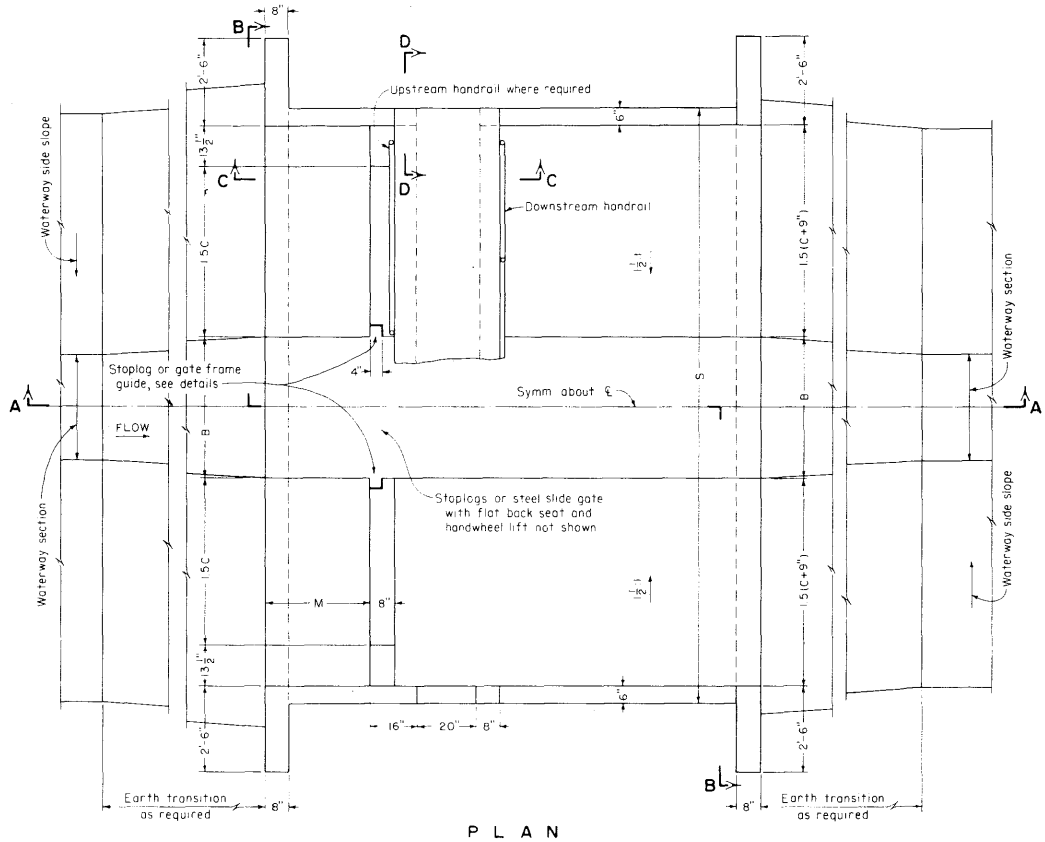
NOTES

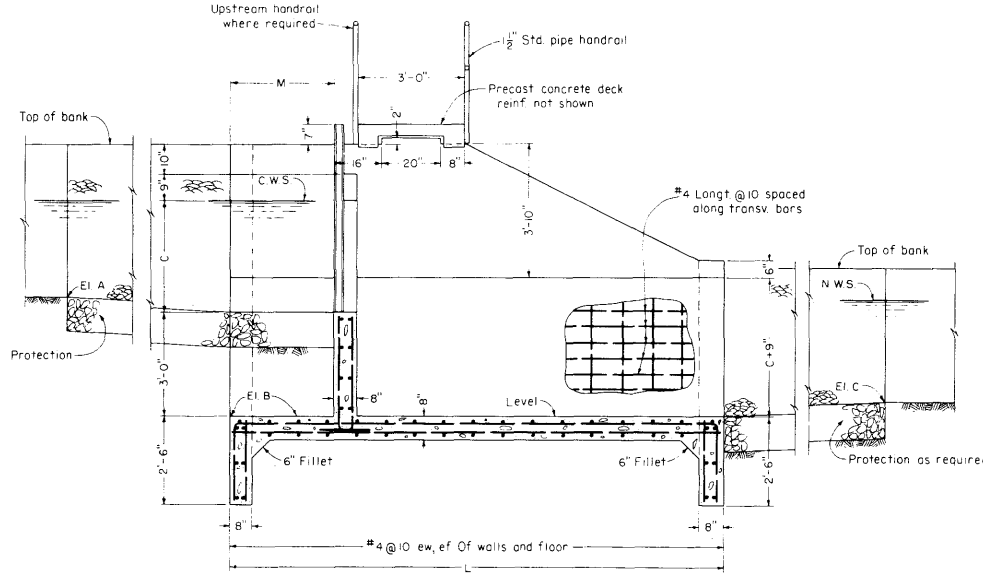
Outer face transverse bars to be continuous in walls and floor
Set Elevation B so that top of check wall is at Control Water Surface Elevation (CWS)
Gate frame height measured from center of gate opening

	STR. NO.	MAX. Q, CFS.	** SLIDE GATES * WIDTH X HEIGHT	FRM. HT.	STANDARD DIMENSIONS B	C	L	M	S	e	X	ESTIMATED QUANTITIES CONC., CU.YDS.	REINF. STEEL, LBS.	MISC. METAL, LBS.
***	1	61	42"x30"	6'	7'-10"	2'-8"	8'-0"	0	19'-10"	24"	8'-6"	9.9	950	450
	2	74	42"x36"	7'	7'-10"	3'-2"	8'-6"	0	21'-4"	2'-6"	9'-4"	11.8	1050	620
	3	86	42"x42"	7'	7'-10"	3'-8"	10'-6"	18"	22'-10"	2'-6"	10'-0"	14.2	1220	670
	4	98	42"x48"	7'	7'-10"	4'-3"	13'-0"	3'-0"	24'-7"	2'-6"	10'-10"	17.2	1440	710
***	5	70	48"x30"	6'	8'-10"	2'-9"	8'-0"	0	21'-1"	24"	9'-2"	10.4	1000	460
	6	84	48"x36"	7'	8'-10"	3'-3"	8'-6"	0	22'-7"	2'-6"	9'-10"	12.5	1100	630
	7	98	48"x42"	7'	8'-10"	3'-9"	10'-6"	18"	24'-1"	2'-6"	10'-8"	14.9	1280	680
	8	105	60"x36"	7'	10'-10"	3'-3"	10'-0"	18"	24'-7"	2'-6"	10'-10"	14.5	1250	650

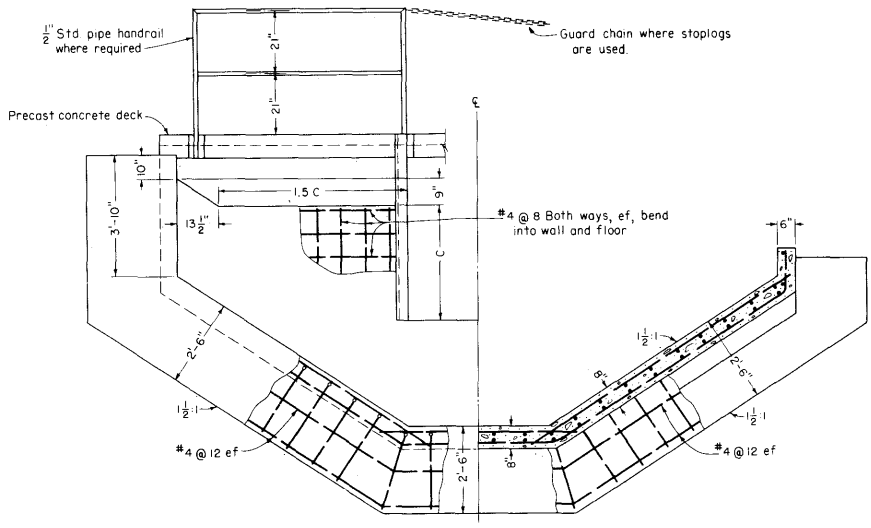
* When a gate of specific height is not available, a gate with next greater available height shall be used with appropriate frame height
** Two gates required for each check
*** Upstream handrail not required

รูปที่ 2 - 12 อาคารอัดน้ำลดระดับมาตรฐาน ปริมาณน้ำระหว่าง 1.7 ถึง 3 ลบ.ม./วินาที

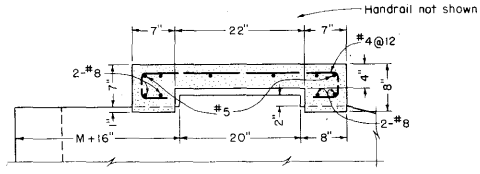




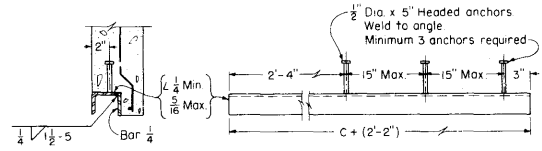
รูปที่ 2 - 13/1 อาคารอัดน้ำลดระดับ 0.90 ม. มาตรฐาน แผ่นที่ 1/2



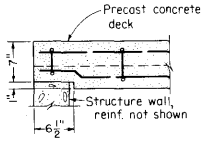
SECTION B-B



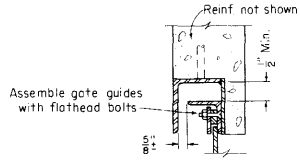
SECTION C-C



STOPLOG OR GATE FRAME GUIDE FOR CHECK WALL
(TWO REQUIRED)



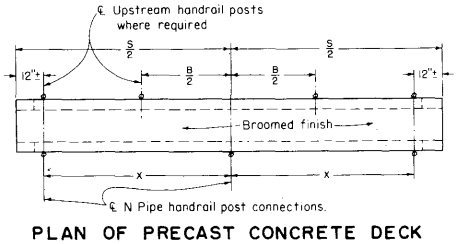
SEC. D-D



TYPICAL SLIDE GATE ASSEMBLY

NOTES

Outer face transverse bars to be continuous in walls and floor
Thickness of concrete to vary uniformly between dimensions shown.
Set Elevation B so that top of check wall is at Control Water Surface Elevation
Gate frame height measured from center of gate opening.

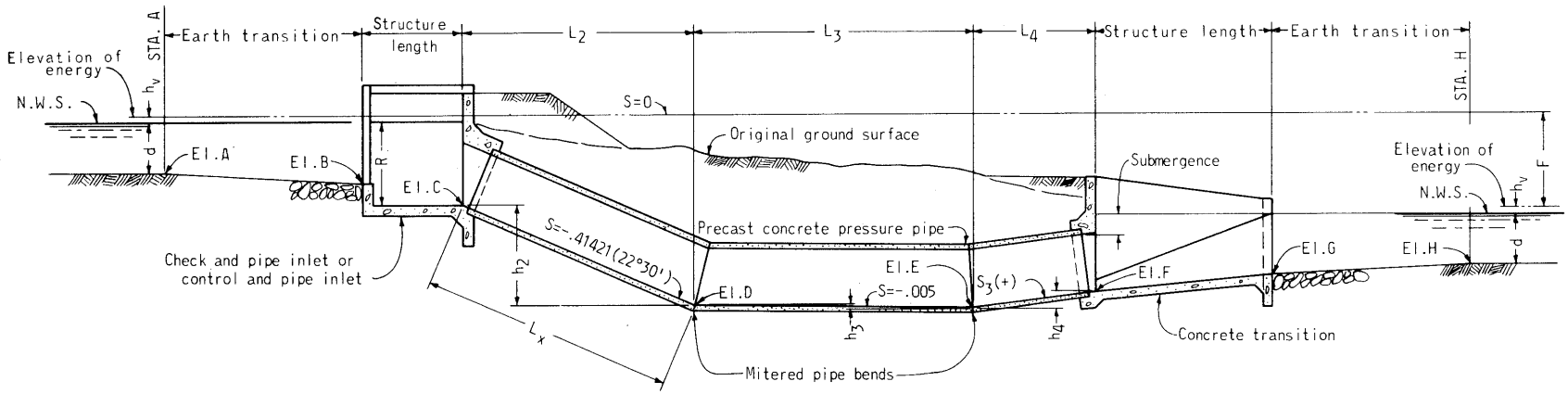


PLAN OF PRECAST CONCRETE DECK

STR NO.	MAX. Q, cfs	SLIDE GATE WIDTH X HEIGHT*	SLIDE GATE FRM. HT.	STANDARD DIMENSIONS B	C	L	M	S	X	N	ESTIMATED QUANTITIES CONC., CU. YDS.	REINF. STEEL, LBS.	MISC. METAL, LBS.
1	10	36"x12"	5'	3'-0"	14"	8'-6"	12"	9'-9"	7'-9"	2	6.2	780	160
2	15	36"x18"	6'	3'-0"	20"	9'-6"	2'-0"	11'-3"	4'-7"	3	7.3	900	200
3	21	36"x24"	6'	3'-0"	2'-2"	9'-6"	2'-0"	12'-9"	5'-4"	3	8.0	1000	220
4	26	36"x30"	6'	3'-0"	2'-8"	10'-6"	3'-0"	14'-3"	6'-1"	3	9.3	1100	240
5	21	48"x18"	5'	4'-0"	21"	9'-6"	2'-0"	12'-6"	5'-3"	3	7.9	980	210
6	28	48"x24"	6'	4'-0"	2'-3"	9'-6"	2'-0"	14'-0"	6'-0"	3	8.6	1050	230
7	35	48"x30"	6'	4'-0"	2'-9"	10'-6"	3'-0"	15'-6"	6'-9"	3	9.9	1200	250
** 8	42	48"x36"	6'	4'-0"	3'-3"	11'-6"	4'-0"	17'-0"	7'-6"	3	11.2	1350	400
9	35	60"x24"	6'	5'-0"	2'-3"	9'-6"	2'-0"	15'-0"	6'-6"	3	9.0	1130	240
10	43	60"x30"	6'	5'-0"	2'-9"	10'-6"	3'-0"	16'-6"	7'-3"	3	10.3	1250	260
** 11	52	60"x36"	6'	5'-0"	3'-3"	11'-6"	4'-0"	18'-0"	8'-0"	3	11.7	1390	420
12	42	72"x24"	6'	6'-0"	2'-3"	9'-6"	2'-0"	16'-0"	7'-0"	3	9.4	1180	240
13	53	72"x30"	6'	6'-0"	2'-9"	10'-6"	3'-0"	17'-6"	7'-9"	3	10.7	1300	260
** 14	63	72"x36"	6'	6'-0"	3'-3"	11'-6"	4'-0"	19'-0"	5'-8"	4	12.1	1440	430

* When a gate of specified height is not available a gate with greater available height shall be used with appropriate frame height.
**Upstream handrail required

รูปที่ 2 - 13/2 อาคารอัดน้ำลดระดับ 0.90 ม. มาตรฐาน แผ่นที่ 2/2



LONGITUDINAL SECTION

NOTES

The pipe slopes used will allow the substitution of 7°30' precast concrete elbows for the mitered pipe bends.

The maximum velocity in the pipe at the outlet equals 5 feet per second for pipe flowing full.

Hydraulic head losses due to entrance, friction, bends, and exit have been neglected.

Precast concrete pressure pipe with mitered pipe bends shown. AC or RPM may be substituted.

These standard designs are for flows less than 50 cubic feet per second. For flows greater than 49 cubic feet per second it is probably more economical to use a rectangular inclined drop Figures 2-26 and 2-27 . If it should be desirable to have a pipe drop with a flow greater than 49 cubic feet per second, it will be necessary to actually design the pipe drop.

Ordinarily the maximum water surface drop for a pipe drop structure is 15 feet. However, standard design tables extend slightly beyond this maximum.

รูปที่ 2-14 Type 1 pipe drop with concrete outlet transition — explanation sheet for table 2-1

Table 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet Control and Pipe Inlet
All values are in feet unless otherwise noted

Q = 3 cfs Diameter of pipe = 15 inches V_p = 2.44 fps hv_p = 0.09 foot Inlet R = 2.50 feet

F	2.68	3.01	3.33	3.65	3.98	4.31	4.64	4.97	5.30	5.64	5.98	6.32	6.66	7.01	7.34	7.69	8.04	8.38	8.72	9.08	9.41	9.76	10.12
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
h_4	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.53	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	1.07	1.07	1.07	1.07
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
L_4	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00
S_3	7°-30'												7°-30'	15°									15°
Submergence	0.43	0.49	0.55	0.61	0.66	0.72	0.64	0.69	0.74	0.79	0.83	0.87	0.78	0.52	0.57	0.60	0.64	0.68	0.72	0.48	0.53	0.56	0.59
d_2	1.72	1.77	1.83	1.88	1.93	1.98	2.03	2.07	2.12	2.16	2.20	2.24	2.28	2.31	2.35	2.38	2.42	2.45	2.49	2.52	2.56	2.59	2.62
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	4.66	5.05	5.43	5.81	6.20	6.58	6.96	7.34	7.73	8.11	8.49	8.87	9.26	9.64	10.02	10.40	10.79	11.17	11.55	11.94	12.32	12.70	13.08
F	10.46	10.80	11.15	11.49	11.84	12.19	12.54	12.89	13.24	13.60	13.94	14.29	14.64	14.98	15.33	15.69	16.04	16.38	16.73	17.09	17.43	17.78	18.13
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05
h_4	1.07	1.07	1.07	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.86	1.86	1.86
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	9.50	9.50	9.50
L_4	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	4.50	4.50	4.50
S_3	15°																			15°	22°-30'		22°-30'
Submergence	0.63	0.67	0.70	0.48	0.51	0.54	0.58	0.61	0.64	0.67	0.71	0.74	0.50	0.54	0.57	0.60	0.64	0.67	0.70	0.73	0.47	0.50	0.53
d_2	2.65	2.69	2.72	2.76	2.79	2.82	2.85	2.88	2.91	2.94	2.97	3.00	3.03	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.24	3.27	3.30	3.33
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	13.47	13.85	14.23	14.61	15.00	15.38	15.76	16.14	16.53	16.91	17.29	17.67	18.06	18.44	18.82	19.20	19.59	19.97	20.35	20.74	21.12	21.50	21.88

Q = 4 cfs Diameter of pipe = 15 inches V_p = 3.26 fps hv_p = 0.17 foot Inlet R = 2.50 feet

F	2.28	2.59	2.90	3.20	3.52	3.82	4.15	4.46	4.79	5.10	5.43	5.75	6.08	6.40	6.73	7.04	7.38	7.70	8.04	8.37	8.70	9.03	9.37
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
h_4	0.53	0.53	0.53	0.53	0.66	0.66	0.66	0.66	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.74	1.74	1.74	1.74	1.74
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
L_4	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50
S_3	7°-30'							7°-30'	15°														15°
Submergence	0.56	0.64	0.72	0.79	0.73	0.81	0.86	0.93	0.56	0.63	0.68	0.74	0.80	0.59	0.64	0.71	0.77	0.82	0.45	0.51	0.56	0.61	0.65
d_2	2.01	2.08	2.15	2.22	2.28	2.35	2.40	2.46	2.52	2.58	2.63	2.68	2.74	2.79	2.84	2.90	2.95	3.00	3.04	3.09	3.14	3.18	3.22
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	4.66	5.05	5.43	5.81	6.20	6.58	6.96	7.34	7.73	8.11	8.49	8.87	9.26	9.64	10.02	10.40	10.79	11.17	11.55	11.94	12.32	12.70	13.08
F	9.70	10.04	10.38	10.71	11.06	11.39	11.74	12.08	12.42	12.76	13.09	13.43	13.79	14.12	14.47	14.81	15.15	15.50	15.85	16.19	16.54	16.89	17.22
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
h_4	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.69	2.69	2.69
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.50	10.50	10.50
L_4	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
S_3	15°						15°	22°-30'															22°-30'
Submergence	0.58	0.62	0.67	0.71	0.75	0.80	0.83	0.63	0.68	0.72	0.77	0.81	0.84	0.48	0.51	0.55	0.60	0.63	0.66	0.71	0.53	0.56	0.61
d_2	3.27	3.31	3.35	3.39	3.43	3.47	3.50	3.54	3.58	3.62	3.66	3.70	3.73	3.77	3.80	3.84	3.88	3.91	3.94	3.98	4.01	4.04	4.08
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	13.47	13.85	14.23	14.61	15.00	15.38	15.76	16.14	16.53	16.91	17.29	17.67	18.06	18.44	18.82	19.20	19.59	19.97	20.35	20.74	21.12	21.50	21.88

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$ $d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$ Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ – diameter of pipe – hv

Table 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet Control and Pipe Inlet
All values are in feet unless otherwise noted

Q = 5 cfs Diameter of pipe = 15 inches V_p = 4.07 fps hv_p = 0.26 foot Inlet R = 2.50 feet

F	1.91	2.19	2.48	2.77	3.07	3.36	3.65	3.96	4.26	4.56	4.86	5.18	5.50	5.81	6.12	6.44	6.76	7.08	7.40	7.72	8.03	8.36	8.67
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
h_4	0.66	1.07	1.07	1.21	1.21	1.21	1.47	1.47	1.47	1.47	1.74	1.74	1.74	1.74	2.07	2.07	2.07	2.07	2.28	2.28	2.28	2.28	2.49
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	5.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	9.00	9.00	9.00	9.00	9.50	9.50	9.50	9.50	10.00
L_4	5.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.50	5.50	5.50	5.50	6.50	6.50	6.50	6.50	5.00	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50	5.50	6.00
S_3	7°-30'	15°												15°	22°-30'								22°-30'
Submergence	0.80	0.47	0.57	0.51	0.60	0.69	0.52	0.59	0.68	0.76	0.57	0.63	0.70	0.78	0.47	0.53	0.60	0.66	0.51	0.58	0.65	0.70	0.56
d_2	2.26	2.36	2.45	2.53	2.61	2.69	2.77	2.84	2.92	2.99	3.06	3.12	3.18	3.25	3.31	3.36	3.43	3.48	3.54	3.60	3.66	3.71	3.77
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	4.66	5.05	5.43	5.81	6.20	6.58	6.96	7.34	7.73	8.11	8.49	8.87	9.26	9.64	10.02	10.40	10.79	11.17	11.55	11.94	12.32	12.70	13.08
F	9.01	9.33	9.66	9.97	10.31	10.63	10.96	11.28	11.62	11.94	12.28	12.60	12.94	13.26	13.60	13.92	14.27	14.61	14.94	15.28	15.61	15.94	16.27
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
h_4	2.49	2.49	2.49	2.49	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.73	3.73	3.73
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
L_4	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	9.00	9.00	9.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.61	0.67	0.72	0.79	0.43	0.49	0.54	0.60	0.65	0.50	0.54	0.60	0.65	0.71	0.56	0.62	0.66	0.70	0.75	0.80	0.43	0.48	0.53
d_2	3.82	3.87	3.92	3.98	4.03	4.08	4.13	4.18	4.23	4.28	4.32	4.37	4.42	4.47	4.51	4.56	4.60	4.64	4.68	4.73	4.77	4.82	4.86
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	13.47	13.85	14.23	14.61	15.00	15.38	15.70	16.14	16.53	16.91	17.29	17.67	18.06	18.44	18.82	19.20	19.59	19.97	20.35	20.74	21.12	21.50	21.88

Q = 6 cfs Diameter of pipe = 15 inches V_p = 4.89 fps hv_p = 0.37 foot Inlet R = 2.50 feet

F	1.61	1.88	2.13	2.40	2.68	2.97	3.25	3.53	3.82	4.11	4.40	4.69	5.00	5.29	5.58	5.88	6.20	6.50	6.80	7.10	7.42	7.72	8.02
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
h_4	1.21	1.34	1.34	1.61	1.61	1.61	1.74	1.74	1.74	2.07	2.07	2.07	2.49	2.49	2.49	2.69	2.69	2.69	2.69	2.90	2.90	2.90	3.11
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	5.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.50	9.50	9.50	9.50	10.00	10.00	10.00	10.50
L_4	4.50	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50	6.50	7.00	7.00	7.00	7.50
S_3	15°								15°	22°-30'													22°-30'
Submergence	0.52	0.52	0.64	0.48	0.59	0.69	0.65	0.75	0.85	0.57	0.66	0.75	0.41	0.50	0.59	0.47	0.54	0.62	0.70	0.58	0.64	0.72	0.59
d_2	2.44	2.55	2.66	2.76	2.86	2.95	3.04	3.13	3.22	3.30	3.38	3.46	3.54	3.62	3.70	3.77	3.84	3.91	3.98	4.06	4.12	4.19	4.26
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	4.66	5.05	5.43	5.81	6.20	6.58	6.96	7.34	7.73	8.11	8.49	8.87	9.26	9.64	10.02	10.40	10.79	11.17	11.55	11.94	12.32	12.70	13.08
F	8.34	8.65	8.95	9.27	9.59	9.91	10.22	10.54	10.87	11.18	11.51	11.82	12.15	12.47	12.80	13.11	13.44	13.77	14.10	14.42	14.73	15.06	15.38
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
h_4	3.11	3.11	3.11	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.73	3.73	3.73	3.73	4.14	4.14	4.14	4.14	4.14	4.35	4.35	4.35	4.35	4.56	4.56
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.50	11.50	11.50	11.50	12.00	12.00
L_4	7.50	7.50	7.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	9.00	9.00	9.00	9.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.50	10.50	10.50	10.50	11.00	11.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.66	0.73	0.81	0.46	0.53	0.59	0.66	0.72	0.58	0.65	0.70	0.77	0.42	0.48	0.53	0.60	0.66	0.50	0.56	0.62	0.69	0.53	0.59
d_2	4.33	4.39	4.46	4.52	4.58	4.64	4.70	4.75	4.81	4.87	4.92	4.98	5.04	5.09	5.14	5.20	5.25	5.30	5.35	5.41	5.47	5.52	5.57
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	13.47	13.85	14.23	14.61	15.00	15.38	15.76	16.14	16.53	16.91	17.29	17.67	18.06	18.44	18.82	19.20	19.59	19.97	20.35	20.74	21.12	21.50	21.88

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$ $d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$ Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ – diameter of pipe – hv

able 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet Control and Pipe Inlet
All values are in feet unless otherwise noted

Q = 7 cfs Diameter of pipe = 18 inches V_p = 3.96 fps hv_p = 0.24 foot Inlet R = 2.50 feet

F	1.82	2.12	2.41	2.70	3.00	3.30	3.60	3.90	4.21	4.53	4.83	5.14	5.46	5.77	6.08	6.40	6.72	7.04	7.35	7.67	7.98	8.30	8.63
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
h_4	0.66	0.66	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.34	1.34	1.47	1.47	1.47	1.47	1.74	1.74	1.74	1.74	2.01	2.01	2.01	2.01	2.28	2.28
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	5.00	5.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	10.50	10.50
L_4	5.00	5.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50	5.50	6.50	6.50	6.50	6.50	7.50	7.50	7.50	7.50	5.50	5.50
S_3	7°-30'	7°-30'	15°																		15°	22°-30'	22°-30'
Submergence	0.64	0.74	0.38	0.47	0.56	0.64	0.72	0.53	0.61	0.54	0.62	0.69	0.76	0.56	0.63	0.69	0.76	0.55	0.62	0.69	0.76	0.49	0.54
d_2	2.36	2.45	2.53	2.61	2.69	2.76	2.84	2.91	2.98	3.04	3.11	3.17	3.24	3.30	3.36	3.42	3.48	3.54	3.60	3.66	3.73	3.78	3.83
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	4.66	5.05	5.43	5.81	6.20	6.58	6.96	7.34	7.73	8.11	8.49	8.87	9.26	9.64	10.02	10.40	10.79	11.17	11.55	11.94	12.32	12.70	13.08
F	8.96	9.28	9.60	9.93	10.26	10.59	10.91	11.25	11.58	11.92	12.25	12.58	12.91	13.25	13.58	13.92	14.26	14.59	14.93	15.26	15.60	15.94	16.27
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
h_4	2.28	2.28	2.28	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.31	3.31	3.31	3.31
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	10.50	10.50	10.50	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	12.00	12.00	12.00	12.00
L_4	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	8.00	8.00	8.00	8.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.60	0.66	0.72	0.57	0.63	0.68	0.74	0.78	0.43	0.47	0.52	0.57	0.63	0.67	0.52	0.55	0.60	0.65	0.69	0.55	0.59	0.63	0.68
d_2	3.88	3.94	3.99	4.04	4.09	4.14	4.19	4.23	4.28	4.32	4.36	4.41	4.46	4.50	4.55	4.58	4.63	4.67	4.71	4.76	4.80	4.84	4.88
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	13.47	13.85	14.23	14.61	15.00	15.38	15.76	16.14	16.53	16.91	17.29	17.67	18.06	18.44	18.82	19.20	19.59	19.97	20.35	20.74	21.12	21.50	21.88

Q = 8 cfs Diameter of pipe = 18 inches V_p = 4.53 fps hv_p = 0.32 foot Inlet R = 2.50 feet

F	1.58	1.86	2.14	2.42	2.71	2.99	3.28	3.58	3.87	4.16	4.46	4.77	5.08	5.38	5.68	5.99	6.29	6.60	6.92	7.23	7.53	7.85	8.16
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
h_4	1.07	1.07	1.07	1.34	1.34	1.34	1.61	1.61	1.61	1.88	1.88	1.88	2.01	2.01	2.01	2.01	2.28	2.28	2.28	2.28	2.69	2.69	2.69
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	7.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50
L_4	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	7.50	5.50	5.50	5.50	5.50	6.50	6.50	6.50
S_3	15°															15°	22°-30'						22°-30'
Submergence	0.44	0.55	0.65	0.48	0.58	0.68	0.50	0.58	0.68	0.50	0.58	0.65	0.60	0.68	0.76	0.83	0.59	0.66	0.72	0.80	0.47	0.53	0.60
d_2	2.51	2.61	2.70	2.79	2.88	2.97	3.05	3.13	3.22	3.30	3.37	3.44	3.51	3.58	3.65	3.72	3.80	3.86	3.92	3.99	4.06	4.12	4.18
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	4.66	5.05	5.43	5.81	6.20	6.58	6.96	7.34	7.73	8.11	8.49	8.87	9.26	9.64	10.02	10.40	10.79	11.17	11.55	11.94	12.32	12.70	13.08
F	8.49	8.80	9.11	9.43	9.76	10.09	10.40	10.72	11.04	11.36	11.69	12.02	12.35	12.68	13.00	13.32	13.66	13.98	14.31	14.64	14.97	15.31	15.64
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
h_4	2.69	2.90	2.90	2.90	2.90	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	3.93	3.93	3.93
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	10.50	11.00	11.00	11.00	11.00	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.50	12.50	12.50
L_4	6.50	7.00	7.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.50	9.50	9.50
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.66	0.53	0.60	0.66	0.72	0.56	0.63	0.69	0.76	0.82	0.46	0.52	0.57	0.63	0.68	0.53	0.58	0.64	0.69	0.75	0.60	0.64	0.69
d_2	4.24	4.30	4.36	4.42	4.47	4.52	4.58	4.64	4.70	4.75	4.80	4.85	4.90	4.95	5.00	5.05	5.10	5.15	5.20	5.25	5.30	5.34	5.38
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	13.47	13.85	14.23	14.61	15.00	15.38	15.76	16.14	16.53	16.91	17.29	17.67	18.06	18.44	18.82	19.20	19.59	19.97	20.35	20.74	21.12	21.50	21.88

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$ $d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$ Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ – diameter of pipe – hv

Table 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet Control and Pipe Inlet
All values are in feet unless otherwise noted

Q = 9 cfs Diameter of pipe = 18 inches V_p = 5.09 fps hv_p = 0.40 foot Inlet R = 2.50 feet

F	1.39	1.66	1.91	2.18	2.46	2.73	3.00	3.26	3.56	3.84	4.13	4.42	4.72	5.00	5.30	5.59	5.90	6.19	6.50	6.81	7.11	7.42	7.72
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06
h_4	1.07	1.07	1.34	1.34	1.61	1.61	1.61	1.88	1.88	2.01	2.01	2.01	2.49	2.49	2.49	2.69	2.69	2.69	2.69	2.90	2.90	2.90	3.31
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	10.00	10.00	10.00	10.50	10.50	10.50	10.50	11.00	11.00	11.00	11.00
L_4	4.00	4.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50	6.50	7.00	7.00	7.00	8.00
S_3	15°											15°	22°-30'										22°-30'
Submergence	0.63	0.75	0.61	0.72	0.56	0.67	0.78	0.64	0.72	0.69	0.78	0.87	0.42	0.52	0.60	0.49	0.57	0.66	0.73	0.61	0.69	0.76	0.43
d_2	2.61	2.72	2.84	2.94	3.04	3.14	3.24	3.35	3.43	3.52	3.60	3.68	3.76	3.85	3.93	4.01	4.08	4.16	4.23	4.30	4.37	4.44	4.51
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	4.66	5.05	5.43	5.81	6.20	6.58	6.96	7.34	7.73	8.11	8.49	8.87	9.26	9.64	10.02	10.40	10.79	11.17	11.55	11.94	12.32	12.70	13.08
F	8.03	8.35	8.65	8.96	9.29	9.59	9.90	10.22	10.54	10.86	11.17	11.48	11.82	12.13	12.44	12.77	13.10	13.41	13.72	14.06	14.37	14.70	15.02
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
h_4	3.31	3.31	3.31	3.52	3.52	3.52	3.52	3.73	3.73	3.73	3.73	4.14	4.14	4.14	4.14	4.14	4.35	4.35	4.35	4.35	4.56	4.56	4.56
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	11.00	11.00	11.00	11.50	11.50	11.50	11.50	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.50	12.50	12.50	12.50	13.00	13.00	13.00
L_4	8.00	8.00	8.00	8.50	8.50	8.50	8.50	9.00	9.00	9.00	9.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.50	10.50	10.50	10.50	11.00	11.00	11.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.51	0.57	0.65	0.51	0.57	0.65	0.72	0.57	0.64	0.70	0.77	0.43	0.48	0.55	0.62	0.67	0.52	0.59	0.66	0.71	0.58	0.63	0.69
d_2	4.58	4.64	4.71	4.77	4.83	4.90	4.96	5.02	5.08	5.14	5.20	5.26	5.31	5.37	5.44	5.48	5.54	5.60	5.66	5.71	5.77	5.82	5.87
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	13.47	13.85	14.23	14.61	15.00	15.38	15.76	16.14	16.53	16.91	17.29	17.67	18.06	18.44	18.82	19.20	19.59	19.97	20.35	20.74	21.12	21.50	21.88

Q = 10 cfs Diameter of pipe = 21 inches V_p = 4.16 fps hv_p = 0.27 foot Inlet R = 3.00 feet

F	1.99	2.29	2.57	2.85	3.15	3.44	3.74	4.03	4.35	4.64	4.96	5.27	5.58	5.89	6.20	6.52	6.84	7.15	7.47	7.79	8.12	8.44	8.76
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
h_4	0.80	0.80	1.07	1.07	1.07	1.07	1.34	1.34	1.24	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.49	2.49
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	9.00	9.50	9.50	10.00	10.00	10.00	10.00	10.50	11.00	11.00	11.00	11.00	11.50	12.00	12.50	13.00	13.00	13.00	13.50	14.00	14.00	14.00	14.00
L_4	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00
S_3	15°							15°	22°-30'														22°-30'
Submergence	0.55	0.64	0.47	0.57	0.66	0.75	0.56	0.65	0.74	0.41	0.47	0.54	0.62	0.70	0.77	0.43	0.49	0.56	0.63	0.70	0.75	0.39	0.46
d_2	2.64	2.72	2.81	2.90	2.98	3.06	3.14	3.22	3.28	3.36	3.42	3.48	3.55	3.62	3.68	3.74	3.80	3.86	3.92	3.98	4.03	4.08	4.14
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	5.16	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.37	9.76	10.14	10.52	10.90	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58
F	9.09	9.41	9.73	10.06	10.39	10.72	11.04	11.36	11.70	12.02	12.35	12.69	13.02	13.35	13.68	14.01	14.34	14.67	15.00	15.34	15.67	16.01	16.35
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
h_4	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.73	3.73
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	14.00	14.00	14.50	14.50	15.00	15.00	15.00	15.50	15.50	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.50	16.50	17.00	17.00	17.50	17.50	17.50
L_4	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	9.00	9.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.51	0.58	0.64	0.69	0.75	0.39	0.44	0.50	0.56	0.62	0.67	0.71	0.77	0.41	0.45	0.51	0.57	0.62	0.67	0.72	0.77	0.40	0.44
d_2	4.19	4.25	4.30	4.35	4.40	4.45	4.50	4.55	4.60	4.65	4.70	4.74	4.79	4.84	4.88	4.93	4.98	5.03	5.07	5.12	5.16	5.20	5.24
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.17	18.56	18.94	19.32	19.70	20.09	20.47	20.85	21.24	21.62	22.00	22.38

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$

$d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$

Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ – diameter of pipe – hv

Table 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet Control and Pipe Inlet
All values are in feet unless otherwise noted

Q = 11 cfs Diameter of pipe = 21 inches V_p = 4.57 fps hv_p = 0.33 foot Inlet R = 3.00 feet

F	1.81	2.07	2.36	2.64	2.92	3.21	3.50	3.79	4.09	4.39	4.68	4.99	5.29	5.60	5.90	6.21	6.53	6.84	7.14	7.47	7.78	8.10	8.41
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
h_4	0.80	1.07	1.07	1.07	1.24	1.24	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	9.00	9.00	9.50	9.50	10.00	10.00	10.50	10.50	11.00	11.00	11.00	11.50	11.50	12.00	12.00	12.50	12.50	13.00	13.00	13.00	13.50	13.50	14.00
L_4	3.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
S_3	15°			15°	22°-30'																		22°-30'
Submergence	0.73	0.58	0.68	0.78	0.64	0.73	0.40	0.49	0.58	0.67	0.76	0.83	0.50	0.58	0.66	0.73	0.80	0.46	0.54	0.60	0.67	0.74	0.81
d_2	2.75	2.86	2.95	3.04	3.14	3.22	3.30	3.38	3.46	3.54	3.62	3.68	3.76	3.83	3.90	3.96	4.03	4.09	4.16	4.22	4.28	4.34	4.40
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	5.16	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.37	9.76	10.14	10.52	10.90	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58
F	8.73	9.05	9.36	9.68	10.01	10.33	10.65	10.96	11.29	11.61	11.94	12.26	12.60	12.92	13.24	13.57	13.91	14.23	14.56	14.89	15.22	15.54	15.88
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09
h_4	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	4.14	4.14
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	14.00	14.00	14.00	14.50	14.50	15.00	15.00	15.00	15.50	15.50	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.50	16.50	16.50	17.00	17.00	17.00	17.00
L_4	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	10.00	10.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.46	0.52	0.59	0.66	0.71	0.78	0.42	0.49	0.56	0.61	0.67	0.72	0.78	0.42	0.48	0.53	0.59	0.64	0.70	0.75	0.81	0.45	0.49
d_2	4.46	4.52	4.58	4.64	4.69	4.75	4.80	4.86	4.92	4.97	5.02	5.07	5.12	5.17	5.23	5.27	5.32	5.37	5.42	5.47	5.52	5.57	5.61
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.17	18.56	18.94	19.32	19.70	20.09	20.47	20.85	21.24	21.62	22.00	22.38

Q = 12 cfs Diameter of pipe = 21 inches V_p = 4.99 fps hv_p = 0.39 foot Inlet R = 3.00 feet

F	1.64	1.90	2.17	2.44	2.72	2.99	3.28	3.57	3.86	4.15	4.43	4.73	5.04	5.32	5.62	5.91	6.24	6.53	6.83	7.14	7.46	7.76	8.08
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
h_4	1.07	1.07	1.24	1.24	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	2.07	2.07	2.07	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	9.00	9.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	11.00	11.00	11.00	11.50	11.50	12.00	12.00	12.00	12.00	12.50	12.50	13.00	13.00	13.00	13.50	13.50
L_4	4.00	4.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
S_3	15°	15°	22°-30'																				22°-30'
Submergence	0.63	0.75	0.62	0.73	0.42	0.53	0.63	0.72	0.83	0.50	0.60	0.68	0.78	0.44	0.52	0.61	0.67	0.76	0.44	0.52	0.58	0.66	0.73
d_2	2.85	2.96	3.06	3.16	3.26	3.36	3.45	3.53	3.62	3.70	3.79	3.86	3.94	4.03	4.10	4.18	4.24	4.32	4.39	4.46	4.52	4.59	4.65
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	5.16	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.37	9.76	10.14	10.52	10.90	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58
F	8.39	8.70	9.02	9.33	9.65	9.97	10.28	10.60	10.91	11.22	11.55	11.86	12.19	12.51	12.82	13.15	13.47	13.80	14.12	14.45	14.77	15.10	15.42
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09
h_4	2.90	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	4.14	4.14	4.14	4.14	4.14	4.14	4.14	4.14	4.56	4.56
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	14.00	14.00	14.00	14.00	14.50	14.50	14.50	15.00	15.00	15.00	15.50	15.50	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.50	16.50	17.00	17.00	17.00	17.00
L_4	7.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	11.00	11.00	11.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.80	0.45	0.52	0.59	0.65	0.72	0.78	0.45	0.52	0.59	0.64	0.71	0.78	0.42	0.49	0.54	0.61	0.66	0.72	0.79	0.43	0.48	0.54
d_2	4.72	4.78	4.84	4.90	4.96	5.02	5.08	5.14	5.21	5.27	5.32	5.38	5.44	5.49	5.55	5.60	5.66	5.71	5.76	5.82	5.87	5.92	5.97
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.17	18.56	18.94	19.32	19.70	20.09	20.47	20.85	21.24	21.62	22.00	22.38

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$

$d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$

Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ – diameter of pipe – hv

Table 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet Control and Pipe Inlet
All values are in feet unless otherwise noted

Q = 7 cfs Diameter of pipe = 18 inches V_p = 3.96 fps hv_p = 0.24 foot Inlet R = 2.50 feet

F	1.82	2.12	2.41	2.70	3.00	3.30	3.60	3.90	4.21	4.53	4.83	5.14	5.46	5.77	6.08	6.40	6.72	7.04	7.35	7.67	7.98	8.30	8.63
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
h_4	0.66	0.66	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.34	1.34	1.47	1.47	1.47	1.47	1.74	1.74	1.74	1.74	2.01	2.01	2.01	2.01	2.28	2.28
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	5.00	5.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	10.50	10.50
L_4	5.00	5.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50	5.50	6.50	6.50	6.50	6.50	7.50	7.50	7.50	7.50	5.50	5.50
S_3	7°-30'	7°-30'	15°																		15°	22°-30'	22°-30'
Submergence	0.64	0.74	0.38	0.47	0.56	0.64	0.72	0.53	0.61	0.54	0.62	0.69	0.76	0.56	0.63	0.69	0.76	0.55	0.62	0.69	0.76	0.49	0.54
d_2	2.36	2.45	2.53	2.61	2.69	2.76	2.84	2.91	2.98	3.04	3.11	3.17	3.24	3.30	3.36	3.42	3.48	3.54	3.60	3.66	3.73	3.78	3.83
L_s	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	4.66	5.05	5.43	5.81	6.20	6.58	6.96	7.34	7.73	8.11	8.49	8.87	9.26	9.64	10.02	10.40	10.79	11.17	11.55	11.94	12.32	12.70	13.08
F	8.96	9.28	9.60	9.93	10.26	10.59	10.91	11.25	11.58	11.92	12.25	12.58	12.91	13.25	13.58	13.92	14.26	14.59	14.93	15.26	15.60	15.94	16.27
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
h_4	2.28	2.28	2.28	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.31	3.31	3.31	3.31
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	10.50	10.50	10.50	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	12.00	12.00	12.00	12.00
L_4	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	8.00	8.00	8.00	8.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.60	0.66	0.72	0.57	0.63	0.68	0.74	0.78	0.43	0.47	0.52	0.57	0.63	0.67	0.52	0.55	0.60	0.65	0.69	0.55	0.59	0.63	0.68
d_2	3.88	3.94	3.99	4.04	4.09	4.14	4.19	4.23	4.28	4.32	4.36	4.41	4.46	4.50	4.55	4.58	4.63	4.67	4.71	4.76	4.80	4.84	4.88
L_s	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	13.47	13.85	14.23	14.61	15.00	15.38	15.76	16.14	16.53	16.91	17.29	17.67	18.06	18.44	18.82	19.20	19.59	19.97	20.35	20.74	21.12	21.50	21.88

Q = 8 cfs Diameter of pipe = 18 inches V_p = 4.53 fps hv_p = 0.32 foot Inlet R = 2.50 feet

F	1.58	1.86	2.14	2.42	2.71	2.99	3.28	3.58	3.87	4.16	4.46	4.77	5.08	5.38	5.68	5.99	6.29	6.60	6.92	7.23	7.53	7.85	8.16
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
h_4	1.07	1.07	1.07	1.34	1.34	1.34	1.61	1.61	1.61	1.88	1.88	1.88	2.01	2.01	2.01	2.01	2.28	2.28	2.28	2.28	2.69	2.69	2.69
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	7.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50
L_4	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	7.50	5.50	5.50	5.50	5.50	6.50	6.50	6.50
S_3	15°															15°	22°-30'						22°-30'
Submergence	0.44	0.55	0.65	0.48	0.58	0.68	0.50	0.58	0.68	0.50	0.58	0.65	0.60	0.68	0.76	0.83	0.59	0.66	0.72	0.80	0.47	0.53	0.60
d_2	2.51	2.61	2.70	2.79	2.88	2.97	3.05	3.13	3.22	3.30	3.37	3.44	3.51	3.58	3.65	3.72	3.80	3.86	3.92	3.99	4.06	4.12	4.18
L_s	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	4.66	5.05	5.43	5.81	6.20	6.58	6.96	7.34	7.73	8.11	8.49	8.87	9.26	9.64	10.02	10.40	10.79	11.17	11.55	11.94	12.32	12.70	13.08
F	8.49	8.80	9.11	9.43	9.76	10.09	10.40	10.72	11.04	11.36	11.69	12.02	12.35	12.68	13.00	13.32	13.66	13.98	14.31	14.64	14.97	15.31	15.64
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
h_4	2.69	2.90	2.90	2.90	2.90	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	3.93	3.93	3.93
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	10.50	11.00	11.00	11.00	11.00	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.50	12.50	12.50
L_4	6.50	7.00	7.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.50	9.50	9.50
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.66	0.53	0.60	0.66	0.72	0.56	0.63	0.69	0.76	0.82	0.46	0.52	0.57	0.63	0.68	0.53	0.58	0.64	0.69	0.75	0.60	0.64	0.69
d_2	4.24	4.30	4.36	4.42	4.47	4.52	4.58	4.64	4.70	4.75	4.80	4.85	4.90	4.95	5.00	5.05	5.10	5.15	5.20	5.25	5.30	5.34	5.38
L_s	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	13.47	13.85	14.23	14.61	15.00	15.38	15.76	16.14	16.53	16.91	17.29	17.67	18.06	18.44	18.82	19.20	19.59	19.97	20.35	20.74	21.12	21.50	21.88

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$ $d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$ Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ - diameter of pipe - hv

Table 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet — Control and Pipe Inlet
All values are in feet unless otherwise noted

Q = 13 cfs — Diameter of pipe = 24 inches — V_p = 4.14 fps — hv_p = 0.27 foot — Inlet R = 3.25 feet

F	2.04	2.33	2.62	2.91	3.21	3.52	3.82	4.12	4.44	4.75	5.05	5.37	5.69	5.99	6.32	6.63	6.95	7.26	7.59	7.91	8.22	8.55	8.86
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
h_4	0.66	0.66	1.07	1.07	1.07	1.07	1.34	1.34	1.34	1.34	1.61	1.61	1.61	1.61	1.88	1.88	1.88	1.88	2.14	2.14	2.14	2.14	2.28
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	7.00	7.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	12.50
L_4	5.00	5.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	8.00	8.00	5.50
S_3	7°-30'	7°-30'	15°																			15°	22°-30'
Submergence	0.67	0.77	0.41	0.50	0.59	0.66	0.47	0.55	0.62	0.69	0.50	0.56	0.63	0.71	0.49	0.56	0.63	0.70	0.49	0.56	0.63	0.68	0.53
d_2	2.82	2.91	2.99	3.07	3.15	3.22	3.29	3.36	3.43	3.49	3.56	3.62	3.68	3.75	3.80	3.86	3.93	3.99	4.04	4.10	4.16	4.21	4.27
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	5.41	5.80	6.18	6.56	6.95	7.33	7.71	8.09	8.48	8.86	9.24	9.62	10.01	10.39	10.77	11.15	11.54	11.92	12.30	12.69	13.07	13.45	13.83
F	9.20	9.52	9.84	10.16	10.50	10.82	11.15	11.47	11.82	12.13	12.47	12.78	13.13	13.46	13.80	14.11	14.46	14.80	15.12	15.47	15.80	16.14	16.46
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
h_4	2.28	2.28	2.28	2.28	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.31	3.31	3.31
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	14.00	14.00	14.00
L_4	5.50	5.50	5.50	5.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	8.00	8.00	8.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.58	0.64	0.70	0.76	0.40	0.46	0.51	0.57	0.61	0.48	0.52	0.59	0.63	0.68	0.72	0.58	0.62	0.66	0.72	0.76	0.61	0.65	0.71
d_2	4.32	4.37	4.43	4.48	4.53	4.58	4.63	4.68	4.72	4.78	4.82	4.88	4.92	4.96	5.00	5.06	5.10	5.14	5.19	5.23	5.27	5.31	5.36
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	14.22	14.60	14.98	15.36	15.75	16.13	16.51	16.89	17.28	17.66	18.04	18.42	18.81	19.19	19.57	19.95	20.34	20.72	21.10	21.49	21.87	22.25	22.63

Q = 14 cfs — Diameter of pipe = 24 inches — V_p = 4.46 fps — hv_p = 0.31 foot — Inlet R = 3.25 feet

F	1.92	2.20	2.48	2.77	3.06	3.36	3.64	3.94	4.25	4.55	4.84	5.15	5.46	5.77	6.08	6.38	6.70	7.01	7.33	7.65	7.96	8.28	8.59
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
h_4	0.94	0.94	1.07	1.07	1.07	1.34	1.34	1.34	1.61	1.61	1.61	1.88	1.88	1.88	1.88	2.14	2.14	2.14	2.14	2.41	2.41	2.41	2.41
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	8.50	8.50	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
L_4	3.50	3.50	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	8.00	8.00	9.00	9.00	9.00	9.00
S_3	15°																						15°
Submergence	0.46	0.57	0.55	0.64	0.74	0.55	0.65	0.73	0.54	0.62	0.71	0.51	0.59	0.66	0.73	0.55	0.62	0.69	0.75	0.55	0.62	0.68	0.75
d_2	2.89	2.99	3.08	3.16	3.25	3.33	3.42	3.49	3.56	3.64	3.72	3.78	3.85	3.92	3.98	4.05	4.12	4.18	4.24	4.30	4.36	4.42	4.48
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	5.41	5.80	6.18	6.56	6.95	7.33	7.71	8.09	8.48	8.86	9.24	9.62	10.01	10.39	10.77	11.15	11.54	11.92	12.30	12.69	13.07	13.45	13.83
F	8.92	9.23	9.55	9.87	10.20	10.52	10.83	11.17	11.52	11.82	12.14	12.46	12.79	13.12	13.45	13.78	14.11	14.44	14.76	15.11	15.43	15.76	16.09
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
h_4	2.69	2.69	2.69	2.69	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.73	3.73	3.73	3.73
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	12.50	12.50	12.50	12.50	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	14.00	14.00	14.00	14.00
L_4	6.50	6.50	6.50	6.50	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	9.00	9.00	9.00	9.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.45	0.52	0.58	0.64	0.50	0.56	0.63	0.67	0.74	0.58	0.64	0.70	0.76	0.81	0.45	0.50	0.56	0.61	0.67	0.50	0.56	0.61	0.66
d_2	4.54	4.60	4.65	4.71	4.76	4.82	4.88	4.92	4.98	5.03	5.08	5.14	5.19	5.24	5.28	5.33	5.38	5.43	5.48	5.52	5.57	5.62	5.66
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	14.22	14.60	14.98	15.36	15.75	16.13	16.51	16.89	17.28	17.66	18.04	18.42	18.81	19.19	19.57	19.95	20.34	20.72	21.10	21.49	21.87	22.25	22.63

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$

$d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$

Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ – diameter of pipe – hv

Table 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet Control and Pipe Inlet
All values are in feet unless otherwise noted

Q = 16 cfs Diameter of pipe = 24 inches V_p = 5.09 fps hv_p = 0.40 foot Inlet R = 3.25 feet

F	1.64	1.91	2.18	2.45	2.72	3.01	3.28	3.58	3.86	4.15	4.43	4.73	5.03	5.33	5.62	5.92	6.22	6.54	6.84	7.14	7.46	7.77	8.07
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
h_4	1.21	1.21	1.47	1.47	1.47	1.74	1.74	1.74	2.01	2.01	2.07	2.07	2.07	2.07	2.49	2.49	2.49	2.69	2.69	2.69	2.69	3.11	3.11
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50
L_4	4.50	4.50	5.50	5.50	5.50	6.50	6.50	6.50	7.50	7.50	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50	6.50	7.50	7.50
S_3	15°									15°	22°-30'												22°-30'
Submergence	0.47	0.59	0.44	0.55	0.67	0.49	0.60	0.68	0.52	0.61	0.58	0.66	0.75	0.83	0.50	0.58	0.67	0.53	0.61	0.70	0.76	0.41	0.49
d_2	3.06	3.17	3.27	3.37	3.48	3.56	3.66	3.74	3.84	3.92	4.01	4.08	4.16	4.24	4.32	4.39	4.47	4.53	4.60	4.68	4.74	4.80	4.87
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	5.41	5.80	6.18	6.56	6.95	7.33	7.71	8.09	8.48	8.86	9.24	9.62	10.01	10.39	10.77	11.15	11.54	11.92	12.30	12.69	13.07	13.45	13.83
F	8.40	8.70	9.01	9.33	9.65	9.97	10.28	10.58	10.90	11.21	11.53	11.85	12.17	12.50	12.81	13.13	13.45	13.72	14.10	14.42	14.75	15.07	15.39
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
h_4	3.11	3.11	3.31	3.31	3.31	3.31	3.52	3.52	3.52	3.52	3.93	3.93	3.93	3.93	4.14	4.14	4.14	4.14	4.14	4.35	4.35	4.35	4.35
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	12.50	12.50	13.00	13.00	13.00	13.00	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.50	14.50	14.50	14.50
L_4	7.50	7.50	8.00	8.00	8.00	8.00	8.50	8.50	8.50	8.50	9.50	9.50	9.50	9.50	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.50	10.50	10.50	10.50
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.55	0.63	0.51	0.57	0.64	0.70	0.56	0.64	0.71	0.78	0.43	0.49	0.56	0.61	0.47	0.53	0.60	0.67	0.71	0.57	0.62	0.68	0.74
d_2	4.93	5.00	5.06	5.12	5.18	5.24	5.30	5.37	5.44	5.50	5.55	5.61	5.67	5.72	5.78	5.84	5.90	5.96	6.00	6.06	6.11	6.16	6.22
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	14.22	14.60	14.98	15.36	15.75	16.13	16.51	16.89	17.28	17.66	18.04	18.42	18.81	19.19	19.57	19.95	20.34	20.72	21.10	21.49	21.87	22.25	22.63

Q = 17 cfs Diameter of pipe = 30 inches V_p = 3.46 fps hv_p = 0.19 foot Inlet R = 3.75 feet

F	2.51	2.83	3.15	3.46	3.77	4.08	4.39	4.71	5.03	5.35	5.68	6.00	6.33	6.65	6.98	7.30	7.63	7.95	8.28	8.61	8.94	9.27	9.61
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
h_4	0.39	0.39	0.46	0.46	0.46	0.46	0.80	0.80	0.80	0.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	1.21	1.21	1.21	1.21	1.21	1.45	1.45	1.45
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	9.00	9.00	9.50	9.50	9.50	9.50	11.00	11.00	11.00	11.00	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	13.50	13.50	13.50
L_4	3.00	3.00	3.50	3.50	3.50	3.50	3.00	3.00	3.00	3.00	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	3.50	3.50	3.50
S_3	7°-30'					7°-30'	15°													15°	22°-30'		22°-30'
Submergence	0.48	0.55	0.54	0.62	0.69	0.75	0.43	0.50	0.56	0.62	0.53	0.59	0.65	0.71	0.76	0.56	0.61	0.67	0.72	0.78	0.48	0.53	0.57
d_2	2.92	2.98	3.04	3.11	3.17	3.23	3.30	3.36	3.42	3.47	3.52	3.57	3.63	3.68	3.73	3.79	3.84	3.89	3.94	3.99	4.04	4.08	4.12
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	5.91	6.30	6.68	7.06	7.45	7.83	8.21	8.59	8.98	9.36	9.74	10.12	10.51	10.89	11.27	11.65	12.04	12.42	12.80	13.19	13.57	13.95	14.33
F	9.95	10.28	10.62	10.95	11.29	11.62	11.96	12.29	12.63	12.97	13.31	13.65	13.99	14.33	14.68	15.02	15.37	15.72	16.07	16.42	16.76	17.10	17.46
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
h_4	1.45	1.45	1.45	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	13.50	13.50	13.50	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50
L_4	3.50	3.50	3.50	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.62	0.67	0.72	0.55	0.60	0.65	0.69	0.75	0.59	0.64	0.68	0.71	0.76	0.80	0.83	0.45	0.48	0.52	0.56	0.59	0.63	0.67	0.69
d_2	4.16	4.21	4.25	4.29	4.34	4.38	4.42	4.47	4.51	4.55	4.59	4.62	4.66	4.70	4.73	4.76	4.79	4.83	4.86	4.89	4.93	4.96	4.98
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	14.72	15.10	15.48	15.86	16.25	16.63	17.01	17.39	17.78	18.16	18.54	18.92	19.31	19.69	20.07	20.45	20.84	21.22	21.60	21.99	22.37	22.75	23.13

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$ $d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$ Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ – diameter of pipe – hv

Table 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet Control and Pipe Inlet
All values are in feet unless otherwise noted

Q = 19 cfs Diameter of pipe = 30 inches V_p = 3.87 fps hv_p = 0.23 foot Inlet R = 3.75 feet

F	2.30	2.62	2.92	3.22	3.53	3.84	4.15	4.46	4.77	5.08	5.40	5.71	6.03	6.35	6.67	6.98	7.30	7.63	7.96	8.29	8.61	8.93	9.26
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07
h_4	0.59	0.59	0.59	0.72	0.72	0.72	0.72	1.07	1.07	1.07	1.07	1.21	1.21	1.21	1.21	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47	1.66	1.66	1.66
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	11.00	11.00	11.00	11.00	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	11.50	14.00	14.00	14.00
L_4	4.50	4.50	4.50	5.50	5.50	5.50	5.50	4.00	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	4.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	4.00	4.00	4.00
S_3	7°-30'						7°-30'	15°												15°	22°-30'		22°-30'
Submergence	0.48	0.55	0.63	0.58	0.66	0.73	0.80	0.48	0.55	0.62	0.68	0.61	0.68	0.74	0.80	0.61	0.68	0.74	0.79	0.85	0.60	0.67	0.71
d_2	3.07	3.14	3.21	3.28	3.35	3.42	3.48	3.55	3.62	3.68	3.74	3.80	3.86	3.92	3.97	4.04	4.10	4.15	4.20	4.25	4.30	4.36	4.40
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	5.91	6.30	6.68	7.06	7.45	7.83	8.21	8.59	8.98	9.36	9.74	10.12	10.51	10.89	11.27	11.65	12.04	12.42	12.80	13.19	13.57	13.95	14.33
F	9.59	9.92	10.25	10.58	10.92	11.25	11.59	11.92	12.26	12.60	12.92	13.25	13.59	13.92	14.26	14.60	14.93	15.26	15.60	15.93	16.27	16.60	16.95
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
h_4	1.66	1.66	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.90	2.90	2.90	2.90
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
L_4	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.77	0.82	0.47	0.52	0.56	0.61	0.65	0.50	0.54	0.59	0.64	0.70	0.74	0.58	0.63	0.67	0.73	0.78	0.83	0.47	0.51	0.56	0.60
d_2	4.45	4.50	4.55	4.60	4.64	4.68	4.72	4.77	4.81	4.85	4.90	4.95	4.99	5.03	5.07	5.11	5.16	5.21	5.25	5.30	5.34	5.38	5.42
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	14.72	15.10	15.48	15.86	16.25	16.63	17.01	17.39	17.78	18.16	18.54	18.92	19.31	19.69	20.07	20.45	20.84	21.22	21.60	21.99	22.37	22.75	23.13

Q = 21 cfs Diameter of pipe = 30 inches V_p = 4.28 fps hv_p = 0.28 foot Inlet R = 3.75 feet

F	2.13	2.42	2.71	3.00	3.30	3.59	3.89	4.19	4.49	4.79	5.10	5.42	5.74	6.06	6.38	6.70	7.02	7.33	7.64	7.96	8.28	8.60	8.92
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
h_4	0.72	0.72	0.72	0.72	1.07	1.07	1.07	1.07	1.34	1.34	1.34	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61	1.88	1.88	1.88	1.88	2.14	2.14	2.14
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	7.50	8.50	8.50	8.50	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
L_4	5.50	5.50	5.50	5.50	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	8.00
S_3	7°-30'			7°-30'	15°																		15°
Submergence	0.52	0.62	0.72	0.80	0.49	0.58	0.66	0.75	0.55	0.64	0.71	0.50	0.57	0.63	0.69	0.76	0.55	0.62	0.69	0.76	0.57	0.62	0.69
d_2	3.18	3.27	3.36	3.44	3.52	3.60	3.67	3.75	3.82	3.90	3.96	4.02	4.08	4.14	4.19	4.25	4.31	4.37	4.44	4.50	4.56	4.61	4.67
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	5.91	6.30	6.68	7.06	7.45	7.83	8.21	8.59	8.98	9.36	9.74	10.12	10.51	10.89	11.27	11.65	12.04	12.42	12.80	13.19	13.57	13.95	14.33
F	9.24	9.56	9.89	10.21	10.54	10.86	11.19	11.52	11.85	12.17	12.50	12.83	13.16	13.48	13.81	14.14	14.48	14.81	15.15	15.49	15.82	16.15	16.48
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
h_4	2.14	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	3.52
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	11.00	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50
L_4	8.00	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	7.50	8.50
S_3	15°	22°-30'																					22°-30'
Submergence	0.75	0.56	0.61	0.67	0.73	0.79	0.43	0.48	0.54	0.60	0.65	0.51	0.56	0.62	0.67	0.72	0.55	0.61	0.65	0.70	0.75	0.81	0.45
d_2	4.73	4.78	4.83	4.88	4.94	4.99	5.04	5.08	5.14	5.19	5.24	5.29	5.34	5.39	5.44	5.48	5.52	5.57	5.61	5.65	5.70	5.75	5.80
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	14.72	15.10	15.48	15.86	16.25	16.63	17.01	17.39	17.78	18.16	18.54	18.92	19.31	19.69	20.07	20.45	20.84	21.22	21.60	21.99	22.37	22.75	23.13

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$ $d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$ Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ – diameter of pipe – hv

Table 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet Control and Pipe Inlet

All values are in feet unless otherwise noted

Q = 23 cfs Diameter of pipe = 30 inches V_p = 4.68 fps hv_p = 0.34 foot Inlet R = 3.75 feet

F	1.94	2.22	2.49	2.77	3.06	3.35	3.65	3.95	4.25	4.54	4.84	5.14	5.44	5.75	6.06	6.37	6.69	7.01	7.32	7.63	7.94	8.25	8.57
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
h_4	0.94	0.94	0.94	1.21	1.21	1.34	1.34	1.34	1.34	1.61	1.61	1.61	1.88	1.88	1.88	1.88	2.07	2.07	2.07	2.07	2.49	2.49	2.49
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	10.50	10.50	10.50	10.50	10.50	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
L_4	3.50	3.50	3.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00
S_3	15°															15°	22°-30'						22°-30'
Submergence	0.43	0.54	0.65	0.49	0.58	0.55	0.62	0.71	0.80	0.62	0.71	0.79	0.60	0.67	0.73	0.81	0.58	0.64	0.72	0.78	0.43	0.51	0.57
d_2	3.30	3.40	3.50	3.60	3.68	3.76	3.83	3.91	3.99	4.07	4.15	4.23	4.30	4.36	4.42	4.49	4.55	4.61	4.68	4.74	4.80	4.87	4.93
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	5.91	6.30	6.68	7.06	7.45	7.83	8.21	8.59	8.98	9.36	9.74	10.12	10.51	10.89	11.27	11.65	12.04	12.42	12.80	13.19	13.57	13.95	14.33
F	8.89	9.21	9.52	9.84	10.16	10.47	10.79	11.10	11.42	11.75	12.08	12.42	12.76	13.08	13.40	13.72	14.05	14.38	14.71	15.03	15.36	15.70	16.03
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
h_4	2.49	2.69	2.69	2.69	2.69	2.90	2.90	2.90	2.90	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.73	3.73	3.73
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	14.00	14.50	14.50	14.50	14.50	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	15.50	16.00	16.00	16.00
L_4	6.00	6.50	6.50	6.50	6.50	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	9.00	9.00	9.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.64	0.51	0.57	0.64	0.70	0.57	0.64	0.71	0.77	0.40	0.46	0.50	0.56	0.61	0.47	0.52	0.58	0.62	0.68	0.73	0.58	0.63	0.69
d_2	4.99	5.05	5.11	5.17	5.23	5.29	5.35	5.42	5.47	5.51	5.56	5.60	5.65	5.70	5.76	5.81	5.86	5.90	5.95	6.00	6.05	6.10	6.15
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	14.72	15.10	15.48	15.86	16.25	16.63	17.01	17.39	17.78	18.16	18.54	18.92	19.31	19.69	20.07	20.45	20.84	21.22	21.60	21.99	22.37	22.75	23.13

Q = 25 cfs Diameter of pipe = 30 inches V_p = 5.09 fps hv_p = 0.40 foot Inlet R = 3.75 feet

F	1.75	2.03	2.30	2.57	2.86	3.14	3.42	3.70	4.00	4.29	4.58	4.88	5.18	5.49	5.79	6.08	6.38	6.68	6.98	7.30	7.61	7.92	8.23
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
h_4	1.07	1.07	1.07	1.07	1.45	1.45	1.45	1.66	1.66	1.66	1.86	1.86	1.86	2.07	2.07	2.07	2.49	2.49	2.49	2.49	2.69	2.69	2.69
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	10.00	11.00	11.00	11.00	12.50	12.50	12.50	13.00	13.00	13.00	13.50	13.50	13.50	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00	14.50	14.50	14.50
L_4	4.00	4.00	4.00	4.00	3.50	3.50	3.50	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
S_3	15°			15°	22°-30'																		22°-30'
Submergence	0.49	0.61	0.72	0.83	0.43	0.53	0.64	0.53	0.62	0.72	0.60	0.68	0.77	0.62	0.71	0.81	0.47	0.55	0.63	0.70	0.57	0.64	0.71
d_2	3.42	3.52	3.62	3.72	3.81	3.90	4.00	4.08	4.16	4.25	4.33	4.40	4.48	4.54	4.62	4.71	4.78	4.85	4.93	4.99	5.05	5.12	5.18
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	5.91	6.30	6.68	7.06	7.45	7.83	8.21	8.59	8.98	9.36	9.74	10.12	10.51	10.89	11.27	11.65	12.04	12.42	12.80	13.19	13.57	13.95	14.33
F	8.55	8.87	9.18	9.50	9.82	10.14	10.44	10.76	11.09	11.40	11.71	12.02	12.34	12.66	12.97	13.28	13.62	13.95	14.27	14.60	14.92	15.24	15.58
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
h_4	2.69	2.90	2.90	2.90	2.90	3.31	3.31	3.31	3.31	3.52	3.52	3.52	3.52	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	4.14	4.14	4.14	4.14	4.14
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	14.50	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.50	15.50	15.50	15.50	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
L_4	6.50	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.50	8.50	8.50	8.50	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.77	0.64	0.71	0.77	0.84	0.49	0.56	0.63	0.69	0.55	0.61	0.69	0.76	0.61	0.68	0.75	0.80	0.86	0.50	0.56	0.62	0.68	0.72
d_2	5.24	5.30	5.36	5.42	5.48	5.54	5.60	5.66	5.72	5.78	5.84	5.91	5.97	6.03	6.09	6.15	6.20	6.25	6.30	6.35	6.41	6.46	6.50
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	14.72	15.10	15.48	15.86	16.25	16.63	17.01	17.39	17.78	18.16	18.54	18.92	19.31	19.69	20.07	20.45	20.84	21.22	21.60	21.99	22.37	22.75	23.13

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$ $d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$ Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ – diameter of pipe – hv

Table 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet Control and Pipe Inlet
All values are in feet unless otherwise noted

Q = 26 cfs Diameter of pipe = 36 inches V_p = 3.67 fps hv_p = 0.21 foot Inlet R = 4.25 feet

F	2.53	2.83	3.14	3.44	3.78	4.08	4.41	4.71	5.03	5.35	5.66	5.99	6.31	6.63	6.95	7.28	7.61	7.94	8.26	8.60	8.93	9.26	9.59
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09
h_4	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.53	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	1.07	1.07	1.07	1.07	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	11.00	11.00	11.00	12.00	12.00	12.00	12.00	13.00	13.50	13.50	14.00	14.00	14.50	15.00	15.00	15.50	16.00	16.00	16.00	16.00	16.50	16.50	17.00
L_4	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
S_3	7°-30'						7°-30'	15°									15°	22°-30'					22°-30'
Submergence	0.45	0.54	0.61	0.68	0.74	0.82	0.74	0.48	0.54	0.61	0.68	0.73	0.80	0.60	0.66	0.71	0.77	0.51	0.57	0.62	0.67	0.72	0.78
d_2	3.34	3.42	3.48	3.55	3.60	3.67	3.72	3.79	3.85	3.91	3.97	4.02	4.08	4.14	4.19	4.24	4.29	4.34	4.39	4.44	4.48	4.53	4.57
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	6.41	6.80	7.18	7.56	7.95	8.33	8.71	9.09	9.48	9.86	10.24	10.62	11.01	11.39	11.77	12.15	12.54	12.92	13.30	13.69	14.07	14.45	14.83
F	9.92	10.25	10.58	10.91	11.25	11.58	11.91	12.25	12.59	12.93	13.25	13.59	13.93	14.28	14.62	14.95	15.30	15.65	15.98	16.34	16.68	17.01	17.35
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
h_4	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	17.00	17.00	17.00	17.00	17.50	17.50	17.50	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.50	18.50	18.50	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
L_4	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.42	0.47	0.52	0.57	0.62	0.66	0.72	0.76	0.81	0.44	0.50	0.54	0.58	0.62	0.66	0.71	0.75	0.79	0.43	0.46	0.50	0.55	0.59
d_2	4.63	4.67	4.72	4.76	4.81	4.85	4.90	4.94	4.98	5.02	5.07	5.11	5.15	5.18	5.22	5.26	5.30	5.33	5.37	5.40	5.44	5.48	5.52
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	15.22	15.60	15.98	16.36	16.75	17.13	17.51	17.89	18.28	18.66	19.04	19.42	19.81	20.19	20.57	20.95	21.34	21.72	22.10	22.49	22.87	23.25	23.63

Q = 29 cfs Diameter of pipe = 36 inches V_p = 4.10 fps hv_p = 0.26 foot Inlet R = 4.25 feet

F	2.31	2.60	2.90	3.20	3.51	3.80	4.10	4.42	4.73	5.05	5.36	5.66	6.00	6.30	6.63	6.95	7.26	7.59	7.91	8.24	8.57	8.89	9.21
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
h_4	0.40	0.53	0.53	0.53	0.80	0.80	0.80	0.80	1.07	1.07	1.07	1.07	1.24	1.24	1.24	1.24	1.24	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	11.00	12.00	12.50	13.00	13.00	13.00	13.50	14.00	14.00	14.50	15.00	15.00	15.00	15.00	16.50	16.50	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.50	17.50
L_4	3.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
S_3	7°-30'			7°-30'	15°							15°	22°-30'										22°-30'
Submergence	0.67	0.64	0.72	0.81	0.54	0.63	0.70	0.77	0.58	0.64	0.72	0.80	0.54	0.62	0.67	0.73	0.82	0.45	0.51	0.57	0.62	0.68	0.74
d_2	3.49	3.58	3.65	3.73	3.80	3.88	3.95	4.01	4.08	4.14	4.20	4.27	4.32	4.39	4.44	4.49	4.56	4.61	4.66	4.72	4.76	4.82	4.87
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	6.41	6.80	7.18	7.56	7.95	8.33	8.71	9.09	9.48	9.86	10.24	10.62	11.01	11.39	11.77	12.15	12.54	12.92	13.30	13.69	14.07	14.45	14.83
F	9.55	9.87	10.19	10.51	10.85	11.17	11.49	11.82	12.16	12.54	12.82	13.14	13.49	13.81	14.15	14.49	14.83	15.17	15.50	15.84	16.17	16.52	16.85
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
h_4	1.66	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	17.50	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.50	18.50	18.50	19.00	19.00	19.00	19.00	19.50	19.50	19.50	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.50
L_4	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.79	0.44	0.50	0.56	0.61	0.67	0.73	0.79	0.42	0.48	0.53	0.59	0.63	0.69	0.73	0.77	0.40	0.44	0.49	0.54	0.58	0.62	0.67
d_2	4.92	4.97	5.03	5.08	5.13	5.18	5.24	5.28	5.33	5.37	5.42	5.47	5.51	5.56	5.60	5.64	5.68	5.72	5.76	5.81	5.85	5.88	5.93
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	15.22	15.60	15.98	16.36	16.75	17.13	17.51	17.89	18.28	18.66	19.04	19.42	19.81	20.19	20.57	20.95	21.34	21.72	22.10	22.49	22.87	23.25	23.63

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$ $d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$ Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ – diameter of pipe – hv

Table 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet Control and Pipe Inlet

All values are in feet unless otherwise noted

Q = 32 cfs Diameter of pipe = 36 inches V_p = 4.52 fps hv_p = 0.32 foot Inlet R = 4.25 feet

F	2.10	2.39	2.67	2.95	3.25	3.54	3.85	4.15	4.45	4.75	5.06	5.37	5.67	5.98	6.30	6.60	6.93	7.24	7.56	7.87	8.19	8.51	8.83
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
h_4	0.53	0.80	0.80	0.80	0.80	1.07	1.07	1.07	1.24	1.24	1.24	1.24	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	11.00	12.00	13.00	13.00	13.50	14.00	14.50	15.00	15.00	15.00	15.50	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.50	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.50
L_4	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
S_3	7°-30'	15°						15°	22°-30'														22°-30'
Submergence	0.75	0.50	0.61	0.71	0.80	0.62	0.70	0.78	0.56	0.63	0.71	0.78	0.45	0.52	0.58	0.66	0.72	0.80	0.45	0.53	0.58	0.65	0.71
d_2	3.63	3.72	3.81	3.90	3.98	4.06	4.13	4.20	4.28	4.35	4.42	4.48	4.56	4.63	4.68	4.75	4.81	4.87	4.93	5.00	5.05	5.11	5.16
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	6.41	6.80	7.18	7.56	7.95	8.33	8.71	9.09	9.48	9.86	10.24	10.62	11.01	11.39	11.77	12.15	12.54	12.92	13.30	13.69	14.07	14.45	14.83
F	9.15	9.47	9.80	10.12	10.45	10.76	11.08	11.47	11.74	12.07	12.39	12.72	13.05	13.38	13.72	14.04	14.38	14.70	15.03	15.36	15.70	16.02	16.36
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
h_4	2.07	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	17.50	18.00	18.00	18.00	18.00	18.50	18.50	18.50	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.50	19.50	19.50	20.00	20.00	20.00	20.00	20.50	20.50	20.50
L_4	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.78	0.43	0.48	0.54	0.60	0.67	0.72	0.78	0.42	0.48	0.54	0.59	0.64	0.70	0.74	0.80	0.44	0.50	0.55	0.61	0.65	0.71	0.75
d_2	5.23	5.28	5.33	5.38	5.44	5.50	5.55	5.60	5.65	5.70	5.75	5.80	5.85	5.90	5.94	5.99	6.04	6.09	6.14	6.19	6.23	6.28	6.32
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	15.22	15.60	15.98	16.36	16.75	17.13	17.51	17.89	18.28	18.66	19.04	19.42	19.81	20.19	20.57	20.95	21.34	21.72	22.10	22.49	22.87	23.25	23.63

Q = 34 cfs Diameter of pipe = 36 inches V_p = 4.81 fps hv_p = 0.36 foot Inlet R = 4.25 feet

F	1.96	2.23	2.51	2.80	3.13	3.37	3.66	3.96	4.27	4.57	4.86	5.16	5.47	5.77	6.09	6.38	6.70	7.00	7.32	7.63	7.95	8.26	8.57
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
h_4	0.80	0.80	0.80	1.07	1.07	1.07	1.24	1.24	1.24	1.24	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.48	2.48	2.48
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	12.00	13.00	13.50	13.50	14.00	14.50	15.00	15.00	15.50	16.00	16.00	16.00	16.50	16.50	17.00	17.00	17.00	17.00	17.50	17.50	18.00	18.00	18.00
L_4	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00
S_3	15°					15°	22°-30'																22°-30'
Submergence	0.54	0.67	0.77	0.59	0.69	0.79	0.58	0.66	0.74	0.82	0.49	0.57	0.65	0.73	0.80	0.48	0.55	0.62	0.69	0.77	0.42	0.49	0.56
d_2	3.72	3.83	3.92	4.00	4.09	4.18	4.26	4.34	4.41	4.48	4.56	4.64	4.71	4.78	4.84	4.92	4.98	5.05	5.11	5.18	5.24	5.30	5.36
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	6.41	6.80	7.18	7.56	7.95	8.33	8.71	9.09	9.48	9.86	10.24	10.62	11.01	11.39	11.77	12.15	12.54	12.92	13.30	13.69	14.07	14.45	14.83
F	8.89	9.21	9.53	9.84	10.17	10.49	10.81	11.13	11.46	11.78	12.09	12.42	12.75	13.08	13.41	13.73	14.05	14.37	14.70	15.03	15.37	15.70	16.01
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
h_4	2.48	2.48	2.48	2.48	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	18.00	18.50	18.50	19.00	19.00	19.00	19.00	19.50	19.50	19.50	20.00	20.00	20.00	20.00	20.50	20.50	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.50
L_4	6.00	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.63	0.69	0.75	0.83	0.46	0.53	0.59	0.65	0.71	0.77	0.43	0.48	0.54	0.59	0.64	0.70	0.78	0.42	0.47	0.52	0.57	0.62	0.69
d_2	5.43	5.48	5.54	5.60	5.65	5.71	5.76	5.82	5.87	5.93	5.99	6.04	6.09	6.14	6.18	6.24	6.30	6.35	6.40	6.45	6.49	6.54	6.60
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	15.22	15.60	15.98	16.36	16.75	17.13	17.51	17.89	18.28	18.66	19.04	19.42	19.81	20.19	20.57	20.95	21.34	21.72	22.10	22.49	22.87	23.25	23.63

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$ $d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$ Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ – diameter of pipe – hv

Table 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet — Control and Pipe Inlet
All values are in feet unless otherwise noted

Q = 36 cfs — Diameter of pipe = 36 inches — V_p = 5.09 fps — hv_p = 0.40 foot — Inlet R = 4.25 feet

F	1.82	2.09	2.36	2.64	2.92	3.20	3.50	3.78	4.09	4.38	4.67	4.97	5.27	5.58	5.87	6.17	6.49	6.79	7.09	7.42	7.73	8.03	8.34
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
h_4	0.80	1.07	1.07	1.07	1.24	1.24	1.24	1.24	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66	2.07	2.07	2.07	2.07	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48	2.48
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	13.00	14.00	14.00	14.50	15.00	15.00	15.50	16.00	16.00	16.00	16.00	16.50	16.50	17.00	17.00	17.50	17.50	18.00	18.00	18.00	18.00	18.50	18.50
L_4	3.00	4.00	4.00	4.00	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
S_3	15°			15°	22°-30'																		22°-30'
Submergence	0.70	0.54	0.65	0.75	0.56	0.66	0.74	0.84	0.50	0.59	0.68	0.76	0.84	0.52	0.61	0.69	0.76	0.43	0.51	0.57	0.64	0.72	0.79
d_2	3.81	3.92	4.02	4.11	4.21	4.30	4.37	4.46	4.54	4.62	4.70	4.77	4.85	4.92	5.00	5.07	5.14	5.21	5.28	5.34	5.40	5.47	5.54
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	6.41	6.80	7.18	7.56	7.95	8.33	8.71	9.09	9.48	9.86	10.24	10.62	11.01	11.39	11.77	12.15	12.54	12.92	13.30	13.69	14.07	14.45	14.83
F	8.66	8.97	9.29	9.60	9.93	10.23	10.55	10.87	11.19	11.51	11.82	12.13	12.47	12.78	13.11	13.42	13.76	14.08	14.41	14.73	15.06	15.38	15.71
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
h_4	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	3.73	4.14	4.14	4.14	4.14
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	19.00	19.00	19.00	19.50	19.50	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.50	20.50	21.00	21.00	21.00	21.00	21.50	21.50	21.50	22.00	22.00	22.00	22.00
L_4	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	10.00	10.00	10.00	10.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.45	0.52	0.58	0.65	0.71	0.79	0.44	0.50	0.57	0.63	0.70	0.77	0.41	0.48	0.53	0.60	0.65	0.71	0.76	0.42	0.47	0.53	0.58
d_2	5.60	5.66	5.72	5.78	5.84	5.91	5.96	6.02	6.08	6.14	6.20	6.26	6.31	6.37	6.42	6.48	6.53	6.58	6.63	6.69	6.74	6.79	6.84
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	15.22	15.60	15.98	16.36	16.75	17.13	17.51	17.89	18.28	18.66	19.04	19.42	19.81	20.19	20.57	20.95	21.34	21.72	22.10	22.49	22.87	23.25	23.63

Q = 38 cfs — Diameter of pipe = 42 inches — V_p = 3.95 fps — hv_p = 0.24 foot — Inlet R = 4.75 feet

F	2.53	2.84	3.14	3.44	3.76	4.06	4.36	4.67	4.97	5.31	5.63	5.94	6.26	6.58	6.90	7.22	7.54	7.87	8.19	8.53	8.85	9.18	9.50
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
h_4	0.39	0.39	0.39	0.39	0.53	0.53	0.53	0.53	0.94	0.94	0.94	0.94	1.07	1.07	1.07	1.07	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34	1.61	1.61
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00	14.50	14.50	14.50	14.50	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
L_4	3.00	3.00	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.50	3.50	3.50	3.50	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00
S_3	7°-30'							7°-30'	15°														15°
Submergence	0.47	0.55	0.63	0.71	0.65	0.72	0.80	0.87	0.43	0.50	0.56	0.63	0.58	0.64	0.70	0.76	0.56	0.61	0.67	0.72	0.78	0.56	0.62
d_2	3.76	3.84	3.91	3.98	4.05	4.12	4.19	4.25	4.31	4.37	4.43	4.49	4.55	4.61	4.66	4.72	4.78	4.83	4.88	4.93	4.98	5.03	5.08
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	6.91	7.30	7.68	8.06	8.45	8.83	9.21	9.59	9.98	10.36	10.74	11.12	11.51	11.89	12.27	12.65	13.04	13.42	13.80	14.19	14.57	14.95	15.33
F	9.84	10.16	10.50	10.82	11.16	11.48	11.82	12.16	12.49	12.83	13.16	13.49	13.83	14.16	14.49	14.83	15.18	15.51	15.85	16.19	16.53	16.87	17.20
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
h_4	1.61	1.61	1.61	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.69	2.69
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50
L_4	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	6.50	6.50
S_3	15°								15°	22°-30'													22°-30'
Submergence	0.67	0.73	0.77	0.56	0.61	0.67	0.71	0.76	0.81	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.54	0.58	0.62	0.67	0.71	0.76	0.80	0.43	0.48
d_2	5.13	5.18	5.22	5.27	5.32	5.37	5.41	5.45	5.50	5.54	5.58	5.63	5.67	5.72	5.76	5.80	5.84	5.88	5.92	5.96	6.00	6.04	6.08
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	15.72	16.10	16.48	16.86	17.25	17.63	18.01	18.39	18.78	19.16	19.54	19.92	20.31	20.69	21.07	21.45	21.84	22.22	22.60	22.99	23.37	23.75	24.13

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$

$d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$

Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ – diameter of pipe – hv

Table 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet Control and Pipe Inlet
All values are in feet unless otherwise noted

Q = 40 cfs Diameter of pipe = 42 inches V_p = 4.16 fps hv_p = 0.27 foot Inlet R = 4.75 feet

F	2.41	2.71	3.00	3.30	3.62	3.92	4.22	4.52	4.84	5.15	5.45	5.77	6.09	6.41	6.73	7.04	7.37	7.69	8.01	8.33	8.66	8.98	9.31
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
h_4	0.53	0.53	0.66	0.66	0.66	0.66	0.94	0.94	0.94	0.94	1.07	1.07	1.07	1.07	1.34	1.34	1.34	1.34	1.61	1.61	1.61	1.61	1.61
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	14.50	14.50	14.50	14.50	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
L_4	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	3.50	3.50	3.50	3.50	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
S_3	7°-30'					7°-30'	15°																15°
Submergence	0.45	0.53	0.49	0.57	0.65	0.72	0.44	0.52	0.59	0.66	0.62	0.68	0.75	0.81	0.60	0.67	0.73	0.79	0.58	0.65	0.70	0.76	0.81
d_2	3.85	3.93	4.01	4.08	4.15	4.22	4.29	4.36	4.43	4.49	4.56	4.62	4.68	4.74	4.79	4.85	4.91	4.96	5.02	5.08	5.13	5.18	5.23
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	6.91	7.30	7.68	8.06	8.45	8.83	9.21	9.59	9.98	10.36	10.74	11.12	11.51	11.89	12.27	12.65	13.04	13.42	13.80	14.19	14.57	14.95	15.33
F	9.64	9.97	10.29	10.62	10.95	11.29	11.61	11.94	12.27	12.61	12.93	13.27	13.62	13.94	14.28	14.60	14.95	15.27	15.61	15.96	16.29	16.62	16.95
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10
h_4	1.86	1.86	1.86	1.86	1.86	2.07	2.07	2.07	2.07	2.07	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.28	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.90
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	17.50	17.50	17.50	17.50	17.50	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	19.00
L_4	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	7.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.46	0.51	0.57	0.62	0.68	0.51	0.57	0.62	0.68	0.72	0.57	0.61	0.65	0.71	0.75	0.81	0.44	0.50	0.54	0.59	0.63	0.68	0.53
d_2	5.28	5.33	5.38	5.43	5.48	5.52	5.57	5.62	5.67	5.71	5.76	5.80	5.84	5.89	5.93	5.98	6.02	6.07	6.11	6.15	6.19	6.24	6.28
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	15.72	16.10	16.48	16.86	17.25	17.63	18.01	18.39	18.78	19.16	19.54	19.92	20.31	20.69	21.07	21.45	21.84	22.22	22.60	22.99	23.37	23.75	24.13

Q = 43 cfs Diameter of pipe = 42 inches V_p = 4.47 fps hv_p = 0.31 foot Inlet R = 4.75 feet

F	2.24	2.55	2.84	3.13	3.43	3.72	4.03	4.32	4.64	4.95	5.25	5.55	5.88	6.18	6.49	6.81	7.13	7.43	7.75	8.07	8.40	8.71	9.04
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
h_4	0.66	0.66	0.66	0.66	0.94	0.94	0.94	1.07	1.07	1.07	1.07	1.34	1.34	1.34	1.34	1.66	1.66	1.66	1.66	1.86	1.86	1.86	1.86
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	11.00	12.00	12.00	12.00	14.50	14.50	14.50	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.50	17.50	17.50	17.50
L_4	5.00	5.00	5.00	5.00	3.50	3.50	3.50	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	4.50
S_3	7°-30'			7°-30'	15°										15°	22°-30'							22°-30'
Submergence	0.48	0.56	0.65	0.74	0.47	0.56	0.63	0.60	0.67	0.74	0.82	0.63	0.69	0.77	0.84	0.42	0.49	0.57	0.63	0.50	0.55	0.62	0.67
d_2	3.96	4.04	4.12	4.20	4.28	4.36	4.43	4.51	4.57	4.64	4.71	4.78	4.84	4.91	4.97	5.03	5.09	5.16	5.22	5.28	5.33	5.39	5.44
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	6.91	7.30	7.68	8.06	8.45	8.83	9.21	9.59	9.98	10.36	10.74	11.12	11.51	11.89	12.27	12.65	13.04	13.42	13.80	14.19	14.57	14.95	15.33
F	9.36	9.68	10.01	10.32	10.65	10.97	11.30	11.62	11.96	12.28	12.61	12.93	13.27	13.60	13.93	14.25	14.60	14.92	15.26	15.60	15.93	16.26	16.58
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
h_4	1.86	2.07	2.07	2.07	2.07	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.31	3.31
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	17.50	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
L_4	4.50	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50	6.50	6.50	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.74	0.59	0.64	0.71	0.77	0.41	0.46	0.52	0.57	0.63	0.48	0.54	0.59	0.64	0.69	0.55	0.59	0.65	0.69	0.74	0.79	0.43	0.49
d_2	5.50	5.55	5.60	5.66	5.72	5.77	5.82	5.87	5.92	5.97	6.02	6.07	6.12	6.16	6.21	6.26	6.30	6.35	6.39	6.44	6.48	6.53	6.58
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	15.72	16.10	16.48	16.86	17.25	17.63	18.01	18.39	18.78	19.16	19.54	19.92	20.31	20.69	21.07	21.45	21.84	22.22	22.60	22.99	23.37	23.75	24.13

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$ $d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$ Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ – diameter of pipe – hv

Table 2-1 type I pipe drop with concrete outlet transition (to be used with fig. 2-14)

PIPE DROP WITH MITER BENDS
Concrete Outlet Transition

Check and Pipe Inlet Control and Pipe Inlet
All values are in feet unless otherwise noted

Q = 46 cfs Diameter of pipe = 42 inches V_p = 4.78 fps hv_p = 0.36 foot Inlet R = 4.75 feet

F	2.08	2.38	2.66	2.95	3.24	3.52	3.81	4.12	4.43	4.73	5.02	5.33	5.64	5.94	6.26	6.56	6.87	7.19	7.50	7.81	8.13	8.44	8.76
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09
h_4	0.79	0.79	0.79	0.92	0.92	0.92	1.34	1.34	1.34	1.47	1.47	1.47	1.74	1.74	1.74	1.74	2.01	2.01	2.01	2.01	2.28	2.28	2.28
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	14.00	14.00	14.00	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	14.50	17.50	17.50	17.50
L_4	6.00	6.00	6.00	7.00	7.00	7.00	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50	6.50	6.50	6.50	6.50	7.50	7.50	7.50	7.50	5.50	5.50	5.50
S_3	7°-30'					7°-30'	15°													15°	22°-30'		22°-30'
Submergence	0.51	0.61	0.70	0.66	0.76	0.86	0.45	0.53	0.60	0.55	0.64	0.71	0.52	0.60	0.66	0.74	0.55	0.61	0.68	0.76	0.40	0.47	0.54
d_2	4.06	4.15	4.24	4.32	4.41	4.50	4.58	4.65	4.72	4.79	4.87	4.94	5.01	5.08	5.14	5.21	5.28	5.34	5.40	5.47	5.53	5.59	5.65
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	6.91	7.30	7.68	8.06	8.45	8.83	9.21	9.59	9.98	10.36	10.74	11.12	11.51	11.89	12.27	12.65	13.04	13.42	13.80	14.19	14.57	14.95	15.33
F	9.09	9.40	9.72	10.03	10.36	10.67	11.00	11.32	11.64	11.97	12.29	12.61	12.94	13.27	13.59	13.92	14.25	14.58	14.90	15.24	15.57	15.90	16.22
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
h_4	2.28	2.49	2.49	2.49	2.49	2.49	2.69	2.69	2.69	2.69	2.90	2.90	2.90	2.90	2.90	3.31	3.31	3.31	3.31	3.31	3.52	3.52	3.52
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	17.50	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.50	18.50	18.50	18.50	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.50	19.50	19.50
L_4	5.50	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50	6.50	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.50	8.50	8.50
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.60	0.45	0.51	0.58	0.64	0.71	0.57	0.62	0.69	0.74	0.60	0.66	0.72	0.77	0.83	0.47	0.53	0.58	0.64	0.69	0.53	0.58	0.64
d_2	5.71	5.76	5.82	5.88	5.94	6.00	6.05	6.10	6.16	6.21	6.26	6.32	6.37	6.42	6.47	6.52	6.57	6.62	6.67	6.72	6.76	6.81	6.86
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	15.72	16.10	16.48	16.86	17.25	17.63	18.01	18.39	18.78	19.16	19.54	19.92	20.31	20.69	21.07	21.45	21.84	22.22	22.60	22.99	23.37	23.75	24.13

Q = 49 cfs Diameter of pipe = 42 inches V_p = 5.09 fps hv_p = 0.40 foot Inlet R = 4.75 feet

F	1.93	2.23	2.50	2.78	3.07	3.35	3.64	3.93	4.22	4.53	4.82	5.12	5.42	5.73	6.03	6.32	6.63	6.95	7.25	7.56	7.88	8.18	8.50
h_2	2.10	2.49	2.87	3.25	3.64	4.02	4.40	4.78	5.17	5.55	5.93	6.31	6.70	7.08	7.46	7.84	8.23	8.61	8.99	9.38	9.76	10.14	10.52
h_3	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
h_4	0.94	0.94	1.07	1.07	1.21	1.21	1.21	1.45	1.45	1.45	1.66	1.66	1.66	1.66	2.07	2.07	2.07	2.28	2.28	2.28	2.28	2.49	2.49
L_2	5.10	6.00	7.00	7.90	8.80	9.70	10.60	11.60	12.50	13.40	14.30	15.20	16.20	17.10	18.00	19.00	19.90	20.80	21.70	22.60	23.60	24.50	25.40
L_3	13.50	13.50	14.00	14.00	14.50	14.50	14.50	16.50	16.50	16.50	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.00	17.50	17.50	17.50	17.50	18.00	18.00
L_4	3.50	3.50	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	3.50	3.50	3.50	4.00	4.00	4.00	4.00	5.00	5.00	5.00	5.50	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00
S_3	15°						15°	22°-30'															22°-30'
Submergence	0.43	0.53	0.51	0.60	0.56	0.66	0.75	0.44	0.54	0.61	0.50	0.58	0.67	0.74	0.41	0.50	0.58	0.43	0.51	0.59	0.65	0.52	0.59
d_2	4.16	4.25	4.35	4.44	4.53	4.62	4.70	4.78	4.87	4.94	5.02	5.09	5.17	5.24	5.31	5.39	5.46	5.52	5.59	5.66	5.72	5.79	5.85
L_x	5.50	6.50	7.50	8.50	9.50	10.50	11.50	12.50	13.50	14.50	15.50	16.50	17.50	18.50	19.50	20.50	21.50	22.50	23.50	24.50	25.50	26.50	27.50
$d_1 + hv_1$	6.91	7.30	7.68	8.06	8.45	8.83	9.21	9.59	9.98	10.36	10.74	11.12	11.51	11.89	12.27	12.65	13.04	13.42	13.80	14.19	14.57	14.95	15.33
F	8.81	9.12	9.44	9.75	10.07	10.39	10.70	11.02	11.34	11.65	11.97	12.29	12.62	12.94	13.27	13.59	13.92	14.24	14.57	14.89	15.23	15.55	15.88
h_2	10.91	11.29	11.67	12.05	12.44	12.82	13.20	13.58	13.97	14.35	14.73	15.11	15.50	15.88	16.26	16.64	17.03	17.41	17.79	18.18	18.56	18.94	19.32
h_3	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
h_4	2.49	2.49	2.69	2.69	2.69	2.69	2.90	2.90	2.90	2.90	3.31	3.31	3.31	3.31	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.52	3.93	3.93	3.93
L_2	26.30	27.30	28.20	29.10	30.00	31.00	31.90	32.80	33.70	34.70	35.60	36.50	37.40	38.40	39.30	40.20	41.10	42.00	43.00	43.90	44.80	45.70	46.70
L_3	18.00	18.00	18.50	18.50	18.50	18.50	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50	19.50
L_4	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50	6.50	7.00	7.00	7.00	7.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	9.50	9.50	9.50
S_3	22°-30'																						22°-30'
Submergence	0.66	0.73	0.59	0.66	0.73	0.79	0.66	0.72	0.79	0.86	0.51	0.57	0.63	0.69	0.74	0.59	0.65	0.71	0.76	0.83	0.46	0.52	0.57
d_2	5.92	5.98	6.04	6.10	6.16	6.22	6.28	6.34	6.40	6.46	6.52	6.57	6.63	6.68	6.73	6.78	6.84	6.89	6.94	7.00	7.04	7.09	7.14
L_x	28.50	29.50	30.50	31.50	32.50	33.50	34.50	35.50	36.50	37.50	38.50	39.50	40.50	41.50	42.50	43.50	44.50	45.50	46.50	47.50	48.50	49.50	50.50
$d_1 + hv_1$	15.72	16.10	16.48	16.86	17.25	17.63	18.01	18.39	18.78	19.16	19.54	19.92	20.31	20.69	21.07	21.45	21.84	22.22	22.60	22.99	23.37	23.75	24.13

$F = (d_1 + hv_1) - (1.1d_2 + hv_p)$

$d_1 + hv_1 = R + h_2 + 0.06$

Submergence = $1.1d_2 + hv_p + h_3 - h_4$ – diameter of pipe – hv

2.3.3 วิธีการใช้งาน อาคารอัดน้ำลดระดับ ใช้กับคลองที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับไม่มากนัก จุดที่ตั้งที่เหมาะสมจะใช้การพิจารณาเช่นเดียวกับการพิจารณาที่ตั้งของอาคารอัดน้ำนั่นเอง

ได้มีการพัฒนาปรับปรุงอาคารอัดน้ำลดระดับมาตรฐาน จนสามารถลดระดับได้ถึง 3 ฟุต แบบมาตรฐานอาคารอัดน้ำลดระดับ ดูได้จากรูป 2-11, 2-12 และ 2-13 การคำนวณระยะและระดับต่าง ๆ จะได้จากแบบมาตรฐานเหล่านี้

2.3.4 ตัวอย่างการคำนวณ วิธีการคำนวณเหมือนกับการคำนวณอาคารอัดน้ำธรรมดา

2.4 อาคารผันน้ำ (TURNOUT)

อาคารผันน้ำขนาดเล็กส่วนมากไม่ต้องมีการป้องกันที่ INLET หากขนาดอาคารผันน้ำไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำในคลอง ควรใช้การป้องกันที่ INLET เช่นเดียวกับท่อลอดคลองส่งน้ำ

การป้องกันที่ OUTLET ของอาคารผันน้ำใช้การป้องกันเช่นเดียวกับท่อลอดคลองส่งน้ำ โดยใช้พื้นฐานของความลึกในทางน้ำย่อยที่ส่วนต่อกับอาคาร

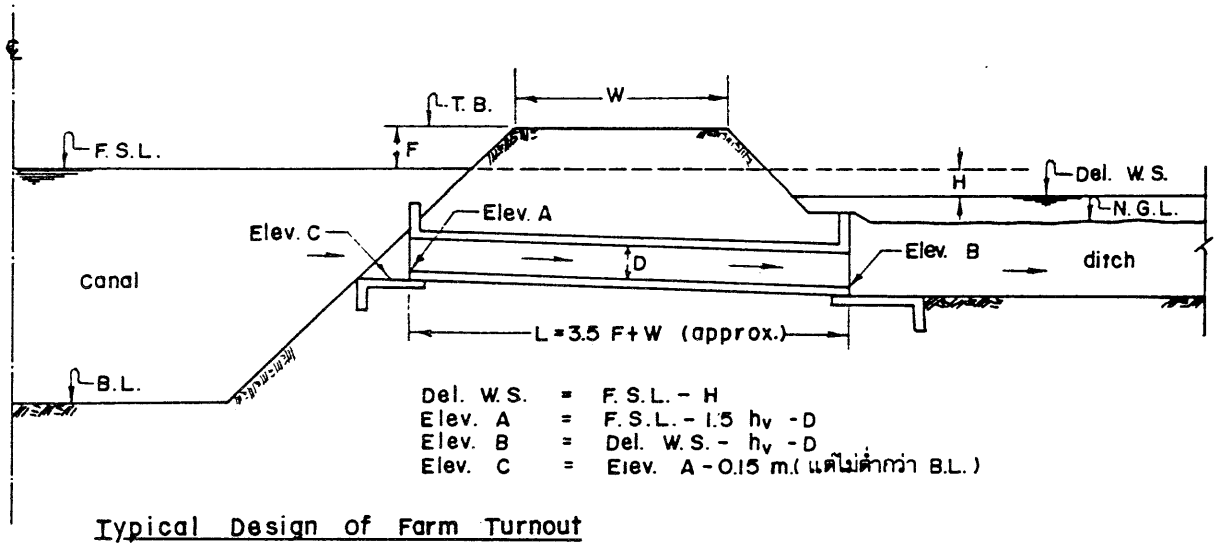
2.4.1 ท่อส่งน้ำเข้านา (farm turnouts)

ตามสองข้างคลองซอยและคลองแยกซอยซึ่งรับน้ำมาส่งให้พื้นที่เพาะปลูกนั้นมีท่อส่งน้ำเข้านาฝังลอดใต้คันคลองเพื่อปล่อยน้ำจากคลองซอยหรือคลองแยกซอยเข้าคูนา (farm ditches) หรือเข้าสู่พื้นที่เพาะปลูกโดยตรง ท่อเหล่านี้จะฝังไว้เป็นระยะ ๆ ไม่ห่างกันมากนักเพื่อให้พื้นที่เพาะปลูกได้รับน้ำโดยทั่วถึงกันตามปกติ แฉกรับน้ำแฉกหนึ่งจะมีท่อส่งน้ำหนึ่งท่อ เกษตรกรที่ไม่รู้จักวิธีใช้น้ำอย่างถูกต้องมักจะปล่อยให้น้ำไหลออกจากท่อส่งน้ำเข้านาบ่าท่วมไปบนพื้นดินตามธรรมชาติ วิธีนี้จะสูญเสียน้ำมากเพราะน้ำจะไหลหนีไปสู่ร่องหรือที่ต่ำเสียมาก ทำให้พื้นที่เพาะปลูกได้รับน้ำไม่สม่ำเสมอกัน แต่เกษตรกรที่เข้าใจวิธีใช้น้ำและรู้จักคุณค่าของน้ำจะขุดคูน้ำหรือคูนา (farm ditches) หรือเหมืองไส้ไก่ (เหมืองขนาดเล็ก) จากท่อส่งน้ำเข้านาไปสู่พื้นที่เพาะปลูก การทำเช่นนี้จะสามารถควบคุมการใช้น้ำได้เต็มที่ ท่อส่งน้ำเข้านาทุกแห่งมีฝาท่อหรือบานประตูติดไว้ และมีเครื่องมือวัดน้ำติดไว้ด้วย ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อส่งน้ำเข้านาจะแสดงถึงปริมาณน้ำที่ได้ใช้ไปจริง ซึ่งเป็นสถิติสำคัญสำหรับใช้ประกอบการคำนวณชลภาระ

โดยทั่วไปท่อส่งน้ำเข้านาเป็นท่อคอนกรีตกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.20-0.50 เมตร แต่ท่อขนาด 0.30 เมตร และ 0.40 เมตร นิยมใช้กันมากที่สุด ส่วนความยาวของท่อนั้นแล้วแต่ความกว้างของหลังคันคลองส่งน้ำที่จะฝังท่อลอดไปและความลึกที่ฝังท่อ

Farm Turnout Istallation Data

ช่องที่ 1 Canal	คือชื่อคลองส่งน้ำที่ฝังท่อส่งน้ำเข้านา
ช่องที่ 2 KM.	คือระยะ กม. ตามคลองส่งน้ำตรงจุดที่ฝังท่อส่งน้ำเข้านา
ช่องที่ 3 Chak No.	คือเลขที่ของแฉกส่งน้ำเข้านาซึ่งท่อส่งน้ำเข้านานั้นจะส่งน้ำให้
ช่องที่ 4 Lt. or Rt.	คือแฉกส่งน้ำเข้านานั้นอยู่ทางฝั่งซ้ายหรือฝั่งขวาของคลองส่งน้ำ



Typical Design of Farm Turnout

Farm Turnout Installation Data

Canal	K M.	Farm Data				Canal Data					Turnout Data							Re-marks
		chak No.	Lt. or Rt.	a	Del. N.G.L.	F.S.L. Elev.	N.G.L. Elev.	B.L. Elev.	F	W	L = Length	D = Dia.	H = Losses	Del. W.S.	Elev. A	Elev. B	Elev C	

ช่องที่ 5 Q คือปริมาณน้ำประจำแฉกส่งน้ำนั้นหรือปริมาณน้ำที่จะส่งผ่านท่อส่งน้ำเข้านานั้น เป็น ม.^{3}/วินาที

ช่องที่ 6 Del.N.G.L. คือระดับพื้นดินตามธรรมชาติซึ่งสูงที่สุดของเนื้อที่ชลประทานของแฉกนั้น หรือระดับพื้นดินตามธรรมชาติที่สูงที่สุดในแฉกนั้น ซึ่งคิดว่าจะส่งน้ำถึงได้

ช่องที่ 7 F.S.L. Elev. คือระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองส่งน้ำตรงหน้าท่อส่งน้ำเข้านาที่ฝัง

ช่องที่ 8 N.G.L. Elev. คือระดับน้ำพื้นดินตามธรรมชาติตรงที่ฝังท่อส่งน้ำเข้านา

ช่องที่ 9 B.L. Elev. คือระดับท้องคลองส่งน้ำตรงหน้าท่อส่งน้ำเข้านาที่ฝัง

ช่องที่ 10 F คือ freeboard ของคลองส่งน้ำตรงท่อส่งน้ำเข้านาที่ฝังเป็นเมตร

ช่องที่ 11 W คือความกว้างของหลังคันคลองที่ท่อส่งน้ำเข้านานั้นฝังลอดใต้ เป็นเมตร

ช่องที่ 12 L คือความยาวของท่อส่งน้ำเข้านาที่ฝัง เป็นเมตร

ช่องที่ 13 D คือเส้นผ่าศูนย์กลาง (ภายใน) ของท่อส่งน้ำเข้านาที่ฝัง เป็นเมตร

ช่องที่ 14 H คือความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือและท้ายท่อส่งน้ำเข้านาที่ฝัง เป็นเมตร

ช่องที่ 15 Del. W.S. คือระดับน้ำด้านท้ายท่อส่งน้ำเข้านาที่ฝัง

= F.S.L.-H

ช่องที่ 16 Elev. A คือระดับปากท่อด้านล่าง

= F.S.L. - 1.5 h_v - D

(h_v = velocity head)

ช่องที่ 17 Elev. B คือระดับปลายท่อด้านล่าง

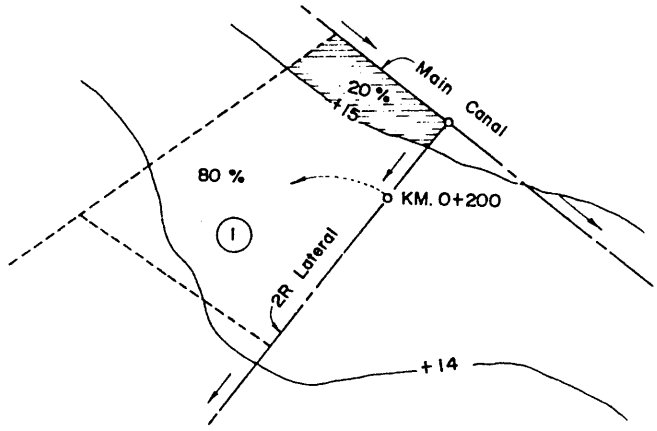
= Del. W.S. - h_v - D

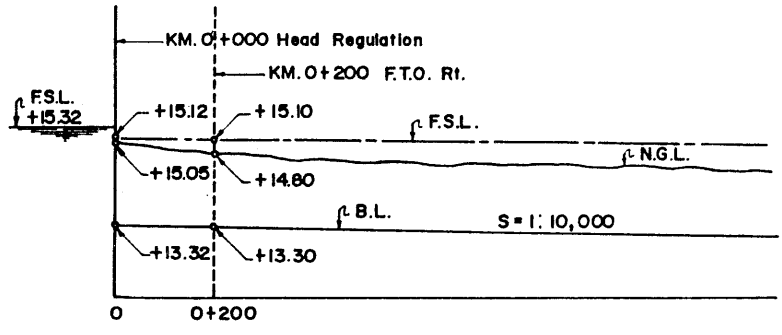
ช่องที่ 18 Elev. C คือระดับชานหน้าท่อ

= Elev. A - 0.15 ม. (แต่ไม่ต่ำกว่า B.L.)

ช่องที่ 19 Remarks คือช่องหมายเหตุ

2.4.2 ตัวอย่างการคำนวณ





Profile of the 2R Lateral

วิธีทำ

ถ้าเนื้อที่ทั้งหมด (100%) ของแฉกส่งน้ำ (1) ขวาช่องคลองซอย 2R = 1,000 ไร่

เนื้อที่ชลประทานคิดเพียง 80%ของเนื้อที่ทั้งหมด = 800 ไร่

ชลภาระ = 0.00016 ม.^{3}/วินาที/ไร่

เพราะฉะนั้น Q ประจำแฉก (1) ขวา = 0.00016x800 = 0.128 ม.^{3}/วินาที

Del. N.G.L. = +15.00

b = 4.00 เมตร

d = 1.80 เมตร

F.S.L. ในคลองตรงที่ฝังท่อส่งน้ำเข้านา +15.100

N.G.L. ตรงที่ฝังท่อส่งน้ำเข้านา +14.800

B.L. ตรงที่ฝังท่อส่งน้ำเข้านา +13.300

$F = 0.20+0.20\ d$

$= 0.20+0.20\ (1.80)$

= 0.56 เมตรใช้ 0.60เมตร

$W = \frac{1}{2} b$

$= \frac{1}{2} (4.00)$

= 2.00 เมตร

$L = 3.5\ F+W$

$= 3.5\ (0.60) + 2.00$

= 4.10 เมตร ใช้ 4.00 เมตร

ใช้ท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (ภายใน) 0.30 เมตร จาก chart สำหรับท่อ ∅ 0.30 เมตร ยาว 4.00 เมตร และ Q = 0.128 ม.^{3}/วินาที นั้นจะเกิด H = 0.10 เมตร

Del. W.S. = F.S.L.-H

= 15.100-0.10

= +15.000

และจาก chart สำหรับ Q = 0.128 ม.^{3}/วินาที ท่อ ∅ 0.30 เมตร จะได้ h_v = 0.06 เมตร

Elev. A = F.S.L.-1.5. h_v-D

= 15.000-1.5 (0.06) -0.30

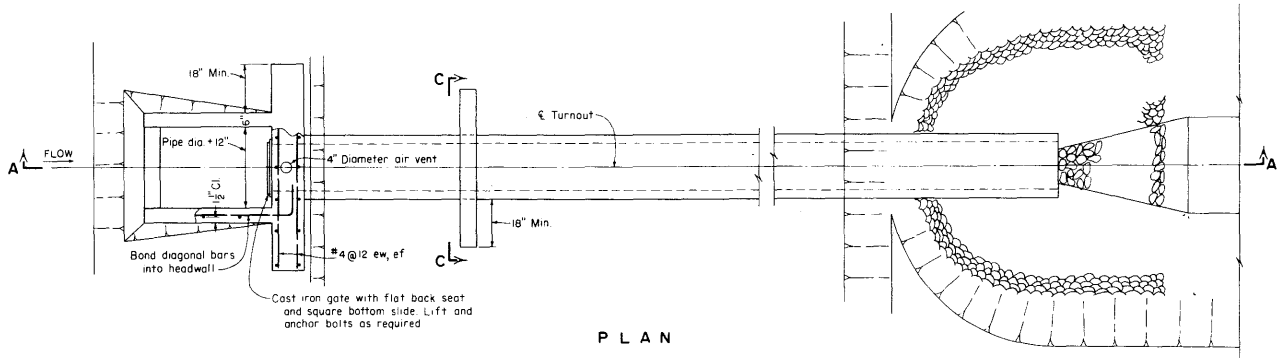
= 15.000-0.09-0.30

= +14.710

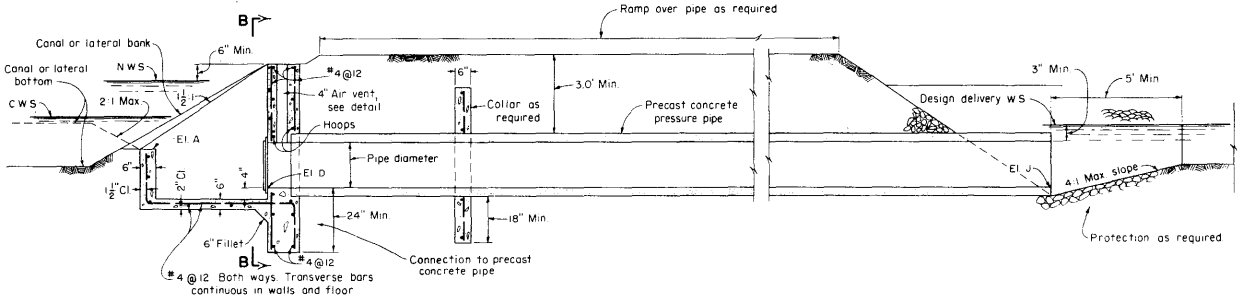
Elev. B = Del. W.S. - h_v-D

= 15.000-0.06-0.30

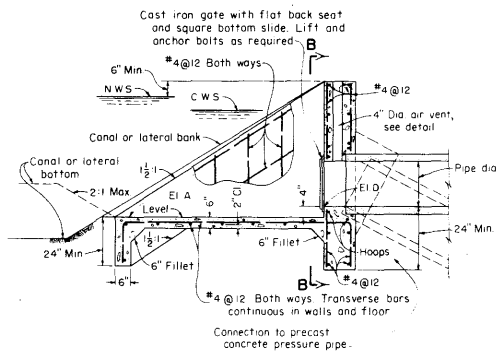
= +14.640

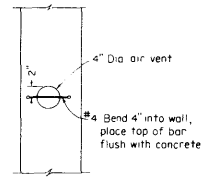


PLAN

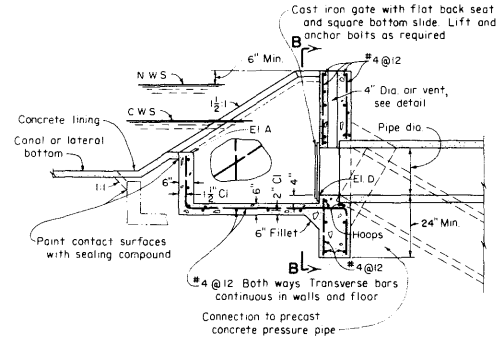


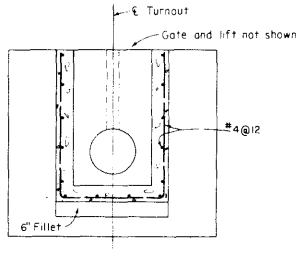
SECTION A-A





AIR VENT DETAIL



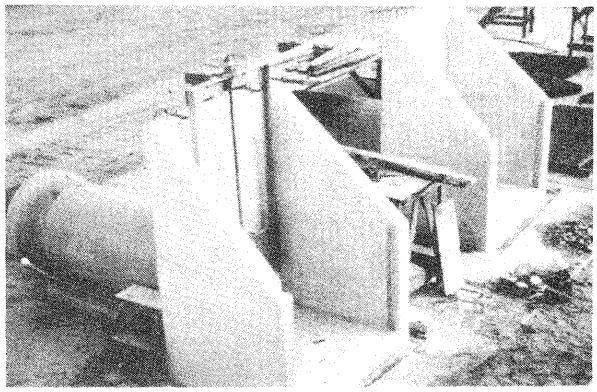


SECTION B-B

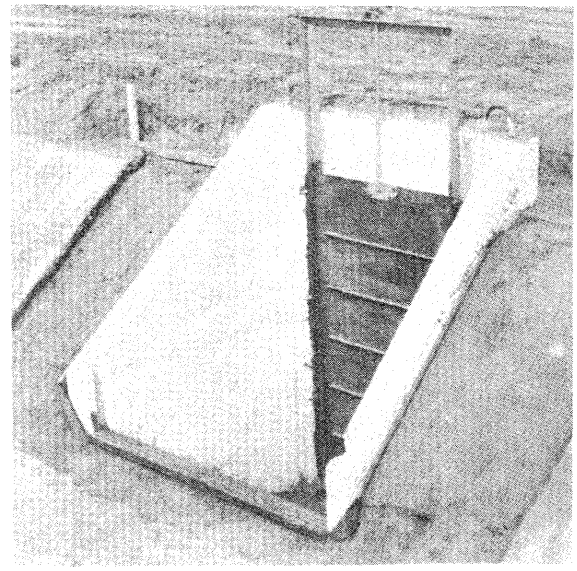
NOTES

C.I. Turnout gate shall be same diameter as pipe except where pipe diameter is not a standard gate diameter, the next larger standard diameter gate shall be used. Gate frame height measured above ℄ of gate opening.

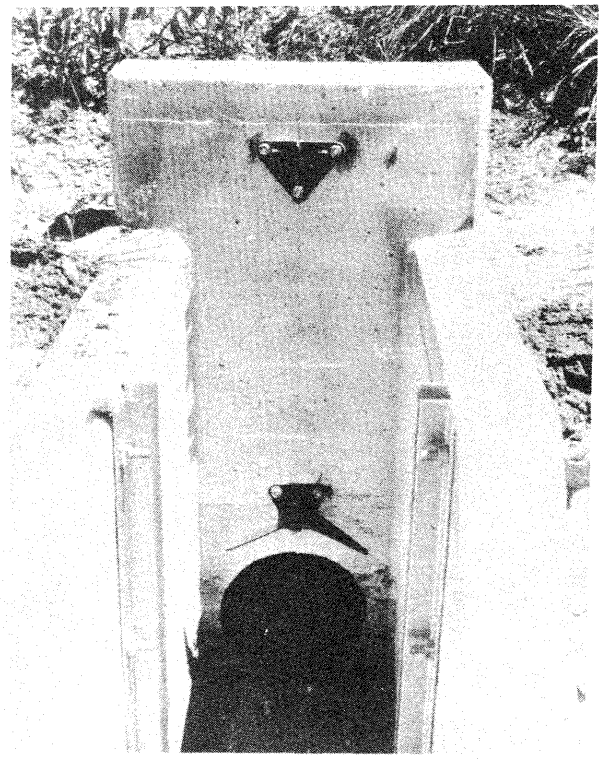
รูปที่2-15 Turnout.



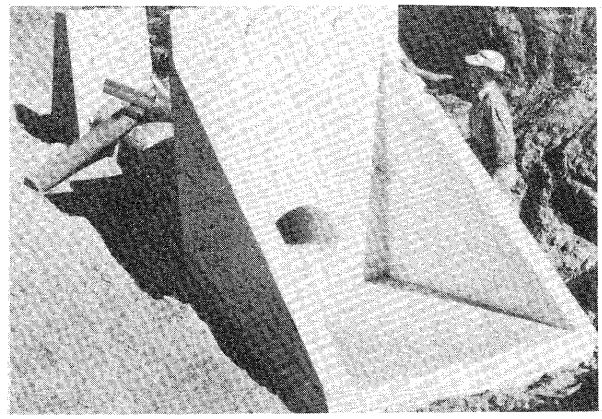
รูปที่ 2-16 Precast concrete turnout inlets.



รูปที่ 2-17 Precast turnout inlet in place in canal bank. Note concrete lining blocked out around structure.



รูปที่ 2-18 Farm turnout outlet. Brackets on headwall hold open-flow meter. Angles in foreground hold stoplogs to force conduit to flow full.



รูปที่2-19 Completed turnout structure ready for backfilling.



รูปที่2-20 Flow through turnout being measured with an open-flow meter. Discharge is 1.7 cfs.

Elev. C = Elev. A - 0.15

= 14.710 - 0.15

= +14.560 (สูงกว่า B.L + 13.300)

Farm Data, Canal Data, และ Turnout Data ที่คำนวณได้นี้จะต้องนำไปกรอกใน ตาราง *Farm Turnout Installation Data* ให้ครบทุกท่อส่งน้ำเข้านาของแต่ละคลอง

2.5 อาคารแบ่งน้ำ (Division Structure)

2.5.1 จุดประสงค์ อาคารแบ่งน้ำ ใช้ในการแบ่งน้ำจากท่อหรือช่องทางเปิด ซึ่งส่งน้ำออกไปตามท่อหรือช่องทางเปิด อาคารแบ่งน้ำอาจจะเป็นอาคารแบ่งหรือทางออกของไซฟอนน้ำตก (drops), อาคารชักน้ำ (turnouts) ตามที่ช่องการผันน้ำต่อไป ถ้าไม่ต้องการวัดการไหลที่จุดของการแบ่งน้ำ การไหลจะผ่านเข้าสู่อาคารตรงเข้าไปสู่ทางออกต่างๆ โดยมีประตูระบาย (gates) หรือแผ่นไม้อัดน้ำ (stoplogs) ถ้าต้องการวัดการไหล หรือมีหัวความดัน (Pressure Head) ที่ต้องการ ควรใช้ฝายวัดน้ำเพื่อแบ่งสัดส่วนของการไหล ฝายที่ใช้จะต้องเคลื่อนย้ายหรือปรับได้ โดยจะปรับในแนวดิ่งเพื่อควบคุมการไหล หรือวัดการไหลได้ ฝายเคลื่อนที่ได้จะใส่ลงในกรอบ ซึ่งสอดลงในร่องของอาคารแบ่งน้ำ และเคลื่อนย้ายจากอาคารหนึ่งไปสู่อีกอาคารหนึ่งได้ ฝายที่วัดการไหลได้ละเอียดให้ดูคำอธิบายในบทที่ 5 อัตราการไหลผ่านฝายหาได้จากตารางการไหลหรือคู่มือการไหลหัวความดัน (Pressure Head) ของฝายอ่านได้จากระดับน้ำของ staff gage ที่ติดตั้งอยู่ที่อาคาร

รูปที่ 2-21 และ 2-22 แสดงอาคารแบ่งน้ำใช้ฝายแบบปรับได้ เพื่อปรับสัดส่วนของการไหล รูป 2-23 แสดงอาคารซึ่งมีฝายติดดำเนินการอยู่ รูป 2-24 แสดงช่องซึ่งสามารถรับแผ่นไม้อัดน้ำ, ประตูระบายในกรอบหรือฝายเคลื่อนที่ได้

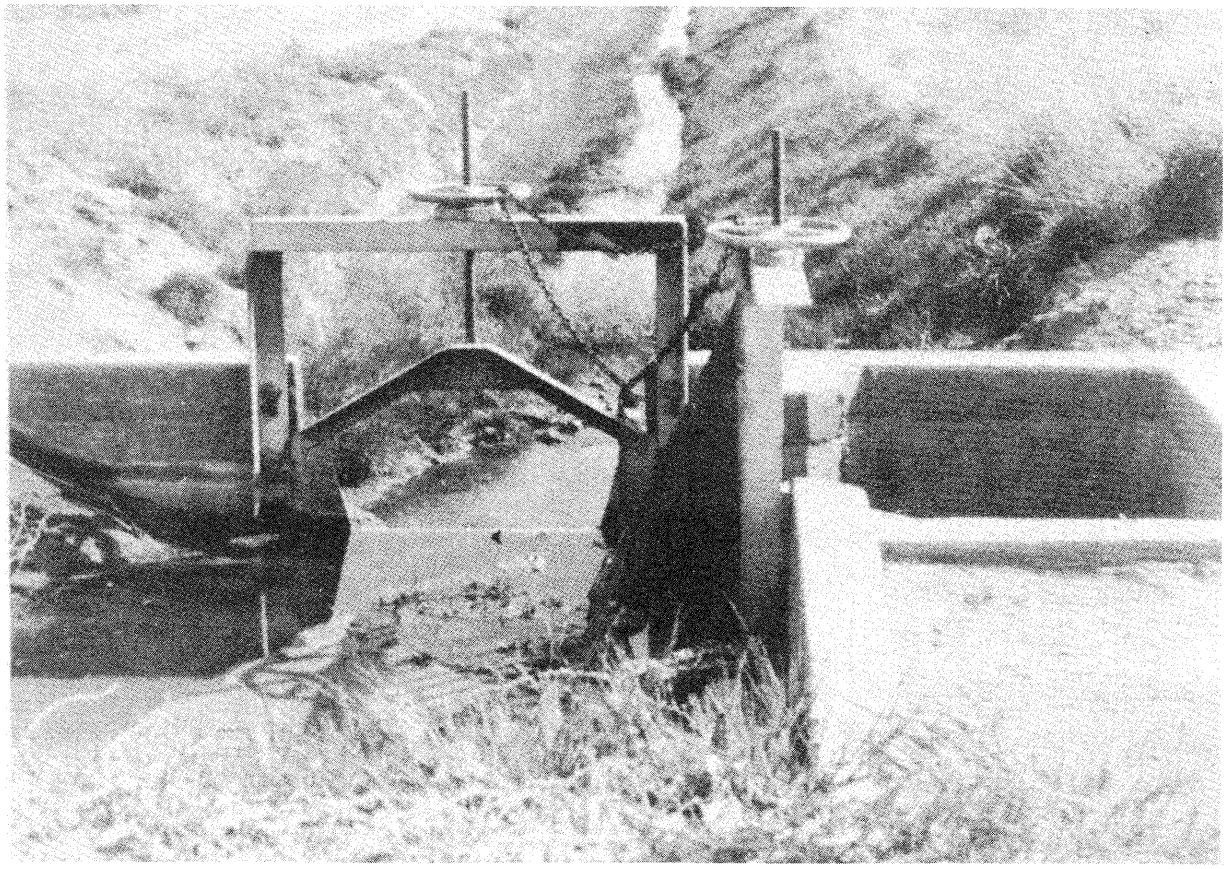
การผสมต่างแบบกันของการส่งน้ำและการรับน้ำ แสดงอยู่ในรูป 2-25 และ 2-26 ในกรณีที่การผสมต่างแบบกันเป็นที่ยอมรับ หรือเกิดปัญหาในปฏิบัติการ บ่อซึ่งอยู่หน้าอาคารคือการพยายามที่จะเพิ่มความละเอียดของการวัดน้ำด้วยฝาย

ในการพิจารณาทางการออกแบบ น้ำจะต้องส่งไปสู่อาคารแบ่งน้ำในระดับที่จะทำให้น้ำผ่านฝายได้ในปริมาณการไหลตามต้องการของระดับผิวน้ำที่ต้องการส่ง

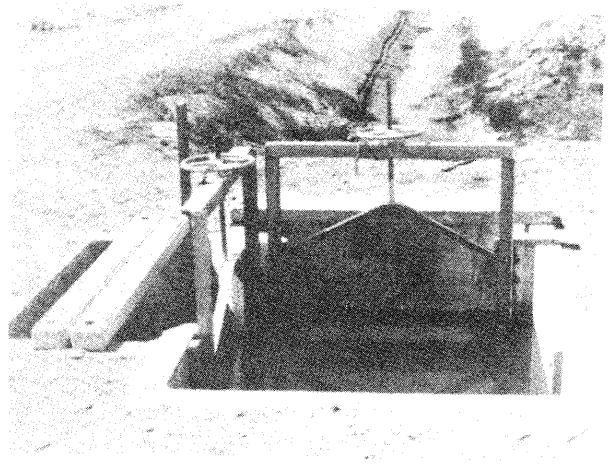
ถ้าเราส่งน้ำโดยท่อสู่อาคารแบ่งน้ำ ความเร็วของน้ำควรจะประมาณ 0.45 เมตร/วินาที เพื่อลดการปั่นป่วนเบื้องหน้าฝาย

2.6 ปากทางเข้าท่อชนิดอัดน้ำ (Check and pipe inlet)

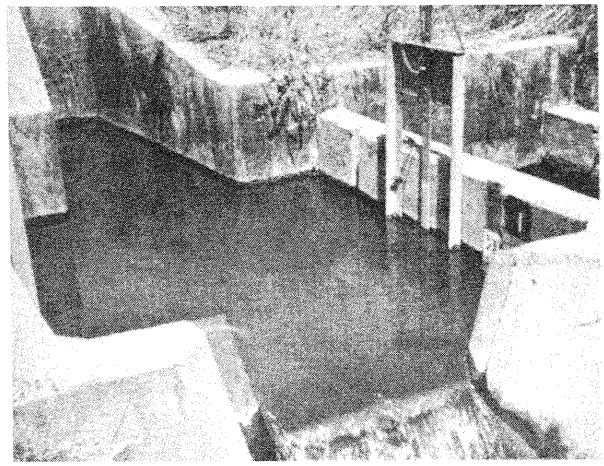
2.6.1 จุดประสงค์ อาคารอัดน้ำและท่อทางเข้าจะมีลักษณะเป็นแบบกล่อง ที่ด้านเหนือน้ำของท่อดูรูป 2-27 ทางเข้าสู่กล่องจะเปิด ซึ่งเราสามารถใส่ประตูระบายหรือแผ่นไม้อัดน้ำได้ มีแผ่นทางเดินคลุมอยู่บนกล่อง เป็นทางเดินสำหรับดำเนินงานเกี่ยวกับกล่องหรือไม้อัดน้ำ หรือประตูระบายได้



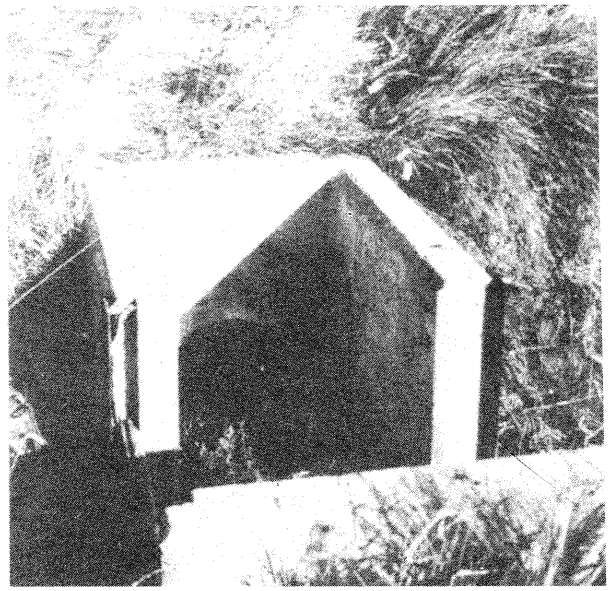
รูป 2-21 อาคารแบ่งน้ำใช้ฝายปรับได้ 2 ฟุต Q (ออกแบบ) 85 ลิตร/วินาที ที่ไหลผ่านฝาย



รูป 2-22 กล่องแบ่งน้ำตามท่อ มีฝายปรับได้ขนาด 0.90 ม. ที่ศูนย์กลางและด้านซ้าย



รูป 2-23 อาคารแบ่งน้ำซึ่งมีการไหลผ่านฝายสูง 0.45 เมตร รูปถ่ายด้านหน้า



รูป 2-24 อาคารแบ่งน้ำใช้เป็นทางออกไปสู่อาคารซักน้ำ

จุดประสงค์ของอาคารอัดน้ำและท่อทางเข้า ใช้ในการรักษาระดับผิวน้ำให้ได้ระดับที่ต้องการ เพื่อจะผันน้ำสู่อาคารชักน้ำที่อยู่ด้านเหนือน้ำ โดยการปิดประตูระบายหรือแผ่นไม้อัดน้ำเพียงบางส่วน ระดับผิวน้ำในคลองจะสามารถควบคุมได้ตามต้องการ กำแพงด้านข้างให้ป้องกันการไหลล้นคลองโดยฉุกเฉิน ในกรณีที่เราติดตั้งประตูระบาย หรือแผ่นไม้อัดน้ำสำหรับการไหลที่ต้องการในคลอง แล้วทางเข้าถูกขัดขวางหรือปิด อาคารนี้ยังสามารถทำหน้าที่เป็นจุดปิดในคลองได้เช่นกัน ในกรณีที่เราไม่ต้องการน้ำในคลอง หรือคลองเกิดการพังทลายเสียหาย เราสามารถปิดคลองในช่องหนึ่ง ๆ ได้

2.6.2 การใช้งาน ประตูอัดน้ำและท่อทางเข้า จะผสมและใช้ในตอนปลายด้านเหนือน้ำของอาคารที่มีลักษณะเป็นถนนตัดข้าม, กาลักน้ำ, ท่อน้ำตก และท่อรางเท โดยยังมีความสามารถอัดน้ำในคลองได้ตามต้องการ

2.6.3 การพิจารณาออกแบบ

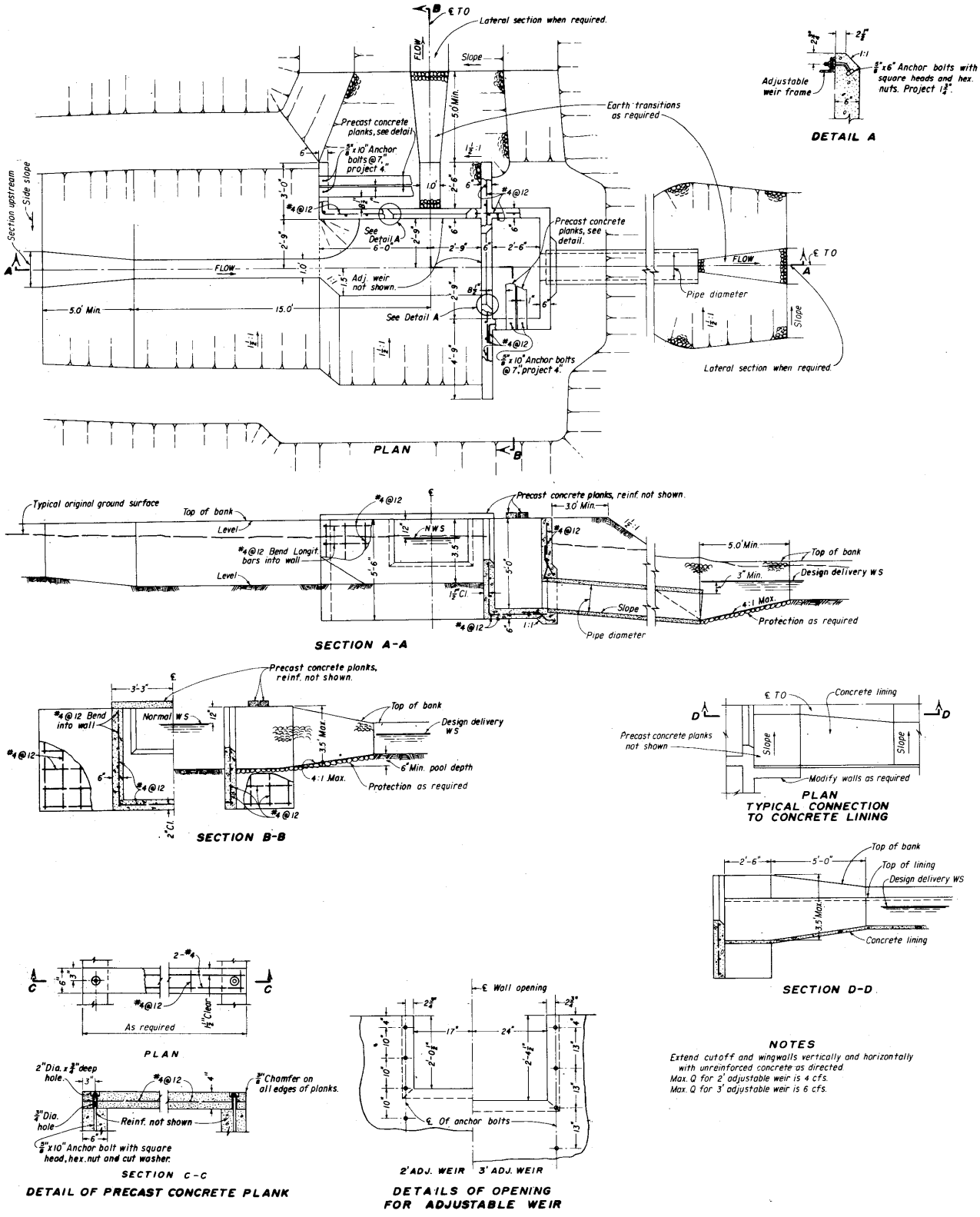
ก. ปากทางเข้าด้านเหนือน้ำ (Upstream transition) การเชื่อมต่อจากส่วนของคลอง จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของความเร็วน้ำจากคลองสู่อาคาร และทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในระดับ invert จากคลองสู่จุดเปิดในอาคาร ความลาดเอียง invert จะไม่ชันเกินกว่า 4 ต่อ 1

ข. การป้องกัน การป้องกันจะทำใกล้เคียงกับโครงสร้างอย่างกรณี เช่น การขุดดิน ซึ่งจะกัดเซาะพังทลายได้ การออกแบบเพื่อป้องกันการกัดเซาะของคลองดินขุด ให้ดูในเรื่องการป้องกันการกัดเซาะของคลองดิน

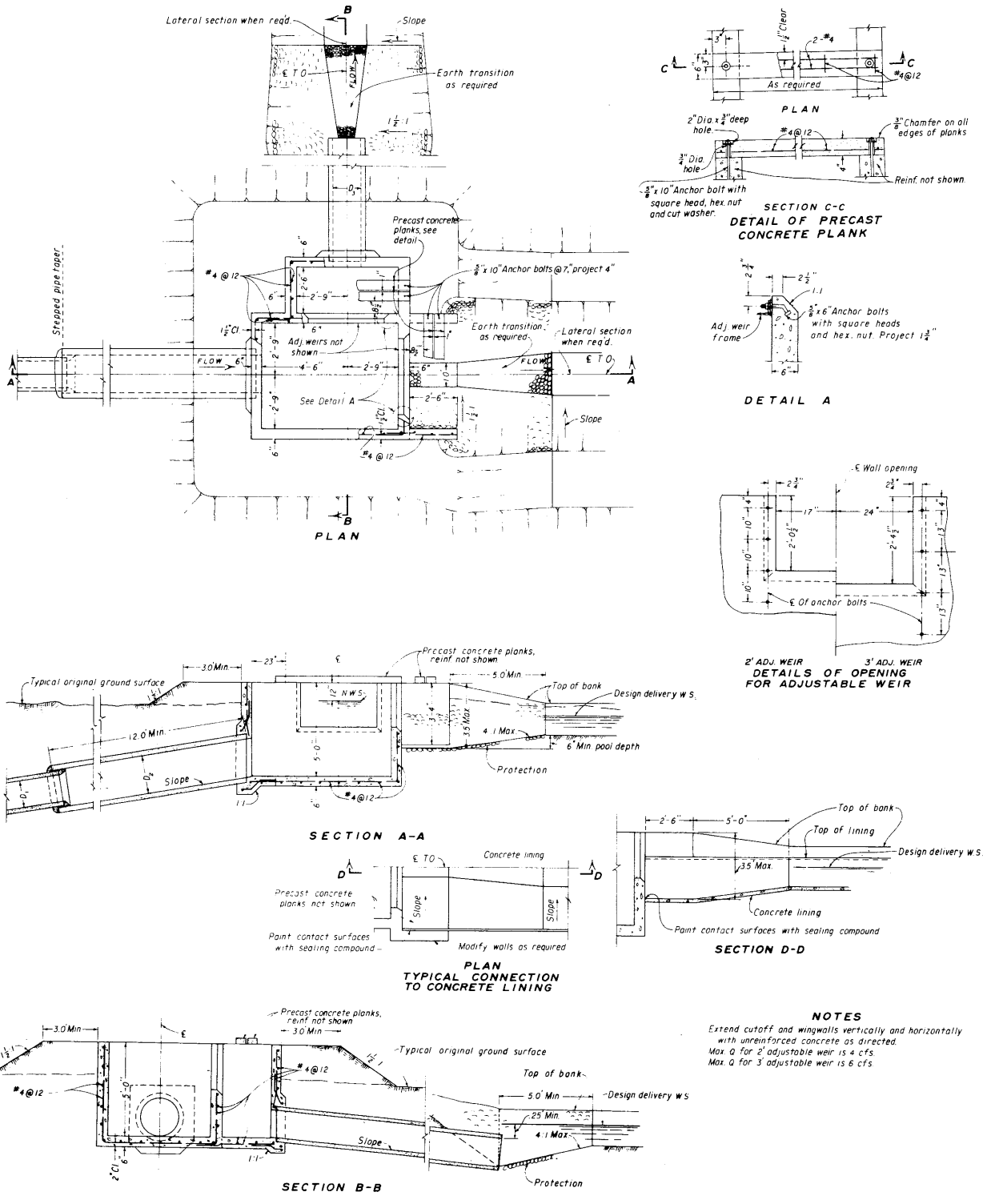
ค. ช่องทางเข้า (Inlet Opening) พื้นที่ของช่องเปิดทางเข้าจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการไหล ซึ่งใช้ในการออกแบบคือประมาณ 1 เมตร/วินาที การกำหนดความเร็วสูงสุดควรคำนึงถึงการใส่แผ่นไม้อัดน้ำให้ได้ง่ายด้วย ความกว้างของช่องเปิดจะต้องพิจารณาจากความกว้างท้องคลองของการไหลที่ออกแบบ ช่องเปิดจะมีโครงประตูระบายเพื่อใช้ติดตั้งประตูระบายหรือแผ่นไม้อัดน้ำ ในกรณีที่ต้องการอัดน้ำโดยอัตโนมัติเราควรใช้ประตูระบายโดยระดับของช่องเปิดของทางเข้า ควรมีระดับเดียวกันหรือต่ำกว่าระดับ invert ของคลอง

ง. กำแพงข้าง (Sidewalls) กำแพงข้างควรมีระดับบนสุดเท่ากับระดับผิวน้ำในคลองปกติ โดยไม่คำนึงถึงระดับควบคุมของผิวน้ำ ถ้าทางเข้าของอาคารปิดโดยไม่ได้ตั้งใจ หรือควบคุมอย่างไม่เหมาะสม การไหลในคลองจะล้นไปทางกำแพงข้าง และทางเข้าที่ปิด ดูรายละเอียดของอาคารในรูป 2-28 สมมุติว่าภาวะสูงสุด ของการไหลที่การออกแบบคลอง และการปิดที่สมบูรณ์ของช่องเปิดทางเข้า ยังคงมีระยะอิสระหรือระยะพ้นน้ำ 0.15 เมตร จากฝั่งคลอง จากระยะพ้นน้ำที่ออกแบบโดยมีพื้นฐานจากรูป 2-28 ความสูงของการไหลล้นบนกำแพง และการปิดขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล ความยาวของกำแพง ความกว้างของอาคารและการไหลในคลอง ในกรณีที่เราเลือกขนาดประตูเลื่อน (Slide gate) จากตารางมิติ (รูป 2-28) ระดับบนสุดของประตู เมื่อปิดควรเป็นระดับเดียวกับระดับบนสุดของกำแพงข้าง ในกรณีที่หาขนาดประตูเลื่อนไม่ได้จากโรงงาน ให้ใช้ขนาดประตูที่ใหญ่กว่าถัดไป ประตูที่สูงกว่าเมื่อปิดแล้ว การไหลที่ออกแบบมาในคลองจะเป็นสาเหตุให้ระยะพ้นน้ำของคลองน้อยกว่า 0.15 เมตร ในการเกิดเหตุการณ์นี้ เราจะต้องเพิ่มความยาว ของกำแพงข้างจนกระทั่งระยะอิสระของคลองมีระยะ 0.15 เมตร เมื่อประตูปิดและการไหลในคลองจะไหลล้น เข้าสู่อาคาร

จ. กำแพงหน้าท่อ (Head wall) กำแพงบนที่ปลายท่อของกล่องรองรับงานดินที่ทับท่อ และขยายทางราบไปสู่ฝั่งคลอง และขยายทางดิ่งต่ำกว่าท่อทำหน้าที่เป็นตัวยืดลดการไหลซึมผ่านดิน (percolation cutoff)



รูป 2-25 อาคารแบ่งน้ำ 5.1



รูป 2-26 อาคารแบ่งน้ำโดยมีท่อเป็นทางเข้า

ฉ. พื้นอาคารและพื้นท่อ (Floor and Inlet box) ระดับ invert ของพื้นกล่องให้ตั้งเท่ากับระดับเดียวกับระดับ invert ของท่อตารางของมิติแสดงอยู่ในรูป 2-28 โดยกำหนดให้ระดับ invert ของท่อต่ำพอเพียงที่จะยอมให้ การสูญเสียทางชลศาสตร์ผ่านช่องเปิดที่ทางเข้า และทางผ่านท่อ ดังนั้นจึงป้องกันน้ำท้นกลับ (backwater) ในคลองสำหรับการไหลที่ออกแบบ การสูญเสียต่ำสุดใช้ 0.5 ของหัวความเร็ว (Velocity Head) ในท่อ

ช. แผ่นทางเดิน (Walk Planks) แผ่นทางเดินจะวางบนกำแพงบน (head wall) และเหล็กฉากรองรับแผ่นทางเดิน (Walk plank support angle) แผ่นทางเดินเป็นที่เดินสำหรับควบคุมประตูระบายและแผ่นอัดน้ำ โดยมีช่องว่างสูง 0.45 เมตร ระหว่างระดับของกำแพงข้าง และใต้แผ่นทางเดิน เพื่อให้เป็นทางผ่านของกิ่งไม้หรือขยะให้ลอยผ่านไป มิฉะนั้นจะขัดขวางการไหลของน้ำระหว่างกำแพงข้าง

ซ. ขนาดท่อ (Pipe diameter) ท่อจะหาขนาดได้ตามขั้นตอนการออกแบบ ดังแสดงมาในตอนเกี่ยวกับการตัดผ่านถนน, ท่อกาลักน้ำ, น้ำตกในท่อ และท่อรางเท กฎเกณฑ์การหาขนาดท่อของอาคารที่มีอาคารอัดน้ำและท่อทางเข้า คือจะต้องหาขนาดท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางที่เหมาะสม เพื่อให้ความเร็วในท่อไม่เกินเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1. ความเร็วไม่เกิน 1.5 เมตร /วินาที ในการตัดผ่านถนน หรืออาคารที่คล้ายคลึงกัน เช่น ท่อกาลักน้ำสั้น ๆ ที่มีจุดเชื่อมต่อทางออกเป็นคอนกรีต
2. ความเร็วไม่เกิน 1.05 เมตร/วินาที ของน้ำตกในท่อที่มีจุดเชื่อมต่อที่ทางออกเป็นดิน
3. ความเร็วไม่เกิน 1.5 เมตร/วินาที ของน้ำตกในท่อที่มีจุดเชื่อมต่อทางออกเป็นคอนกรีต
4. ความเร็วไม่เกิน 3 เมตร/วินาที ของกาลักน้ำขนาดยาวมีการเชื่อมต่อทางออกเป็นคอนกรีต
5. ความเร็วไม่เกิน 3.65 เมตร/วินาที ของน้ำตกในท่อ หรือท่อรางเทที่มีแผ่นปะทะน้ำที่ทางออกหรืออ่างน้ำนิ่ง

หลังจากหาความเร็วสูงสุดในท่อที่ยอมให้ได้แล้ว ขนาดของท่อเลือกได้จากตารางของรูป 2-31

ฌ. ท่อระบายอากาศ (pipe vent) ถ้าเกิดการกระโดดทางชลศาสตร์ในท่อ และทางเข้าถูกปิดจะเกิดการระเบิดย้อนกลับ (blowback) ท่ออากาศที่กำแพงบนหรือด้านเหนือน้ำตอนกลางจะต้องใช้ เพื่อป้องกันการระเบิดย้อนกลับ ดูรูป 2-29 และ 2-30 ในรายละเอียดของท่ออากาศ

2.6.4 ลำดับอาคาร (Structure numbering) ตัวเลขผสมระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ และความเร็วสูงสุดที่ยอมให้ในท่อใช้ในการชี้ให้เห็นถึงอาคารอัดน้ำ และท่อทางเข้า ดังตัวอย่าง เช่น อาคารหมายเลข 12-1 แสดงอาคารที่มีท่อทางเข้าเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.30 เมตร มีความเร็วสูงสุดที่ยอมให้ 1.5 เมตร/วินาที หรืออาคารนี้ใช้ท่อขนาด 0.30 เมตร มีความเร็วสูงสุดที่ยอมให้ 1.06 เมตร /วินาที หมายเลขอาคาร 12-2 แสดงถึงอาคาร ท่อขนาด 0.30 เมตร มีความเร็วสูงสุดที่ยอม 3.65 เมตร /วินาที และยังสามารถใช้ได้กับท่อขนาด 0.30 เมตร ความเร็วสูงสุดที่ยอมให้ 3 เมตร/วินาที อาคารอัดน้ำและท่อทางเข้าที่ออกแบบอนุรักษ์มักใช้มิติท่อความเร็ว 1.06 และ 3 เมตร/วินาที แต่ข้อเท็จจริงแล้วราคาจะไม่ต่างกันมากนัก ตารางในรูป 2-28 ใช้มิติและขนาดมาตรฐานของอาคาร โดยสอดคล้องกับหมายเลขอาคาร

2.6.5 ตัวอย่างการออกแบบ (ดูรูป 2-28) สมมุติว่าน้ำตกในท่อ (pipe drop) ต้องการส่งน้ำไปยังระดับที่ต่ำกว่า สมมุติว่าต้องการอัดน้ำที่ทางเข้าของน้ำตก เพื่อยกระดับผิวน้ำในคลองเพื่อให้มีระดับน้ำส่งออกทางข้างคลองได้ตามที่ต้องการ

ก. สมมุติมีข้อมูลเพื่อการออกแบบ ดังต่อไปนี้

1. ชนิดของทางน้ำ = คลองดินขุด

2. ชนิดของอาคารลำเลียง = บ่อน้ำตกของท่อในการสลายพลังงาน โดยการเชื่อมต่อทางออกบนดิน

3. อาคารลำเลียงมีความเร็วสูงสุดที่ยอมให้ 3.5 ฟุต/วินาที

4. Q = 50 ลบ.ฟ./วินาที

5. EI.A = 5 407.00 (จากรูปตัดทางยาว)

6. d_n = 2.00 ฟุต (ความลึกปกติที่ Sta.A)

7. NWS EI. ที่ Sta.A = EI.A + d_n = 5407.00 + 2.00 = 5 409.00

8. EI. ของบนฝั่ง (top of bank) = 5410.6

9. ต้องการอาคารใช้อัดน้ำ และท่อทางเข้า

10. อาคารอัดน้ำจะต้องมีระบบอัตโนมัติ

ข. การคำนวณ

1. หาว่าใช้การควบคุมน้ำโดยแผงไม้อัดน้ำ หรือประตูน้ำแบบควบคุม (Stoplog control)-ใช้ประตูน้ำแบบควบคุม เพราะต้องการระบบอัตโนมัติในอาคารอัดน้ำ

2. ขนาดท่อ (ดูตารางรูป 2-31) ในกรณีที่ Q = 50 ลบ.ฟ./วินาที และความเร็วสูงสุดที่ยอมให้ 3.5 ฟุต/วินาที โดยใช้ท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 54 นิ้ว

3. หมายเลขอาคาร หมายเลขอาคาร 54-1 สามารถใช้ความเร็วสูงสุดที่ยอมให้ในท่อได้ทั้ง 5 หรือ 3.5 ฟุต/วินาที

4. หามิติมาตรฐาน (R, Y, L และ K) ของอาคารอัดน้ำมาตรฐาน มิติเหล่านี้อ่านได้จากตารางมิติมาตรฐานของหมายเลขอาคาร 54-1

R = 5 ฟุต 9 นิ้ว
Y = 18 นิ้ว
L = 6 ฟุต 6 นิ้ว
U = 6 ฟุต

5. หาความเร็วสูงสุดของท่อ (pipe velocity head) ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 54 นิ้ว Q = 50 ลบ.ฟ./ว.

$$A_p = 0.785 \times (\text{เส้นผ่าศูนย์กลาง})^2 = 15.90 \text{ ฟุต}^2$$

$$V_p = \frac{Q}{A_p} = \frac{50}{15.90} = 3.14 \text{ ฟุต/วินาที}$$

$$h_{vp} = \frac{V_p^2}{2g} = \frac{3.142^2}{64.4} = 0.15 \text{ ฟุต}$$

โดยให้ g = อัตราเร่งโน้มถ่วง

6. หาระดับ D

EI = (NWS EI. ที่ Sta A) - R

= 5409.00 - 5.57

= 5403.25

7. น้ำตก และความลาดเอียงในการเชื่อมต่อของดิน

น้ำตก = EI.A - (EI.D + Y)

= 5407.00 - (5403.25 + 1.50)

= 5407.00 - 5404.75

= 2.25 ฟุต

ความลาดเอียง = 10 ถึง 2.25 = 4.6:1 (โดยน้อยกว่า 4:1 ถือว่าใช้ได้)

8. ขนาดประตูน้ำ ตารางมิติมาตรฐานให้ใช้ประตูขนาด 72 x 51 นิ้วกับหมายเลขอาคาร 54-1 สมมุติปัญหาตัวอย่างว่า ประตูนี้ไม่มี ดังนั้นขนาดประตูถัดไปคือ 60 นิ้ว (สูง) x 72 นิ้ว (กว้าง)

9. ระยะอิสระของคลองปกติ

= EI. ตลิ่งคลอง - EI. NWS ในคลอง

= 5410.60 - 5409.00 = 1.60 ฟุต

10. ระยะอิสระของคลอง เมื่อประตูของอาคารอัดน้ำปิด และการไหลปกติในคลอง ถ้าประตูขนาด 72 x 51 มีอยู่ โดยระดับบนของประตูเมื่อปิดจะเป็นเช่นเดียวกับระดับของด้านข้าง หัวความดัน (Pressure Head) ที่ต้องการของอัตราการไหลที่ออกแบบที่ไหลล้นบนกำแพงข้าง ในกรณีปิดประตู จะเป็น

$$H = \left(\frac{Q}{CW}\right)^{2/3} = \left(\frac{50}{3.3 \times 19}\right)^{2/3} = (0.8)^{2/3} = 0.86 \text{ ฟุต}$$

สมการข้างบนวิเคราะห์จากสมการฝาย

$$Q = CWH^{3/2}$$

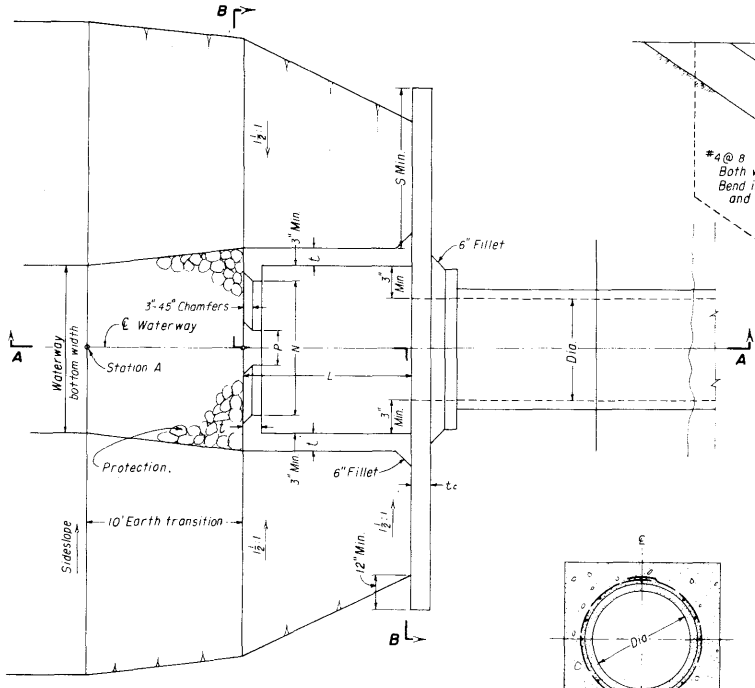
สมมุติให้สัมประสิทธิ์การไหลออกที่ยอมรับได้ C = 3.3

W = ความยาวของกำแพงข้างนอกความกว้างของอาคาร

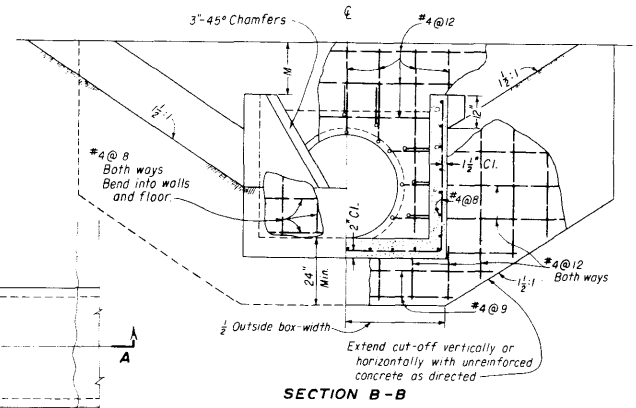
= 2 (L) + k = 2 x 6.5 + 6 = 19 ฟุต

ผลของระยะอิสระในคลองจะเป็น EI ตลิ่งคลอง - (EI ของกำแพงข้าง + H) = ระยะอิสระของคลองปกติ - H = 1.60 - 0.86 = 0.74 ฟุต

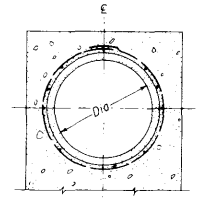
เราจะเห็นว่าการใช้ประตูสูง 60 นิ้ว มีผลต่อระดับบนของประตู เมื่อปิดจะมีระดับสูงกว่ากำแพงข้าง ซึ่งลดระยะพันน้ำน้อยกว่า 0.74 ฟุต ระยะพันน้ำของคลอง ประมาณ 0.5 ฟุต ใช้ได้สำหรับภาวะสูงสุดของ Q ปกติที่ไหลล้นเหนือกำแพงข้างเมื่อประตูปิด



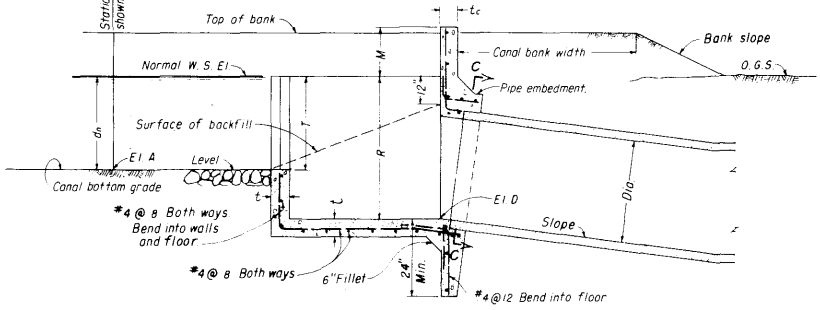
PLAN
(SIMILAR FOR CONCRETE LINED CANALS)



SECTION B-B



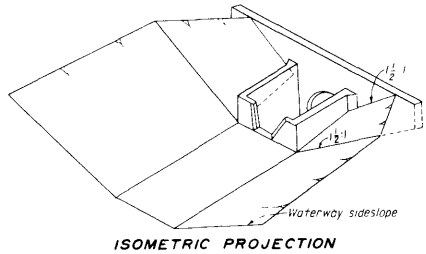
SECTION C-C



SECTION A-A

Before entering this table the Structure No. must have previously been determined from velocity criteria established for the pipe structure

STRUCTURE No.	STANDARD DIMENSIONS						
	DIA.	R	L	t	tc	M	S
12-1	12"	2'-6"	3'-6"	6"	6"	12"	4'-0"
12-2	12"	5'-0"	3'-6"	6"	6"	12"	4'-0"
15-1	15"	2'-6"	3'-6"	6"	6"	12"	4'-0"
15-2	15"	5'-0"	3'-6"	6"	6"	12"	4'-0"
18-1	18"	2'-9"	3'-6"	6"	6"	12"	4'-0"
18-2	18"	5'-0"	3'-6"	6"	6"	12"	4'-0"
21-1	21"	3'-0"	3'-6"	6"	6"	12"	4'-0"
21-2	21"	5'-3"	4'-0"	6"	8"	12"	4'-0"
24-1	24"	3'-3"	3'-6"	6"	6"	12"	4'-0"
24-2	24"	5'-6"	4'-6"	6"	8"	12"	4'-0"
27-1	27"	3'-6"	3'-6"	6"	6"	15"	4'-4"
27-2	27"	5'-9"	5'-0"	6"	8"	15"	4'-4"
30-1	30"	3'-9"	3'-6"	6"	6"	15"	4'-4"
30-2	30"	6'-0"	5'-6"	6"	8"	15"	4'-4"
33-1	33"	4'-0"	3'-6"	6"	6"	18"	4'-9"
33-2	33"	6'-3"	6'-0"	6"	8"	18"	4'-9"
36-1	36"	4'-3"	4'-0"	6"	6"	18"	4'-9"
36-2	36"	6'-6"	6'-6"	6"	8"	18"	4'-9"
39-1	39"	4'-6"	4'-0"	6"	6"	18"	4'-9"
39-2	39"	6'-9"	7'-0"	7"	8"	18"	4'-9"
42-1	42"	4'-9"	4'-6"	6"	6"	18"	4'-9"
45-1	45"	5'-0"	5'-0"	6"	6"	18"	4'-9"
48-1	48"	5'-3"	5'-0"	6"	8"	18"	4'-9"
51-1	51"	5'-6"	5'-6"	6"	8"	18"	4'-9"
54-1	54"	5'-9"	5'-6"	6"	8"	18"	4'-9"
57-1	57"	6'-0"	6'-0"	6"	8"	18"	4'-9"
60-1	60"	6'-3"	6'-0"	6"	8"	18"	4'-9"

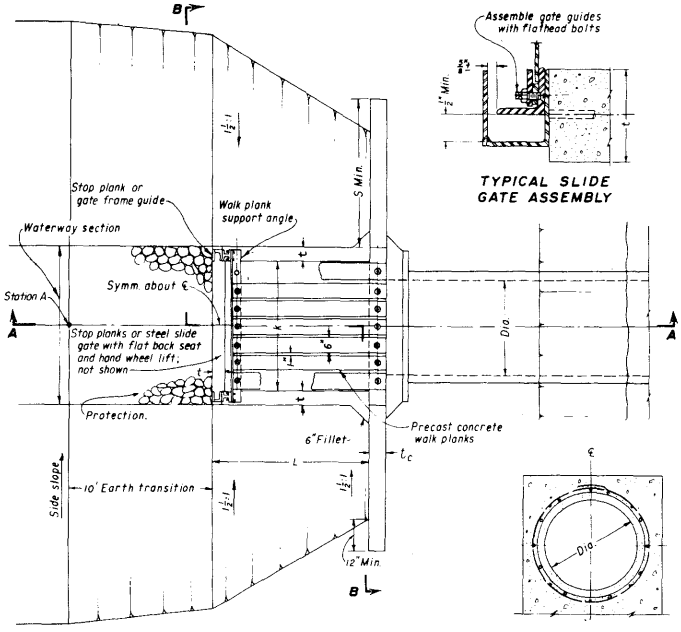


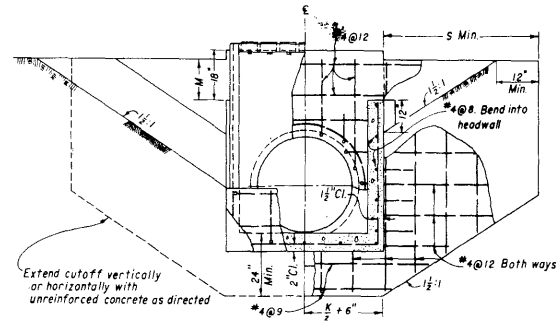
ISOMETRIC PROJECTION

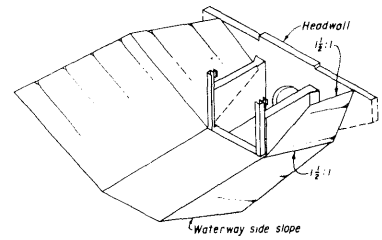
NOTES

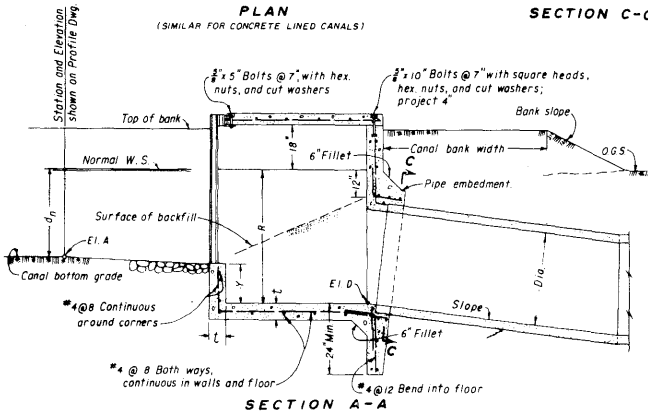
Structures are numbered to designate pipe diameter in inches followed by a second number, -1 or -2, which designate maximum allowable pipe velocities of 5 and 12 feet per second respectively. Structures -1 and -2 may also be used for maximum allowable pipe velocities of 3.5 and 10 feet per second respectively. Structure number 30-2 is for a 30 inch diameter pipe having a maximum allowable velocity of either 10 or 12 feet per second

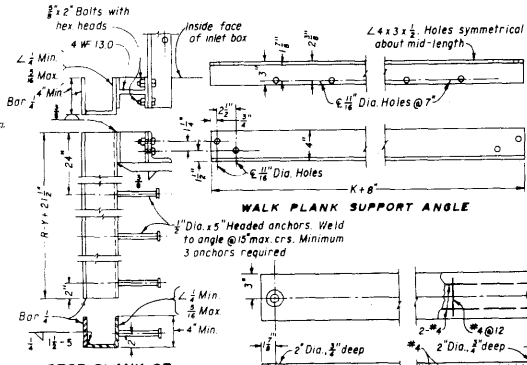
รูป 2-27 อาคารควบคุมและท่อทางเข้า

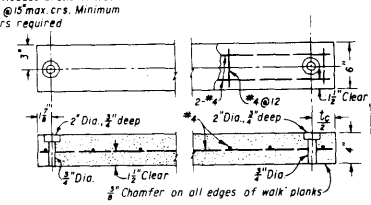












Before entering this table the Structure No. must have previously been determined from velocity criteria established for the pipe structure.

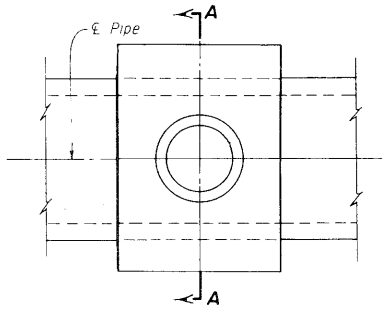
STRUCTURE No.	STANDARD DIMENSIONS									No. OF WALK PLANKS	ESTIMATED QUANTITIES				
	DIA.	k	R	L	Y	t	t_c	M	S		CONC. CU. YDS.	REINF. STEEL LBS.	MISC. METAL LBS.	SLIDE GATE WIDTH x HT. "	SLIDE GATE FRM. HT.
12-1	12"	24"	2'-6"	3'-6"	15"	6"	6"	12"	4'-0"	3	1.6	160	110	24"x15"	5'
12-2	12"	2'-6"	5'-0"	4'-6"	3'-0"	6"	6"	12"	4'-0"	4	2.6	260	130	30"x24"	5'
15-1	15"	24"	2'-6"	3'-6"	15"	6"	6"	12"	4'-0"	3	1.6	160	110	24"x15"	5'
15-2	15"	3'-0"	5'-0"	4'-6"	3'-0"	6"	6"	12"	4'-0"	5	3.0	310	140	36"x24"	5'
18-1	18"	2'-6"	2'-9"	3'-6"	18"	6"	6"	12"	4'-0"	4	1.7	170	120	30"x15"	5'
18-2	18"	3'-0"	5'-0"	4'-6"	3'-0"	6"	6"	12"	4'-0"	5	3.0	310	140	36"x24"	5'
21-1	21"	3'-0"	3'-0"	4'-0"	15"	6"	6"	12"	4'-0"	5	2.1	220	130	36"x21"	5'
21-2	21"	3'-6"	5'-3"	5'-0"	3'-0"	6"	8"	12"	4'-0"	6	4.1	420	150	42"x27"	5'
24-1	24"	3'-0"	3'-3"	4'-0"	15"	6"	6"	12"	4'-0"	5	2.2	230	140	36"x24"	5'
24-2	24"	4'-0"	5'-6"	5'-6"	2'-9"	6"	8"	12"	4'-0"	7	4.5	460	170	48"x33"	6'
27-1	27"	3'-6"	3'-6"	4'-6"	15"	6"	6"	15"	4'-4"	6	2.6	270	150	24"x27"	5'
27-2	27"	5'-0"	5'-9"	6'-0"	2'-9"	6"	8"	15"	4'-4"	9	5.9	600	190	60"x36"	6'
30-1	30"	3'-6"	3'-9"	4'-6"	15"	6"	6"	15"	4'-4"	6	2.9	300	150	42"x30"	6'
30-2	30"	5'-0"	6'-0"	6'-6"	2'-9"	6"	8"	15"	4'-4"	9	5.9	600	200	60"x39"	6'
33-1	33"	4'-0"	4'-0"	4'-6"	15"	6"	6"	18"	4'-9"	7	2.8	290	160	48"x33"	6'
33-2	33"	6'-0"	6'-9"	7'-0"	2'-9"	6"	8"	18"	4'-9"	10	6.9	700	210	72"x42"	6'
36-1	36"	4'-0"	4'-3"	5'-0"	15"	6"	6"	18"	4'-9"	7	3.4	350	180	48"x36"	6'
36-2	36"	6'-0"	6'-6"	7'-6"	2'-6"	6"	8"	18"	4'-9"	10	7.3	740	210	72"x48"	7'
39-1	39"	5'-0"	4'-6"	5'-0"	15"	6"	6"	18"	4'-9"	9	3.8	390	190	60"x39"	6'
39-2	39"	6'-0"	6'-9"	8'-0"	24"	7"	8"	18"	4'-9"	10	7.6	770	240	72"x57"	8'
42-1	42"	5'-0"	4'-9"	5'-6"	15"	6"	6"	18"	4'-9"	9	4.1	420	200	60"x42"	6'
45-1	45"	5'-0"	5'-0"	6'-0"	15"	6"	6"	18"	4'-9"	9	4.2	430	200	60"x45"	6'
48-1	48"	5'-0"	5'-3"	6'-0"	18"	6"	8"	18"	4'-9"	9	5.2	530	200	60"x45"	6'
51-1	51"	5'-6"	5'-6"	6'-6"	15"	6"	8"	18"	4'-9"	9	5.8	590	220	66"x51"	7'
54-1	54"	6'-0"	5'-9"	6'-6"	18"	6"	8"	18"	4'-9"	10	6.1	620	230	72"x51"	7'
57-1	57"	6'-0"	6'-0"	7'-0"	15"	6"	8"	18"	4'-9"	10	6.5	660	240	72"x57"	8'
60-1	60"	6'-0"	6'-3"	7'-0"	18"	6"	8"	18"	4'-9"	10	6.7	680	240	72"x57"	8'

* When a gate with a specified height is not available, a gate with next greater available height shall be used with appropriate frame height.

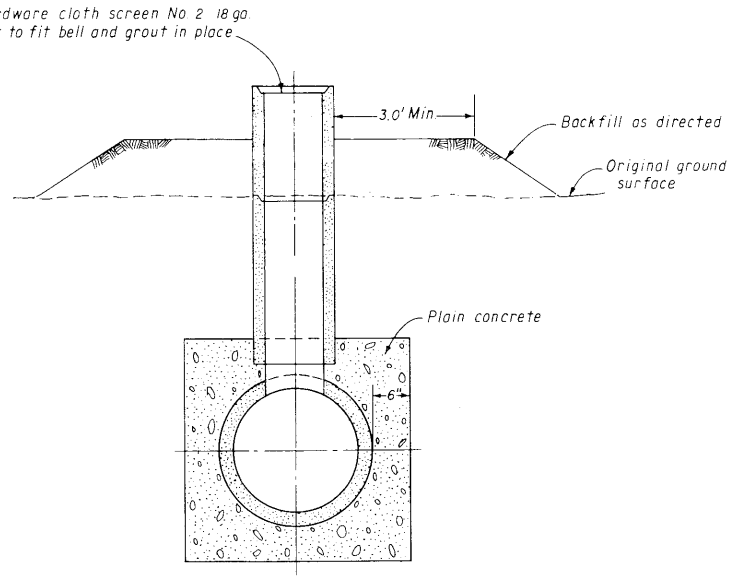
NOTES

Gate frame height measured from ℄ of gate opening.
Structures are numbered to designate pipe diameter in inches followed by a second number, -1 or -2, which designate maximum allowable pipe velocities of 5 and 12 feet per second respectively. Structures -1 and -2 may also be used for maximum allowable pipe velocities of 3.5 and 10 feet per second respectively. Structure number 30-2 is for a 30 inch diameter pipe having a maximum allowable velocity of either 10 or 12 feet per second.

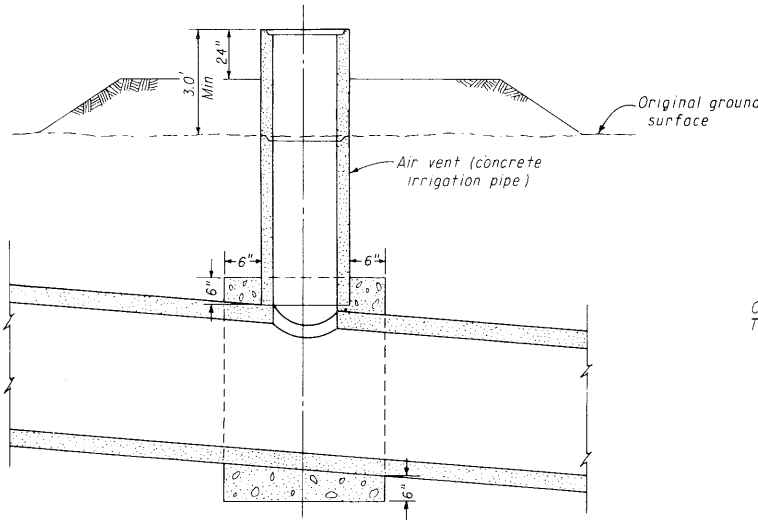
รูปที่ 2-28 Check and pipe inlet.



PLAN



SECTION A-A

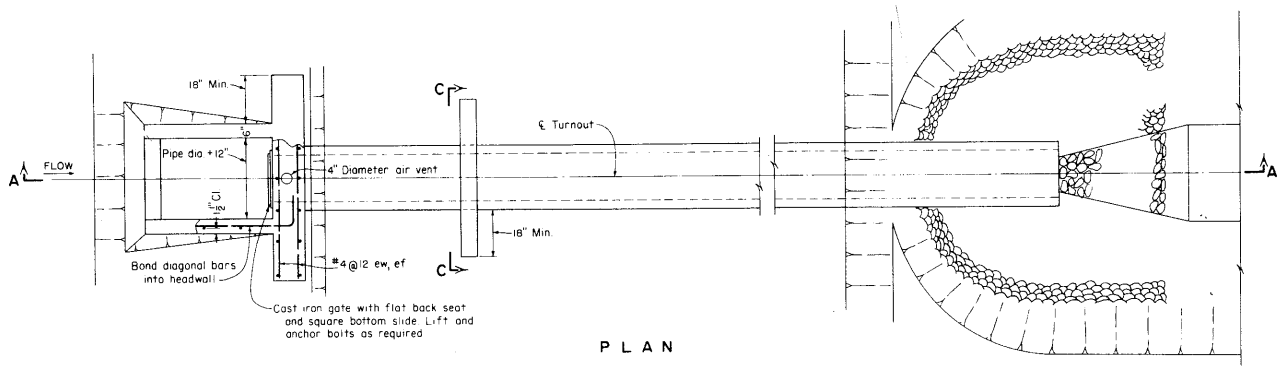


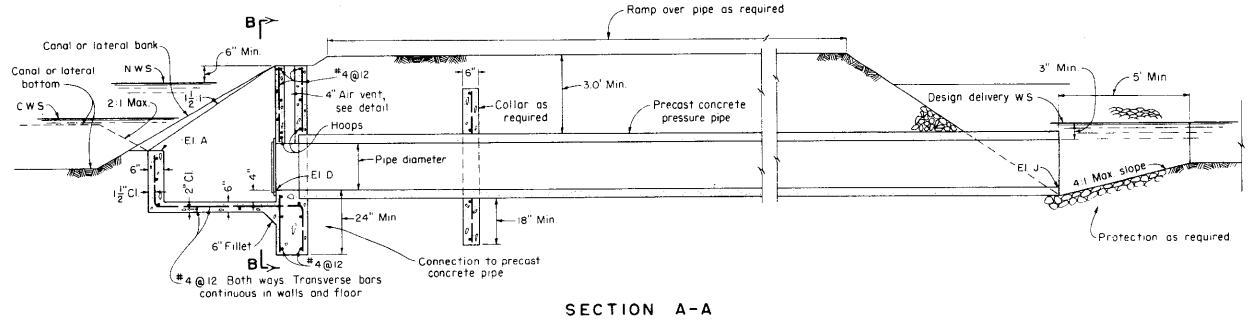
LONGITUDINAL SECTION

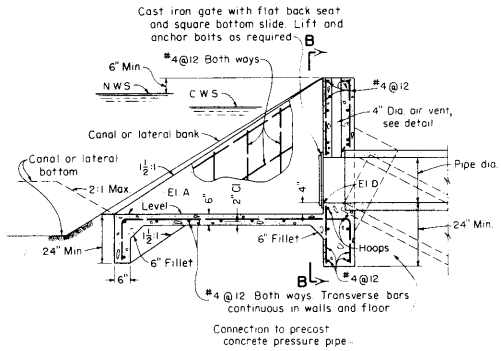
NOTES

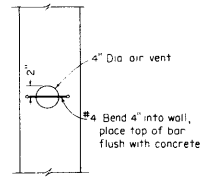
Clean and roughen all pipe surfaces encased in concrete
Top of air vent should be 24" minimum above hydraulic gradient or 3.0' minimum above original ground surface which ever is higher.

รูปที่ 2-29 Concrete pipe air vent..

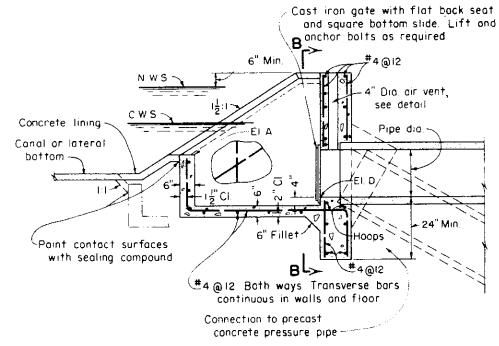


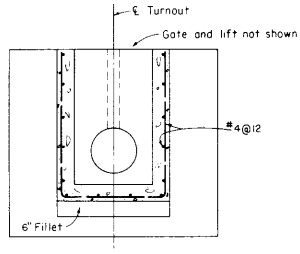






AIR VENT DETAIL



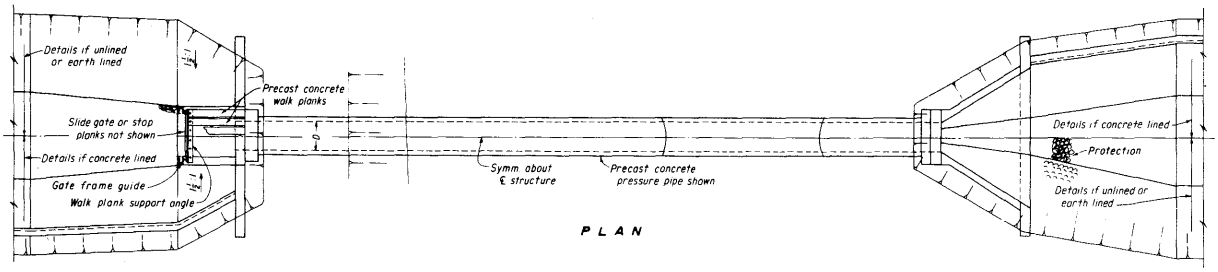


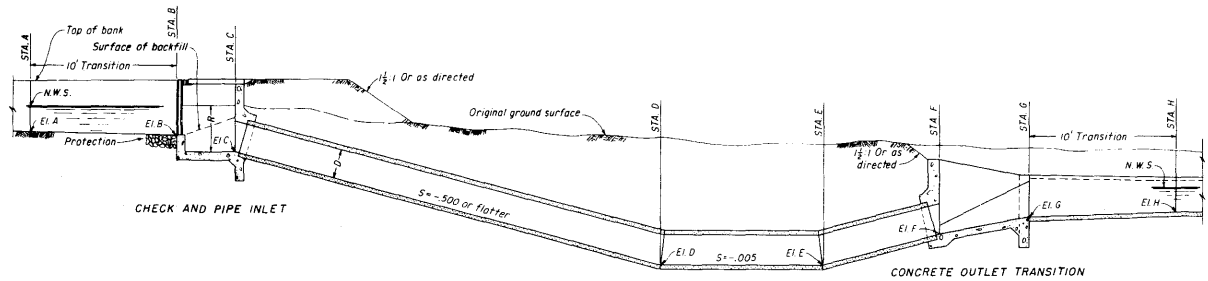
SECTION B-B

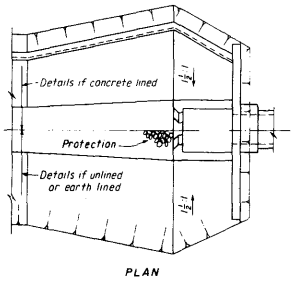
NOTES

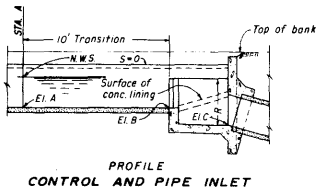
C.I. Turnout gate shall be same diameter as pipe except where pipe diameter is not a standard gate diameter, the next larger standard diameter gate shall be used. Gate frame height measured above ℄ of gate opening.

รูปที่ 2-30 Turnout.

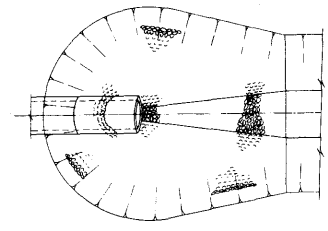


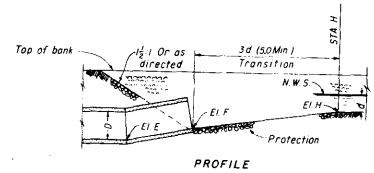






PIPE DIAMETER SELECTION DATA					
MAX. V=3.5 fps (EARTH TRANSITION)		MAX. V=5.0 fps (CONC TRANSITION)		PIPE	
Q (cfs)		Q (cfs)		DIA.	AREA
FROM	INCLUDING	FROM	INCLUDING	(INCHES)	(SQ. FT.)
0	2.7	0	3.9	12	0.785
2.7	4.3	3.9	6.1	15	1.227
4.3	6.2	6.1	8.8	18	1.767
6.2	8.4	8.8	12.0	21	2.405
8.4	11.0	12.0	15.7	24	3.142
11.0	13.9	15.7	19.9	27	3.976
13.9	17.2	19.9	24.5	30	4.909
17.2	20.8	24.5	29.7	33	5.940
20.8	24.7	29.7	35.3	36	7.069
24.7	29.0	35.3	41.5	39	8.296
29.0	33.7	41.5	48.1	42	9.621
33.7	38.7	48.1	55.2	45	11.045
38.7	44.0	55.2	62.8	48	12.566
44.0	49.7	62.8	70.9	51	14.186
49.7	55.7	70.9	79.5	54	15.904
55.7	62.0	79.5	88.6	57	17.721
62.0	68.7	88.6	98.2	60	19.635
68.7	75.8			63	21.648
75.8	83.2			66	23.758
83.2	90.9			69	25.967
90.9	99.0			72	28.274





ลูปที่ 2–31 Type 1 pipe drop — plan and sections.

สมมุติระยะอิสระพันน้ำของคลอง 0.5 ฟุต หาค่า Q ที่จะไหลล้นเข้าสู่คลอง โดยใช้สมการฝายมาตรฐาน ในกรณีไหลล้นบนกำแพงข้าง $Q = C2LH^{3/2}$ และการไหลล้นบนประตู $Q = CKH^{3/2}$ รวมการไหลทั้งสองเข้าด้วยกันจะได้

Q = (3.3 x 2 x 6.5 x 1.15) + (3.3 x 6 x 0.01)

= (49.4 + 0.2) = 49.6 ลบ.ฟ./วินาที

โดยที่

H = (EI ตลิ่งคลอง - 0.5 ฟุต ระยะพันน้ำ - EI ระดับบนกำแพงข้าง)

= (5410.60-0.50) - 5409.00

= 1.1 ฟุต

$H^{3/2}$ = 1.15 ฟุต

และ

H_1 = (EI ตลิ่งคลอง - 0.5 ฟุตของระยะอิสระ - EI ระดับบนประตูปิด)

= (5410.60 - 0.50) - 5410.04

= 0.06 ฟุต

ดังนั้น

$H_1^{3/2}$ = 0.01 ฟุต

และ

ระดับบนประตูปิด

= EI.D + Y + $3\frac{1}{2}$ นิ้ว + ความสูงประตู

= 5403.25 + 1.50 + 0.292 + 5.00

= 5410.04

ระยะ $3\frac{1}{2}$ นิ้ว จากสมการข้างบน เป็นขนาดที่สมมุติขึ้นของขาทางดิ่งของกรอบประตูข้างได้ที่เป็นเหล็กฉาก (the gate-trame bottom angle-iron)

คำนวณอัตราการไหลล้นได้ 49.6 ลบ.ฟ./วินาที น้อยกว่า 50 ลบ.ฟ./วินาที เพียงเล็กน้อย ระยะพันน้ำของตลิ่งคลองจะน้อยกว่า 0.5 ฟุตเพียงเล็กน้อยเช่นกัน

2.7 ปากทางเข้าท่อชนิดควบคุมพลังงาน (Control and Pipe inlet)

2.7.1 จุดประสงค์ อาคารควบคุมและท่อทางเข้าเป็นอาคารกล่องคอนกรีต โดยมีฝายหยักรูปสี่เหลี่ยมคางหมูสำหรับควบคุมผิวน้ำด้านเหนือน้ำ การไหลล้นทางกำแพงข้าง และทางเข้าไหลสู่ท่อที่กำแพงบนของกล่อง

จุดประสงค์ของท่อทางเข้า และอาคารควบคุม คือป้องกันการลดระดับ (draw down) ของผิวน้ำในลำน้ำ โดยให้อยู่ในช่วงพิสัยระหว่างการไหลที่ออกแบบ และ 0.2 ของการไหลที่ออกแบบ นอกเหนือจากนั้นทางเข้ายังทำหน้าที่ควบคุมระดับผิวน้ำสำหรับอาคารชักน้ำ (turnouts)

2.7.2 การใช้งาน อาคารควบคุมและท่อทางเข้าในบางครั้งใช้กับปลายด้านเหนือน้ำของอาคารบางอย่าง เช่น น้ำตกในท่อและท่อรางเท โดยที่การควบคุมทางชลศาสตร์ของระดับผิวน้ำในคลองด้านเหนือน้ำคือใช้เป็นทางเข้าสู่ไซฟอน เพื่อป้องกันการลดระดับน้ำ โดยอาจเกิดขึ้นในกรณีที่การไหลน้อยกว่าการไหลที่ออกแบบ

2.7.3 การพิจารณาการออกแบบ

ก. ส่วนเชื่อมต่อด้านเหนือน้ำเป็นดิน การเชื่อมต่อมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทีละน้อยของความกว้างพื้นคลองต่ออาคารดังนั้นจึงควรทำให้การเปลี่ยนแปลงความเร็วเป็นไปอย่างสม่ำเสมอจากคลองไปสู่อาคาร การเชื่อมต่อของ invert คือ การลากระดับตั้งแต่ invert ของฝายหยักขึ้นมาจากระดับ invert ของคลอง

ข. การป้องกันการกัดเซาะ การป้องกันจะทำบริเวณใกล้เคียงกับอาคารควบคุม และท่อทางเข้าในคลองดิน เพื่อป้องกันการกัดเซาะที่มีผลเนื่องมาจากความเร็วสูง

ค. ช่องควบคุม (Control Notch) ช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู หรือฝายหยักควบคุม ออกแบบเพื่อควบคุมความลึกของน้ำในคลองด้านเหนือน้ำ และความเร็วของการไหลทั้งหมดที่อยู่ระหว่างการไหลที่ออกแบบถึงประมาณ 0.2 ของการไหลที่ออกแบบ การไหลใด ๆ ก็ตามที่อยู่ในพิสัยนี้ใช้ฝายหยัก ทำให้ความลึกในคลองด้านเหนือน้ำมีระยะหรือใกล้เคียงกับความลึกปกติ โดยป้องกันความเร็วที่เพิ่ม ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดเซาะได้ระดับของ invert ของฝายหยักจะต้องเท่ากับระดับ invert ของคลองด้านเหนือน้ำ ความลึกของฝายหยักจะต้องเท่ากับหรือมากกว่าความลึกของน้ำปกติในคลองเพียงเล็กน้อย ความลึกที่กันที่บนสุดและความลาดเอียงทางข้างของฝายหยักหาได้โดยวิธีการที่แสดงในตัวอย่างการออกแบบ (ดูหัวข้อ 2.7.4)

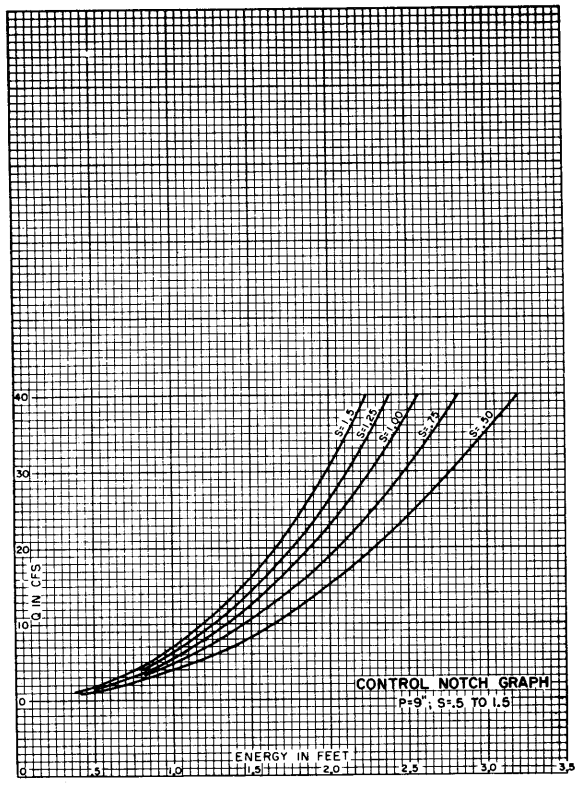
ง. กำแพงน้ำล้น กำแพงเหล่านี้ระดับบนสุดจะมีระดับเดียวกับระดับบนของฝายหยัก จะต้องจัดเตรียมการไหลล้นฉุกเฉินเข้าสู่กล่องในเหตุการณ์ที่มีการจัดขวางในฝายหยักหรือการไหลในช่องทางมากกว่าการไหลปกติ กำแพงข้างจะต้องมีความยาวพอเพียง เพื่อยอมให้การไหลที่ออกแบบไหลล้นกำแพงข้างโดยมีฝายหยักขวางอยู่อย่างสมบูรณ์ ตลิ่งช่องทางจะต้องมีระยะพันน้ำพอเพียง ในระดับผิวน้ำสูงกว่าที่ต้องการไหลล้นบนกำแพงเหล่านี้ ความยาวของกำแพงข้าง (รูป 2-28) ออกแบบเพื่อจัดให้ระยะพันน้ำจากฝั่งตลิ่งเท่ากับ 0.15 เมตร

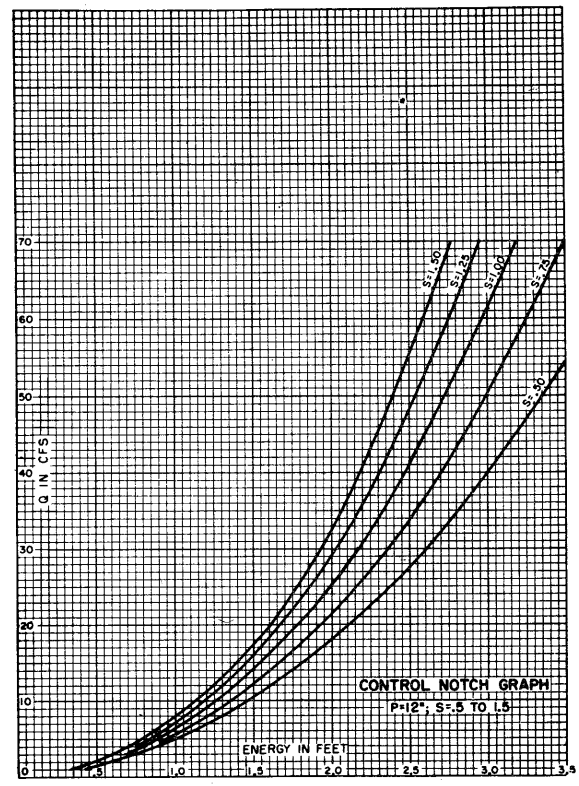
จ. กำแพงหน้าท่อ กำแพงหน้าจะรองรับงานดินของช่องทาง ที่อยู่ระหว่างปลายทางเข้าของท่อและขยายไปสู่ดินต่ำกว่า และบนแต่ละข้างของท่อ ทำหน้าที่เป็น cutoff เพื่อลดการไหลซาบซึมจากช่องทาง

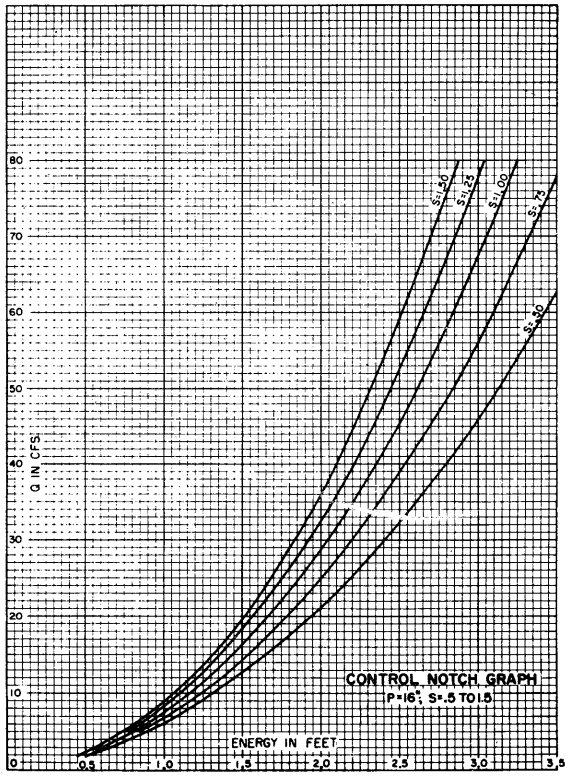
ฉ. ความกว้างของอาคาร ความกว้างอย่างน้อยจะต้องใหญ่กว่า 0.15 เมตร บวกด้วยความกว้างของฝายหยัก หรือ 0.15 เมตร บวก เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ

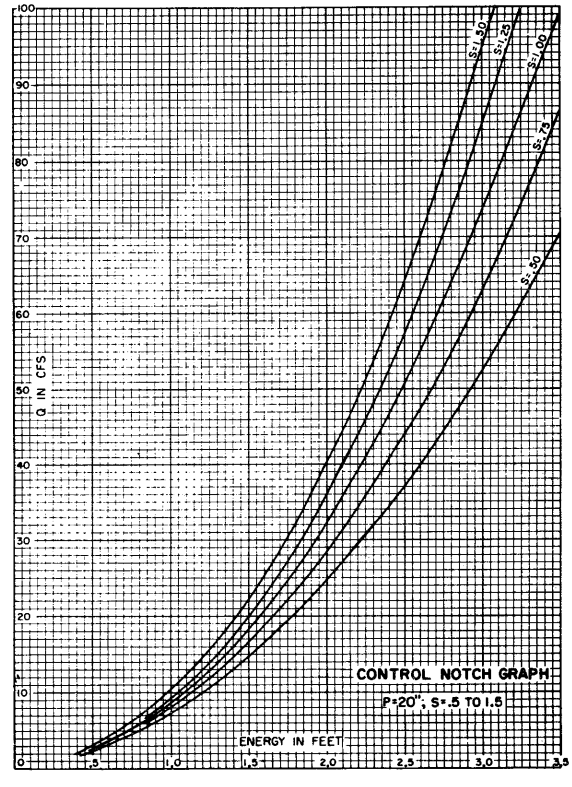
ช. ระดับพื้นอาคาร ระดับนี้จะเป็นระดับเดียวกับระดับ invert ของท่อเปิด แต่จะต้องต่ำเพียงพอเพื่อระดับน้ำที่การเปิดของท่อที่ต้องการลำเลียงการไหลของน้ำเข้าสู่ท่อจะไม่เป็นสาเหตุให้ระดับผิวน้ำของช่องทางด้านเหนือน้ำเกินกว่าปกติ ค่า R ของการไหลเต็มท่อที่ความเร็ว 1.05, 1.5, 3 และ 3.65 เมตร/วินาที อยู่ตารางมิติบนรูป 2-28 ตั้งขึ้นเพื่อป้องกันทางเข้าของท่อจากการควบคุมของระดับผิวน้ำในช่องทางใช้การสูญเสียต่ำสุด 0.5 ของหัวความเร็ว มิติ R จะมากกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อเพียงเล็กน้อย บวก 1.5 หัวความเร็วของท่อ

ซ. ขนาดท่อ ขนาดของท่อหาได้จากวิธีที่แสดงในพารากราฟของการตัดข้ามถนน, ไซฟอน น้ำตก และรางเท โดยทั่วไปแล้วกฎเกณฑ์ของการหาขนาด

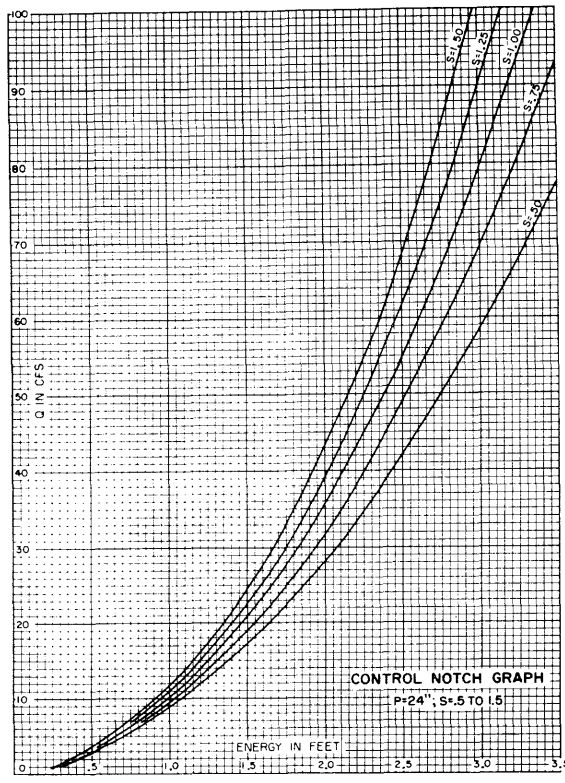


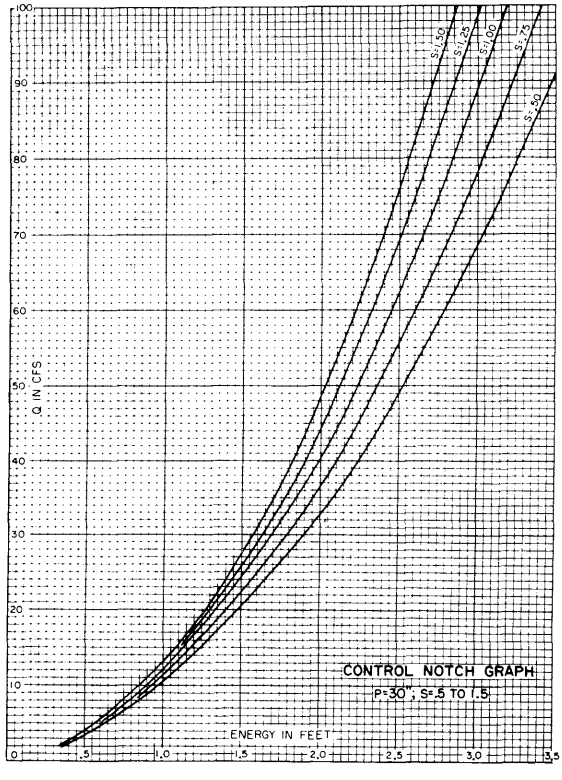


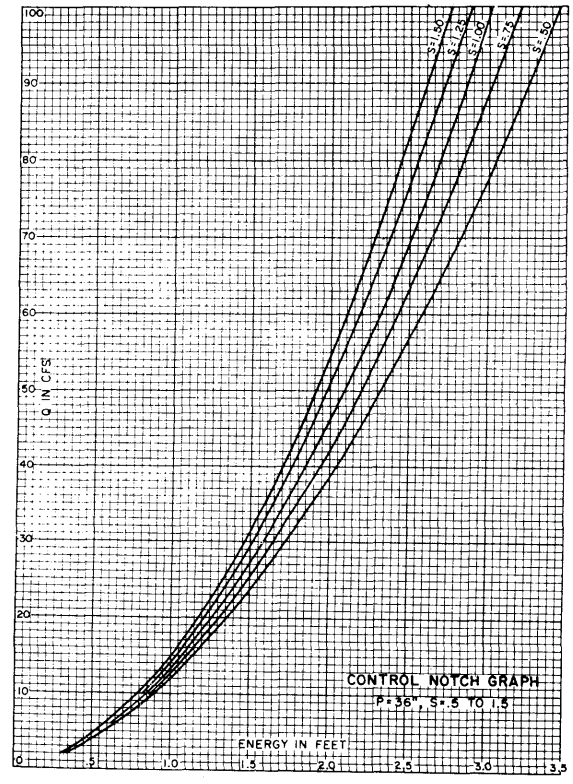




รูปที่ 2-32 Control notch graphs (Sheet 1 of 2)







รูปที่ 2 - 32 Control notch graphs (Sheet 2 of 2)

2.7.4 ตัวอย่างการออกแบบ (ดูรูป 2-28) สมมุติว่าน้ำตกในท่อต้องการพัดพาน้ำในคลองไปยังระดับที่ต่ำกว่า และการควบคุมที่ท่อทางเข้า จะต้องการควบคุมระดับผิวน้ำในคลองด้านเหนือน้ำจากน้ำตก

ก. กำหนดโจทย์

1. ชนิดของทางน้ำ = คลองดิน
2. คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของคลอง

   Q = 50 ลบ.ฟ./วินาที

   b = 5.0 ฟุต

   d_n = 2.83 ฟุต

   S = 0.0005

   s : s = $1\frac{1}{2}$: 1

   n = 0.025

   v = 1.91 ฟุต/วินาที

   n_v = 0.06 ฟุต

   E (พลังงาน) = 2.89 ฟุต
3. ชนิดของอาคารลำเลียง = บ่อน้ำตกในท่อเป็นตัวสลายพลังงาน โดยมีการเชื่อมต่อทางออกบนดิน
4. อาคารน้ำตก จะมีความเร็วสูงสุดที่ยอมให้ 3.5 ฟุต/วินาที
5. EI.A = 5406.00 (จากกระดาษโปรไฟล์)
6. NWS EI. ที่ Sta.A = EI.A + d_n = 5406.00 + 2.83 = 5408.83
7. EI. ที่ส่วนบนตลิ่ง = 5401.4
8. อาคารควบคุมที่ทางเข้ามีความต้องการที่จะลดการกัดเซาะน้อยที่สุดในคลองของการไหลในช่วง 0.2 ของการไหลที่ออกแบบถึงการไหลที่ออกแบบเต็มที่

ข. การคำนวณ

1. หาขนาดท่อ (ดูตารางบนรูป 2-31) ในกรณีที่ Q 50 ลบ.ฟ./วินาที และความเร็วสูงสุดที่ยอมให้ 3.5 ฟุต/วินาที จากตารางให้ใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 54 นิ้ว
2. หมายเลขอาคาร อาคารมีท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 54 นิ้ว และความเร็วสูงสุดที่ยอมให้ 3.5 ฟุต/วินาที โดยมีหมายเลข 54-1
3. หามิติมาตรฐานของอาคารควบคุมและท่อทางเข้า R และ L โดยใส่ตารางอาคารในหมายเลขอาคาร 54-1 อ่าน R = 5 ฟุต 9 นิ้ว และ L = 5 ฟุต 6 นิ้ว
4. หาค่า A_p, V_p และ h_{vp} ของท่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 54 นิ้ว โดยมี Q = 50 ลบ.ฟ./วินาที

   A_p = 0.785 x เส้นผ่าศูนย์กลาง^2 = 15.90 ฟุต^2

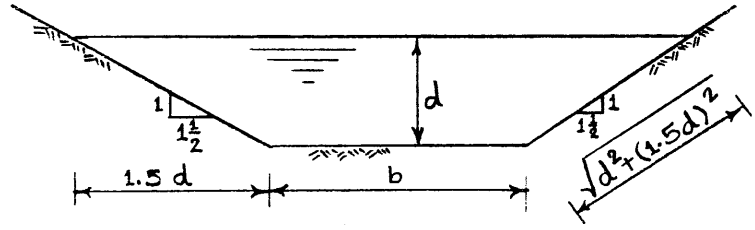
   $V_p = \frac{Q}{Ap_2} = \frac{50}{15.90}$ = 3.14 ฟุต/วินาที

$$h_{vp} = \frac{V_p^2}{2g} = \frac{3.14^2}{64.4} = 0.15 \text{ ฟุต}$$

โดยที่ g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วง

ในแนวทางของการคำนวณข้างต้น คุณสมบัติทางชลศาสตร์หาได้โดยใช้ตาราง

5. หาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของคลองในการไหล 0.2 ของ Q ปกติ โดยทำให้คำนวณ E (พลังงาน) คำนวณโดยใช้กราฟของฝายหยักควบคุม (Control notch graph) (รูป 2-32) พื้นที่เส้นขอบเปียกและรัศมีชลศาสตร์และการเสก็ตช์ของรูปคลอง ดังจะแสดงต่อไป



รูปตัดของคลอง

W_p = เส้นขอบเปียก

$= b + 2\sqrt{d^2 + (1.5d)^2}$

$= b + 2\sqrt{3.25\ d^2}$

$= b + 2\ (1.803\ d)$

$= b + 3.606\ d$

และ

A = พื้นที่

$= db + d\ (1.5d)$

$= db + 1.5d$

เช่นเดียวกับ

R = รัศมีชลศาสตร์ $= \frac{A}{W_p}$

หลังจากนั้นคำนวณคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของการไหล 0.2 Q

$0.2\ Q = 0.2 \times 50 = 10$

$S^{1/2} = (0.0005)^{1/2} = 0.02235$

วิธีเลือกใช้ในการคำนวณความลึกปกติของน้ำดังต่อไปนี้

ใช้ตาราง 7-11 จากหนังสือ Handbook of Hydraulic (3) ดังแสดงข้างล่าง หาค่าของ D

$$K' = \frac{0.2\ Q\ n}{S^{1/2}\ b^{8/3}} = \frac{10 \times 0.025}{0.02235 \times 73.1}$$

= 0.153

ใส่ตารางใช้ค่า $K' = 0.153$ และความลาดทางข้าง 1.5 = 1

อ่านค่าอัตราส่วน $\frac{D}{b}$ ของ 0.24 = $\frac{\text{ความลาดของน้ำ}}{\text{ความกว้างพื้นท้องคลอง}}$

จะได้ D = ความลึกของน้ำ = 0.24 x 5 = 1.20 ฟุต

ค่า A, V, h_v และ E หาได้ตามที่ปฏิบัติมาก่อนจากสมการ Mannings

$$AR^{2/3} = \frac{0.2\ Qn}{1.4868^{1/2}}$$

$$= \frac{10 \times 0.025}{1.486 \times 0.2235} = 7.53$$

จากตารางต่อไปค่า d ของ 1.2 ฟุต ให้ผล $AR^{2/3} = 7.51$ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ 7.53 พื้นที่ A โดยใช้ความลึก 1.2 ฟุต คือ 8.16 ตารางฟุต

รู้ค่า d และ A เราสามารถคำนวณคุณสมบัติทางชลศาสตร์ได้ ดังนี้

$$V = \frac{0.2\ Q}{A} = \frac{10}{8.16} = 1.23 \text{ ฟุต/วินาที}$$

$$h_v = \frac{V^2}{2g} = \frac{1.23^2}{64.4} = 0.02 \text{ ฟุต}$$

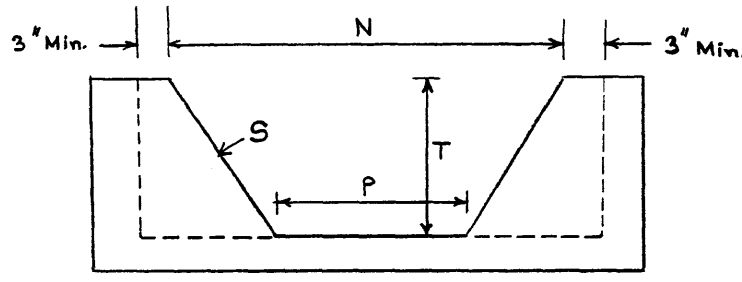
E (พลังงาน) ความลึกของน้ำ + หัวความเร็ว = d + hv

= 1.20 + 0.02 = 1.22 ฟุต

ตารางคำนวณ

สมมุติ d ฟุต	d^2 ตร.ฟุต	1.5 d^2 ตร.ฟุต	b ฟุต	db ตร.ฟุต	$A=db+1.5d^2$ ตร.ฟุต	360 bd ฟุต	W_p =b+360 bd ฟุต	$R = \frac{A}{W_p}$	$R^{2/3}$	$AR^{2/3}$
1.1	1.21	1.82	5.0	5.5	7.32	3.97	8.97	0.816	0.87	6.36
1.2	1.44	2.16	5.0	6.0	8.16	4.33	9.33	0.875	0.92	7.51

6. หามิติฝายหยักควบคุมโดยใช้รูปสเก็ตซ์ดังต่อไปนี้



ฝายหยักควบคุม

N = P + 2 (ST)

P = ความลึกก้นฝายหยัก

S = ความลาดเอียงทางข้าง = $\frac{\text{ราบ}}{\text{ดิ่ง}}$

T = ความสูงของฝายหยัก ≥ d

d = ความลึกของน้ำปกติในคลอง

ในภาวะที่ให้ จะมีฝายหยักมากกว่า 1 ฝาย ที่สามารถประมาณการควบคุมการไหลในช่วงพิสัยเดียวกันในตัวอย่างนี้ ฝายหยักควบคุมจะควบคุมให้ Q อยู่ระหว่าง 10 และ 50 ลบ.ฟ./วินาที

จากค่าที่ให้ และการคำนวณที่ผ่านมา และคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของคลอง โดยมี Q ไหลเต็มที่ และ 0.2Q คือ

การไหล	b ฟุต	d ฟุต	S	S:S	n	V ฟุต/วท.	hv ฟุต	E ฟุต
Q เต็มที่ = 50 ฟ.^{3}/วท.	5.0	2.83	0.0005	1.5:1	0.025	1.91	0.06	2.89
0.2Q = 10 ฟ.^{3}/วท.	5.0	1.20	0.0005	1.5:1	0.025	1.23	0.02	1.22

ในการเริ่มต้นขบวนการของการเลือกฝายหยักควบคุม เลือกกราฟจากรูป 2-40 มีค่า P น้อยที่สุดที่ใช้ในค่าอัตราการไหล 10 ถึง 50 ลบ.ฟ./วินาที ในตัวอย่างนี้ กราฟของฝายหยักควบคุม เลือกค่า P ขั้นแรก P = 12 นิ้ว ใส่กราฟโดยให้ E (พลังงาน) = 2.89 ฟุต ตรงดิ่งไปยังจุดตัดโดยมีเส้นทางราบ Q = 50 ลบ.ฟ./วินาที อ่านค่า S ของโค้งความลาดเอียงซึ่งวางอยู่ทางขวาของจุด โค้งนี้มีความลาดเอียง S = 0.75 ตรวจสอบด้วยวิธีเดียวกัน โดยดูว่าโค้งเดียวกันจะควบคุม 10 ลบ.ฟ./วินาที (0.2Q) ใส่กราฟที่ E (พลังงาน) = 1.22 ฟุต ตรงดิ่งไปยังจุดตัดกับเส้นทางราบ q = 10 ลบ.ฟ./วินาที โค้งจะอยู่ทางขวาของจุดนี้ทันใดแสดงความลาดเอียง S = 1.0 โค้งความลาดเอียงจะมีอัตราการไหลเท่ากันทั้งคู่ เพื่อว่าฝายหยักจะกระทำหน้าที่เป็นการควบคุม ทั้ง Q = 50 ลบ.ฟ./วินาที และ 10 ลบ.ฟ./ว. ซึ่งที่จริงแล้วมันจะไม่เกิดขึ้น

เราจึงจำเป็นที่จะทดลองกราฟด้วยค่า P ที่มากกว่า = 16 นิ้ว ทำวิธีการที่แล้วมาซ้ำ โดยค่าความลาดเอียงของฝายหยักหาได้โดย S = 0.50, Q = 50 ลบ.ฟ./วินาที และ g = 0.75, Q = 10 ลบ.ฟ./วินาที ดังนั้น ใช้ค่า P ที่มากกว่าที่ถัดไป P = 20 นิ้ว ทำวิธีการนี้ซ้ำจากความลาดเอียงของฝายหยัก หา S = 0.5, Q = 50 ลบ.ฟ./วินาที และ S = 0.5 โดย Q = 10 ลบ.ฟ./วินาที ฝายหยักควบคุมนี้ใช้ได้ในการควบคุมอัตราการไหลให้ อยู่ระหว่าง 10 และ 50 ลบ.ฟ./วินาที

P = 20 นิ้ว S = 0.50, T = d_n = 2.83 ฟุต = 2 ฟุต 10 นิ้ว

N = P + 2ST = 20 นิ้ว + 2 (0.5) (2 ฟุต 10 นิ้ว) = 4 ฟุต 6 นิ้ว

โดยการใช้วิธีการเดียวกันในการควบคุมฝายหยักด้วยค่า P = 16 หรือ 12 นิ้ว สามารถใช้ได้อยู่ในช่วงค่า 50 ลบ.ฟ./วินาที ถึง 10 ลบ.ฟ./วินาที

7. หาความกว้างภายในกล่องทางเข้า รูป 2-28

ความกว้างน้อยที่สุด = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ + 6 นิ้ว

= 4 ฟุต 6 นิ้ว + 6 นิ้ว

= 5 ฟุต

หรือ

ความกว้างน้อยที่สุด = W + 6 นิ้ว = (4 ฟุต 6 นิ้ว) + 6 นิ้ว

= 5 ฟุต

ใช้ความกว้าง = 5 ฟุต

8. หาระดับที่บนสุดของฝายหยัก และกำแพงข้าง

= EI.A + T = 5406.00 + 2.83

= 5408.83

9. หาค่า EI.D

= EI บนสุดของกำแพงข้าง - R (จากตารางอาคาร)

= 5408.83 - 5.75

= 5403.080

บทที่ 3

อาคารทิ้งน้ำ

(Wasteway Structure)

3.1 ทั่วไป

3.1.1 จุดประสงค์ การที่ต้องมีอาคารประเภทนี้ก็เพื่อป้องกันความเสียหายของระบบคลองและสิ่งใกล้เคียง ซึ่งเกิดจากน้ำป่า หรือน้ำที่จะต้องระบายทิ้ง หรือปริมาณน้ำส่วนเกินในคลอง ซึ่งสามารถควบคุมได้

การที่ต้องควบคุมน้ำป่าและน้ำที่จะต้องระบายทิ้ง ก็เพื่อป้องกันความเสียหายอันเกิดจากการกัดเซาะคันคลองด้านเชิงเขา และการตกตะกอนที่เพิ่มขึ้นในคลอง

วิธีการในการป้องกันความเสียหายที่เกิดจากน้ำทั้งสองชนิดนั้น ได้แก่

1. จัดให้มีการไหลข้ามคลองอย่างมีระเบียบโดย DRAIN INLET
2. จัดให้ไหลเข้าคลองไปโดย OVERCHUTE
3. จัดให้ลอดใต้คลองไปโดย CULVERT
4. จัดให้คลองไหลลอดทางระบายน้ำโดย SIPHON

การควบคุมปริมาณน้ำส่วนเกินในคลอง ก็เพื่อป้องกันความเสียหายจากการที่น้ำท่วมหลังคัน หรือความเสียหายของคันคลองเนื่องจากความลึกของน้ำสูงเกินไป ที่เกิดจากการส่งน้ำ การมีทางทิ้งน้ำ (WASTEWAY) ก็เพื่อระบายน้ำส่วนเกินซึ่งเป็นผลจากการที่

1. น้ำที่ต้องการระบายเข้าสู่คลองทาง DRAIN INLET
2. การควบคุม ทรบ. ที่อยู่เหนือน้ำ ซึ่งทำให้เกิดความไม่สัมพันธ์กันระหว่างปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองกับความต้องการใช้น้ำ
3. การหยุดสูบน้ำของสถานีสูบน้ำซึ่งตั้งอยู่ทางท้ายน้ำของ WASTEWAY

WASTEWAY ยังใช้กับการระบายน้ำให้หมดคลอง เพื่อที่จะตรวจสอบ บำรุงรักษา การหยุดส่งน้ำตามฤดูกาล หรือในกรณีฉุกเฉิน เช่น คันคลองชำรุด

ที่ปลายคลองจะมีอาคารทิ้งน้ำย่อย (TERMINAL WASTEWAY) เพื่อที่จะควบคุมปริมาณน้ำที่เหลือใช้ลงสู่ร่องระบายน้ำ หรืออ่างเก็บน้ำ

3.2 อาคารทิ้งน้ำ (WASTEWAY)

3.2.1 รูปร่างลักษณะ

ลักษณะพื้นฐานของ WASTEWAY เป็นอาคารที่มีส่วนให้น้ำล้นข้ามหรือบานระบาย ประกอบอยู่ร่วมกับ DROP และร่องทิ้งน้ำ (WASTEWAY CHANNEL)

ก. ทางเข้าของทางทิ้งน้ำ (Wasteway inlet) เป็นอาคารส่วนที่ให้น้ำล้นข้ามไปได้ อย่างเช่น SIDE CHANNEL SPILLWAY หรือ SIPHON SPILLWAY ทำให้น้ำส่วนที่เกินในคลองไหลออกไปได้โดยอัตโนมัติ บานระบายน้ำของ WASTEWAY TURNOUT ทำให้สามารถระบายน้ำให้หมดจากคลอง

การจัดวาง WASTEWAY INLET ส่วนมากมักจะตั้งฉากกับคลอง แต่การจัดวางอาคารในลักษณะ INLINE จะมีประสิทธิภาพในการระบายขยะ หรือสิ่งที่ลอยมาบนผิวน้ำได้ดีกว่า, อาคาร CHECK AND PIPE INLET จะทำหน้าที่ได้ทั้งการไหลข้าม ซึ่งเป็นการควบคุมระดับน้ำส่วนเกินโดยอัตโนมัติ อีกทั้งบาน หรือ STOPLOG จะทำหน้าที่ในการระบายน้ำให้หมดได้จากคลอง อาคารแบบนี้มักใช้ในลักษณะ INLINE WASTEWAY ที่ปลายคลองเพื่อที่จะทิ้งน้ำในคลองส่วนที่ไม่ต้องการใช้ แต่อย่างไรก็ตามอาคารแบบนี้ก็สามารถติดตั้งที่จุดอื่นๆ ตามคลองได้ โดยมีทางน้ำอื่นๆ รับจากคลองสู่ CHECK AND PIPE INLET

อาคาร CHECK DROP ก็ทำหน้าที่ได้เช่นเดียวกับ WASTEWAY ในการที่มีทั้งส่วน OVERFLOW และบานระบาย หรือ STOPLOG บานของ WASTEWAY TURNOUT อาจปิดเปิดได้ด้วยคน โดยมีหรือไม่มีเครื่องกว้านไฟฟ้า หรือโดยอัตโนมัติ หรือโดยการควบคุมระยะไกล (REMOTE CONTROL)

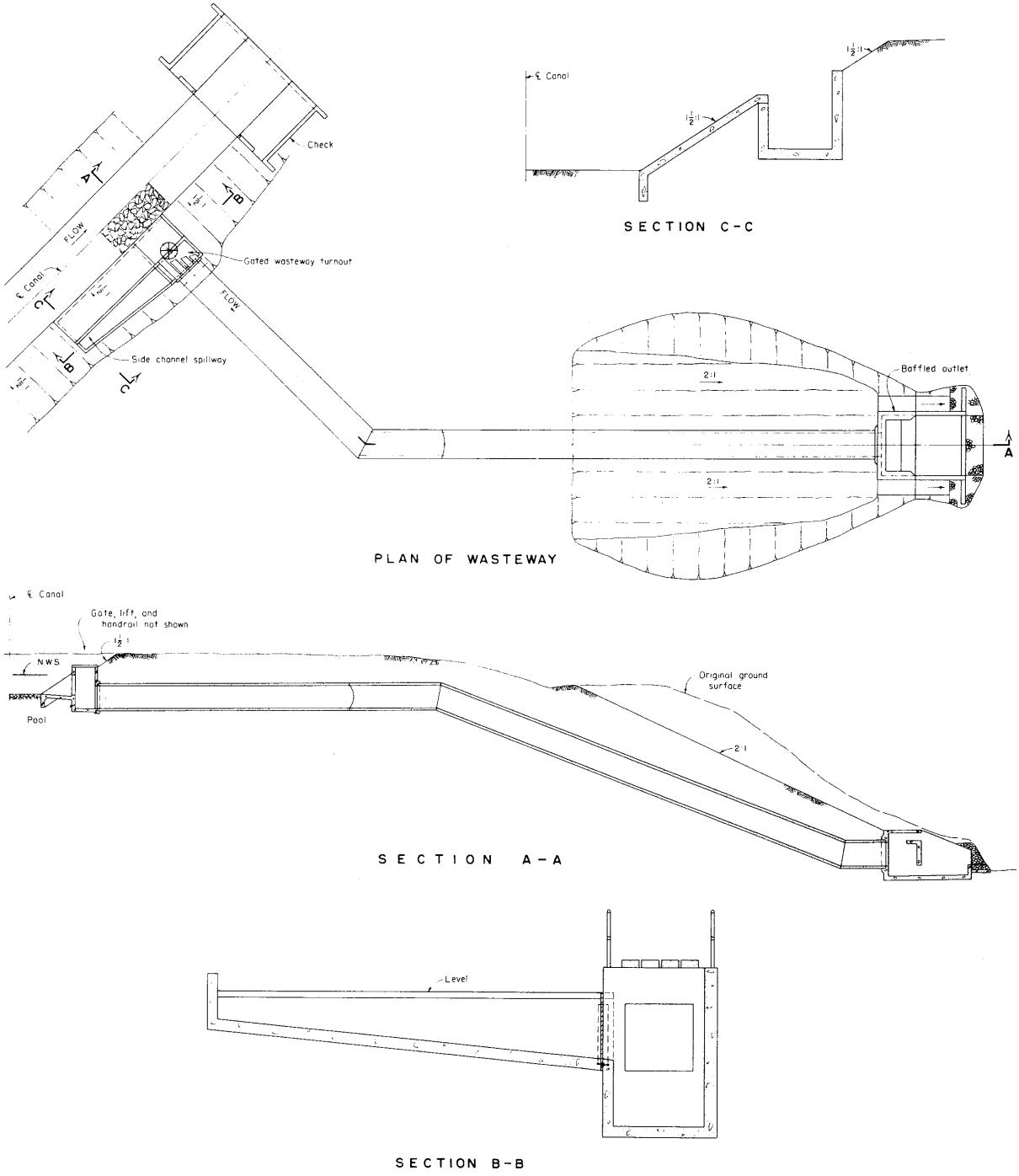
ข. ทางออกของทางทิ้งน้ำ (WASTEWAY OUTLET) ตามปกติ WASTEWAY OUTLET จะต้องทำหน้าที่ลดพลังงานส่วนที่เกิน เพื่อป้องกันการกัดเซาะท้ายอาคาร และร่องระบายน้ำหากระยะที่น้ำตกลงในแนวตั้งฉากจากคลองลงสู่ WASTEWAY CHANNEL ไม่มากนัก การใช้เพียง TRANSITION ก็เพียงพอ หากระดับที่ตกนี้สูงจะต้องใช้ BAFFLED OUTLET, BAFFLED APRON หรือ STILLING POOL อย่างใดอย่างหนึ่งประกอบกับอาคาร DROP หรือ CHUTE

BAFFLED OUTLET เป็นตัวลดพลังงานที่ใช้ได้ดีเมื่อเป็นการไหลของน้ำผ่านท่อ แต่ไม่ควรใช้เมื่อมีสิ่งสกปรกลอยปนมากับน้ำมาก

BAFFLED APRON DROP ใช้ได้ดีมากกับการไหลของน้ำในลักษณะเปิด แต่ก็ใช้ได้กับท่อปิด โดยต้องให้มี TRANSITION ยาวๆ เข้าสู่ BAFFLED APRON DROP หากมีหญ้าหรือขยะเล็กๆ ลอยปนมาในน้ำเป็นจำนวนมาก ก็มีความจำเป็นที่จะต้องทำความสะอาด BAFFLE BLOCK เพื่อให้แน่ใจว่าอาคารทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ควรใช้ BAFFLED APRON DROP หากคาดว่ามีโอกาสที่จะมีท่อนไม้ใหญ่ๆ ลอยมากับน้ำ

BAFFLED APRON DROP ทำหน้าที่ได้อย่างดี โดยที่ไม่ต้องห่วงระดับน้ำด้านท้ายน้ำ จึงสามารถใช้ได้เมื่อระดับน้ำด้านท้ายน้ำเปลี่ยนแปลงต่างกันมากๆ ดังนั้นจึงมักจะใช้เป็น TERMINAL STRUCTURE เพื่อปล่อยน้ำลงสู่อ่างเก็บน้ำ

STILLING POOL เหมาะที่จะใช้ต่อจาก INCLINED DROP หรือ CHUTE รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่ก็ใช้ได้กับท่อปิด โดยต้องให้มี TRANSITION ยาวๆ เข้าสู่ POOL, STILLING POOL ใช้ได้โดยไม่มีปัญหากับขยะที่ปนมากับน้ำตามปกติ แต่ระดับน้ำด้านท้ายจะต้องถูกควบคุม เพื่อให้เกิด HYDRAULIC JUMP หากทางน้ำธรรมชาติด้านท้ายน้ำไม่ทำให้เกิด DOWNSTREAM CONTROL จะต้องประกอบ CONCRETE SILL, STOPLOG SILL หรือ CONTROL NOTCH เข้ากับ POOL การทำให้เกิด DOWNSTREAM CONTROL สามารถทำได้โดยทำให้พื้นของ TRANSITION เป็น SLOPE



รูปที่ 3-1 อาคารทิ้งน้ำโดยใช้ SIDE CHANNEL SPILLWAY

ค. ร่องระบายน้ำและอาคารในร่องระบายน้ำ (Wasteway channel) การนำน้ำที่ต้องการทิ้งไปยังจุดที่ต้องการทิ้ง เช่น แม่น้ำ หรืออ่างเก็บน้ำ ควรใช้ทางน้ำธรรมชาติที่มีสภาพเหมาะสม แต่อย่างไรก็ตาม ปกติแล้วมักจะต้องมีการสร้างทางน้ำเพื่อเชื่อมต่อระหว่างอาคารทิ้งน้ำกับทางระบายน้ำธรรมชาติ ซึ่งทางน้ำนี้อาจยาวเพียงไม่กี่เมตร หรืออาจยาวหลายร้อยเมตรก็ได้ การเลือกขนาดของทางน้ำดังกล่าวนี้ก็เช่นเดียวกับการออกแบบคลอง เพียงแต่อาจพิจารณาเกี่ยวกับการป้องกันความเสียหายเนื่องจากการกัดเซาะน้อยกว่าคลองส่งน้ำ ในบางครั้งอาจมีความต้องการอาคารในทางระบายน้ำ เพื่อที่จะควบคุมการไหลของน้ำและป้องกันการกัดเซาะสูง ๆ ที่จะเกิดขึ้นกับทางระบายน้ำ อาคารเหล่านี้ได้แก่ RECTANGULAR INCLINED DROP, RECTANGULAR CHUTE, BAFFLED APRON DROP, CONTROL AND PIPE INLET, PIPE DROP, PIPE CHUTE และ ROAD CROSSING

ง. อาคารประกอบในคลองส่งน้ำ (APPURTENANT CANAL STRUCTURE) ตามปกติแล้วมักจะมี CHECK STRUCTURE ในคลองส่งน้ำ ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่เลยไปเล็กน้อยทางด้านท้ายน้ำจากจุดที่ตั้งของ WASTEWAY ถึงแม้ว่า CHECK STRUCTURE ไม่ใช่ส่วนประกอบของ WASTEWAY แต่การที่ต้องมีอาคารนี้ก็เพื่อทำให้สามารถผันน้ำจากคลองเข้าสู่ WASTEWAY ได้

3.2.2 วิธีพิจารณาจุดที่ตั้ง และจำนวนของอาคาร

มีองค์ประกอบหลายอย่างที่ต้องนำมาร่วมกันพิจารณาเกี่ยวกับการเลือกจุดที่ตั้งและจำนวนของอาคาร WASTEWAY

การวิเคราะห์องค์ประกอบต่อไปนี้เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณา

ก. ราคาของระบบคลอง และอาคารทิ้งน้ำ

ข. สภาพที่เป็นอยู่ของทางระบายน้ำธรรมชาติ ที่มีคุณสมบัติเหมาะสม ที่บริเวณที่เหมาะจะกำหนดเป็นที่ตั้งของ WASTEWAY

ค. ปริมาณและอัตราการไหลของน้ำป่า หรือน้ำที่ต้องการระบายซึ่งจะต้องไหลเข้าสู่คลองโดยผ่าน DRAIN INLET

ง. เวลาโดยประมาณที่ต้องใช้ในการควบคุมการส่งน้ำโดยคน หรือเวลาที่ต้องเผื่อไว้สำหรับระบบคลองที่เป็นแบบอัตโนมัติ หรือแบบควบคุมจากระยะไกล

จ. ขนาดของความเสียหายทางเศรษฐกิจที่จะเกิดขึ้น หากเกิดความเสียหายขึ้นกับคันคลองซอยขนาดสั้น ๆ ที่มี FARM TURNOUT น้อยกว่า 5 แห่ง ไม่จำเป็นที่จะต้องมีอาคารทิ้งน้ำ สำหรับคลองซอยที่ยาว ๆ ควรจะมีอาคารทิ้งน้ำย่อย (TERMINAL WASTEWAY) ที่ปลายคลอง หรือใกล้เคียง ซึ่งหากเป็นไปได้ควรให้อยู่ใกล้ทางน้ำธรรมชาติ จำนวนของ TURNOUT ที่อยู่ทางด้านท้ายน้ำของอาคารทิ้งน้ำแห่งสุดท้ายในคลองควรที่จะมีจำนวนจำกัด ทั้งนี้เพื่อไม่ทำให้คลองช่วงนั้นต้องรับภาระหนัก ในโอกาสที่จำเป็นต้องปิด TRUNOUT ทั้งหมด

3.2.3 วิธีการพิจารณาขนาดของอาคารทิ้งน้ำ

การเลือกขนาดที่จะต้องออกแบบอาคารทิ้งน้ำ มีตัวแปรต่าง ๆ เกี่ยวกับสภาวะและความต้องการ ซึ่งจะต้องพิจารณาเป็นแต่ละรายไป ได้แก่

ก. ทางน้ำล้น (SPILLWAY) ปริมาณน้ำที่ต้องการให้ไหลข้ามไปโดยอัตโนมัติมีส่วนเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำที่เข้าจาก DRAIN INLET ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการควบคุมบานระบายด้านเหนือน้ำ การจ่ายน้ำโดย PUMPING หรือ POWER PLANT ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณน้ำที่เข้ามาทาง DRAIN INLET ขนาดของทางระบายน้ำจะต้องเหมาะสมที่จะระบายน้ำที่เข้าจาก DRAIN INLET ทั้งหลายที่อยู่เหนือน้ำของอาคารทิ้งน้ำ โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ปริมาณน้ำที่เข้ามานี้จะถูกจำกัดไม่ให้เกิน 20% ของความจุของคลอง

2. การควบคุมบานระบายด้านเหนือน้ำ การปิดบานระบายของ TURNOUT ทั้งหลายที่อยู่ด้านเหนือน้ำ โดยที่ไม่ได้ปรับ ปตร. ของคลองให้สัมพันธ์กัน จะมีผลทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลในคลองเพิ่มขึ้น บางครั้งขนาดของทางระบายน้ำที่ต้องการจะขึ้นอยู่กับขนาดความจุของ TURNOUT ตัวใหญ่ที่สุด ที่ตั้งอยู่ด้านเหนือน้ำ

3. PUMPING PLANT และ POWER PLANT คลองที่ใช้ PUMPING PLANT หรือ POWER PLANT ในการจ่ายน้ำนั้น ตามปกติจะต้องให้มีขนาดของทางระบายน้ำที่ทำงานโดยอัตโนมัติเท่ากับขนาดของ PLANT ที่ได้ออกแบบไว้ เนื่องจากมีโอกาสที่ PUMPING PLANT ชำรุดเสียหาย หรือการที่ต้องปิด POWER PLANT โดยกระทันหัน หากมีการที่ต้องปิด PLANT ในช่วงที่น้ำหลาก ซึ่งในขณะนั้นน้ำเข้าสู่ DRAIN INLET อย่างเต็มที่ ก็ควรจะต้องออกแบบให้ขนาดของทางระบายน้ำรับน้ำได้เท่ากับผลรวมของขนาดของ PLANT กับขนาดของ DRAIN INLET ซึ่งอาจเป็นได้ถึงประมาณ 120% ของขนาดความจุของคลอง

ข. บานระบายน้ำออกจากแปลง (WASTEWAY TURNOUT GATE) ขนาดของบานของอาคารทิ้งน้ำจะต้องเท่ากับหรือมากกว่าขนาดความจุของคลอง เพื่อที่จะให้สามารถผันน้ำที่เหลือในคลองทั้งหมดลงสู่อาคารทิ้งน้ำเมื่อโอกาสที่คันคลองเสียหาย หรือเมื่อมีเหตุฉุกเฉินอย่างอื่นทางด้านท้ายน้ำ เพื่อไม่ให้คลองช่วงนั้นเกิดความเสียหาย จะต้องเปิดบานของอาคารทิ้งน้ำ และปิดบานของ CHECK ตัวที่อยู่ใกล้ การเลือกใช้ขนาดของบานอาคารทิ้งน้ำเท่ากับขนาดความจุของคลอง ทำให้การปล่อยน้ำออกจากคลองเพื่อการตรวจสอบบำรุงรักษา หรือเมื่อการปิดในปลายฤดูทำได้สะดวกดียิ่งขึ้น

ค. ปากทางออกของทางน้ำทิ้ง (WASTEWAY OUTLET) ส่วน OUTLET ของอาคารทิ้งน้ำ จะต้องสามารถระบายน้ำออกได้ด้วยปริมาณน้ำที่ออกจากทางทิ้งน้ำ และส่วนที่ระบายน้ำโดยการไหลข้ามได้ในขณะเดียวกัน ดูรูปที่ 3-1

ง. ร่องระบายน้ำธรรมชาติ (NATURAL DRAINAGE CHANNEL) ขนาดของทางระบายน้ำ หรือทางทิ้งน้ำจะต้องไม่เกินกว่าขนาดที่ทางระบายน้ำธรรมชาติจะระบายออกไปได้อย่างปลอดภัย ฉะนั้นขนาดของทางระบายน้ำธรรมชาติ จึงเป็นตัวกำหนดขนาดของทางทิ้งน้ำ เว้นแต่มีการปรับปรุงให้ดีขึ้น

3.2.4 ขีดจำกัด (LIMITATION)

การควบคุมบานของอาคารทิ้งน้ำ จะต้องไม่ลดระดับน้ำผิวน้ำในคลองเร็วเกินไป จนทำให้เกิดความเสียหายต่อคันคลอง ส่วนดาดคลอง และอาคารประกอบโดยทั่ว ๆ ไป เพื่อที่จะไม่ให้เกิดแรงดันน้ำในคันคลองหรือด้านหลังของส่วนดาดคลองสูงเกินไป ไม่ควรลดระดับผิวน้ำเกินกว่า 15 ซม. ใน 1 ชม. และไม่เกินกว่า 30 ซม. ใน 24 ชม.

3.2.5 ทั่วไป

SIDE CHANNEL SPILLWAY เป็นอาคารที่ตั้งอยู่ตามคันคลอง โดยที่มีสันของทางระบายน้ำล้น (SPILLWAY) ขนานไปตามคลอง เมื่อระดับผิวน้ำของคลองขึ้นสูงกว่าสันน้ำส่วนที่เกินจะไหลเข้าสู่รางด้านข้าง (SIDE CHANNEL) โดยอัตโนมัติ จากรางด้านข้างนี้น้ำจะตกลงสู่บ่อรับน้ำ (POOL) จากบ่อรับน้ำนี้จะไหลผ่านท่อ หรือทางน้ำชนิดเปิดลงสู่ร่องระบายน้ำต่อไป โดยทั่วไปอาคารนี้มักใช้ร่วมกับบานชนิด SLIDE GATE เพื่อที่จะทำให้ระบายน้ำออกจากคลองได้ทั้งหมด ตามปกติจะมีอาคาร CHECK ตั้งอยู่ในคลองด้านท้ายน้ำไม่ห่างจาก WASTEWAY เพื่อการผันน้ำส่วนที่เหลือของคลองลงสู่ WASTEWAY

SPILLWAY ชนิด OVER FLOW ใช้การได้ดีในการที่จะนำขยะ หรือวัชพืชออกจากคลอง โดยการที่ปิดบานเป็นบางส่วนของ CHECK ด้านท้ายน้ำ ซึ่งทำให้ระดับผิวน้ำสูงขึ้นจนกระทั่งวัชพืช หรือขยะไหลข้ามสันฝาย บางครั้งการบังคับให้สิ่งเหล่านี้สู่ WASTEWAY อาจใช้ทุ่นลอยกันขยะ (FLOATING ROOM) ติดตั้งทแยงกับคลอง หากคาดว่าในคลองจะมีวัชพืชหรือขยะลอยมากับน้ำ จะต้องไม่ใช้ BAFFLED OUTLET

3.2.6 การพิจารณาออกแบบ

วิธีการพิจารณาออกแบบ SIDE CHANNEL SPILLWAY สำหรับคลองขนาดเล็ก มีสิ่งที่ต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

ก. การไหลล้นสันระบายน้ำ (OVERFLOW CREST) สันของ SPILLWAY จะต้องอยู่ในแนวราบ และสูงกว่าผิวน้ำปกติประมาณ 5-10 ซม. เพื่อไม่ให้เกิดความสูญเปล่าของน้ำโดยไม่จำเป็นจากการเกิดคลื่นตามปกติ เพื่อให้มีความปลอดภัยจากการที่น้ำไหลท่วมหลังคันคลองอย่างเพียงพอ ระดับของผิวน้ำสูงสุดที่ยอมให้เกินเข้ามาได้ในส่วน FREEBOARD ของคลอง คือ

50% ของ FREEBOARD ของคลองดาด หรือ

25% ของ FREEBOARD ของคลองที่ไม่ได้ดาด

แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีฉุกเฉินอาจยอมให้ส่วนที่เกินเข้ามาใน FREEBOARD ได้ถึง 50% เมื่อน้ำไหลผ่าน SPILLWAY เต็มที่ตามปริมาณที่ออกแบบ

ความยาวของสันฝาย จะคำนวณหาได้โดยใช้สูตรของฝายชนิด STANDARD SUPPRESSED RECTANGULAR คือ

$$Q = 1.84 * L * H^{3/2}$$

ข. ทางระบายด้านข้าง (SIDE CHANNEL) ตามปกติรางด้านข้างจะมีรูปตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความกว้าง ความลึก และลาด จะต้องพอเหมาะที่จะให้การไหลของน้ำมีลักษณะเป็น FREE FLOW โดยที่มีต้นหญ้า และขยะลอยมากับน้ำด้วย อีกทั้งมีขนาดที่สามารถก่อสร้างได้โดยสะดวก ความกว้างที่เหมาะสมจะต้องค่อย ๆ เปลี่ยนไปจากประมาณ 60 ซม. ที่ปลายด้านเหนือน้ำ จนเป็นประมาณ 1.20 ม. ที่ปลายด้านท้ายน้ำ ยกเว้นเมื่อปริมาณน้ำไม่เกิน 1.50 ม.^{3}/วินาที ความกว้างที่ปลายด้านท้ายน้ำประมาณ 90 ซม. ก็เพียงพอแล้ว ในบางสภาพการทำความกว้างของรางคงที่อาจเป็นที่เหมาะสม เพื่อให้แน่ใจว่าการไหลของน้ำผ่าน SPILLWAY เข้าสู่รางด้านข้างจะเป็นไปอย่างอิสระ ระดับของผิวน้ำในรางจะต้องอยู่ต่ำกว่าสันของ SPILLWAY เพื่อให้

เป็นไปตามที่ต้องการนี้ จะทำได้โดยกำหนดให้ระดับพื้นของรางที่ปลายทางด้านท้ายน้ำอยู่ต่ำกว่าสันฝายเป็นระยะเท่ากับ SPECIFIC ENERGY บวกกับ 30 ซม. โดยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเมื่อการไหลเต็มที่ ตามที่กำหนดไว้ในการออกแบบ สมมุติว่าการไหลของน้ำในรางเป็น CRITICAL FLOW ดังนั้น SPECIFIC ENERGY จะเท่ากับ CRITICAL DEPTH บวกกับ VELOCITY HEAD ($d_c + h_{vc}$) ซึ่งสำหรับรางที่มีรูปตัดขวางเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้ว SPECIFIC ENERGY จะเท่ากับ 1.5 d_c ฉะนั้นความสูงของกำแพงทั้งด้านท้ายน้ำอย่างน้อยที่สุดต้องเป็น 1.5 d_c บวกกับอีก 30 ซม.

ลาดของพื้นรางจะต้องเอียงพอที่จะทำให้การไหลของน้ำลงสู่ POOL เป็นไปในลักษณะ SUPER-CRITICAL อย่างไรก็ตามการที่น้ำไหลเข้าสู่รางด้านข้างโดยผ่านสันของ SPILLWAY ทำให้เกิดการอืดตัวของน้ำ (BULKING) ดังนั้นความลาดเอียงของพื้นจะต้องกำหนดไว้ให้ชันกว่า CRITICAL SLOPE ความลาดเอียงที่มักใช้กันมากคือ 0.05 ฉะนั้นความสูงของกำแพงด้านเหนือน้ำ จะเท่ากับความสูงของกำแพงด้านท้ายน้ำลบด้วย 0.05 เท่าของความยาวสันฝาย

ค. บานระบายน้ำ (WASTEWAY TURNOUT GATE)

ตามปกติแล้วการใช้บานระบายเพื่อทางทิ้งน้ำจากคลองก็ต่อเมื่อต้องการระบายน้ำออกจากคลองให้หมด การที่จะทำให้ส่วนของคลองท้ายน้ำลงไปไม่มีน้ำอยู่เลยนั้น ปริมาณน้ำของคลองที่ได้ออกแบบไว้จะต้องไหลผ่านบานของทางทิ้งน้ำนี้ได้ โดยที่ไม่มีการไหลข้ามบานของ CHECK ด้านท้ายน้ำ หรือเข้าสู่รางด้านข้าง เพื่อที่จะให้ปริมาณน้ำที่กำหนดไว้ของคลองไหลผ่านทางทิ้งน้ำเป็นครั้งคราวเช่นนี้ การที่จะกำหนดขนาดพื้นที่ของบานจะทำได้โดยกำหนดให้ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านช่องบานเป็น 3 ม./วินาที ซึ่งเมื่อได้ขนาดของบานจากการกำหนดความเร็วดังกล่าวแล้ว ก็จะต้องกำหนดให้มี HEAD อย่างเพียงพอโดยใช้สมการของช่องเปิด

$$Q = CA\sqrt{2gh}$$

หรือ $h = v^2 / (2 * g * c^2)$

โดยการให้ค่า C = 0.60 และ V = 3.00 ม./วินาที ดังนี้ h ที่ต้องการจะต้องเท่ากับ 1.274 ม. ดังนั้นเส้นผ่าศูนย์กลางของบานจะต้องอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำปกติของคลอง 1.274 ม. แต่อย่างไรก็ตาม เพื่อที่จะไม่ทำให้อาคารลึกโดยไม่จำเป็น และเพื่อลดปัญหาที่จะต้องขุดลอกตะกอน การกำหนดแนวศูนย์กลางของบานไม่ควรที่จะให้อยู่ต่ำกว่าระดับก้นคลอง เมื่อเป็นเช่นนี้ HEAD สูงสุดจะมีอยู่ไม่เกินความลึกปกติของคลอง หากเกิดมี HEAD ที่จำกัดเช่นนี้จะต้องคำนวณขนาดของบานใหม่โดยลด HEAD ลง หากขนาดของบานที่คำนวณได้ไม่มีอยู่ตามแบบบานที่มีอยู่ ก็ต้องเลือกใช้ขนาดถัดไปที่ใหญ่กว่าแล้วกลับมาคำนวณหา HEAD ที่ต้องการใหม่

ง. อ่างรับน้ำ (POOL)

เพื่อให้การไหลของน้ำผ่านบาน หรือจากรางด้านข้างเป็นไปในลักษณะของการไหลอย่างอิสระ (FREE FLOW) พื้นของบ่อจะต้องอยู่ต่ำเพียงพอ ที่ระดับผิวน้ำในบ่ออยู่ไม่สูงเกินแนวศูนย์กลางของบาน และประมาณไม่สูงกว่าพื้นของรางด้านข้าง ถ้าการไหลของน้ำนี้เป็นไปโดยการใช้ท่อ ส่วนบนสุดของท่อจะต้องจมอยู่ใต้น้ำไม่น้อยกว่า 1.5 h_{vp} เมื่อให้ ENTRANCE LOSS เป็น 0.5 h_{vp} และ PIPE VELOCITY HEAD เป็น h_{vp}

จ. ท่อรับน้ำ (PIPE)

อาคารทิ้งน้ำส่วนมากประกอบด้วยท่อ ต่อออกจากบ่อรับน้ำลอดใต้ถนนบนคันคลองเข้าสู่ส่วน OUTLET ขนาดของท่อไม่ควรเล็กกว่า 60 ซม. เพราะในน้ำที่ระบายทิ้งนั้นมีเศษหญ้าหรือขยะลอยปะปนมาด้วย หากส่วน OUTLET เป็นชนิดทำด้วยคอนกรีต การหาขนาดของท่อจะทำได้โดยถือว่าความเร็วสูงสุดที่ยอมให้เป็น 3.00 ม./วินาที เมื่อเป็นการไหลเต็มท่อ ลาดของพื้นท่อควรใช้ประมาณ 0.001 เพื่อที่จะระบายน้ำออกได้หมดโดยไม่ทำให้เกิดการไหลเป็นลักษณะ SUPERCRITICAL หากต่อท่อกับ BAFFLED OUTLET การหาขนาดของท่อจะต้องถือว่าความเร็วสูงสุดที่ยอมให้เป็น 3.60 ม./วินาที เมื่อเป็นการไหลเต็มท่อ ลาดของท่ออาจทำได้ชันถึง 1:1.5 เมื่อมีการออกแบบอย่างอื่นที่เหมาะสม

ฉ. อาคารปากทางทิ้งน้ำ (WASTEWAY OUTLET STRUCTURE)

การเลือกชนิดของส่วน OUTLET ขึ้นกับสภาพทางภูมิศาสตร์ หากพลังงานส่วนเกินมีไม่มากควรใช้ TRANSITION ชนิด TYPE 2 ตามแบบของ U.S.B.R. เพื่อการป้องกันการกัดเซาะของช่องทางที่ใช้เพื่อการทิ้งน้ำ หากพบว่าสมควรที่จะมีการลดระดับลง พลังงานส่วนที่เกินจะต้องถูกทำให้สลายโดยการใช้ PIPE DROP, BAFFLED OUTLET, BAFFLED APRON DROP หรือ STILLING POOL

ช. การซึมลอดของน้ำ (PERCOLATION)

โดยที่ตามปกติแล้ว ผิวน้ำในคลองจะอยู่สูงกว่าระดับพื้นที่ OUTLET ของอาคารทิ้งน้ำ ซึ่งจะทำให้มีโอกาสที่น้ำจะไหลซึมผ่านดิน หรือตามข้างอาคารผ่านไปสู่ OUTLET หาก PERCOLATION PATH สั้นเกินไป อัตราการซึมผ่านของน้ำจะมากพอที่จะทำให้เม็ดดินเคลื่อนตัวออกไป ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายขึ้นกับคันคลองหรืออาคาร เพื่อป้องกันการที่เม็ดดินถูกน้ำพัดพาไปนี้ จะต้องยืด PERCOLATION PATH โดยการใส่ COLLAR เพิ่มขึ้นกับท่อ

ซ. การป้องกัน (PROTECTION)

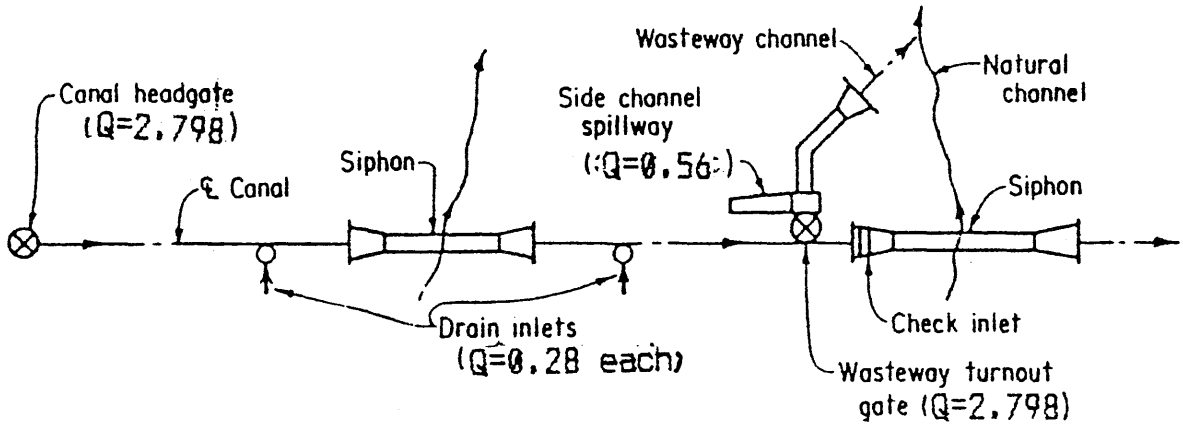
การเลือกใช้ PROTECTION สำหรับคลองดิน หรือคลองดาด คอนกรีตหรือช่องทางทิ้งน้ำ จะทำได้โดยใช้ตามที่ได้แสดงไว้ในรูป 3-2 เป็นแนวทางที่ OUTLET จะเป็น PROTECTION TYPE 2 หรือ TYPE 3 ที่พื้นคลอง ส่วนที่ต่อกับ WASTEWAY TURNOUT GATE INLET จะใช้ PROTECTION TYPE 1 โดยต่อมาถึงแนวศูนย์กลางคลอง และให้ความยาวตามคลองเป็นสองเท่าของความกว้างของตัวบาน

ฌ. การควบคุมการส่งน้ำ (OPERATION)

การควบคุมบานของอาคารทิ้งน้ำ จะต้องกระทำโดยที่อัตราการลดลงของผิวน้ำอยู่ในขอบเขต ที่ไม่ทำให้เสียความมั่นคงต่อคันคลอง การดาดคลองและอาคารที่เกี่ยวข้องโดยทั่ว ๆ ไปแล้ว เพื่อไม่ให้เกิดแรงดันน้ำมากเกินไปในคันคลอง หรือด้านหลังของส่วนดาดคลอง ไม่ควรลดผิวน้ำกว่า 15 ซม. ใน 1 ชม. และไม่เกินกว่า 30 ซม. ใน 24 ชม.

3.2.7 ตัวอย่างการออกแบบ

ตัวอย่าง ให้ออกแบบอาคารทิ้งน้ำที่ประกอบด้วย SIDE CHANNEL SPILLWAY พร้อมกับบานระบายให้เหมาะสมกับคลองตามรูป 3-3



รูปที่ 3-3 แปลนแสดงคลอง และทางระบายน้ำด้านข้าง

ก. สมมุติฐาน

1. คลองเป็นคลองดินที่มีคุณสมบัติดังนี้

Q	= 2.798 ม.^{3}/วินาที	b	= 2.50 ม.	d_n	= 0.90 ม.
F_b	= 0.60 ม.	S.S	= 1:1.5	n	= 0.025
S	= 1:1,250	V	= 0.808 ม./วินาที		
W	= 4.00 ม.				

2. ความต่างของ HEAD ใน POOL กับ WASTEWAY CHANNEL เพียงพอที่จะระบายน้ำที่ออกแบบได้ แต่ไม่มากถึงกับต้องมีอาคารเพื่อการสลายพลังงานส่วนเกิน

3. WASTEWAY CHANNEL มีขนาดเท่ากับคลอง ซึ่งจะต้องการใช้เชื่อมต่อระหว่างอาคารทิ้งน้ำกับทางน้ำธรรมชาติ

4. ทางน้ำธรรมชาติมีขนาดความจุเพียงพอที่จะระบายน้ำทิ้งไปได้ โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่ออาคารทิ้งน้ำ หรือต่าง ๆ ที่อยู่ใกล้เคียง

ข. วิธีการคำนวณ

1. กำหนดให้สันของ SPILLWAY อยู่สูงกว่าระดับน้ำตามปกติ 0.05 ม. เพื่อที่จะหา MAX.H ที่จะเกิดเหนือสันของ SPILLWAY เมื่อยินยอมให้ความสูงของระดับน้ำสูงขึ้นได้ 50% ของ FREEBOARD ตามปกติของคลอง

$$H = (0.50 * 0.60) - 0.05 = 0.25 \text{ ม.}$$

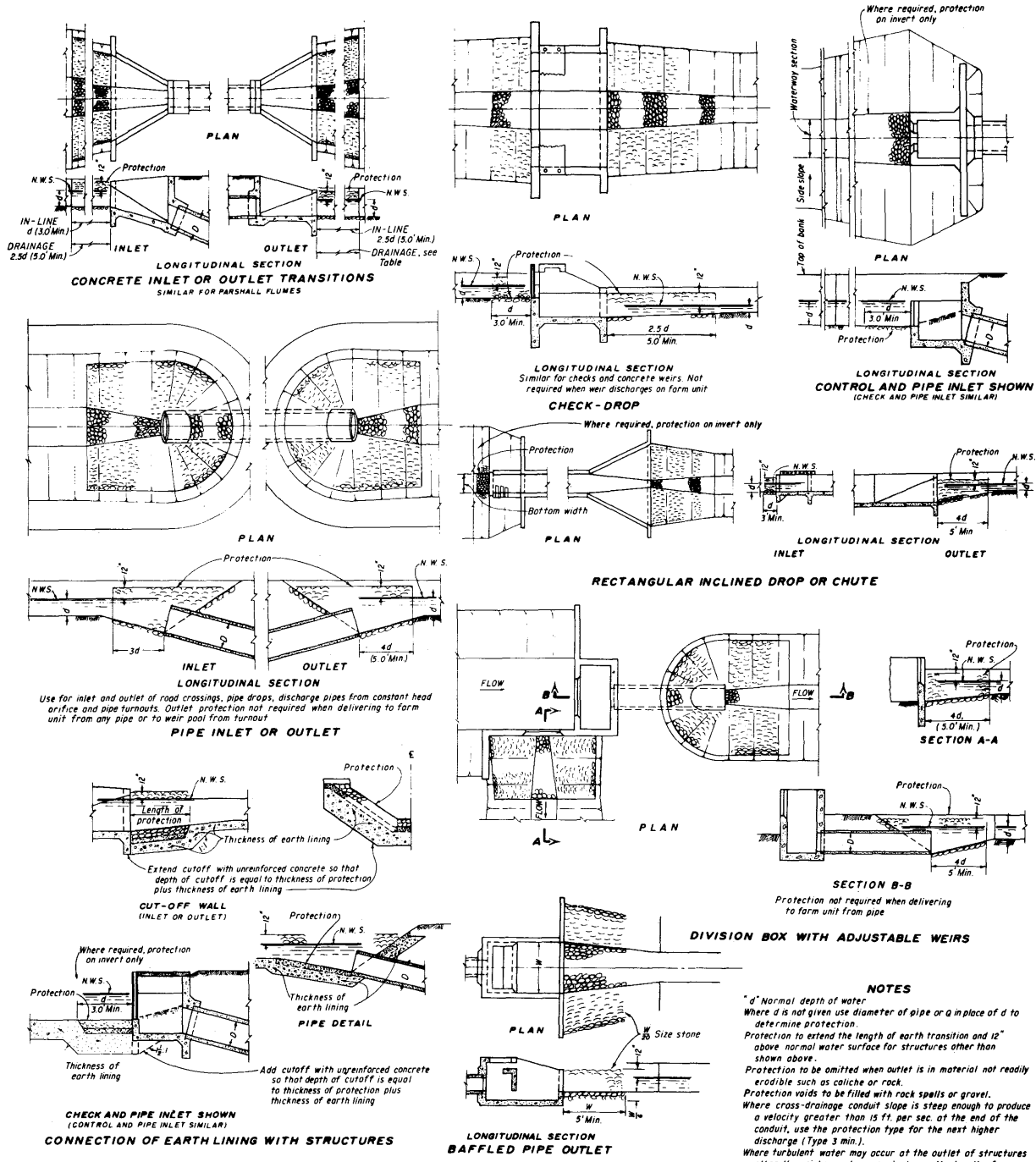
2. หาความยาวของสันฝายจากสูตรของ STANDARD SUPPRESSED RETANGULAR WEIR โดยคิดปริมาณน้ำที่จะต้องไหลผ่าน เท่ากับปริมาณน้ำที่เข้ามาทาง DRAIN INLET ซึ่งปริมาณน้ำนั้น คือ

$$Q = 2 * 0.28 = 0.56 \text{ ม.}^3\text{/วินาที}$$

$$L_e = Q/ (1.84 * H^{3/2}) = 0.56/ (1.84 * (0.25)^{3/2})$$

$$= 2.435 \text{ ม.}$$

ใช้ความยาวสันฝาย L_e = 2.45 ม.



MINIMUM REQUIRED PROTECTION

d	SIPHONS		CHECKS, PARSHALL FLUMES, INCLINED DROPS, CHUTES, CHECK AND PIPE INLET, CONTROL AND PIPE INLET, ROAD CROSSINGS, PIPE DROPS, AND TURNOUTS, ETC.		CROSS DRAINAGE STRUCTURES				PROTECTION	
	INLET	OUTLET	INLET	OUTLET	Q (c.f.s.)	INLET	OUTLET	OUTLET LENGTH		
0 to 2.00'	None	None	None	Type 2	0 to 30	None	Type 2	8'	Type 1	6" Coarse gravel
2.01' to 3.50'	None	Type 1	None	Type 2	31 to 90	None	Type 2	12'	Type 2	12" Coarse gravel
3.51' to 7.00'	Type 1	Type 2	Type 1	Type 3	91 to 240	Type 1	Type 3	16'	Type 3	12" Riprap on 6" sand and gravel bedding
									Type 4	18" Riprap on 6" sand and gravel bedding

NOTES

"d" Normal depth of water

Where d is not given use diameter of pipe or Q in place of d to determine protection.

Protection to extend the length of earth transition and 12" above normal water surface for structures other than shown above.

Protection to be omitted when outlet is in material not readily erodible such as caliche or rock.

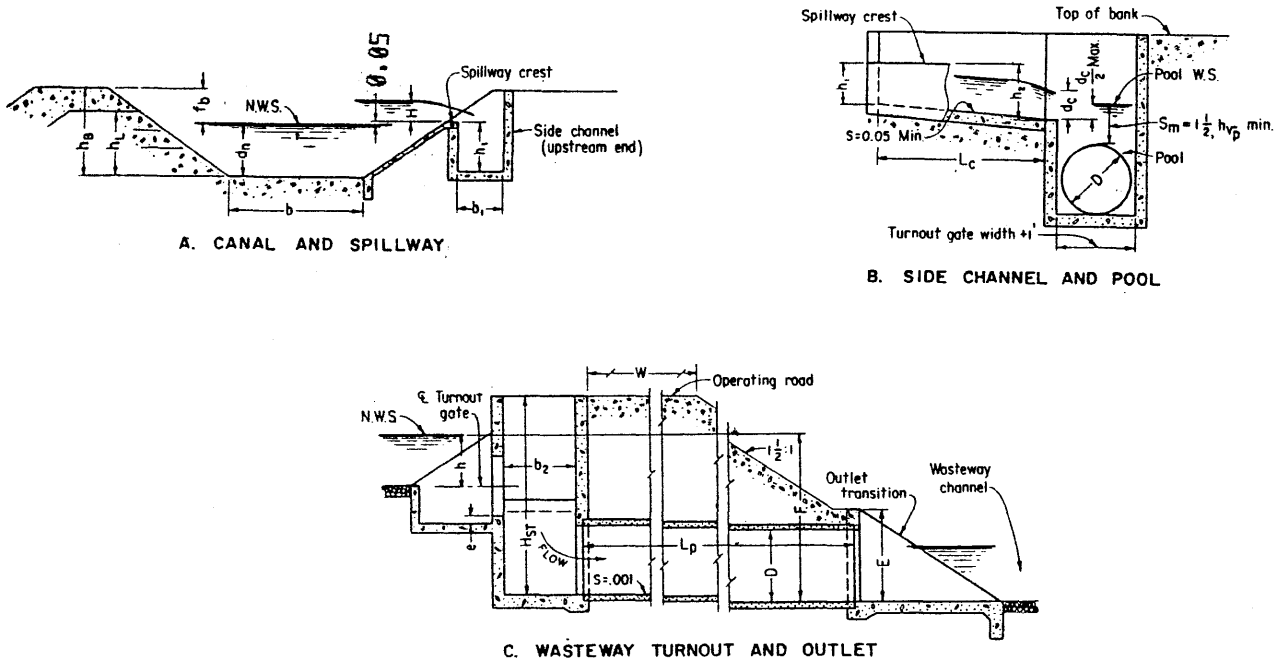
Protection voids to be filled with rock spalls or gravel.

Where cross-drainage conduit slope is steep enough to produce a velocity greater than 15 ft. per sec. at the end of the conduit, use the protection type for the next higher discharge (Type 3 min.).

Where turbulent water may occur at the outlet of structures other than siphon and cross-drainage, the length of protection should be increased to 4 depths.

Except for cross-drainage structures, type 3 minimum protection should be used where velocity is greater than 5 fps regardless of depth.

รูปที่ 3-2 Erosion protection. 103-D-1293



รูปที่ 3-4 รูปตัด **SIDE CHANNEL SPILLWAY**

3. ออกแบบ SIDE CHANNEL

ความกว้างก้นราง :

เนื่องจากปริมาณน้ำ < 1.50 ม.^{3}/วินาที ดังนั้นเลือกใช้ความกว้างก้นรางด้านเหนือน้ำอย่างน้อยที่สุดคือกว้าง 0.60 ม. และความกว้างก้นรางที่ปลายด้านท้ายน้ำ 0.90 ม.

ความสูงของกำแพงราง :

$q_2 = Q/b_2 = 0.56/0.90 = 0.62$ ม.^{3}/วินาที/ม.

$d_c = (q_2^{\,2}/g)^{1/3} = ((0.62)^2/9.81)^{1/3} = 0.340$ ม.

$h_2 = (1.5 * d_c) + 0.30 = 0.81$ ม.

ใช้ $h_2 = 0.80$ ม.

$h_1 = h_2 - (0.05 * L_c) = 0.6775$ ม.

ใช้ $h_1 = 0.70$ ม.

4. หาขนาดบานของ WASTEWAY TURNOUT และ HEAD สำหรับปริมาณน้ำ 2.798 ม.^{3}/วินาที โดยกำหนดให้ความเร็วสูงสุดที่ให้น้ำไหลผ่านบานเป็น 3.00 ม./วินาที และ COFFICIENT OF DISCHARGE

$C = 0.60$

พื้นที่บาน A = 2.798/3.00 = 0.933 ม.^{2}

เลือกใช้บานขนาด 1.00 * 1.00 ม. : A = 1.00 ม.^{2}

$h = Q^2/(2 * g * A^2 * C^2) = 1.108$ ม.

ด้วยขนาดบาน 1.00 * 1.00 ม. ต้องการติดตั้งบานให้แนวศูนย์กลางของบานต่ำกว่ากันคลอง ซึ่งเป็นการ ไม่เหมาะสม จึงต้องออกแบบใหม่ โดยให้แนวศูนย์กลางของบานอยู่ที่ระดับเดียวกับกันคลอง คือจะต้องหาขนาดบานที่ต้องการ h เป็น 0.90

$$A = Q/ (C * (2 * g * h)^{1/2}) = 1.11 \text{ ม.}^2$$

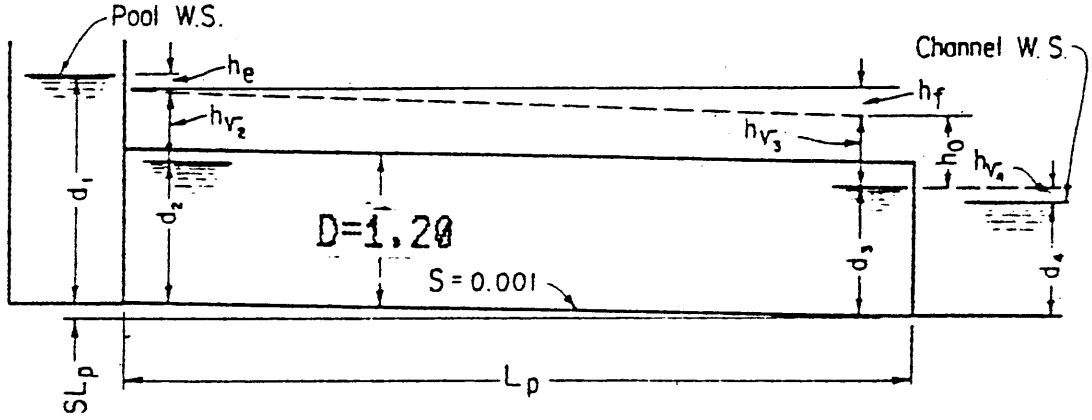
เลือกใช้บานขนาดถัดไปที่มี คือ 1.25 * 1.25 (W * H)

ดังนั้น

$$h = (2.798)^2 / (2 * 9.81 * 1.25)^2 * (0.6)^2$$

$$h = 0.709 \text{ ม.}$$

5. เพื่อที่จะให้การไหลเป็นไปอย่างดี จะต้องหาว่าระดับผิวน้ำใน POOL ที่แนวศูนย์กลางของบานหรือที่ระดับพื้นของรางด้านข้างบวกกับ $d_c/2$ นั้น ระดับไหนจะต่ำกว่ากัน เมื่อกำหนดให้ระดับแนวศูนย์กลางของบานอยู่ที่ระดับเดียวกับกันคลอง ดังนั้นระดับน้ำใน POOL อยู่ที่ระดับเดียวกันกับคลอง เมื่อกำหนดให้ระดับผิวน้ำใน POOL อยู่สูงกว่าระดับพื้นของรางด้านข้างเท่ากับ $d_c/2$ แล้ว ระดับผิวน้ำจะอยู่สูงกว่ากันคลอง 0.32 ม. ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าระดับน้ำใน POOL อยู่ที่ระดับแนวศูนย์กลางของบานระบาย



รูปที่ 3-5 ลักษณะทางชลศาสตร์ที่ OUTLET ของ SIDE CHANNEL SPILLWAY

6. ต้องการหาขนาดท่อ และระดับน้ำท่วมท่อสำหรับความจุปกติของคลอง 2.798 ม.^{3}/วินาที รวมกับความจุของ DRAIN INLET 0.56 ม.^{3}/วินาที โดยที่ให้ความเร็วของน้ำในท่อ 3.00 ม./วินาที

พื้นที่ของท่อ = A = Q/V = (2.798 + 0.56) / 3.00 = 1.12 ม.^{2}

ใช้ท่อ ∅ 1.20 ม. A_p = 1.131 ม.^{2} V_p = 2.969 ม./วินาที

h_{vp} = 0.449 ม.

ต้องการกำหนดให้ปากท่อด้านบนอยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำใน POOL เป็น 1.5 h_{vp}

$S_m = 1.5\ hv_p = 1.5 * 0.449 = 0.673$ ม.

ใช้ S_m = 0.70 ม. ใช้ SLOPE ของพื้นท่อ 0.001

7. การหาความสูงของอาคาร

$H_{st} = F_b + d_n + Sm + D = 0.60 + 0.90 + 0.70 + 1.20$

$= 3.40$ ม.

8. เลือกใช้ OUTLET TRANSITION จากแบบมาตรฐาน

D = 1.20 ม., E = 1.80 ม., L = 2.70 ม.

9. การหาความยาวของท่อ L_p

$L_p = W + 1.5 * (H_{st} - E) + 0.30$

$= 4 + 1.5 * (3.40 - 1.80) + 0.30$

$= 6.70$ ม.

ใช้ $L_p = 7.00$ ม.

10. ใช้ PROTECTION TYPE 1 ที่ INLET โดยต่อยาวไปจนถึงแนวศูนย์กลางคลอง และความกว้างของ PROTECTION เท่ากับ 2 เท่าของความกว้างบานระบายที่ OUTLET ใช้ PROTECTION TYPE 3 โดยที่ความเร็วของน้ำในท่อไม่เกิน 4.50 ม./วินาที ดังนั้นการเลือกใช้ PROTECTION ตามแบบมาตรฐาน เช่นนี้เป็นที่ใช้ได้

11. CHECK PERCOLATION PATH LENGTH โดยให้เหมาะสมกับ PARAMETER ของการออกแบบ ได้แก่ ชนิดของดิน ความสูงของระดับผิวน้ำ เป็นต้น

ค. การตรวจสอบทางด้านชลศาสตร์ (CHECK OF HYDRAULICS) รูปที่ 3-5

ตรวจสอบระดับผิวน้ำใน POOL (ตามที่ได้สมมุติไว้ในการออกแบบ) โดยใช้ BERNOULLI THEOREM เพื่อให้ทราบว่าการที่กำหนดให้ระยะที่น้ำท่วมท่อเป็น 1.5 h_{vp} เหมาะสมหรือไม่

สมมุติให้ความยาวทั้งหมดของท่อเป็น L_p

1. คุณสมบัติของคลองระบายน้ำมีดังต่อไปนี้

Q = 3.358 ม.^{3}/วินาที b = 2.40 ม. d = 0.90 ม.

F_b = 0.60 ม., S.S = 1:1.5, n = 0.025, s = 1:800

V = 1.004 ม./วินาที, h_v = 0.051 ม.

SPECIFIC ENERGY ที่คลองระบายน้ำคือ

$E_{s4} = d_4 + hv_4 = 0.90 + 0.051$ ม.

$E_{s4} = 0.951$ ม.

2. คำนวณหาการไหลของน้ำในท่อเมื่อการไหลเป็น CRITICAL ซึ่งเป็นการไหลด้วย MINIMUM ENERGY

เมื่อ Q = 3.358 ม.^{3}/วินาที, D = 1.20 ม., n = 0.013

จากการ TRY ด้วยความลึกต่าง ๆ จะได้

d_c = 1.002 ม., A_c = 1.009 ม.^{2}, V_c = 3.329 ม./วินาที

h_{vc} = 0.565 ม.

S_c = 0.0072

$E_{sc} = d_c + hv_c$

$E_{sc} = 1.002 + 0.565 = 1.567$ ม.

E_{sc} = MINIMUM SPECIFIC ENERGY

3. โดยที่ PIPE SLOPE ที่ใช้คือ 0.001 ซึ่งราบกว่าที่ต้องการในการไหลเป็น CRITICAL FLOW คือ 0.0072 ดังนั้นจึงแน่ใจว่าการไหลในท่อเป็น SUB CRITICAL

4. ตามทฤษฎีของ BERNOULLI นั้น หากสามารถ BALANCE ENERGY ได้แสดงว่า ENERGY ที่ทางน้ำด้านท้ายน้ำจะเป็นตัว CONTROL การไหลของน้ำในท่อ ซึ่งนั่นก็คือถ้า ENERGY ที่ต้องการในท่อ E_{S3} เท่ากับ ENERGY ที่ต้องการที่ OUTLET รวมกับค่า OUTLET LOSS แล้ว ทางน้ำด้าน OUTLET จะเป็นตัว CONTROL การไหลซึ่งเขียนเป็นรูปสมการได้ คือ

$$E_{s3} = E_{s4} + h_o$$

หากกำหนดให้ว่า OUTLET LOSS $h_o = 0.8\ \Delta h_v$ เมื่อ Δh_v คือความต่างของ VELOCITY HEAD ในท่อกับในทางน้ำ

ดังนั้น OUTLET CHANNEL จะ CONTROL การไหลถ้า

$E_{s3} = (0.90 + 0.051) + 0.8 * (0.449 - 0.051)$

$= 1.269$ ม.

จะเห็นว่า E_{s3} น้อยกว่า MINIMUM ENERGY ที่ต้องการในการทำให้น้ำไหลไปได้ในท่อด้วย Q = 3.358 ม.^{3}/วินาที คือ 1.567 ม. ฉะนั้นทางน้ำด้านท้ายน้ำจะไม่เป็นตัว CONTROL ของการไหลในท่อ โดยที่พลังงานส่วนเกิน (1.567 - 1.269 = 0.298 ม.) มีค่าน้อย ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมี ENERGY DISSIPATOR เว้นเสียแต่ว่า MAX. DISCHARGE คือ 3.358 ม.^{3}/วินาที เกิดขึ้นบ่อย ๆ

5. สภาพการไหลจะเกิดเป็น CRITICAL FLOW ที่ PIPE OUTLET เนื่องจากไม่ว่าความลึกของน้ำในท่อจะมากกว่าหรือน้อยกว่า d_c ก็ย่อมต้องการ ENERGY ที่สูงกว่า ซึ่งมีผลทำให้โอกาสที่เกิด IMBALANCE ของ ENERGY มากยิ่งขึ้น

6. ทำการหา SPECIFIC ENERGY E_{s2} ที่ปลายด้านเหนือน้ำของท่อ โดยใช้ความสัมพันธ์ของทฤษฎี BERNOULLI

$$E_{s2} + S_o L_p = E_{s3} + h_f$$

เมื่อ h_f = FRICTION LOSS = $L_p * (S_2 + S_3)/2$

TRY $d_2 = 1.14$ ม.

$\beta/2 = \cos^{-1}((D-2d_1)D) = 154.158°$

$\beta = 308.316°$

$A = D^2 * (\pi * \beta/180 - \sin\beta) / 8 = 1.11$ ม.^{2}

$P = \pi * D * \beta/360 = 3.229$ ม.

$R = A/P = 0.344$

$$V = 3.358/1.11 = 3.025 \text{ ม./วินาที}$$

$$S = (V * n / R^{2/3})^2 = 0.0064$$

$$hv = 0.466 \text{ ม.}$$

$$E_{s2} = E_{s3} + h_f - S_o * L_p$$

$$d_2 + hv_2 = 1.567 + L_p * (S_2 + S_3)/2 - (S_o * L_p)$$

$$1.14 + 0.466 = 1.567 + 7 * (0.0064 + 0.0072)/2 - (0.001 * 7)$$

$$1.606 \cong 1.608$$

3.2.8 อาคารทิ้งน้ำชนิดใช้บาน (Gated Wasteway Turnout)

3.2.8.1 บททั่วไป

ก. ประโยชน์ ตามปกติบานของ Wasteway จะใช้ร่วมกับ Side Channel spillway หรือ Siphon Spillway เพื่อให้ใช้ได้ทั้งการระบายน้ำอย่างอัตโนมัติ และสามารถที่จะทิ้งน้ำให้หมดจากคลองได้ด้วย แต่ก็มี Wasteway Turnout บางแบบที่ไม่มีส่วนที่จัดเตรียมไว้สำหรับการไหลข้าม (Over flow) ซึ่ง Wasteway แบบนี้จะต้องการ ๆ ควบคุม Gate ตามเวลา Wasteway แบบนี้ใช้ได้ดีกับคลองที่ไม่มี Drain Inlet หรือคลองที่มีอุปกรณ์ควบคุมโดยอัตโนมัติ หรือมีอุปกรณ์ควบคุมจากระยะไกล (Remote Control Operation) หรือคลองซึ่งสามารถรับน้ำส่วนเกินได้ในระยะเวลาสั้น ๆ โดยที่ไม่เกิดความเสียหาย

Wasteway Turnout แบบนี้ใช้สำหรับการทิ้งน้ำในคลองบางส่วนหรือทั้งหมด เพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่คลองและสิ่งที่อยู่ใกล้เคียง ในโอกาสที่ดันคลองเกิดความเสียหาย หรือความเสียหายเนื่องจากการปฏิบัติงานในการที่จะให้อาคารทำหน้าที่ได้เช่นนี้ ตามปกติแล้วจำเป็นต้องมีอาคาร Check อยู่ในคลองทางด้านท้ายน้ำถัดไปจาก Wasteway Turnout การที่จะให้น้ำในคลองช่วงใดหมดไปก็ทำได้โดยปิดบานของ Check และเปิดบานของ Wasteway Turnout เพื่อผันน้ำจากคลองลงสู่ทางทิ้งน้ำ

Wasteway Turnout ยังใช้ได้กับการปล่อยน้ำออกจากคลองเพื่อการตรวจสอบ หรือบำรุงรักษา หรือเมื่อสิ้นสุดฤดูการส่งน้ำเพื่อให้มีการบำรุงรักษาตัวบานระบายของอาคารได้โดยไม่ต้องระบายน้ำออกจากคลอง ตามปกติแล้วจะมี Stoplog และช่องใส่บานระบายของ Stoplog อยู่ทางด้านเหนือน้ำของบานระบาย Wasteway turnout อาจควบคุมด้วยวิธีธรรมดา, ควบคุมจากระยะไกล หรือควบคุมโดยอัตโนมัติ

ข. ขนาดของอาคารทิ้งน้ำ Wasteway Turnout ส่วนมากจะต้องมีขนาดพอที่จะทิ้งน้ำทั้งหมดตามความจุของคลอง รวมกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาทาง Drain Inlet ตามปกติแล้วในการกำหนดระดับ Overflow wall ของ Check จะมี Freeboard อยู่ไม่เกิน 5 ซม. เหนือขึ้นจากระดับน้ำตามปกติ ดังนั้น Head สูงสุดที่มีอยู่สำหรับ Wasteway turnout gate โดยที่ไม่ทำให้น้ำไหลข้าม check wall จะเท่ากับความลึกปกติรวมกับอีก 5 ซม.

ค. ชนิดของบานระบาย

1. Slide Gate เป็นบานที่มีอยู่แล้วหลาย ๆ แบบ ซึ่งจะเลือกใช้ได้ให้เหมาะกับความต้องการเกี่ยวกับ Head และวิธีการใช้งาน สำหรับ Wasteway Turnout นั้น ตามปกติใช้ชนิด Low-head รับน้ำทางเดียวก็เพียงพอแล้ว แต่อย่างไรก็ตามควรใช้ชนิดที่บานเป็นเหล็กหล่อเพื่อไม่ให้เกิดการรั่ว บางครั้งจะต้องมีท่อระบายอากาศทางด้านหลังของ Gate หากเป็นการติดตั้งบานติดกับท่อ (Closed Couduit)

เนื่องจากได้กล่าวถึงวิธีการพิจารณาเกี่ยวกับ Slide Gate มาแล้ว ฉะนั้นในส่วนต่อไปนี้จะเห็นในเรื่องของ Wasteway ที่ใช้ Radial Gate เท่านั้น

2. Radial Gate สำหรับปริมาณน้ำน้อย ๆ มักจะไม่ได้ใช้บานแบบนี้ แต่อย่างไรก็ตาม Radial Gate มีข้อดีที่เหนือกว่า Slide Gate ที่สามารถยกบานทั้งหมดให้สูงเหนือระดับผิวน้ำได้ ทำให้สามารถปล่อยทิ้งขยะที่ลอยมากับน้ำลงสู่ทางทิ้งน้ำได้ เมื่อรวมกับลักษณะของการไหลของน้ำที่ดีเยี่ยม จึงทำให้ Radial Gate Wasteway Turnout มีข้อดีอย่างเห็นได้ชัดในสถานที่บางแห่ง จากการที่กำหนดให้ Freeboard ของบานเป็นประมาณ 5 ซม. เพื่อป้องกันความสูญเสียน้ำจากการเกิดคลื่นเล็ก ๆ น้อย ๆ จึงทำให้ปริมาณน้ำบางส่วนสามารถไหลข้ามบานไปได้ก่อนที่จะมีการเปิดบาน

Radial Gate ที่ใช้กับ Wasteway Turnout จะต้องมี Rubber Sort ดันกับแผ่นโลหะด้านกำแพงและด้านล่างซึ่งทำให้การซึมน้ำดีขึ้น

3.2.8.2 ด้านชลศาสตร์

ก. Inlet ตามปกติอาคาร Wasteway Turnout จะต้องมี Inlet เพื่อที่จะนำน้ำเข้าสู่ช่องบาน ระดับของพื้นที่บริเวณบานระบายตามปกติแล้วจะอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นคลองเล็กน้อย เพื่อที่จะให้ระบายน้ำออกจากคลองได้ทั้งหมด

Entrance loss อยู่ใน Function ของความแตกต่างระหว่าง Velocity head (Δh_v) ซึ่งตามปกติจะใช้ค่า 0.5 Δh_v ซึ่งความต่างของ Velocity head สำหรับ Transition ชนิด Inline จะเท่ากับ $h_{v2} - h_{v1}$ แต่อย่างไรก็ตาม โดยที่ Transition ของอาคารแบบนี้ตั้งฉากกับแนวคลอง จึงจะมีค่าของความต่างของ Velocity head เท่ากับ h_{v2} เนื่องจากว่าความเร็วของน้ำในคลองเท่ากับศูนย์ในทิศทางของการไหลของ Turnout

ดังนั้น Transition loss จะเป็น 0.5 h_{v2} และ Specific energy ของช่องบาน คือ

$$E_s = E_{s1} + \Delta EI. - 0.5\, h_v$$

$$d_2 + h_{v2} = d_1 + h_{v1} + \Delta EI. - 0.5\, h_{v2}$$

โดยที่สมมุติว่า ความเร็วของน้ำในคลองในทิศทางของการไหลของ Wasteway ดังนั้น $h_{v1} = 0$

ถ้าความเร็วในช่องบาน $V_2 = 3$ เมตร/วินาที

$$h_{v2} = \frac{(3)^2}{2 \times 9.81} = 0.459 \text{ ม.}$$

หากให้ระดับพื้นที่ลดลง $\Delta EI. = 0.05$ ม.

$$d_2 + h_{v2} = d_1 + 0 + 0.05 - 0.5\, h_{v2}$$

$$d_2 = d_1 + 0.05 - 1.5\, h_{v2}$$

$$d_2 = d_1 + 0.05 - 1.5 \times 0.459$$

$$d_2 = d_1 + 0.05 - 0.738 \text{ ม.}$$

ข. Slide Gate ในการออกแบบตามปกตินั้น จะติดตั้ง Slide Gate โดยให้ระดับบ่อน้ำด้านเหนือน้ำอยู่สูงกว่าระดับบนสุดของช่องบาน

ภายใต้สภาพเช่นนี้ ปริมาณน้ำที่ไหลจะหาได้จากสมการของ Orifice

$$Q = cA\sqrt{2.g.h}$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณน้ำ

C คือ Discharge Coefficient

A คือ พื้นที่ของช่องเปล่า

h คือ Head ที่ Gate

g คือ Acceleration of Gravity

หากการไหลทางด้านท้ายน้ำของ Gate เป็นลักษณะ Free Flow ค่า Head (h) คือระยะระหว่างระดับบ่อน้ำด้านเหนือน้ำถึงศูนย์กลางของช่องเปิด แต่หากว่าระดับน้ำด้านเหนือน้ำอยู่ท่วมส่วนล่างของบาน การคิด ค่า h จะเป็นค่าความต่างของระดับบ่อน้ำที่เหนือน้ำกับท้ายน้ำของบาน

ค่าลง Coefficient of Discharge (c) ที่เคยใช้กันมาคือ ประมาณ 0.60

สำหรับ Wasteway ที่ไม่ค่อยได้ต้องปล่อยน้ำทิ้งเต็มที่นั้น การกำหนดขนาดบานควรใช้หลักว่าให้ความเร็วของน้ำผ่านช่องบานเมื่อเปิดเต็มที่ไม่เกิน 3 ม./วินาที แต่อย่างไรก็ตามหากว่า Head ที่มีอยู่ไม่พอที่จะทำให้เกิดความเร็วขนาดเช่นนี้ก็อาจต้องใช้ขนาดบานให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้ปริมาณน้ำไหลผ่านไปได้ตามที่ต้องการ

ค. Radial Gate เมื่อเปิด Radial Gate ไม่เต็มที่ การหาปริมาณน้ำจะได้จากสมการของ Orifice

$$Q = CA\sqrt{2.g.h.}$$

เมื่อการไหลของน้ำทางด้านท้ายน้ำของ Gate เป็น Free Flow Head (h) คือระยะจากระดับบ่อน้ำด้านเหนือน้ำถึงศูนย์กลางของช่องเปิด หากน้ำด้านท้ายท่วมส่วนล่างของบานแล้ว Head (h) คือระยะความต่างของบ่อน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของ Gate

ค่าของ Coefficient of Discharge (c) เป็นค่าประมาณ 0.72

การเปิดบาน Radial Gate ให้ปริมาณน้ำผ่านได้สูงสุด คือการเปิดทั้งหมด โดยที่ส่วนล่างของบานอยู่สูงกว่าระดับบ่อน้ำด้านเหนือน้ำ ในสภาพการณ์เช่นนี้ การหาปริมาณน้ำจะต้องใช้สมการของฝาย

$$Q = cLH^{3/2}$$

เมื่อ H คือความลึกของน้ำด้านเหนือน้ำ ค่า Discharge Coefficient ที่ใช้ทั่วๆ ไปสำหรับ Board Crested Weir ที่มีการไหลเป็น Free Flow คือ 1.71

หากการไหลของน้ำผ่านฝายมีการท่วมเป็นบางส่วนโดยความลึกทางด้านท้ายน้ำ จะต้องมีค่า Correction Factor (n) เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นสมการจะเป็น

$$Q = CL\,(nH)^{3/2}$$

ค่า n จะหาได้จาก Table 37 ของหนังสือ "Hydraulic and Excavation Tables", USBR, 7th Edition, 1957

สำหรับ Wasteway ซึ่งไม่ค่อยได้ทิ้งน้ำเต็มที่ตามปริมาณน้ำที่ได้ออกแบบไว้ การเลือกขนาดของบาน Radial Gate จะยึดหลักว่าความเร็วสูงสุดที่น้ำผ่านช่องตอม่อของ Gate ไม่เกิน 3 ม./วินาที (เมื่อเปิดผ่านเต็มที่) ความกว้างน้อยที่สุดของบานซึ่งคือ $\frac{A}{d_2}$ จึงเท่ากับ $\frac{Q}{3.0 \times d_2}$

การเลือกขนาดของบานกว้างเกินความจำเป็นจะเป็นการไม่ประหยัด อีกทั้งยังอาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการเปิดและเปิด

ความกว้างของบานจะต้องไม่มากกว่า 3 h_g

เมื่อ h_g คือผลรวมของความลึกของน้ำในคลอง บวกกับความต่างของระดับพื้นคลองกับพื้นอาคารตรงบาน บวกกับ Freeboard อย่างน้อย 5 ซม.

$$h_g = d_n + C + f_b$$ ดังแสดงในรูป 3-6

ง. Trajectory เมื่อเปิดบานเล็กน้อย น้ำจะไหลลอดใต้ฝายเป็น Jet ที่มีความเร็วสูง หากทางด้านท้ายน้ำของบานเป็น Drop หรือ Chute จะต้องมีส่วนที่ค่อย ๆ เปลี่ยนการไหลของน้ำเข้าสู่ Slope ที่ชันขึ้น ถ้าไม่มีส่วนที่ค่อย ๆ เปลี่ยนการไหลเช่นนี้ การไหลของน้ำที่มีความเร็วสูงอาจทำให้เกิดการไหลอย่างกระจาย (Spring Free) จากพื้นตรงจุดเริ่มของ Slope ที่ชัน (Steeper Slope) ซึ่งมีผลทำให้เกิด Negative pressure และสภาพการไหลเป็น Unstable Flow

เพื่อให้มีสภาพการไหลที่ดี จะต้องมีส่วน Trajectory เพื่อการค่อย ๆ เปลี่ยนการไหลของน้ำเข้าสู่ Steeper Slope ความยาวของ Trajectory หาได้จากสมการ

$$x^2 = 4HY$$

เมื่อ x เป็นระยะทางราบจากจุดเริ่มของโค้งไปยังจุด ๆ หนึ่งบนโค้ง

y เป็นระยะทางตั้งจากจุดเริ่มของโค้งไปยังจุด ๆ หนึ่งบนโค้ง

H เป็นความสูงของ Head ที่วัดจากระดับบ่อน้ำสูงสุดด้านเหนือน้ำของ Gate กับพื้นล่างของช่อง Gate โดยสมมุติว่าไม่มี Inlet head loss

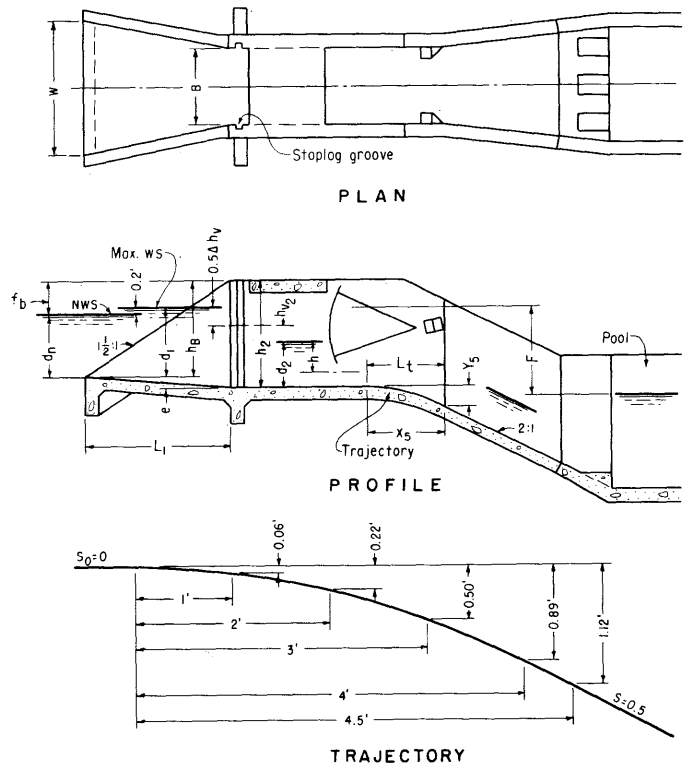
ความยาวและ Profile ของ Trajectory จะหาได้จากการ Plot จุดต่าง ๆ ตามโค้ง ซึ่งจุดสิ้นสุดของโค้งคือเมื่อ Slope ของโค้งเท่ากับ Slope ของ Chute หรือ Drop การหาความยาวจะทำได้โดยการแก้สมการข้างบนโดยใช้ Differential Calculus หาระยะ x ที่จุดซึ่ง Slope ของโค้งเท่ากับ Slope ของ Drop ด้านท้ายน้ำ

จ. Outlet การพิจารณาออกแบบ Outlet ขึ้นอยู่กับสภาพทางภูมิศาสตร์ หากพลังงานส่วนเพิ่มมีน้อยก็ใช้ Outlet Transition หากต้องการลดพลังงานส่วนเกินลงมาก ๆ อาจใช้ Pipe Drop, Baffled outlet, Baffled Apron Drop หรือ Stilling Pool

3.2.8.3 เครื่องยกและเครื่องคว้าน (Lifts and Hoists)

ก. เครื่องยกชนิดธรรมดา เครื่องยกประกอบด้วยคันหมุนหรือพวงมาลัย และชุดเกียร์ เพื่อใช้ในการเปิดและปิดบาน อัตราส่วนของชุดเกียร์จะต้องเหมาะสมกับน้ำหนักของตัวบานและแรงเสียดทานที่เกิดเนื่องจากแรงดันน้ำกระทำต่อบานชนิด Slide หรือแรงเสียดทานเนื่องจาก Rubber Seal ของ Radial Gate การใช้อัตราส่วนของชุดเกียร์สูงเกินความจำเป็นนั้นเป็นสิ่งที่ไม่ควรทำ เพราะจะทำให้อัตราการเปิดบานช้า ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายได้

ข. เครื่องยก หรือเครื่องคว้านชนิดมีเครื่องช่วย (Power - Operated Lifts or Hoists)



รูปที่ 3-6 Radial gate wasteway turnout–typical sections.

แถบบริเวณที่มีกระแสไฟฟ้าไปถึง หรือมีการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า การควบคุมบานชนิด Slide Gate และ Radial Gate อาจใช้วิธีการควบคุมโดยอัตโนมัติ, ควบคุมจากระยะไกล หรือการใช้สวิตช์เปิด-ปิดในบริเวณที่ตั้ง การควบคุมระดับน้ำทำได้โดยใช้ทุ่นลอย หรือขั้วไฟฟ้า (Probes) ซึ่งจะเชื่อมโยงกับส่วนที่ควบคุมเครื่องควบ้าน อุปกรณ์ชนิดนี้แบบหนึ่งซึ่งควบคุมระดับบ่อน้ำโดยอัตโนมัติที่ออกแบบและใช้โดย U.S.B.R. ได้แก่ "Liltle Man"

ค. การควบคุมโดยใช้วิธีทางชลศาสตร์ (Hydraulically Controlled)

บาน Radial Gate อัตโนมัติที่ไม่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกทำได้โดยให้ความสัมพันธ์ของ Hydrostatic head ที่เพิ่มขึ้นกับความลึกของน้ำที่เพิ่มขึ้นเป็นไปอย่างเหมาะสม การควบคุมระดับบ่อน้ำด้านเหนือน้ำของบานทำได้โดยอาศัย Uplift Pressure ในการเปิดบานกับทั้งการปรับ counterweight เพื่อให้การเปิดบานอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมกับระดับผิวน้ำด้านเหนือน้ำ

บานอัตโนมัติชนิดนี้ เมื่อได้รับการติดตั้งให้เคลื่อนที่ได้โดยสะดวกแล้วจะมีโอกาสที่น้ำรั่ว จึงติดตั้งได้เฉพาะกับตำแหน่งซึ่งยินยอมให้น้ำรั่วได้เท่านั้น กับทั้งพวกวัชพืชหรือขยะที่ติดใต้บานก็เป็นเหตุให้บานปิดได้ไม่สนิท

3.2.8.4 การพิจารณาสิ่งเบ็ดเตล็ด ได้แก่

ก. Protection ด้าน Outlet

ข. Percolation

ค. ขีดจำกัดของการควบคุมอาคารเกี่ยวกับอัตราการลดระดับน้ำตามรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.8.3

ตัวอย่างการออกแบบ Wasteway ของคลองชนิดใช้ Radial Gate

3.2.8.5 ตัวอย่างการออกแบบ

ก. ข้อมูลต่าง ๆ

1. คลองเป็นคลองดาดซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

Q = 2.80 ม.^{3}/วินาที

b = 2.40 ม. ; ss = 1 : 2

d_n = 1.30 ม. ; F_b = 0.60 ม. ; n = 0.025 ; s = 0.0002

v = 0.50 ม./วินาที

ความสูงจากก้นคลองถึงขอบดาด (h_L) = 1.50 ม.

ความสูงจากก้นคลองถึงคันคลอง (h_b) = 1.90 ม.

2. ต้องการให้ระบายน้ำออกจากคลองได้ทั้งหมดเพื่อป้องกันความเสียหายของคันคลองด้านท้ายน้ำ เนื่องจากไม่มี Drain Inlet ที่เหนือน้ำ ดังนั้นปริมาณน้ำสูงสุดที่ต้องการให้ผ่าน Wasteway ได้ จะต้องเท่ากับปริมาณน้ำปกติของคลอง คือ 2.80 ม.^{3}/วินาที

3. Check Structure อยู่ต่อจาก Wasteway ไปทางด้านท้ายน้ำ และออกแบบไว้ให้ระดับของสัน Overflow wall อยู่สูงกว่าระดับผิวน้ำตามปกติอยู่ 0.10 ม.

4. จากรูปตัดตามยาวของอาคารทราบได้ว่า น้ำที่ไหลออกมาจาก Gate ของ Wasteway เป็น Freeflow และมีระยะ Fall พอที่จะต้องการมี Energy Dissipation

5. ระดับพื้นคลองอยู่สูงกว่าระดับพื้นอาคาร 0.15 ม. (e=0.15)

6. ทางน้ำธรรมชาติที่มีอยู่มีคุณสมบัติซึ่งปริมาณน้ำสูงสุดไหลผ่านได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

ข. วิธีทำ

1. ขนาดของ Inlet

ความยาว, L_1 : สมมุติให้ระดับหลังของอาคารอยู่ที่ระดับหลังคัน

$L_1 = 1.5 \times h_b$

$L_1 = 1.5 \times 1.90 = 2.85$ ม.

ความสูงกำแพง, h_2 : $h_2 = h_b + e$

$h_2 = 1.90 + 0.15 = 2.05$ ม.

2. หาความสูงของ Gate สำหรับความลึกปกติโดยกำหนดให้

Freeboard ของ Gate, $f_{bg} = 0.10$ ม.

ความสูงบาน, $h_g = d_n + e + f_{bg}$

$= 1.30 + 0.15 + 0.10$

$= 1.55$ ม.

3. หาความลึกสูงสุดของคลอง (d_1) โดยที่ไม่มีน้ำไหลผ่าน

Overflow wall ของ Check structure

$d_1 = d_n + 0.10$

$= 1.3 + 0.10 = 1.40$ ม.

4. หาความลึกของน้ำใน Gate bay (d_2) โดยสมมุติว่าความเร็วใน Gate bay (V_2) = 3.00 ม./วินาที และความเร็วในคลองในทิศทางของ Turnout (V_1) = 0

Specific Energy

$E_{s2} = E_{s1} + e - 0.50\, h_v$

$d_2 + h_{v2} = d_1 + h_{v1} + r - 0.5 \times (h_{v2} - h_{v1})$

$d_2 + 0.459 = 1.40 + 0 + 0.10 - 0.5 \times (0.459 - 0)$

$d_2 = 0.812$ ม.

5. หาความกว้างของ Gate bay โดยหาจากการที่กำหนดไว้ว่า ความเร็วสูงสุดใน Gate bay เป็น 3.00 ม./วินาที

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{2.80}{3.00} \text{ ม. (min.)}$$

$$B = \frac{A}{d_2} = \frac{2.80}{3.00 \times 0.812} = 1.15 \text{ ม.}$$

6. หาความกว้างของ Gate bay โดยการพิจารณาจาก head ที่มีอยู่ ($d_2 + h_{v2} = 0.812 + 0.459 = 1.271$ ม.) ในสูตรของฝายโดยสมมุติว่าเมื่อเปิดบานเต็มที่

$$Q = CBH^{3/2}$$

$$B = \frac{Q}{CH^{3/2}} = \frac{2.80}{1.84\ (1.271)^{3/2}}$$

$$= 1.06 \text{ ม.} < 1.15 \text{ ม.}$$

ดังนั้น จึงเลือกใช้ B = 1.20 ม.

7. ออกแบบ Trajectory เพื่อเชื่อมต่อการไหลของน้ำระหว่างระดับพื้นที่ Gate กับลาด 1:2 ที่ลาดลงสู่ Stilling Pool ความยาวน้อยที่สุดของ Trajectory หาได้จากสมการ

$$X^2 = 4 \times H \times Y$$

เมื่อ $H = d_1 = 1.40$ ม.

ดังนั้น $X^2 = 5.6 \times Y$

และ $Y = \frac{X^2}{5.6}$

Slope ของ Tangent กับ Curve ที่จุดใด ๆ จะเป็น

$$\frac{d\left(\frac{X^2}{5.6}\right)}{dx} = \frac{2X}{5.6} = \frac{X}{2.8}$$

กำหนดให้ Slope ที่เท่ากับ Slope ด้านท้ายน้ำคือ 0.5

$$\frac{X}{2.8} = 0.5$$

$$X = 1.40 \text{ ม.}$$

การหาระยะตั้งฉาก Y โดยกำหนดค่า X ช่วงละ 0.20 ม. โดยการใช้ความสัมพันธ์ของ

$$Y = \frac{X^2}{5.6}$$

จะได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

X	Y
0	0
0.2	0.007
0.4	0.029
0.6	0.064
0.8	0.114
1.0	0.179
1.2	0.257
1.4	0.35

8. Check Turnout Capacity เพื่อให้แน่ใจได้ว่า ปริมาณน้ำที่ออกแบบสามารถไหลผ่านไปได้โดยที่ไม่ทำให้บ่อน้ำสูงเกินกว่าที่กำหนด โดยการใช้สมการของ Bernouili

สมมุติว่าเปิด Gate เต็มที่ และเกิด Critical depth ขึ้นที่จุดเริ่มต้นของ Trajectory โดยที่ Slope ด้านท้ายน้ำชันกว่า Critical ใช้ค่า Entrance เป็นศูนย์ และ Friction น้อยจนไม่นำมาคิด

ใน Rectangular Section

$$d_c = \frac{q^{2/3}}{g^{1/3}} = \frac{\left(\frac{2.80}{1.20}\right)^{2/3}}{(9.81)^{1/3}}$$

$$d_c = 0.822 \text{ ม.}$$

และ $h_{vc} = \frac{d_c}{2} = 0.411$ ม.

จาก Bernoulli eq. : $d_1 = d_c + h_{vc} + 0.5\,\Delta h_v - e$

$= 0.822 + 0.411 + 0.5 \times 0.411 - 0.15$

$= 1.2885$ ม.

โดยที่ความลึกของน้ำสูงสุด (d_1) คือ 1.40 ม. ตามที่ออกแบบไว้ ดังนั้น ขนาดความจุของอาคารที่ออกแบบใช้ได้

9. ออกแบบ Stilling Pool และ Protection ด้าน Outlet ตามวิธีการกำหนด

10. Protection ด้าน Inlet จะต้องใช้กรวดหยาบหนาไม่น้อยกว่า 0.15 ม. ต่อไปถึงแนวศูนย์กลางคลอง โดยมีความยาวตามคลองสองเท่าของความกว้าง Gate หรืออย่างน้อยที่สุด 2.50 ม.

11. ตรวจสอบ Percolation ด้วยวิธี weighted-creep ของ Lane

3.2.9 ทางระบายน้ำล้นแบบไซฟอน (Siphon spillway)

3.2.9.1 ทั่วไป

ก. การใช้งาน Siphon Spillway ที่กล่าวถึงในบทนี้มีข้อจำกัดว่า Hydrostatic head จะต้องไม่เกินกว่าค่าเทียบเท่ากับ Atrnospheric pressure ที่บริเวณที่ตั้งอาคาร ด้วยเหตุนี้ในบางครั้งจึงถูกเรียกว่า Low-head siphon spillway

ข้อแตกต่างจาก Inverted siphon ซึ่งทำงานโดย Positive pressure คือ Siphon spillway ทำงานโดย Negative presure ในบางครั้งจึงถูกเรียกว่า True siphon โดยการใช้น้ำล่อ (Prime) ครั้งแรกแล้ว Siphon Spillway สามารถยกน้ำผ่าน Crest และไหลลงสู่ระดับที่ต่ำกว่า

Siphon Spillway มีประสิทธิภาพสูงในการระบายน้ำจำนวนมากจากคลองได้อย่างรวดเร็ว แต่ราคาค่าก่อสร้างสูงกว่า Wasteway Turnout แบบอื่นมาก เนื่องจากต้องมีแบบเพื่อการก่อสร้าง (formwork) อย่างไรก็ตามข้อเด่นของ Siphon Spillway คือความต้องการ Crest แคบ มันจึงใช้ได้เมื่อช่องว่างมีไม่เพียงพอสำหรับอาคารที่ใช้ Free - Flow Crest

การทำงานโดยอัตโนมัติของ Siphon Spillway ทำให้ไม่ต้องดูแล Control Structure ต่าง ๆ ในคลองบ่อยนัก ข้อดีเป็นพิเศษของอาคารแบบนี้คือ สามารถปล่อยน้ำจำนวนมากไปได้โดยที่ระดับผิวน้ำเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ข. ลักษณะอาคาร Siphon Spillway ประกอบด้วยท่อปิดซึ่งมีขาด้านบนยื่นลงไปในบ่อด้านเหนือน้ำ และมีขาด้านล่างต่อจาก crest ลงไปในบ่อด้านล่าง ดูรูปที่ 3-7 siphon breaker ประกอบด้วยท่อระบายอากาศต่อไปทางด้านเหนือน้ำจาก Siphon crown ไปยังบ่อด้านเหนือน้ำ ดูรูปที่ 3-8 บ่อด้านท้ายน้ำของอาคาร มีส่วนสลายพลังงานประกอบอยู่ด้วย

ค. การทำงาน เมื่อมีน้ำจำนวนไม่มากนักเพิ่มขึ้น เช่นน้ำจากฝนที่ตกลงมาในบริเวณใกล้เคียงและไหลเข้าสู่ Drain Inlet จะมีผลให้ผิวน้ำในคลองค่อย ๆ สูงขึ้นอย่างช้า ๆ ในตอนแรก Siphon จะทำงานเหมือนฝาย ถ้าผิวน้ำยังสูงขึ้น ต่อไปปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน Siphon จะมีความเร็วสูงขึ้นจนเพียงพอที่จะเป็นการล่อ (Prime) ตัว Siphon ทำให้การไหลเป็นลักษณะการไหลผ่าน Siphon (Siphonic Flow) ซึ่งจะลดระดับผิวน้ำในคลองอย่างรวดเร็ว และเมื่อระดับน้ำลดลงแล้วการไหลผ่าน Siphon (Siphonic action) ก็สิ้นสุดลง

เพื่อที่จะให้อาคารชนิดนี้ระบายน้ำได้เต็มที่ตามที่ออกแบบ จำเป็นต้องมีการล่อ (Prime) อย่างเต็มที่ นั่นคือการเอาอากาศออกให้หมดจากท่อ siphon รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งเพียงเท่านี้ก็ทำให้น้ำไหลได้เต็มพื้นที่ของท่อ Priming คือการเริ่มให้น้ำผ่าน Crest ลงสู่ปลายด้านท้ายน้ำโดยมีความเร็วที่เพียงพอที่จะนำส่วนผสมของน้ำกับอากาศออกมาจากท่อได้ เพื่อให้น้ำกับอากาศรวมกันที่พื้นด้าน Slope จะมี Deflector อยู่ในตำแหน่งที่ทำให้ Trajectory ของน้ำเผินขึ้นจากพื้น และกระทบด้านบนของท่อ การ Prime เต็มที่เกิดขึ้นเมื่อทำให้อากาศออกหมดจากท่อและ Pressure เหนือ Crest เป็น Subatmospheric

เมื่อได้รับการ Prime อย่างเต็มที่ครั้งหนึ่งแล้ว การไหลของน้ำผ่าน Siphon (Siphonic action) จะเกิดติดต่อกันจนกระทั่งระดับผิวน้ำในคลองลดลงจนต่ำกว่าระดับทางเข้าของ Siphon Breaker Pipe จึงทำให้อากาศไหลเข้าไปทำให้ Pressure ที่ Crest เป็น Atmospheric และน้ำหยุดไหลอย่างฉับพลัน (Abruptly)

ข้อเสียประการหนึ่งของการใช้ Siphon Spillway ในคลองเล็ก คือการลดของผิวน้ำอย่างฉับพลัน และมี Surge ร่วมด้วยหรือการเกิด Bore Ware ซึ่งอาจเกิดร่วมกับการ Prime หรือ Brake โดยทันที การเกิดสิ่งเหล่านี้อาจรบกวนการปรับ Turnout Gate และอาจเป็นสาเหตุของการกัดเซาะทางน้ำด้านท้ายน้ำ

ง. อาคารประกอบทั่ว ๆ ไปจะมี Slide Gate หรือ Radial Gate ร่วมอยู่ด้วย เพื่อให้สามารถระบายน้ำออกได้หมดทั้งคลอง รูปที่ 3-9 แสดงถึงการประกอบกันของอาคาร ตามปกติจะมี Check Structure อยู่ในคลองห่างจาก Wasteway ไม่มากนัก ไปทางด้านท้ายน้ำเพื่อผันน้ำในคลองทั้งหมดเข้าสู่ Wasteway

3.2.9.2 การพิจารณาออกแบบ

ก. ทั่วไปในอดีตมีการใช้ Siphon Spillway หลายแบบ บทความนี้จะกล่าวถึงอาคารในลักษณะตามรูปที่ 3-7 ซึ่งขาด้านท้ายน้ำของ Crest เป็นขาตรงอาคารแบบนี้มีข้อดีกว่าชนิด S-curve ดังนี้ คือ

1. มีความยืดหยุ่นของปริมาณน้ำที่ไหลผ่านได้มากกว่า
2. ระยะเวลาของการ Priming น้อยกว่า
3. Prime ได้โดยมี Head ที่ Crest ต่ำกว่า
4. การก่อสร้างง่ายจึงทำให้ประหยัดกว่า

ข. ความจุ Siphon Spillway ระบายน้ำจำนวนมากผ่านท่อ Siphon ขนาดเล็กได้โดยมี Head ต่าง ๆ กัน การคำนวณมีสูตรสำหรับสมการของ Orifice และ Vortex Flow คือ

$$q = CD\sqrt{2gh}$$

$$= R_c\sqrt{0.7h\,(2g)}\log_e\left(\frac{R_s}{R_c}\right)$$

เมื่อ

q คือปริมาณน้ำต่อหน่วยความกว้าง

D, H, R_s และ R_c คือมิติที่แสดงไว้ในรูปที่ 3-7

C คือ Coefficient of discharge ในสมการของ Orifice ค่าที่ใช้กันทั่ว ๆ ไป คือ 0.6

h ในสมการของ Vortex flow คือแรงดันบรรยากาศของที่ตั้งอาคารเป็นหน่วยความสูงของน้ำ

0.7 เป็น Limit ของ Subatmospheric pressure ที่ยินยอมให้

ค. Head ค่า h คือแรงดันบรรยากาศขึ้นอยู่กับระดับของที่ตั้งอาคาร, H คือ Operating head จะต้องไม่เกินกว่าแรงดันบรรยากาศ (Atmosphoric pressure head) อาคารคอนกรีตจะต้องแข็งแรงพอที่จะทนต่อ Negative pressure ภายในซึ่งเท่ากับ H รวมกับ load อื่น ๆ ซึ่งกระทำต่ออาคาร

ง. Siphon Breaker การกำหนดตำแหน่งของ Siphon Breaker จะต้องพิจารณาอย่างละเอียด ช่องเปิดที่ส่วนบนของท่ออยู่ที่ 15° กับแกนตั้งฉากของ Crest ไปทางด้านท้ายน้ำตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3-7 เนื่องจากได้พบว่า Negative pressure สูงสุดเกิดที่จุดนี้หรือใกล้เคียงพื้นที่หน้าตัดของท่อ Siphon Breaker จะต้องประมาณ 1/24 ของ Throat Area

ปลายทางด้านเหนือน้ำของท่อ Siphon Breaker จะต้องถูกกำหนดไว้ที่ระดับผิวน้ำปกติของคลอง โดยมี Adjustable Sleeve เพื่อให้สามารถปรับอย่างละเอียด เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานที่เปลี่ยนแปลงท่อจะต้อง Airtight เพื่อต้องแน่ใจได้ว่าจะเกิด Negative Pressure ใน Siphon barrel

เพื่อป้องกันการที่ Siphon จะลดระดับน้ำจนต่ำกว่าระดับผิวน้ำปกติ จะต้องมีจานแบน ๆ ติดตั้งอยู่ใต้ท่อ Siphon Breaker ใกล้ ๆ ปลายท่อ (ดูรูป Detail A ของรูปที่ 3-7) หากไม่มีจานที่ท่อ Siphon Breaker บางอันอาจทำหน้าที่เป็น Siphon เอง และดูดน้ำส่วนที่เหลือทำให้ Siphon Spillway ยังคงดูดน้ำต่อไปจนต่ำกว่า Siphon crest ก่อนที่จะหมดอาการ Siphonic Action ด้วยการมีจานติดตั้งอยู่ตามรูปที่ 3-10 ทำให้การขึ้นลงของผิวน้ำในคลองจะน้อย

จ. Pool ทางออกของท่อ Siphon จมน้ำอยู่ใน Pool ด้านท้ายน้ำเพื่อป้องกันอากาศไหลกลับส่วนบนของธรณี (Sill) ที่ทำเป็น Slope จะต้องอยู่ที่ระดับเดียวกันกับส่วนบนของทางออกของท่อ Siphon

เพดานของส่วน Pool จะต้องมีระยะห่างจากผิวน้ำใน Pool เพียงพอที่จะให้อากาศออกจาก Pool ได้โดยสะดวก สมมุติว่าทางน้ำทางด้าน Outlet ไม่ได้เป็นต่อการที่ทำให้น้ำท่วมธรณีแล้ว ความสูงของกำแพงจะต้องเท่ากับ Critical depth รวมกับ Vetocity head รวมกับ Freeboard 0.30 ม. ตามรูปที่ 3-7

ความกว้างของ Pool จะต้องเท่ากับความกว้าง Throat และสำหรับอาคารขนาดไม่เกิน 2.8 ม.^{3}/วินาที ความกว้างไม่ควรน้อยกว่า 0.90 ม.

ฉ. Outlet Transition ตามปกติแล้วสำหรับทางน้ำที่มีรูปร่างอันแน่ชัด วิธีการออกแบบ Outlet Transition ของ Stilling pool ก็ใช้หลักการเดียวกับ Broken back Transition มุม Divergence ของแต่ละด้านควรเป็น 25°

ช. Protection Erosion ใช้ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว สำหรับ Cross Drainage สำหรับคลองที่ไม่ได้ดาด Protection ด้าน Inlet จะต้องต่อไปจนถึงแนวศูนย์กลางคลองโดยมีความยาวตามคลองเป็นสองเท่าของความกว้าง Throat หรืออย่างน้อยที่สุด 2.50 ม.

ซ. Percolation ในการควบคุม Percolation ของน้ำจากคลองลงสู่ทางน้ำด้านท้ายน้ำ ต้องพิจารณาตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้ว และหากมีความจำเป็นก็ต้องมี Cutoff wall ตำแหน่งของ cutoff wall มักกำหนดให้อยู่ที่พื้นด้านล่างแนวเดียวกับธรณีเอียง (Sill) ตามรูปที่ 3-7

3.2.9.3 ตัวอย่างการออกแบบ Siphon Spillway เพื่อระบายน้ำส่วนเกินลงสู่ทางระบายน้ำ ตามรูปที่ 3-11 โดยมีส่วนของการใช้บาน Slide gate เพื่อปล่อยน้ำให้หมดคลองแยกออกไปต่างหาก

ก. ข้อมูลต่าง ๆ

1. คลองมีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

Q_n = 2.8 ลบ.ม./วินาที

b = 2.40 ม.

d_n = 1.20 ม.

f_b = 0.60 ม.

h_b = 1:80 ม.

s:s = 1:1.5

2. คลองนี้นำน้ำไปสู่เครื่องสูบน้ำ ซึ่งอยู่เลยทางทิ้งน้ำไปทางท้ายน้ำ เครื่องสูบน้ำนี้เสียในขณะที่น้ำไหลมาเต็มตามที่ได้ออกแบบไว้และยังมีน้ำจาก Drain Inlet เพิ่มเข้ามาอีก ทำให้ปริมาณน้ำในคลองทั้งหมดเป็น 3.35 ลบ.ม./วินาที

3. Head ที่มี ซึ่งก็คือ H ตามรูปที่ 3-7 เท่ากับ 1.80 ม.

4. มีทางระบายน้ำขนาดเดียวกับคลอง เพื่อนำน้ำที่ระบายไหลลงทางน้ำธรรมชาติ

5. ทางระบายน้ำธรรมชาติ มีความจุเพียงพอที่จะนำน้ำที่ระบายทิ้งทั้งหมดไหลไปได้ โดยไม่ทำความเสียหายแก่ทรัพย์สินที่อยู่ใกล้เคียง

6. อาคารแห่งนี้อยู่ที่ระดับสูงกว่า ร.ท.ก. อยู่ 1.830 ม. ซึ่งมีแรงดันบรรยากาศ h เท่ากับน้ำสูง 8.30 ม.

ข. วิธีทำ ดูรูปที่ 3-7

1. จากที่กำหนดให้ Q = 3.35 ลบ.ม/วินาที

H = 1.80 ม.

h = 8.30 ม.

2. ใช้ค่า C = 0.6

$R_{\text{℄}}/D$ = 2.0

3. ทดลองใช้ค่า D = 0.60 ม.

4. ขนาดของ Crest

$R_{℄} = 2 \times D = 2 \times 0.6 = 1.20$ ม.

$R_C = R_{℄} - (D/2) = 1.2 - 0.30 = 0.90$ ม.

$R_5 = R_{℄} + (D/2) = 1.2 + 0.30 = 1.50$ ม.

5. หาปริมาณน้ำโดยใช้สมการของ Orifice

$q = C \times D \times 2 \times g \times H = C \times D \times (2 \times g \times H)^{1/2}$

$= 0.6 \times 0.6 \times 2 \times 9.81 \times 1.8 = 0.6 \times 0.6 \times (2 \times 9.81 \times 1.8)^{1/2}$

$= 2.14$ ลบ.ม./วินาที/ม.

6. หาปริมาณน้ำโดยใช้สมการ Vortex

$q_{max} = R_c \times (0.7 \times h \times 2 \times g)^{1/2} \times \log_e (R_s/R_c)$

$= 0.90 \times ((0.7 \times 8.3 \times 2 \times 9.81)^{1/2}) \times \log_e (1.5/0.9)$

$= 0.90 \times 10.677 \times 0.511$

$= 4.91$ ลบ.ม./วินาที/ม.

7. เนื่องจาก q ไม่เกิน g_{max} ฉะนั้นการออกแบบ Siphon ให้น้ำไหลผ่าน 2.14 ลบ.ม./วินาที/ม. จึงใช้ได้ถ้าคำนวณออกมาได้ผลว่า q มากกว่า q_{max} จะต้องลดค่า H ลง หรือกำหนดขนาด D หรือ R_c ให้ใหญ่กว่าค่าต่ำสุด ซึ่งวิธีการเหล่านี้จะทำให้ค่า q ลดลงจนต่ำกว่า q_{max}

8. หาความกว้าง Throat ของ Siphon

$b = Q/q = 3.35/2.14 = 1.56$ ม.

ใช้ค่า $b = 1.50$ ม.

ถ้าพบว่าความกว้างที่คำนวณได้มากเกินควรแล้ว การเพิ่มขนาด D จะทำให้ความกว้างนี้ลดลงได้

9. หาขนาดท่อ Breaker ของ Siphon

พื้นที่ของท่อ Breaker จะต้องไม่น้อยกว่าหนึ่งในยี่สิบสี่เท่าของพื้นที่ Throat

$A_p = A_t/24 = 0.6 \times 1.5/24 = 0.0375$ ตร.ม.

ฉะนั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อจะเป็น 0.218 ม.

ใช้ท่อ Breaker ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 250 มม.

10. หาความสูงของธรณีที่อยู่ใน Pool

$h_s = 1.5 \times D$

$= 1.5 \times 0.6 = 0.90$ ม.

11. หาความสูงของกล่อง Pool

$h_t = 1.5 \times D + d_C - h_{VC} + 0.30$

เมื่อความกว้าง Pool = 1.50 ม.

$q = 3.35/1.50 = 2.233$ ลบ.ม./วินาที/ม.

$d_C = (q^2/g)^{1/3}$

$= ((2.233)^2/9.81)^{1/3}$

$= 0.798$ ม.

$h_{VC} = 0.798/2$ ม. (รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า)

$= 0.399$ ม.

ดังนั้น $h_Z = 1.5 \times 0.6 + 0.798 + 0.399 + 0.30$ ม.

$= 2.397$ ม.

ใช้ $h_Z = 2.40$ ม.

12. Outlet Transition สมมุติว่าทางน้ำที่ต่อจาก Outlet Transition มีขนาดกันกว้าง 2.40 ม. และความลึก 1.20 ม. (สำหรับปริมาณน้ำ 3.35 ลบ.ม./วินาที) ใช้ Transition ชนิด Broken Back ที่มีก้นกว้างเท่ากับ Pool โดยตลอดคือ 1.50 ม.

ความกว้างของผิวน้ำที่ Cutoff

$T_C = 1.50 + 2 \times 1.5 \times 1.2$ ม.

$= 5.1$ ม.

ความกว้างผิวน้ำที่ผายออกจะเท่ากับ

$T_C - W_P = 5.1 - 1.5 = 3.6$ ม.

แสดงว่ากำแพงผายออกข้างละ 1.8 ม.

ความยาว Transition $L_T = 1.8/\tan 25^\circ$

$= 3.86$ ม.

ใช้ $L_T = 3.90$ ม.

ส่วนที่ผายออกเชื่อมต่อกับก้นคลองกว้าง 2.40 ม. ใช้ Earth Transition ในการเชื่อมต่อ

13. หาสภาพทางชลศาสตร์ที่ทางเข้า โดยให้ทางเข้าเป็น Orifice เอียง มีความยาวตามเอียงเป็น 2 x D

$V = Q/A = 3.35/2 \times 0.6 \times 1.5 = 1.86$ ม./วินาที

$h_V = 0.176$ ม.

14. ตรวจสอบระยะที่ระดับน้ำปกติท่วมปากทางเข้า (อย่างต่ำ 0.30 ม.)

S_m ต่ำสุด $= 1.5\ h_V + 0.15$ ม.

$= 1.5 \times 0.176 + 0.15$ ม.

S_m ต่ำสุด $= 0.414$ ม.

$S_m = d_n - y$

เมื่อ

$$y = 2 \times D \times \sin \varnothing$$

$\varnothing$ ผิวมุมเอียงของลาดข้างคลอง

สมมุติให้พื้นล่างของช่องเปิดอยู่ที่ระดับเดียวกับก้นคลอง ดังนั้น

$$S_m = d_n - (2 \times D \times \text{Sin } 33°41')$$
$$= 1.20 - (2 \times 0.6 \times 0.5546)$$
$$= 0.534 \text{ ม.}$$
$$> 0.414 \text{ ม. ซึ่งเป็นค่าต่ำสุด}$$

15. การป้องกันการกัดเซาะ ตามที่ระบุไว้เกี่ยวกับอาคารระบายน้ำส่วน Inlet จะใช้กรวดหยาบหนา 0.15 ม. ยาวไปจนถึงแนวศูนย์กลางคลอง โดยมีระยะไปตามยาวของคลองเป็น 2 เท่า ของความกว้าง Throat การป้องกันการกัดเซาะท้าย Outlet Transition ประกอบด้วยหินเรียงหนา 0.30 ม. อยู่บนกรวดทรายหนา 0.15 ม. ของพื้น ความยาวของการเรียงหินเป็น 4 เท่าของความลึก (4 x 1.2 = 4.8 ม.) ใช้ค่า 5.00 ม.

16. ทำการตรวจสอบเรื่อง Percolation ตามวิธีการที่ได้กล่าวถึงมาแล้ว

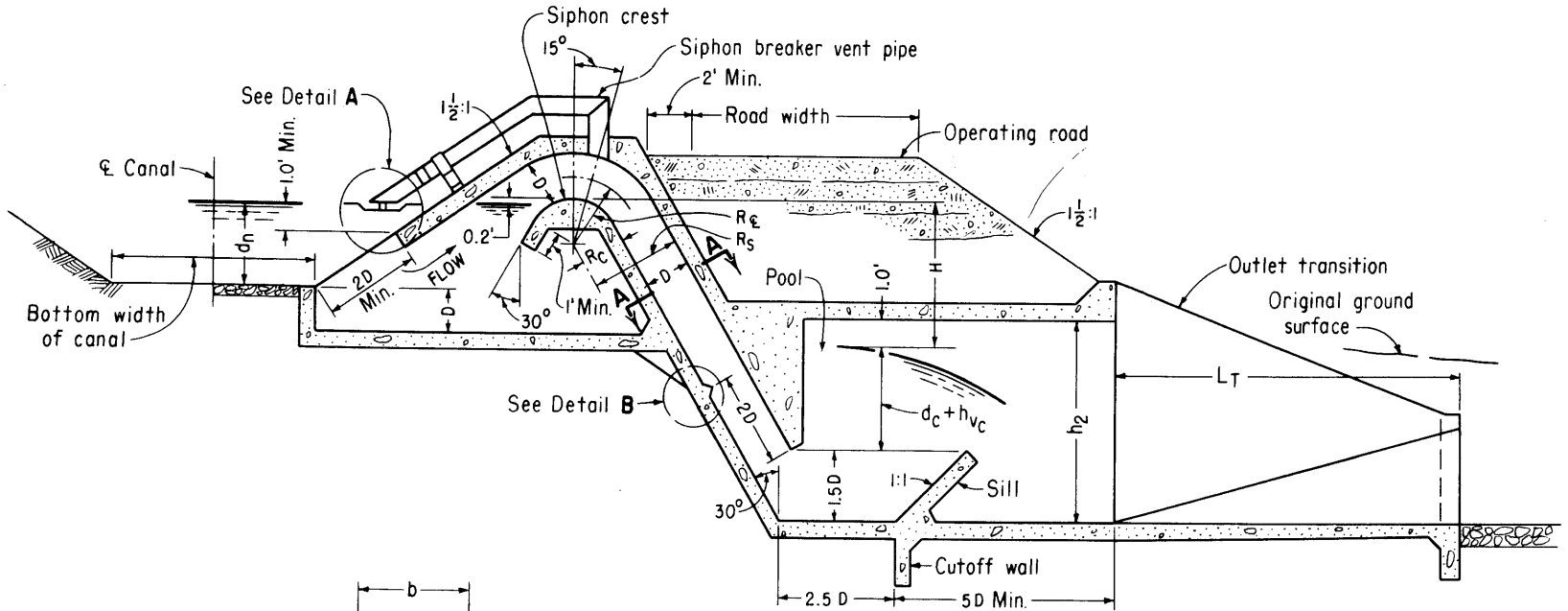
3.2.10 อาคารทิ้งน้ำชนิดเป็นอาคารอัดน้ำ (Check Inlet Wasteway Turnout)

3.2.10.1 **ทั่วไป** การใช้ Check Inlet ร่วมกับท่อ และการใช้ Check Inlet ร่วมกับอาคารน้ำตกแบบเอียงที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อทิ้งน้ำออกจากคลองขนาดเล็กนั้นเป็นวิธีการที่ดี เพราะอาคารเหล่านี้สามารถระบายน้ำที่ไม่ได้ใช้ทิ้งไปโดยอัตโนมัติ น้ำที่ต้องระบายทิ้งได้แก่น้ำซึ่งเกินมาเนื่องจากการควบคุมอาคารบกพร่องหรือน้ำที่เกิดจากฝน หรือน้ำที่ต้องการระบายที่นำเข้าคลองทาง Drain Inlet เมื่อต้องการระบายน้ำให้หมดทั้งคลองจะทำได้โดยถอด Stoplog ออกหรือเปิดบาน

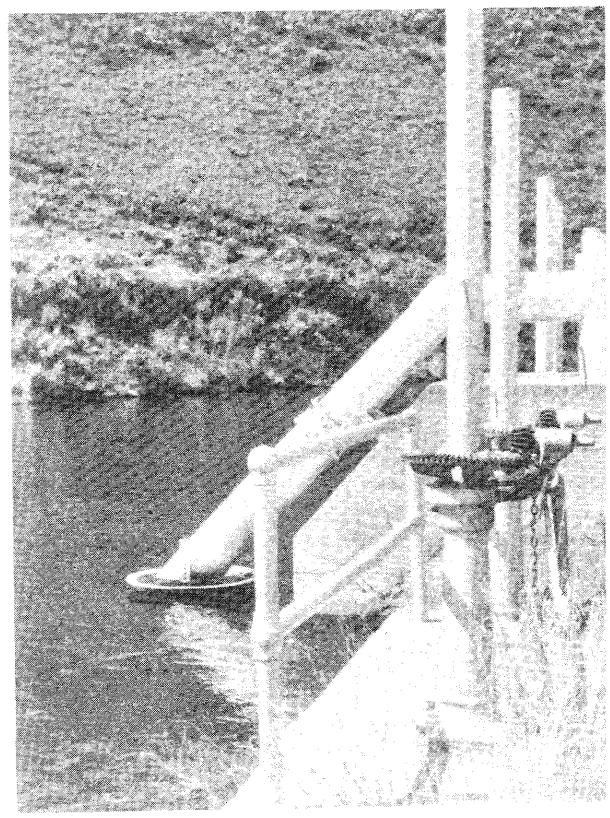
ตามปกติการใช้เพียง Stoplog ก็เพียงพอสำหรับคลองที่ทำการระบายน้ำทิ้งทั้งหมดไม่บ่อย แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าไม่ต้องการให้น้ำรั่วจะต้องมีวัสดุที่ใช้กันน้ำรั่วประกอบอยู่ด้วย ควรใช้บานเมื่อมีระบบควบคุมจากระยะไกลหรือต้องการให้ปรับบานบ่อย ๆ เพื่อให้การรั่วซึมมีน้อย บานที่ใช้ควรเป็นเหล็กหล่อ เมื่อนำกรอบบานมาใส่ลงในร่อง Stoplog ต้องมีการป้องกันที่น้ำจะรั่วระหว่างกรอบบานและร่อง Stoplog ด้วย

การใช้ Check Inlet นี้อาจประกอบเข้ากับ Baffled Apron ซึ่งเป็นการรวมกันที่ดีสำหรับทางทิ้งน้ำออกจากอ่างที่มีระดับน้ำด้านท้ายน้ำไม่แน่นอน

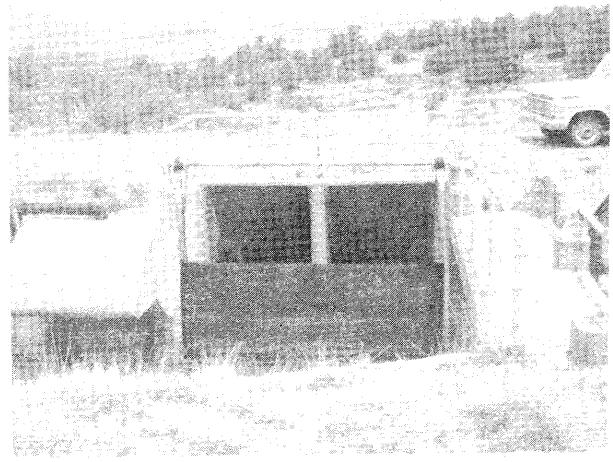
3.2.10.2 การพิจารณาออกแบบ การออกแบบอาคารทิ้งน้ำโดยใช้ Check Inlet จะต้องออกแบบให้มีส่วนที่น้ำไหลล้นข้ามไปได้ด้วยปริมาณน้ำตามที่ออกแบบไว้ โดยที่ระดับน้ำสูงขึ้นได้ไม่เกินกว่าครึ่งหนึ่งของ Freeboard ตามปกติของคันคลอง



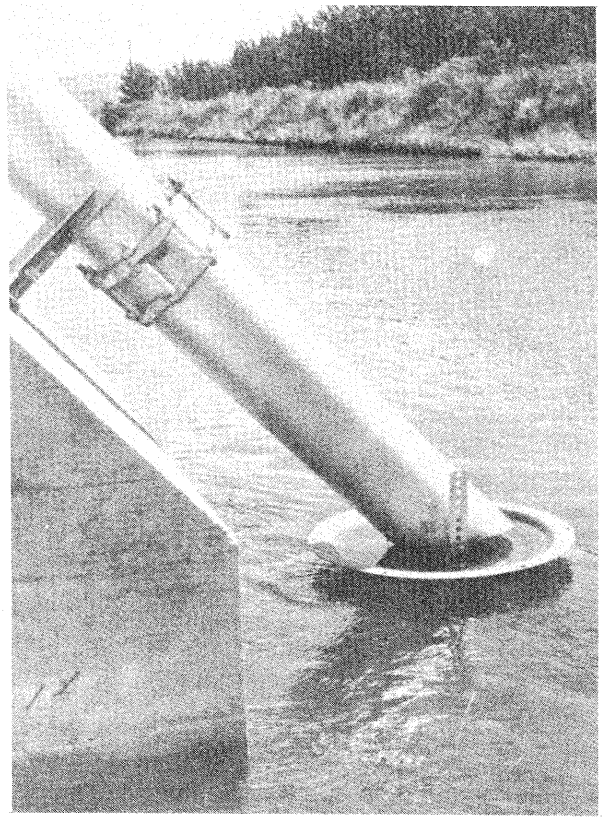
รูปที่ 3-7 **Siphon spillway – typical sections.**



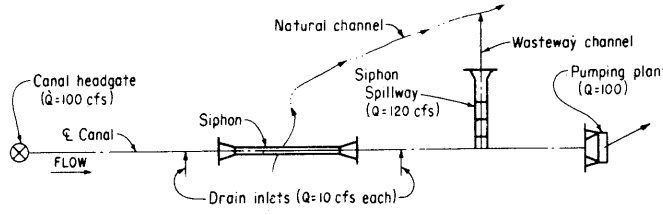
รูปที่ 3-8 Siphon spillway with siphon breaker pan.
Gate hoist in foreground



รูปที่ 3-9 Siphon spillway hood at left, radial gate for wasteway turnout in center, and hoist for radial gate check at right side of photograph.



รูปที่ 3-10 Siphon spillway with siphon breaker pan in place.



รูปที่ 3-11 General plan of typical canal with siphon spillway.

3.3 อาคารระบายน้ำตัดผ่านคลองส่งน้ำ

3.3.1 ท่อระบายน้ำ (Culvert)

ท่อระบายน้ำเป็นอาคารตัดผ่าน (Cross Structure) อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีสภาพคล้ายกับท่อเชื่อม (Siphon) ส่วนที่แตกต่างกันนั้นอยู่ที่ระดับต่างของตัวท่อที่จุดสูงสุดและจุดต่ำสุดต่างกันไม่มาก หรือบางครั้งตัวท่อของท่อระบายน้ำอาจวางในแนวระดับเลยก็มี อีกประการหนึ่งนั้น การไหลของน้ำที่ผ่านท่อระบายน้ำอาจจะไหลในลักษณะที่เต็มท่อหรือไม่เต็มท่อก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของปริมาณน้ำที่จะไหลผ่านท่อ ดังนั้นแรงดันของน้ำภายในท่อจึงไม่มีความสำคัญในการคำนวณออกแบบความแข็งแรงของตัวท่อนัก ในการคำนวณออกแบบจึงมักนิยมใช้ท่อหล่อสำเร็จ (Precast Concrete Pipe) มาวางแล้วยารอยต่อด้วยปูนก่อ (Mortar) เว้นเสียแต่ขนาดของท่อที่ใหญ่มาก ๆ จึงใช้การหล่อท่อ ณ ที่ก่อสร้าง (Cast in Place) ข้อแตกต่างประการสุดท้ายระหว่างท่อเชื่อมกับท่อระบายน้ำก็คือมีโอกาสน้อยมากที่จะออกแบบท่อระบายน้ำให้น้ำในคลองส่งน้ำลอดทางน้ำธรรมชาติ หรือให้น้ำในทางน้ำธรรมชาติลอดคลองส่งน้ำ แต่มักจะเป็นในลักษณะที่ออกแบบให้ท่อระบายน้ำนำน้ำในทางน้ำธรรมชาติหรือน้ำในคลองส่งน้ำลอดทางเกวียน, ถนน หรือทางรถไฟ หรือจะพูดให้ง่ายลงไปอีกก็คือแทนที่จะสร้างสะพานข้ามคลองส่งน้ำหรือทางน้ำธรรมชาติ ซึ่งมีราคาแพงกว่า และมักต้องยกระดับท้องสะพานให้สูงพ้นระดับผิวน้ำ ก็เลี่ยงมาสร้างท่อระบายน้ำ ข้อแตกต่างอีกประการหนึ่งก็คือในขณะมีน้ำไหลผ่านอาคารดังกล่าว จะเกิดแรงดูด (Suction) ขึ้นในท่อเชื่อม แต่ในท่อระบายน้ำจะไม่มีแรงดูดเกิดขึ้นภายในตัวท่อเลย

3.3.2 ส่วนประกอบของท่อระบายน้ำ

ส่วนประกอบสำคัญของท่อระบายน้ำจะมีเช่นเดียวกับท่อเชื่อมนั่นเอง คือ ช่วงต่อเชื่อมด้านทางเข้า (Inlet Transition), ตัวท่อ (Pipe or Conduit) และช่วงต่อเชื่อมด้านทางออก (Outlet transition) สำหรับการออกแบบท่อระบายน้ำชนิดที่ลอดคลองส่งน้ำหรือทางธรรมชาตินั้น จะพยายามบีบขนาดท่อให้เล็กและความเร็วของการไหลของน้ำในท่อค่อนข้างสูง (ใช้เกณฑ์ไม่เกิน 2.50 ม./วินาที) ในลักษณะนี้ควรให้ความสำคัญในการออกแบบอาคารต่อเชื่อมด้านทางเข้าและด้านทางออกเช่นเดียวกับที่ให้กับท่อเชื่อม แต่ถ้าเป็นท่อระบายน้ำชนิดลอดทางเกวียน, ถนน หรือทางรถไฟ มักนิยมกำหนดความกว้างของตัวท่อใกล้เคียงกับความกว้างของทางน้ำธรรมชาติหรือคลองส่งน้ำแล้วแต่กรณี ดังนั้นความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลผ่านท่อจึงสูงกว่าความเร็วของน้ำในคลองไม่มากนัก จึงสามารถกำหนดมุมผายของช่วงต่อเชื่อม (Transition) ได้กว้างกว่าปกติ

3.3.3 การคำนวณออกแบบ

3.3.3.1 การออกแบบทางชลศาสตร์ (Hydraulic Design) ค่า Head Loss ที่กำหนดให้ใช้กับท่อระบายน้ำมักให้ไว้ไม่เกิน 0.20 ม. เพราะท่อระบายน้ำมักมีความยาวไม่มาก และความเร็วของการไหลน้ำในท่อก็ไม่สูงกว่าความเร็วของน้ำในคลองมากนัก ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้ว

ก. การหาค่า Head Loss

ค่าของ Head Loss ก็ใช้สูตรการหาเช่นเดียวกับที่ใช้ในท่อเชื่อมคือ Head Loss เนื่องจากช่วงต่อเชื่อม, Head Loss ที่ปากทางเข้าและทางออกของท่อ และ Friction Loss ในท่อกับ Head Loss เนื่องจากการโค้งงอของท่อ (ถ้ามีการงอท่อ) ผลรวมของ Head Loss ทั้งหมดนี้จะต้องใกล้เคียงและไม่เกินค่า Head Loss ที่กำหนดไว้ในแบบคลอง

ข. การตรวจสอบแรงลอยตัวของท่อ (Bouyance Force) กรณีนี้ให้หาน้ำหนักของตัวท่อที่จะต้านทานแรงลอยตัวในขณะที่ในท่อไม่มีน้ำไม่มีดินทับหลังท่อและคิดน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็กที่จมน้ำด้วย ซึ่งถ้าน้ำหนักของท่อไม่พออาจต้องใส่ตีนเป็ด เพื่อช่วยยึดตัวท่ออีกด้วย (กรณีเช่นนี้ในท่อระบายน้ำ ทั่ว ๆ ไปไม่ต้องตรวจสอบก็ได้เว้นแต่กรณีที่คิดว่าจะมีการซ่อมท่อในขณะที่มีน้ำเต็มทั้งด้านหน้าและด้านหลังท่อเท่านั้น)

ค. ตรวจสอบความยาวของการไหลของน้ำเลาะข้างใต้และด้านข้างของตัวอาคาร (Percolation Path) เนื่องจากท่อระบายน้ำมีความยาวไม่มาก ดังนั้นแม้ว่าระดับต่างของระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายท่อลอดจะมีไม่มากก็ตาม (กรณีที่ใช้ท่อระบายน้ำนี้เป็นอาคารอัดน้ำด้วยค่า Percolation จะมีความสำคัญมาก) แต่การไหลของน้ำที่เลาะด้านข้างและด้านใต้อาคารก็อาจมีผลที่จะพัดพาเมล็ดดินออกไปได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบค่า Weighted Creep Ratio (C_w) ของท่อระบายน้ำ ถ้าไม่พอก็อาจต้องใส่คอลล่าร์ (Collars) เป็นระยะ ๆ ตามท่อ เพื่อเพิ่มความยาวของการไหลของน้ำดังกล่าวด้วย

3.3.3.2 การออกแบบโครงสร้าง (Structural Design) ท่อที่ใช้เป็นส่วนประกอบของท่อระบายน้ำนั้นมีทั้งที่เป็นไม้ (สมัยนี้ไม่ใช้แล้ว), ท่อเหล็ก (มีใช้น้อย), ท่อแอสเบสตอสซิเมนต์ (Asbestos-Cement Pipe), ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ (Precast Concrete Pipe) และท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ (Cast In place) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับราคางานวัสดุที่หาได้, ความสะดวกในการก่อสร้างและขนาดของท่อเอง ส่วนรูปร่างของท่อมีทั้งท่อกลม, ท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าและท่อสี่เหลี่ยมจตุรัส ท่อกลมขนาดใหญ่หรือท่อสี่เหลี่ยมจตุรัสมักนิยมใช้ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ และในกรณีที่ระดับของผิวจราจรหรือทางตัดผ่านที่ท่อลอดไปนั้นถูกบังคับไม่ให้ยกสูงขึ้น ก็จะเปลี่ยนจากท่อสี่เหลี่ยมจตุรัสเป็นท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้ อย่างไรก็ตามถ้าเป็นการใช้ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่แล้วก็มักไม่นิยมออกแบบเป็นท่อกลม เพราะตั้งแบบยาก และค่าแรงจะอยู่ในเกณฑ์สูงด้วย ดังนั้นในที่นี้จะพูดถึงท่อที่เป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือสี่เหลี่ยมจตุรัสลอดถนนเท่านั้น

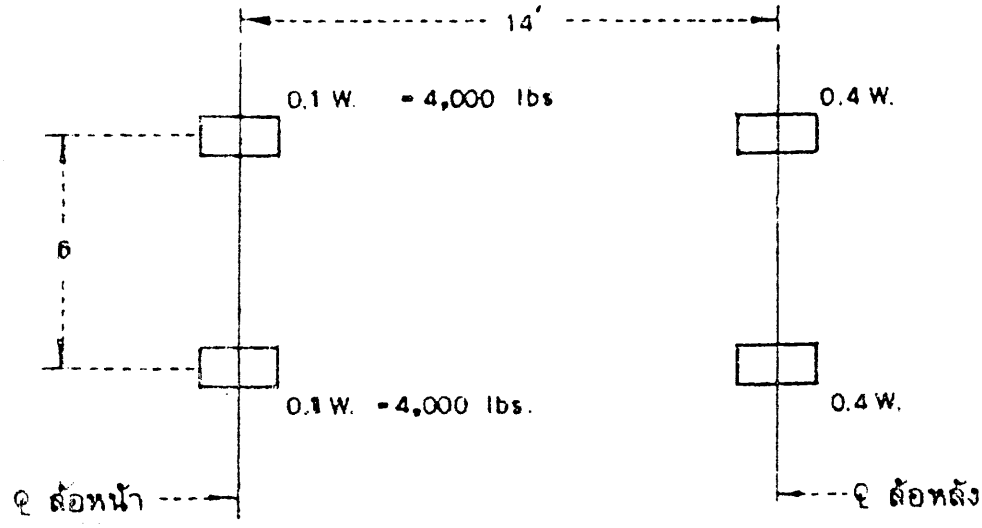
เกณฑ์ออกแบบนั้นพอจะแยกออกเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้.-

(1) ความลึกของดินทับหลังท่อจะต้องไม่น้อยกว่า 2 ฟุต

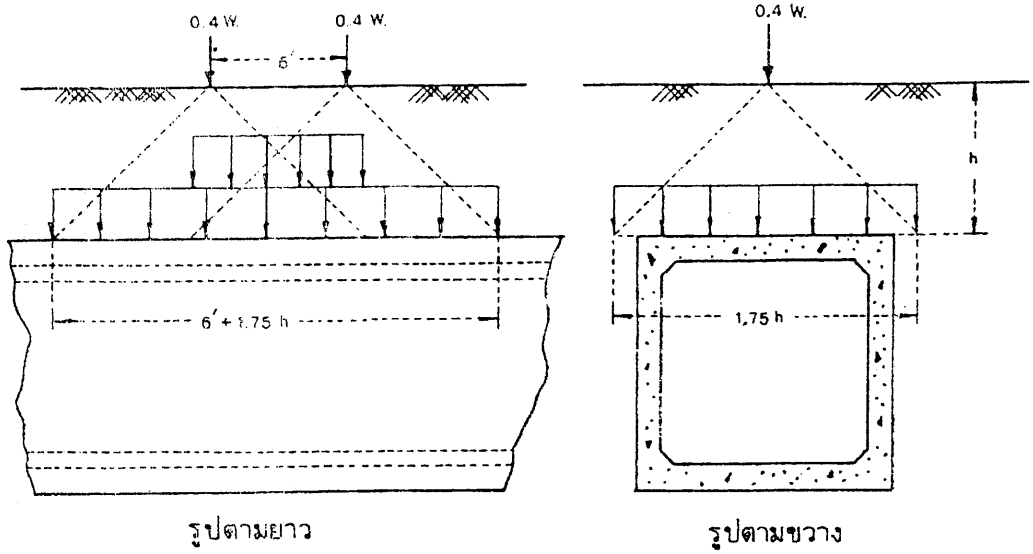
(2) รถที่วิ่งข้ามท่อใช้หลักเกณฑ์ของ ASSHO Standard (ดูรูป 3-12) น้ำหนักของล้อรถ สำหรับถนน H20-44 และแรงกดเนื่องจากน้ำหนักของรถบรรทุกนั้นให้คิดจากน้ำหนักของล้อหลังทั้งคู่แผ่ออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสที่มีความยาวของด้าน 1.75 เท่าของความลึก และมีเกณฑ์เพิ่มเติมดังนี้.-

- ความหนาของดินทับหลังท่อไม่เกิน 2 ฟุต ให้คิดน้ำหนักของล้อรถโดยตรงสู่ผิวท่อ โดยไม่ต้องแผ่เป็นมุม 45°
- ความหนาของดินทับหลังท่อที่เกิน 10 ฟุต ไม่ต้องคิดน้ำหนักกดจากล้อรถเลย
- ความหนาของดินทับหลังท่อที่ไม่เกิน 3 ฟุต ต้องเพิ่มแรงกระแทก (Impact) เนื่องจากรถที่ข้ามหลังท่ออีกดังนี้.-

ความหนาของดินทับหลังท่อ (ฟุต-นิ้ว)	แรงกระแทก (% ของน้ำหนักกด)
0-0. ถึง 1-0	30
1-1 ถึง 2-0	20
2-1 ถึง 2-11	10
ตั้งแต่ 3-0 ขึ้นไป	0



รูปที่ 3-12 แปลนแสดงน้ำหนักแต่ละล้อของรถ สำหรับถนน H 20-44



รูปที่ 3-13 การแผ่น้ำหนักกดของล้อรถบนท่อลอด

(3) คิดเฉพาะกรณีที่ในท่อไม่มีน้ำเลย แต่มีดินทับหลังท่อด้วยความหนาตามที่เป็นจริง

(4) ในกรณีที่ใช้ท่อแถวเดียวไม่อาจจะใช้ท่อคู่ ท่อสามแถวหรือมากกว่านั้นได้ แต่มีเกณฑ์กว้าง ๆ ว่า พยายามให้หน้ากว้างของท่อใกล้เคียงกับขนาดกว้างของคลองที่ต่อเชื่อมกับท่อนี้จะให้ผลดีทางด้านชลศาสตร์ด้วย ส่วนในด้านโครงสร้างนั้นให้ใช้หลักการวิเคราะห์โครงสร้างหาโมเมนต์และแรงเฉือนออกมาและหาเหล็กเสริมตามหลักเกณฑ์ทางการออกแบบ คอนกรีตเสริมเหล็กต่อไป

(5) การออกแบบ ช่วงต่อเชื่อมทางเข้าและทางออกคงอาศัยหลักการและวิธีการเช่นเดียวกับท่อเชื่อม

3.3.3.3 ตัวอย่าง ให้ออกแบบท่อลอดถนน (ผิวจราจรกว้าง 6.00 ม.) ของคลองส่งน้ำที่มีความจุ 6.00 ม.^{3}/วินาที ก้นคลองกว้าง 1.50 ม. น้ำลึก 1.55 ม. ซึ่งเป็นคลองดาดด้วยคอนกรีตมีลาดตลิ่ง 1:1.5 ดินบริเวณนั้นเป็นทรายหยาบมีมุมทรงตัว 30° และรับน้ำหนักได้ 14 ตัน/ม.^{2} โดยยอมให้ Head Loss เกิดขึ้นไม่เกิน 0.15 ม.

วิธีทำ

(1) หาขนาดท่อ

ปริมาณน้ำที่กำหนดให้ 6.00 ม.^{3}/วินาที

ปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณ 1.1 x 6.00 6.60 ม.^{3}/วินาที

ความเร็วน้ำในท่อสูงสุดที่ยอมให้ใช้ 2.50 ม./วินาที

: พื้นที่หน้าตัดท่อลอด 6.60/2.50 = 2.64 ม.^{2}

ใช้ท่อขนาด 1.75 x 1.75 และพอกมุม 0.10 ม.

: พื้นที่หน้าตัดท่อจริง ๆ (1.75 x 1.75) - (2 x 0.10 x 0.10) = 3.0425 ม.^{2}

ความเร็วของน้ำในท่อ $\frac{6.60}{3.0425}$ = 2.17 ม./วินาที

เมื่อ Q = 6.6 ม.^{3}/วินาที ไหลในคลองที่มีก้นกว้าง 1.50 ม. และลาดตลิ่ง 1:1.5 จะทำให้เกิด d = 1.63 ม.

และ v = 1.03 ม./วินาที

จากรูปที่ 3-14 ความยาวตัวท่อ 9.00 ม.

(2) หาความยาวช่วงต่อเชื่อม (Transition)

เนื่องจากปริมาณน้ำเพียง 6.00 ม.^{3}/วินาที ถือว่าเป็นอาคารที่เล็กมาก ดังนั้นจึงใช้มุมผายเพียง 30° ทั้งทางเข้าและทางออก

ความกว้างผิวน้ำตรงช่วงที่ติดตัวท่อ 2.05 ม.

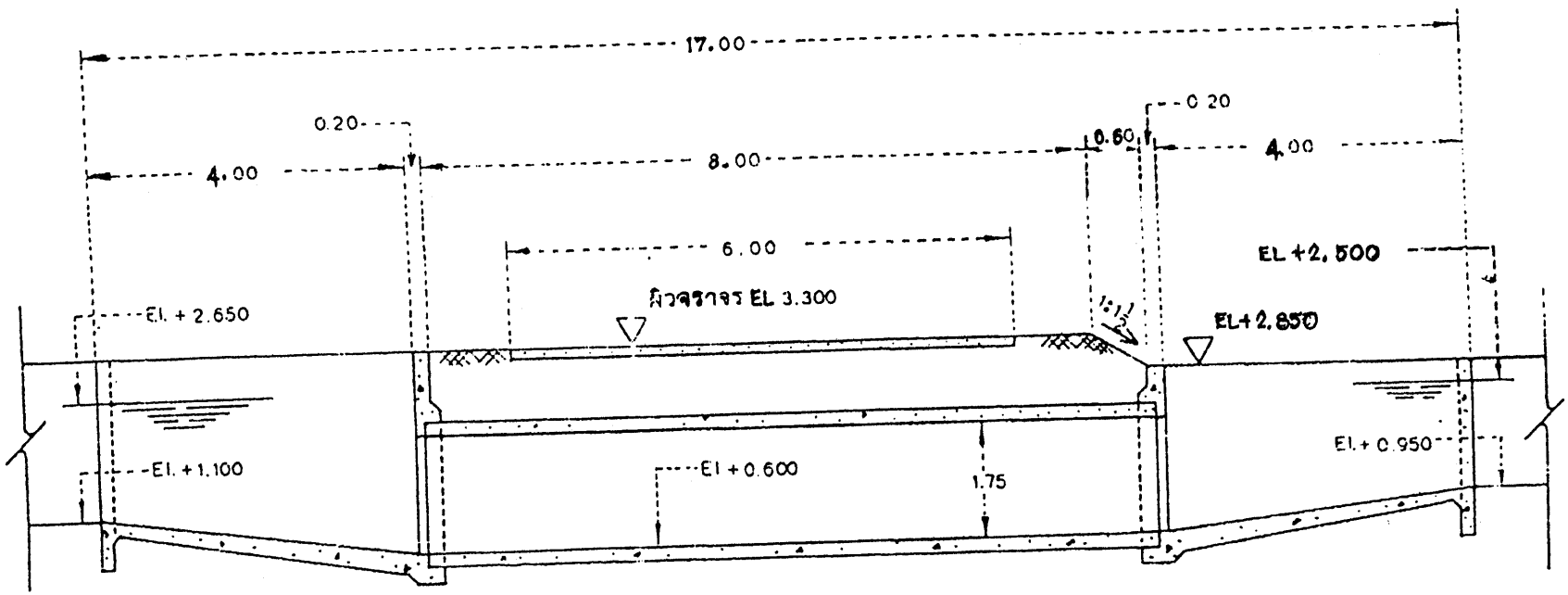
ความกว้างผิวน้ำที่คลอง 6.15 ม.

: ผิวน้ำมีความกว้างแตกต่างกัน = $\frac{1}{2}$(6.15-2.05)

= 2.05 ม.

: ความยาว Transition = $\frac{2.05}{\tan 30°}$ = 3.551 ม.

ใช้ Broken-Back Type ยาว 4.00 ม.



รูปที่ 3-14 รูปตัดตามยาวของท่อลอด

(3) หาค่า Loss ในช่วงต่าง ๆ

- Friction Loss

$$h_f = n^2 v^2 L/R^{1.333}$$

$$= \frac{(0.014)^2 \times (2.17)^2 \times 9.00}{\left[\frac{3.0425}{6.766}\right]^{1.333}}$$

$$= 0.0241$$

- Inlet Transition Loss

พื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าหน้าท่อ = 2.05 x 2.05

∴ ความเร็วน้ำหน้าท่อ $= \frac{6.60}{4.2025} = 1.570$ ม./วินาที

$$H_{Ti} = 0.30 \times \frac{[(1.570)^2 - (1.03)^2]}{2 \times 9.81}$$

$$= 0.30 \times \frac{(2.465 - 1.061)}{19.62}$$

$$= 0.0215 \text{ ม.}$$

- Outlet Transition Loss

พื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าท้ายท่อ = 2.05 x 1.90 = 3.895 ม.^{2}

∴ ความเร็วน้ำท้ายท่อ $= \frac{6.60}{3.895} = 1.694$ ม./วินาที

$$H_{TO} = \frac{0.50 \times [(1.694)^2 - (1.03)^2]}{2 \times 9.81}$$

$$= \frac{0.50 \times (2.870 - 1.061)}{19.62}$$

$$= 0.0461 \text{ ม.}$$

- Entrance Loss

$$H_{en} = 0.10 \times \frac{[(2.17)^2 - (1.570)^2]}{2 \times 9.81}$$

$$= 0.10 \times \frac{(4.7089 - 2.465)}{19.62}$$

$$= 0.0114 \text{ ม.}$$

- Exit Loss

$$H_{ex} = 0.25 \times \frac{[2.17^2 - 1.694^2]}{2 \times 9.81}$$

$$= 0.25 \times \frac{(4.7089 - 2.870)}{19.62}$$

$$= 0.0234 \text{ ม.}$$

$\therefore$ Head Loss ทั้งหมด 0.024 + 0.024 + 0.0215 + 0.0461 + 0.0114 + 0.0234

$= 0.1265$ ม. ≈ 0.15 ม. ใช้ได้

(4) ตรวจสอบ Weighted Creep Ratio

ความยาวของทางเดินน้ำใต้อาคาร $\frac{8.00 + 9.00}{3} + 2.00 + 0.80 + 0.70$ ม.

$\therefore L = 9.167$

$H = 2.650 - 0.950 = 1.70$

$C_W = \frac{9.167}{1.70} = 5.39$

ซึ่งมากกว่า 5.00 ใช้ได้

(C_W สำหรับทรายหยาบเท่ากับ 5.00)

(5) หาแรงต่าง ๆ ที่เกิดกับตัวท่อ

สมมุติความหนาของเปลือกท่อตลอดจนน้ำหนักล้อรถที่กดบนหลังท่อเป็นไปดังรูปที่ 3-15

น้ำหนักดินทับหลังท่อ $0.65 \times 1,900 = 1,235$ กก./ม.^{2}

น้ำหนักเปลือกท่อด้านบน $0.30 \times 2,400 = 720$ กก./ม.^{2}

น้ำหนักกดของล้อรถ $\frac{7,143}{(1.75 \times 0.65)^2} = 5,521$ กก./ม.^{2}

แรงกระแทกของล้อรถ 10% $= 552$ กก./ม.^{2}

: w1 $= 8,028$ กก./ม.^{2}

w2 $= \frac{1}{3} \times 1,900 \times 0.65 = 412$ กก./ม.^{2}

w3 $= \frac{1}{3} \times 1,900 \times 3.10 = 1,963$ กก./ม.^{2}

น้ำหนักเปลือกท่อด้านข้าง $\frac{2 \times 1.75 \times 0.30 \times 2,400}{2.35} = 1,072$ กก./ม.^{2}

: w4 $= 1,072 + 8,028 = 9,100$ กก./ม.^{2}

น้ำหนักเปลือกท่อพื้นล่าง $0.40 \times 2,400 = 960$ กก./ม.^{2}

น้ำหนักน้ำในท่อ $\frac{1.75^2 \times 1,000}{2.35} = 1,303$ กก./ม.^{2}

: น้ำหนักกดพื้นดิน $9,100 + 960 + 1,303 = 11,363$ กก./ม.^{2}

ซึ่งน้อยกว่า 14 ตัน/ม.^{2}.....ใช้ได้

- Stiffness Ratio, K = $\frac{4EI}{L}$

ช่วงคาน	:	AB	BC	CD	DA
ค่า K	:	$\frac{4EI}{2.05}$	$\frac{4EI}{2.10}$	$\frac{(0.40/0.30)^3\ 4EI}{2.05}$	$\frac{4EI}{2.10}$
อัตราส่วน K	:	1.951	1.905	4.625	1.905

- ค่าโมเมนต์ที่จุดต่าง ๆ

$M_{FAB} = M_{FBA} = \frac{1}{12} \times 8,028 \times (2.05)^2 = 2,811$ กก.-ม.

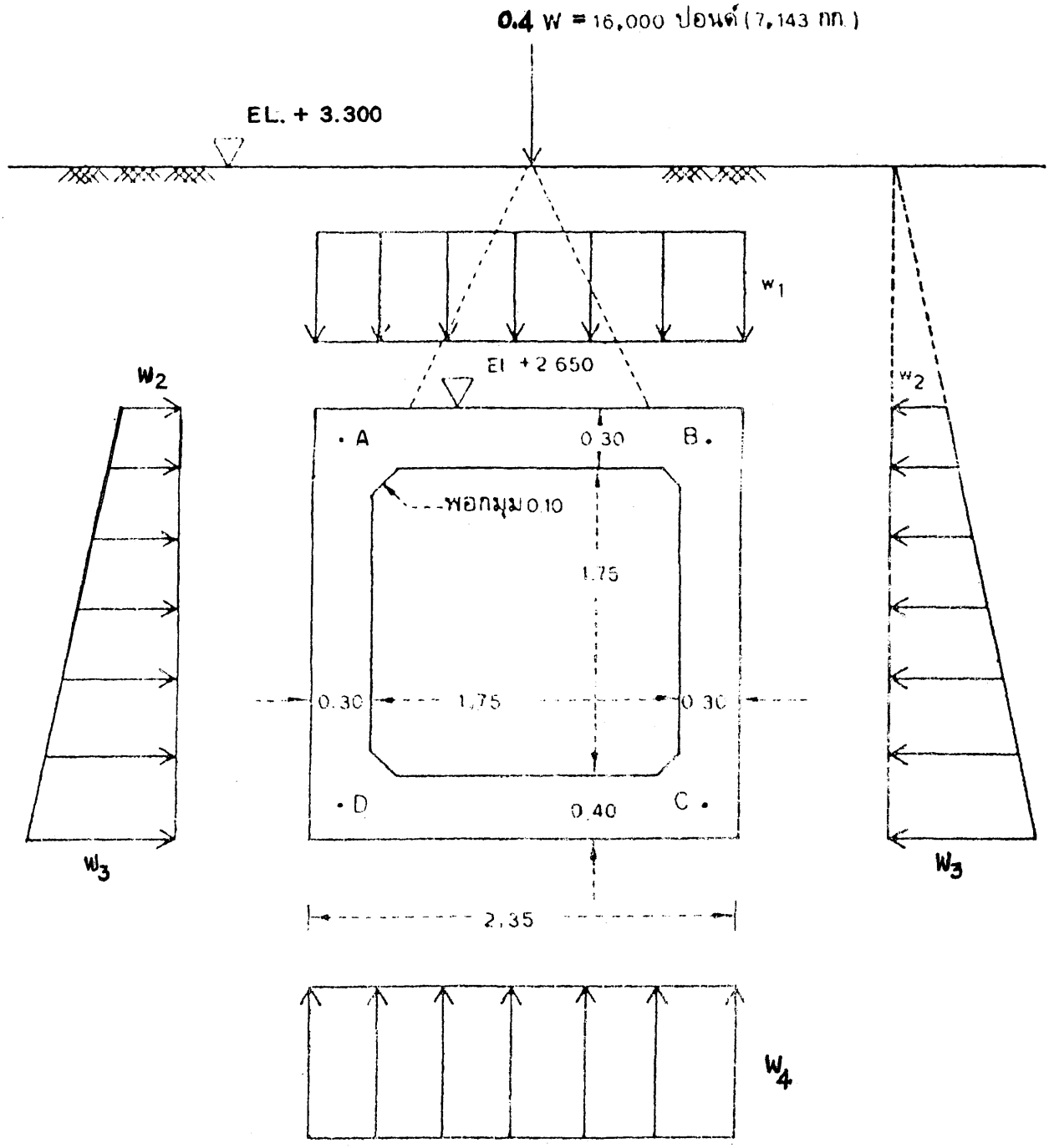
$M_{FCD} = M_{FDC} = \frac{1}{12} \times 9,100 \times (2.05)^2 = 3,187$ กก.-ม.

$M_{FAD} = M_{FBC} = \left[\frac{1}{12} \times 412 \times (2.10)^2\right] + \left[\frac{1}{30} \times (1,963 - 412) \times (210)^2\right]$

$= 151.41 + 228 = 380$ กก.-ม.

$M_{FDA} = M_{FCB} = \left[\frac{1}{12} \times 412 \times (2.10)^2\right] + \left[\frac{1}{20} \times (1,963 - 412) \times (2.10)^2\right]$

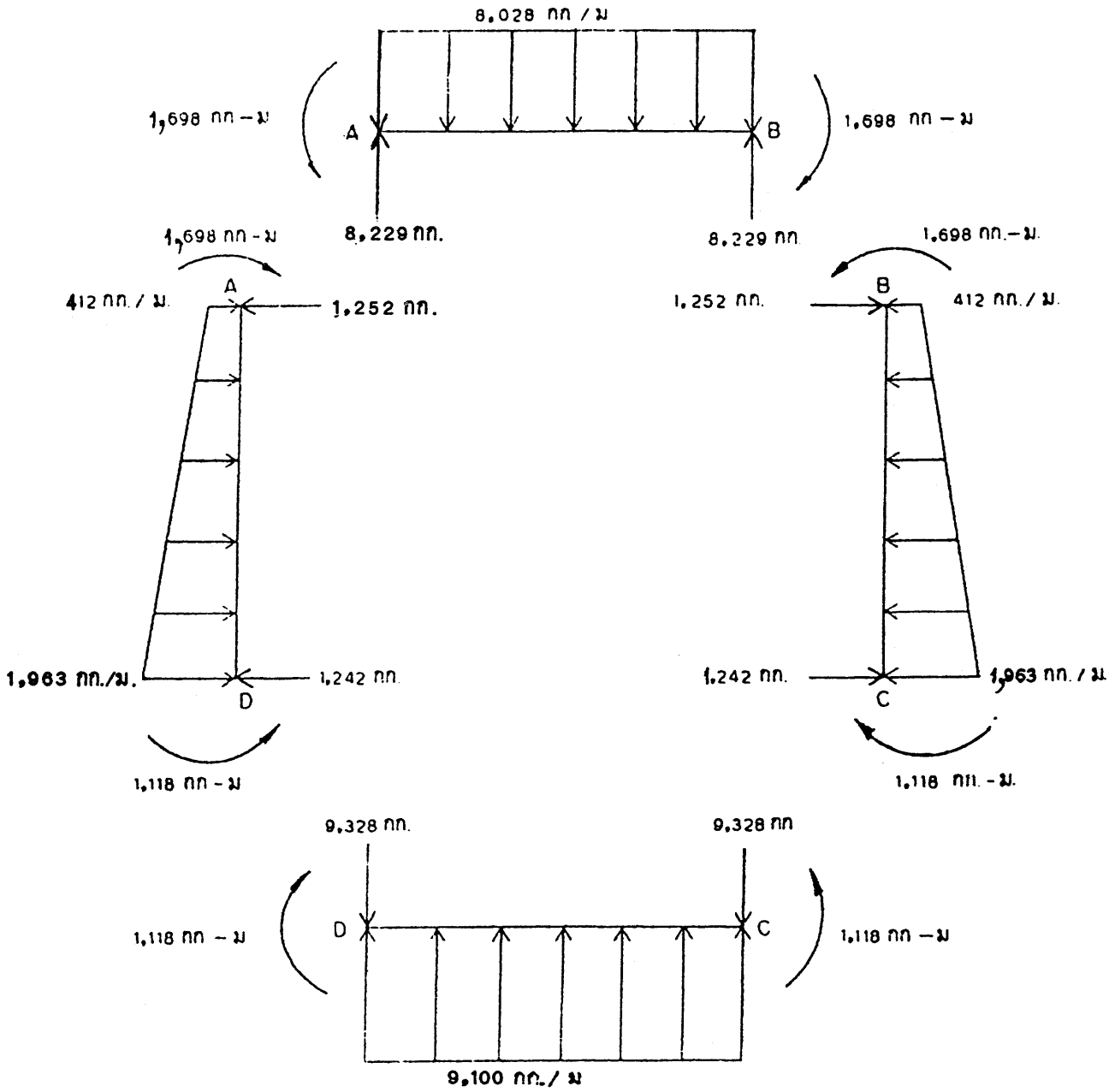
แรงกดของล้อรถยนต์ (ล้อหลัง) ในความลึกของดินทับหลังท่อ 0.65 ม. นั้น พื้นที่ที่แผ่ในระยะห่างของล้อ 6 ฟุต นั้นไม่ซ้อนกันจึงคิดเพียงล้อเดียว



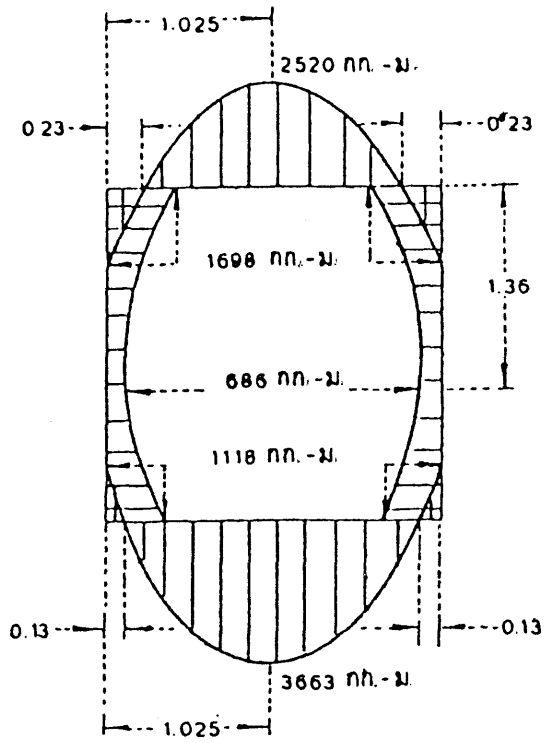
รูปที่ 3-15 รูปตัดขวางของท่อแสดงแรงที่มากระทำ

ตารางกระจายโมเมนต์

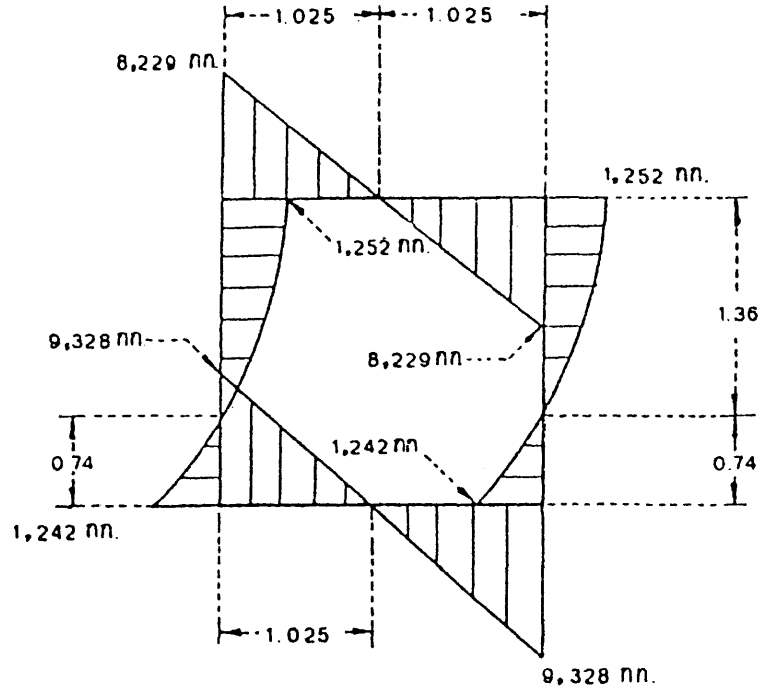
จุดต่อ (Joints)		A		B		C		D	
ช่วงคาน (Member)		AD	AB	BA	BC	CB	CD	DC	DA
ค่า K		1.905	1.951	1.951	1.905	1.905	4.625	4.625	1.905
วงจร (Cycles)	ค่า DF	0.494	0.506	0.506	0.494	0.292	0.708	0.708	0.292
1	โมเมนต์	- 380	+ 2811	- 2811	+ 380	- 494	+ 3187	- 3187	+ 494
	สมดุลย์	- 1200	- 1230	+ 1230	+1200	- 786	- 1906	+ 1906	+ 786
2	ถ่ายทอด	- 393	+ 615	- 615	- 393	+ 600	+ 953	- 953	- 600
	สมดุลย์	- 498	- 510	+ 510	+ 498	- 451	-1100	+ 1100	- 454
3	ถ่ายทอด	+ 227	+ 255	- 255	- 227	+ 249	+ 550	-550	- 249
	สมดุลย์	- 238	- 244	+ 244	+ 238	- 234	- 566	+ 566	+ 234
4	ถ่ายทอด	+ 117	+ 122	- 122	- 117	+ 119	+ 283	- 283	- 119
	สมดุลย์	- 118	-120	+ 120	+ 118	- 118	- 284	+ 284	+ 118
5	ถ่ายทอด	+ 59	+ 60	- 60	- 59	+ 59	+ 142	- 142	- 59
	สมดุลย์	- 59	- 60	+ 60	+ 59	- 59	- 142	+ 143	+ 59
6	ถ่ายทอด	+ 29	- 30	- 30	- 29	+ 29	+ 71	- 71	- 29
	สมดุลย์	- 29	- 30	+ 30	+ 29	- 29	- 71	+ 71	+ 29
ค่าโมเมนต์รวม		- 1697	+ 1699	- 1699	+ 1697	- 1118	+ 1117	- 1117	+ 1118
ตรวจสอบ									
การเปลี่ยนแปลง		- 1317	- 1112	+ 1112	+ 1317	- 624	- 2070	+ 2070	+ 624
($-\frac{1}{2}$ ของค่าที่เปลี่ยน)		- 312	- 556	+ 556	+ 312	- 658	- 1035	+ 1035	+ 658
ค่ารวม		- 1629	- 1668	+ 1668	+ 1629	- 1282	- 3105	+ 3105	+ 1282
θ = ค่ารวม/(-K)		+ 855	+ 855	- 855	- 855	+ 673	+ 671	- 671	+ 673



รูปที่ 3–16 แรงและโมเมนต์ที่เกิดที่ช่วงตอนต่าง ๆ (F. B. D.)



รูปที่ 3-17 ไดอาแกรมของโมเมนต์ (B.M.D.)



รูปที่ 3-18 ไดอาแกรมของแรงเฉือน (S.F.D.)

$= 151.41 + 342 \quad = 494$ กก.-ม.

นำตัวเลขไปคำนวณตามตารางกระจายโมเมนต์แล้วจึงนำผลที่ได้ไปเขียนไดอาแกรมของแรงและโมเมนต์ในช่วงตอนต่าง ๆ (Freebody diagram)

6. ตรวจสอบความหนาของท่อ

$$d_m = \sqrt{\frac{2,520 \times 100}{13.7 \times 100}} = 13.56 \text{ ซม.}$$

$$d_V = \frac{8,229}{100 \times 0.87 \times 5.2} = 18.19 \text{ ซม.}$$

ใช้ $d = 25$ ซม. และ Covering 5 ซม.

$$d_m = \sqrt{\frac{3,663 \times 100}{13.7 \times 100}} = 16.35 \text{ ซม.}$$

$$d_V = \frac{9,328}{100 \times 0.87 \times 5.2} = 20.62 \text{ ซม.}$$

ใช้ $d = 32$ ซม. และ Covering 8 ซม.

7. หาเหล็กเสริมในท่อ

- เหล็กเสริมรับอุณหภูมิ

ผิวนอกสำหรับความหนาคอนกรีต 0.30

$A_{ST} = 0.002 \times 30 \times 100 = 6.00$ ซม.^{2}

ใช้ ∅15 มม. @ 0.28 ; $A_s = 6.31$ ซม.^{2} $\Sigma o = 16.83$ ซม.

ผิวนอกสำหรับความหนาคอนกรีต 0.40

$A_{ST} = 0.002 \times 40 \times 100 = 8.00$ ซม.^{2}

ใช้ ∅15 มม. @ 0.22 ; $A_s = 8.30$ ซม.^{2} $\Sigma o = 21.42$ ซม.

ผิวในสำหรับความหนาคอนกรีต 0.30

$A_{ST} = 0.0015 \times 30 \times 100 = 4.50$ ซม.^{2}

ใช้ ∅12 มม. @ 0.25 ; $A_s = 4.52$ ซม.^{2} $\Sigma o = 15.08$ ซม.

ผิวในสำหรับความหนาคอนกรีต 0.40

$A_s = 0.0015 \times 40 \times 100 = 6.00$ ซม.^{2}

ใช้ ∅15 มม. @ 0.28 ; As = 6.31 ซม.^{2} $\Sigma o = 16.83$ ซม.

- เหล็กเสริมรับแรงเฉือนและโมเมนต์

ช่วง AB :

$$A_s \text{ ที่แนวศูนย์กลาง} = \frac{2,520 \times 100}{1,400 \times 0.87 \times 25} = 8.275 \text{ ซม.}^2$$

ใช้ ∅12 มม. @ 0.125 ; As = 9.04 ซม.^{2} Σo = 30.16 ซม.

$$A_s \text{ ที่ปลาย} = \frac{1,698 \times 100}{1,400 \times 0.87 \times 25} = 5.576 \text{ ซม.}^2$$

$$\Sigma o = \frac{8,229}{7.9 \times 0.87 \times 25} = 47.892 \text{ ซม.}$$

ใช้ ∅ 15 มม. @ 0.28 } A_s = 18.93 ซม.^{2}
∅ 15 มม. @ 0.14 } Σ_o = 50.49 ซม.

ช่วง CD :

$$A_s \text{ ที่แนวศูนย์กลาง} = \frac{3,663 \times 100}{1,400 \times 0.87 \times 32} = 9.398 \text{ ซม.}^2$$

ใช้ ∅ 15 มม. @ 0.28 } A_s = 10.35 ซม.^{2}
∅ 12 มม. @ 0.28 } Σo = 30.27 ซม.

$$A_s \text{ ที่ปลาย} = \frac{1,118 \times 100}{1,400 \times 0.87 \times 32} = 2.868 \text{ ซม.}^2$$

$$\Sigma o = \frac{9,328}{7.9 \times 0.87 \times 32} = 42.412 \text{ ซม.}$$

ใช้ ∅ 15 มม. @ 0.22 } A_s = 1 6.06 ซม.^{2}
∅ 15 มม. @ 0.22 } Σo = 42.84 ซม.

ช่วง AD และ BC

$$A_s \text{ ที่ปลาย} = \frac{1,698 \times 100}{1,400 \times 0.87 \times 25} = 5 .576 \text{ ซม.}^2$$

$$\Sigma o = \frac{1,252}{7.9 \times 0.87 \times 25} = 7.286 \text{ ซม.}$$

$$A_s \text{ ที่ปลาย} = \frac{1,118 \times 100}{1,400 \times 0.87 \times 25} = 3.672 \text{ ซม.}$$

$$\Sigma o = \frac{1,242}{7.9 \times 0.87 \times 25} = 7.281 \text{ ซม.}$$

$$A_s \text{ ที่แนวศูนย์กลาง} = \frac{686 \times 100}{1,400 \times 0.87 \times 25} = 2.253 \text{ ซม.}^2$$

ใช้เหล็กรับอุณหภูมิได้ทั้งหมด

8. หาระยะการยื่นเหล็กของเหล็กเสริม

ช่วง AB :

$$f_s = \frac{1.698 \times 100}{18.93 \times 0.87 \times 25} = 412 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$L = \frac{412 \times 1.5}{4 \times 7.9} = 19.58 \text{ ซม.}$$

: ควรหยุดเหล็กห่างจากขอบท่อด้านนอก $= 19.58 + 15 = 34.58$ ซม.

≈ 0.35 ม.

ช่วง CD :

$$f_s = \frac{1,118 \times 100}{16.06 \times 0.87 \times 32} = 250 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$L = \frac{250 \times 1.5}{4 \times 7.9} = 11.87 \text{ ซม.}$$

: ควรหยุดเหล็กห่างจากขอบท่อด้านนอก $= 11.87 + 15 = 26.87$ ซม.

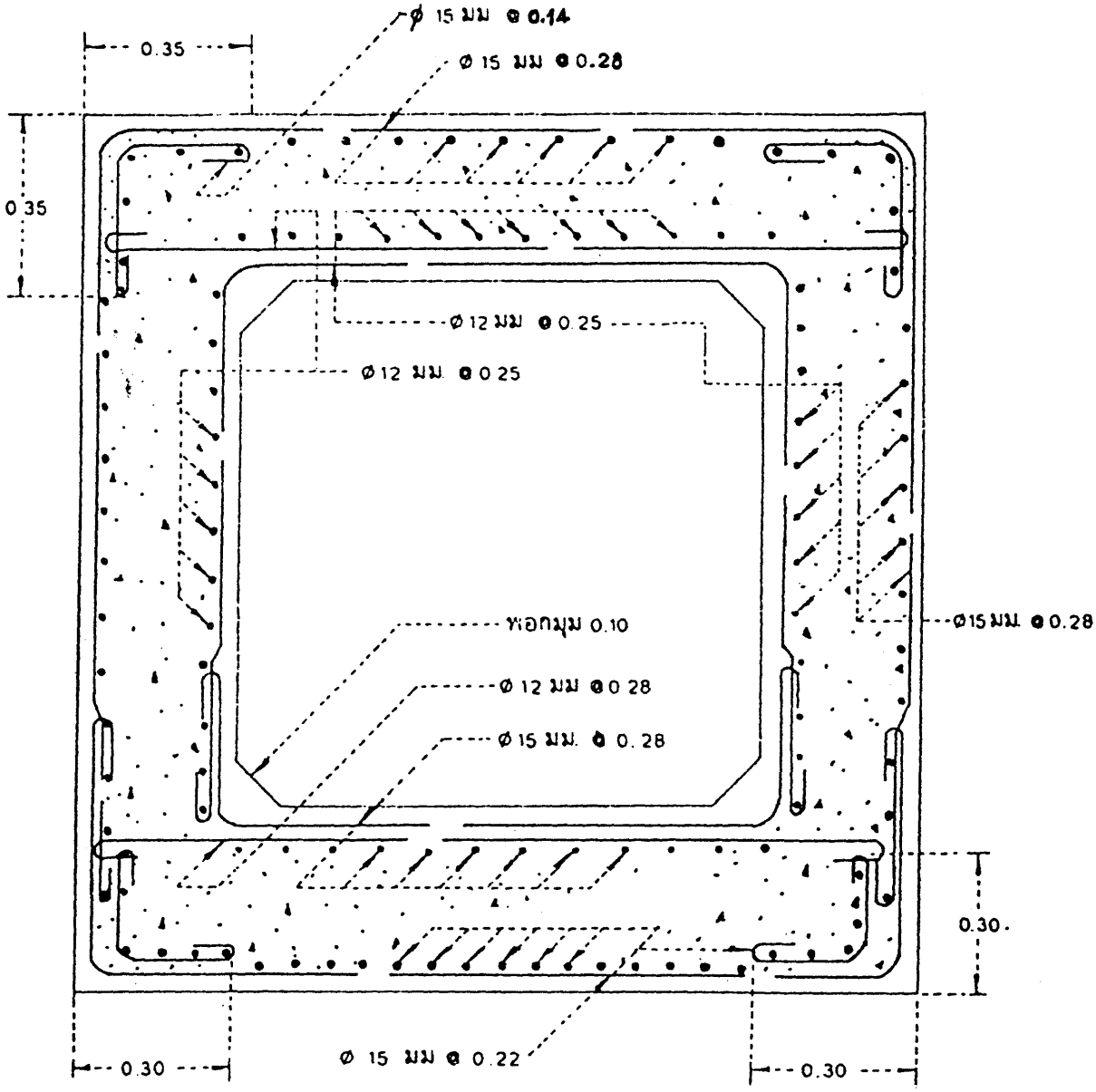
≈ 0.30 ม.

9. กำแพงหน้าท่อ

สำหรับกำแพงหน้าท่อทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำให้คิดเป็นคาน Fixed Beam ที่มี Support อยู่ที่กำแพงด้านข้างและมีแรงดันดินที่ทับหลังท่อเป็นแรงดัน โดยไม่มีน้ำดันด้านนอกท่อ

10. สรุป

การออกแบบท่อระบายน้ำ (Culvert) นี้ สามารถนำไปใช้ออกแบบท่อระบายปากคลองส่งน้ำ (Canal Turnout) อาคารรับน้ำ (Inlet Structure) และอาคารทิ้งน้ำ (Outlet Structure) ได้ เป็นแต่เพียงว่าอาคารดังกล่าวมักไม่ต้องออกแบบด้านโครงสร้างสำหรับตัวท่อ เพราะมักนิยมใช้ท่อมาตรฐานที่หล่อสำเร็จ (Precast Concrete Pipe) จึง มีความจำเป็นในการออกแบบเฉพาะกำแพง และช่วงต่อเชื่อมทั้งด้านเข้าและด้านออก (Inlet and Outlet Transitions) เท่านั้น



รูปที่ 3-19 รูปตัดแสดงการเสริมเหล็กท่อลอด

บทที่ 4

อาคารสลายพลังงาน
(Energy Disipated Structure)

4.1 ทั่วไป

4.1.1 ส่วนสลายพลังงาน ส่วนสลายพลังงานใช้เพื่อสลายพลังงานส่วนเกิน ที่เกิดจากการไหลของน้ำ พลังงานส่วนที่เกิดจากน้ำที่มีความเร็วสูง อาคาร Chute or Drop จึงต้องมีการออกแบบส่วนสลายพลังงานประกอบเข้ากับอาคารเหล่านี้ ส่วนสลายพลังงานที่ดีจะต้องสามารถลดความเร็วของการไหล จนไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่อาคารหรือทางน้ำทางด้านท้ายน้ำของอาคาร

ส่วนสลายพลังงานโดยการกระแทก (Impact-type energy dissipator) ใช้วิธีการนำน้ำเข้าสู่สิ่งกีดขวางซึ่งจะทำให้น้ำแตกตัวไปในทิศทางต่าง ๆ และด้วยวิธีการเช่นนี้จะทำให้พลังงานถูกสลายไป อาคารบางแบบใช้วิธีให้พลังงานลดลงโดยให้น้ำไหลเข้าไปกระแทกกับน้ำในอ่าง ตัวอย่างของส่วนสลายพลังงาน โดยการกระแทกได้แก่ Check drop, Vertical drop, Baffled outlet, Baffled aprons และ Vertical stilling well

ส่วนสลายพลังงานอีกแบบคือ ใช้วิธีการทำให้พลังงานสลายโดยการเกิด Jump อาคารแบบนี้จะใช้วิธีบังคับให้น้ำซึ่งไหลอยู่ด้วยความเร็วสูงกว่าความเร็ววิกฤติ (Critical Velocity) เกิด Jump และพลังงานในส่วนเกินจะสลายไป ซึ่งมีผลทำให้เกิดน้ำปั่นป่วน (Turbulance) อ่างน้ำนิ่ง (Stilling pool) จะต้องมีคุณสมบัติที่จะรับความปั่นป่วนที่เกิดนี้จนกระทั่งสามารถปล่อยออกไปทางลำน้ำด้านท้ายน้ำ โดยไม่เกิดความเสียหาย, Pipe drop เป็นอาคารที่ออกแบบให้เกิด Jump ขึ้นที่ส่วน Sump ซึ่งเป็นท่อปิด

ส่วนสลายพลังงานโดยให้เกิดการกระแทก ได้รับการพิจารณาว่าจะมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบที่ทำให้เกิด Jump โดยทั่วไปส่วนสลายพลังงานโดยการกระแทกจะมีขนาดเล็กกว่า และประหยัดกว่า

4.2 น้ำตกเอียงแบบพื้นรางมีฟันตะเข้ (Baffled Apron Drop)

4.2.1 ทั่วไป

(ก) การใช้งาน Baffled apron drop ใช้งานได้ทั้งในคลองหรือทางระบายน้ำในการที่จะสลายพลังงาน วิธีการสลายพลังงานโดยการที่น้ำไหลผ่านแท่งคอนกรีตหลาย ๆ แท่ง ซึ่งอยู่บนพื้นของรางเท อาคารแบบนี้ใช้งานได้ดีเมื่อระดับน้ำด้านท้ายอาคารมีความผันแปรมาก จึงเหมาะเป็นพิเศษที่จะใช้เป็นส่วนสลายพลังงานที่ปลายคลอง หรือทางทิ้งน้ำลงสู่อ่างเก็บน้ำ

อาคารแบบนี้ใช้สลายพลังงานที่มากน้อยเพียงใดก็ได้ ความยาวของอาคารไม่มีผลต่อสมรรถนะของอาคาร แต่การใช้กับปริมาณน้ำมากโดยมีความต่างระดับมาก ๆ จะไม่ประหยัดเนื่องจากรางเทจะกว้างมากและมีแท่งคอนกรีตเพื่อสลายพลังงานจำนวนมาก ขยะ ต้นไม้ หรือวัชพืชที่ลอยมากับน้ำอาจติดค้างที่แท่งคอนกรีตทำให้น้ำไหลผ่านไม่สะดวก บางครั้งการกำจัดสิ่งเหล่านี้ก็ทำได้ยาก

(ข) ทางเข้าอาคารแบบต่าง ๆ ลักษณะของทางเข้ามีหลายแบบเพื่อจุดประสงค์ที่จะรักษาระดับน้ำด้านเหนือน้ำให้เพียงพอต่ออาคารรับน้ำ หรือเพื่อรักษาความเร็วที่บริเวณใกล้ทางเข้าไม่ให้มากจนกัดเซาะทางน้ำด้านเหนือน้ำหรือไม่ให้น้ำพุ่งกระจาย เนื่องจากการไหลเป็น Super critical ที่ทางเข้า ทางเข้าอาคารที่ใช้กันส่วนใหญ่ ได้แก่

(1) sill control ทางเข้าแบบนี้จะต้องมีการยกธรณี (Sill) เพื่อลดความเร็วและลดการกัดเซาะทางด้านเหนือน้ำ การยกธรณีขึ้นนี้ยังเป็นการควบคุมระดับน้ำ เพื่อผันน้ำเข้าสู่อาคารรับน้ำที่อยู่เหนือน้ำอีกด้วย เพื่อไม่ให้น้ำขังอยู่ด้านเหนือน้ำของธรณี จึงต้องเจาะช่องระบายน้ำที่สันดังรูป 4-1A ทางเข้านี้จะต้องไม่ให้มีสิ่งตกค้างอยู่ เพราะหากมีสิ่งตกค้างต่าง ๆ สะสมอยู่มากแล้วจะทำให้ความเร็วของน้ำที่ไหลข้ามธรณีนี้สูงเกินกว่าที่อาคารจะสามารถสลายพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(2) Control inlet อาจมีการติดตั้ง Control notch ที่ทางเข้าเพื่อการควบคุมระดับน้ำด้านเหนือน้ำ ในขณะที่ Control notch ถูกออกแบบมาให้ควบคุมความลึกและความเร็วของน้ำด้านเหนือน้ำ แต่ก็ทำให้เกิดความเร็วขึ้นในทางเข้าอาคาร จึงเป็นเหตุให้มีน้ำพุ่งกระจายเมื่อน้ำซึ่งไหลด้วยความเร็วสูงกระทบกับแท่งคอนกรีตสลายพลังงานแถวแรก การที่น้ำพุ่งกระจายเช่นนี้อาจทำให้ต้องซ่อมแซมส่วนป้องกันการกัดเซาะบ่อย ๆ ซึ่งต้องไม่ให้มีขยะติดค้างที่ Control notch เช่นเดียวกัน

(3) ทางเข้าแบบที่ไม่มีส่วนควบคุม ทางเข้าแบบนี้เป็นแบบที่ง่ายที่สุด จะใช้ได้เมื่อไม่ได้ต้องการรักษาระดับน้ำด้านเหนือน้ำให้สูงเพื่อการส่งน้ำ และทางน้ำด้านเหนือน้ำแข็งแรงพอที่จะไม่ถูกกัดเซาะเมื่อความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิด Draw down เพื่อลดความแรงของน้ำที่กระแทกแท่งคอนกรีตแถวแรก จึงควรทำพื้นอาคารให้โค้งเพื่อให้น้ำไหลเข้ากระแทกตั้งฉากและเต็มพื้นที่กับหน้าตัดด้านเหนือน้ำของแท่งคอนกรีตสลายพลังงาน บางครั้งอาจจะทำให้พื้นอาคารให้เป็นโค้งเช่นนี้หากนาน ๆ จึงจะมีน้ำไหลมาสักครั้ง หรือยินยอมให้น้ำพุ่งกระจัดกระจายได้

(ค) ส่วนประกอบเบ็ดเตล็ด

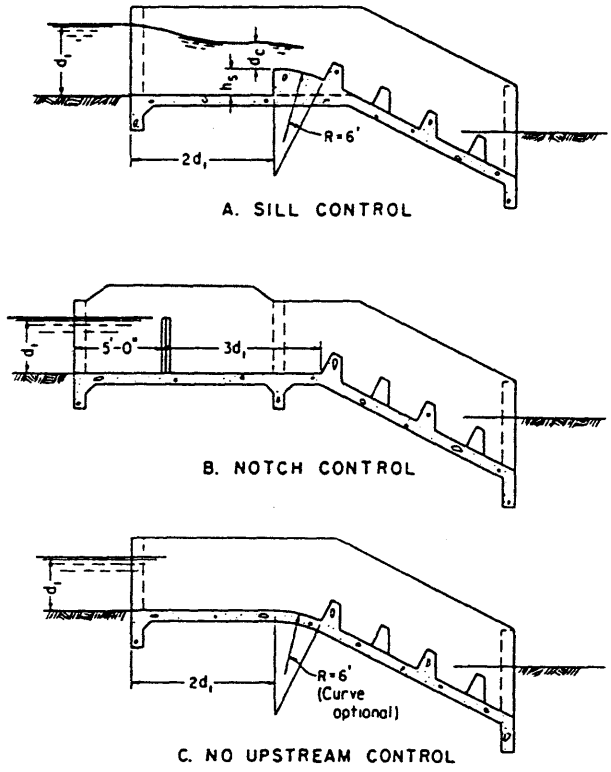
1. พื้นสะพาน หากมีความจำเป็นที่จะต้องข้ามอาคาร ก็อาจออกแบบให้มีพื้นสะพานข้ามที่ส่วนทางน้ำเข้าได้

2. Cutoff wall และ Wingwall เพื่อเป็นการช่วยการทำงานของ Inlet cutoff wall จะมี wingwall ที่ท้ายน้ำหรือบริเวณที่ใกล้เคียง เพื่อที่จะลดการซึมของน้ำลอดอาคาร และทำให้ดินถมตามลาดมีความมั่นคง เนื่องจากระดับของทางน้ำด้านท้ายน้ำลดลงจึงต้องทำการต่อ Cutoff ลงมาจากพื้นล่างอาคารดังรูปที่ 4-2 Wingwall อาจอยู่ที่ปลายด้านท้ายน้ำของอาคารโดยต่อเชื่อมกับ Cutoff wall ก็ได้ แต่ส่วนมากแล้วมักจะสร้างให้ถอยจากปลายไปทางด้านเหนือน้ำราว 1 เมตร การทำเช่นนี้ทำให้การลดพลังงานที่ด้านทางออกดีขึ้น และระดับบนสุดของ wingwall ควรกำหนดให้อยู่สูงกว่าระดับน้ำด้านท้ายอาคารเพื่อลดการกัดเซาะ

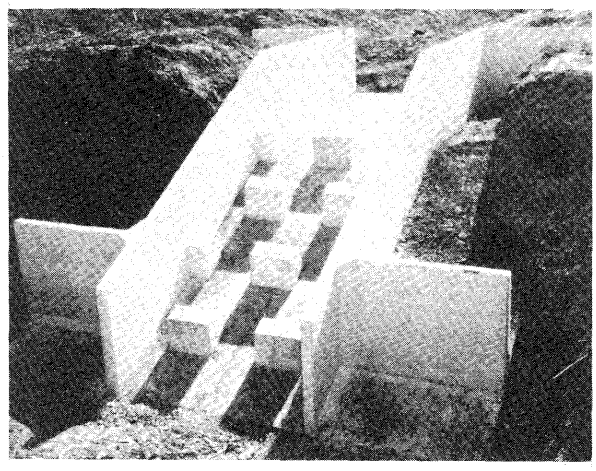
3. Protective drain บางครั้งจะมีการทำ Protective drain ใต้พื้นอาคาร Baffled apron drop เพื่อลดแรง uplift

4.2.2 การพิจารณาออกแบบ

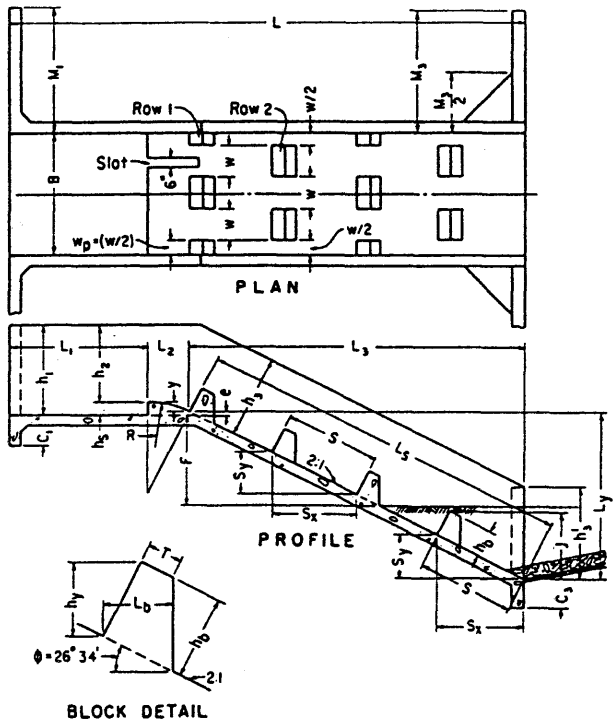
ก. ความจุ ความจุของ baffled apron drop มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำที่ยินยอมให้ใช้ต่อหน่วยความกว้าง (q) ดังต่อไปนี้



รูป 4-1 Typical inlet types.



รูป 4-2 Baffled apron drop with wingwalls located upstream from the outlet end.



รูป 4-3 Baffled apron drop design.

ปริมาณน้ำ (Q) ลบ.ม./วินาที	ปริมาณน้ำต่อหน่วยความกว้าง (q) ลบ.ม./วินาที
0-1.10	0.45 ถึง 0.90
1.11-2.80	0.90 ถึง 1.40
2.81-5.30	1.40 ถึง 1.85
5.31-13.00	1.85 ถึง 2.80
13.01-28.00	2.80 ถึง 4.65
28.01 ขึ้นไป	4.65 ถึง 5.60

ข. ทางน้ำเข้า ทางน้ำเข้าจะต้องกว้างเท่ากับ Baffled apron และจะต้องทำให้ความเร็วเมื่อไหลเข้าต่ำกว่าความเร็ววิกฤต (V_c) เพื่อไม่ให้น้ำกระเด็นมาก ความเร็วที่เข้าไม่ควรเกิน Vc/2 เมื่อ

$$Vc = (g \times q)^{1/3}$$

สำหรับทางเข้าที่มีรูปเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีส่วนอื่นที่ต้องออกแบบดังนี้

(1) Sill control ความยาวของช่วงทางน้ำเข้าอย่างน้อยจะต้องเป็น $2d_1$ ดังที่แสดงไว้ในรูป 4-1A ความสูงของ Sill เหนือพื้นอาคารจะหาได้โดยการคำนวณให้พลังงานที่ทางเข้าสมดุลย์กับที่ทางน้ำด้านเหนือน้ำ นั่นคือ

$$E_{s1} = E_{sc} + h_i + h_s$$

หรือ $h_s = E_{s1} - E_{sc} - h_i$

เมื่อ h_s = คือความสูงของ Sill

E_{s1} = $d_1 + h_{v1}$ ในทางน้ำด้านเหนือน้ำ

E_{sc} = $d_c + h_{vc}$ ใน Control section ที่ Sill ติดตั้ง

และ

$$h = 0.5\,\Delta h_v$$
$$= 0.5\,(h_{vc} - h_{v1})$$
$$= 0.5\,[(V_c^2/2g) - (v_1^2/2g)]$$

โค้งของสัน sill จะสิ้นสุดที่จุดสัมผัสกับลาดด้านท้ายน้ำของ Apron จุดสิ้นสุดนี้จะต้องอยู่ที่ระดับต่ำกว่าสัน Sill ไม่เกิน 0.3 ม. ส่วนมากมักใช้รัศมีความโค้ง 1.80 ม. เพื่อกำหนดความโค้ง และรัศมีความโค้งมากที่สุดไม่ควรเกิน 2.70 ม. เพื่อให้ขนาดของ Sill ได้ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ข้างต้น จะต้องเจาะเป็นช่วงกว้าง 0.15 ม. เพื่อระบายน้ำที่ขังอยู่ในอ่างด้านเหนือน้ำของ Sill

(2) Control notch วิธีการออกแบบ Control notch จะต้องเป็นไปตามรายละเอียด ส่วนของทางน้ำเข้าที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้านเหนือน้ำของ control notch จะต้องยาว 1.50 ม. และระยะระหว่าง notch กับ Sill จะต้องเท่ากับ 3 เท่าของความลึกของน้ำด้านเหนือน้ำดังที่แสดงไว้ในรูป 4-1B เพื่อให้น้ำไหลได้เต็มความกว้างของรูปตัด

ค. ขนาดของ Baffled Apron (ดูรูปที่ 4-3) วิธีการกำหนดขนาดจะมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(1) กำหนดลาดของพื้นรางและกำแพงข้างให้เป็น 1:2 ($\tan\varnothing = 0.5$)

(2) หาความกว้างของอาคารโดยประมาณจาก

$$B = Q/q$$

เมื่อ

B = ความกว้าง

Q = ปริมาณน้ำสูงสุด

q = ปริมาณน้ำต่อความกว้าง/เมตร

สำหรับความเร็วที่ทางน้ำเข้าสูงสุด ดูข้อ 4.2.2 ข.

(3) กำหนด Baffle แถวแรกให้ฐานทางด้านเหนือน้ำอยู่ที่จุดสิ้นสุดของพื้นส่วนที่เป็นโค้ง และจะต้องอยู่ต่ำกว่าสันไม่น้อยกว่า 0.30 ม.

(4) ความสูงของแท่ง Baffle (h_b) จะต้องประมาณ 0.9 เท่าของความลึกวิกฤติ (d_c) โดยทำให้เป็นเลขลงตัว

(5) ความกว้างของแท่ง Baffle และระยะห่างระหว่างแท่งจะต้องเท่า ๆ กัน โดยไม่น้อยกว่า h_b และไม่เกิน 1.5 h_b ที่แถว 1, 3, 5, 7 ฯลฯ จะต้องมีแท่ง Baffle ติดกับกำแพงข้างทั้งสองข้าง แท่ง Baffle ที่ติดกำแพงข้างนี้จะต้องมีขนาดไม่ต่ำกว่า 1/3 h_b และไม่เกินกว่า 2/3 h_b

การกำหนดตำแหน่งของแท่ง Baffle ระหว่างแท่งต่าง ๆ จะต้องให้สลับกัน ดังนั้นแท่ง Baffle แต่ละแท่งจะต้องอยู่ในแนวเดียวกับที่เป็นช่องว่างของแท่งที่อยู่ติดกัน

อาจต้องมีการปรับแก้ความกว้างอาคาร (B) เพื่อให้เหมาะสมกับการเลือกใช้ความกว้างของแท่ง Baffle

(6) รูป 4-3 แสดงระยะทางลาด (S) ระหว่างแถวของแท่ง Baffle จะต้องไม่น้อยกว่า $2h_b$ แต่จะต้องไม่เกิน 1.80 ม. อาจกำหนดระยะห่างระหว่างแถวให้เป็น 1.80 ม. สำหรับแท่ง Baffle ทุกขนาด ไม่ว่าความสูงของแท่งจะเท่ากับหรือน้อยกว่า 0.90 ม. ก็ตาม

(7) อย่างน้อยที่สุดจะต้องมีแถวของแท่ง Baffle 4 แถว แท่ง Baffle ปลายสุดทางด้านท้ายน้ำจะต้องถูกกำหนดให้ส่วนยอดของแท่ง Baffle จมอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นของทางน้ำด้านท้ายน้ำอย่างน้อย 1 แถว ปลายของพื้นด้านท้ายน้ำจะต้องให้อยู่ลึกลงไปในดินอีกเท่ากับระยะห่างระหว่างแถวของแท่ง Baffle

(8) แท่ง Baffle จะต้องมีหน้าด้านเหนือน้ำที่ตั้งฉากกับพื้นรางเท ความหนาที่ส่วนบนของแท่ง Baffle (T) อย่างน้อยจะต้องเป็น 0.20 ม. แต่ไม่เกิน 0.25 ม. ดังรายละเอียดรูป 4-3

(9) ความสูงของกำแพงข้างควรจะเป็นสามเท่าของความสูงแท่ง Baffle ซึ่งมีระยะ Freeboard เพียงพอแล้ว ระยะนี้หมายถึงระยะตั้งฉากที่วัดจากพื้นอาคาร โดยทั่ว ๆ ไปหากกำหนดให้กำแพงสูงจนน้ำไม่กระเด็นออกมาได้เลยแล้ว จะทำให้ราคาอาคารแพงเกินจำเป็น

ง. ความมั่นคงต่อ Uplift จะต้องพิจารณาแรงทั้งหมดที่ยกอาคารให้ลอยขึ้นโดยตั้งสมมุติฐานว่า น้ำในลำน้ำหมดไปอย่างฉับพลัน แรงที่ยกของอาคารจะเท่ากับแรงดันน้ำที่อยู่รอบอาคาร หักลบด้วยน้ำหนักเปล่าของอาคาร ความมากน้อยของแรงดันน้ำหรือแรง Uplift นี้ ผันแปรตาม Percolation gradient ดังเช่นวิธีการหา Weighted-creep ตามวิธีของ Lane โดยสมมุติให้ระดับด้านเหนือน้ำอยู่ที่ระดับท่อน้ำปกติ

จ. ความมั่นคงต่อการลื่นไถล

1. Baffled apron drop ชนิดยาว จะต้องตรวจสอบความมั่นคงของลาดหรือโอกาสที่อาคารนี้จะลื่นไถล ลงมาตามลาด 1:2 สำหรับทางน้ำซึ่งมีโอกาสที่ดินที่ปลายด้านท้ายน้ำจะถูกพัดพาออกไปเนื่องจากการกัดเซาะ ยิ่งจำเป็นจะต้องตรวจสอบจากการทดลองโดยสร้างแบบจำลอง Baffle apron drop ทำให้ทราบว่าแรงดันของน้ำ โดยเฉลี่ยที่กระทำต่อแท่ง Baffle ในทิศทางหันไปทางด้านท้ายน้ำจะเทียบเท่ากับความดันน้ำสูง 1.20-1.50 ม. ซึ่งเทียบเท่ากับแรงดัน 1,200 กก./ม.^{2} ถึง 1,500 กก./ม.^{2} ของพื้นที่แท่ง Baffle

2. Baffled apron drop ชนิดสั้น อาคารชนิดนี้ก็ต้องตรวจสอบความมั่นคงต่อการลื่นไถลเช่นเดียวกัน ถ้าไม่แน่ใจจริง ๆ เกี่ยวกับความมั่นคงของลำน้ำของด้านท้ายน้ำแล้ว ให้สมมุติว่าดินทางด้านท้ายน้ำถูกกัดเซาะออกไปจนหมดแทบที่จะคิดว่า Plane ของการลื่นไถลเป็นลาดอย่างอาคารชนิดยาว ให้สมมุติว่าเป็น plane ในแนวราบ

แรงหลัก ๆ ที่จะทำให้เกิดไถล, Fs ตามแนว Plane ราบ เมื่อน้ำไหลมาเต็มที่ ได้แก่

$$Fs = F1 + F2 + F3 + F4$$

เมื่อ

F1 คือแรงดันน้ำที่กระทำที่หน้าเหนือน้ำของ Cutoff wall ด้านเหนือน้ำ

F2 คือแรงดันน้ำที่หน้าตั้งฉากของ (Sill)

F3 คิดแรงในแนวขนานที่เกิดกับแท่ง Baffle อันเนื่องมาจากแรงดันน้ำที่หน้าด้านเหนือน้ำ

F4 แรงที่เกิดจากดินที่ชุ่มน้ำ ซึ่งอยู่ทางหน้าเหนือน้ำของ Cutoff wall ด้านท้ายน้ำ

แรงหลัก ๆ ที่ต้านการลื่นไถล (Fr) ขณะเมื่อน้ำไหลผ่านด้วยปริมาณน้ำสูงสุดประกอบด้วยแรงเนื่องจากความฝืด และแรงดันดิน Passive แรงต้านที่เกิดจากความฝืดจะคิดได้เพียงส่วน Inlet (ความยาว L1 + L2) เท่านั้น

เนื่องจากบริเวณส่วนที่เป็นลาดจะเคลื่อนตัวทางลาดได้โดยไม่มีแรงต้านทานจากความฝืด น้ำหนักที่นำมาคำนวณหาแรงต้านทานจากความฝืดนั้นจะต้องนำค่า Uplift มาหักออกจากน้ำหนักอาคารเสียก่อน และแรงดันดิน Passive จะขึ้นอยู่กับมุมเสียดทานภายในของดินนั้น ๆ เพื่อเป็นการเพิ่มความปลอดภัยจึงไม่นำแรงดันของน้ำทางด้านท้ายน้ำมาคิดเป็นแรงต้านทานการลื่นไถล และในค่าสัมประสิทธิ์ของการลื่นไถลก็มีอัตราส่วนความปลอดภัยรวมอยู่ด้วยแล้ว

ดังนั้น

$$Fr = \mu(Wc + Ww - U) + \text{แรงดันดิน Passive}$$

เมื่อ μ คือค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานตามปกติใช้ 0.35

Wc คือน้ำหนักคอนกรีตส่วนที่เป็น Inlet

Ww คือน้ำหนักน้ำที่อยู่ในส่วน Inlet

u แรง Uplift ที่หาโดยวิธีการของ Lane เป็นวิธีการคาดคร่าว ๆ โดยสมมุติ Pressure gradient สูงสุดอยู่หน้าอาคารแล้วค่อย ๆ ลดหมดไปเมื่อถึงท้ายอาคาร

แรงดันดิน Passive คือแรงดันทั้งหมดที่เกิดขึ้นเพิ่มจากแรงดันดิน Passive กระทำต่อ Cutoff wall ที่อยู่ด้านท้ายน้ำ

ถ้าแรงดันที่พยายามจะให้เกิดการลื่นไถลมากกว่าแรงดันต้าน (คิดค่า S.F. ที่เหมาะสมแล้ว) อาจจะต้องเพิ่มความยาว Cutoff

ฉ. เบ็ดเตล็ด

1. จะต้องมีกรวดหรือหินเรียงทั้งสองด้านของอาคารจากส่วนบนสุดของกำแพงที่เอียงลาดลงมาจนถึงกำแพงปัก โดยที่ให้มีระยะห่างไปทางด้านข้างเท่ากับความสูงกำแพง การป้องกันที่ส่วนเหนือกว่าระดับสูงสุดของน้ำทางด้านท้ายน้ำก็เพื่อป้องกันการกัดเซาะที่เกิดจากน้ำที่กระเด็นออกมาจากอาคาร ที่ส่วนใต้ระดับน้ำสูงสุดเป็นการป้องกันการกัดเซาะที่เกิดจากน้ำที่ปั่นป่วน กำแพงปัก (ดูรูป 4-2) ทำให้ส่วนป้องกันการกัดเซาะที่อยู่ตามลาดมีความมั่นคง การป้องกันการกัดเซาะในทางน้ำด้านท้ายน้ำจะต้องถูกพิจารณาตามหลักการที่กล่าวถึงไว้แล้ว อาจไม่จำเป็นที่จะต้องเรียงหินให้หนามาก ๆ ทับพื้นอาคารทางด้านท้ายน้ำก็ได้

2. ลาดของทางน้ำอาจขึ้นอยู่กับอาคารด้านท้ายน้ำ ลักษณะภูมิประเทศ หรือเป็นลาดที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำที่ออกแบบ หากเป็นทางน้ำที่รับที่ระบายทิ้งเนื่องจากพายุวน ตามปกติการใช้ลาด 0.0018 ก็เพียงพอ แต่หากเป็นการไหลตามปกติในคลองก็จะต้องกำหนดให้ลาดของคลองไม่ชันกว่าคลองอื่นที่มีลักษณะของวัสดุเช่นเดียวกัน

จะต้องจัดให้แท่งคอนกรีตแท่งสุดท้ายอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นคลองที่คำนวณหาออกมาได้เมื่อมีการกัดเซาะเกิดขึ้นหรือเพียงให้รับกับพายุฝนที่จะเกิดขึ้นในอนาคต การเชื่อมต่อพื้นและกำแพงให้ยาวขึ้นอาจทำได้โดยการปล่อยเหล็กเสริมเปลือยไว้ที่ปลายอาคาร และสร้างเชื่อมต่อกับอาคารเดิมเมื่อต้องการ

3. การสร้างแท่งคอนกรีตก่อนแล้วนำไปติดตั้งประกอบกับการสร้างอาคาร จะเป็นการประหยัดกว่าการสร้างในที่

4.2.3 ตัวอย่าง ทางระบายน้ำทิ้งแห่งหนึ่ง มีความลาดชันมากจนต้องการให้มีอาคารสลายพลังงานเพื่อป้องกันการกัดเซาะเนื่องจากระดับน้ำท้ายด้านท้ายน้ำไม่แน่นอน ดังนั้นจึงเลือกใช้อาคารสลายพลังงานแบบ Baffle Apron Drop

ก. ข้อมูลประกอบการคำนวณ

1. เนื่องจากสภาพดิน และลักษณะทางควบคุมอาคาร ยินยอมให้มีน้ำกระฉอกได้เล็กน้อย และเลือกใช้การควบคุมระดับน้ำหน้าอาคารโดยวิธี Sill Control (ดูรูป 4-1ก)

2. คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของทางน้ำมีดังต่อไปนี้

ปริมาณน้ำ = 3.386 ลบ.ม./วินาที

b = 2.50 ม.

d = 1.25 ม.

$A = 5.469$ ม.^{2}

$V = 0.619$ ม./วินาที

$h_v = 0.019$ ม.

$r = 0.780$

$n = 0.025$

$s = 1{:}3{,}000$

$ss = 1{:}1.5$

$f_b = 0.60$ ม.

$h_B = 1.85$ ม.

3. ความต่างของระดับพื้นคลองด้านเหนือน้ำ 1.80 ม.

ข. วิธีการคำนวณ (ดูรูป 4-3 ประกอบ)

1. เมื่อปริมาณน้ำ = 3.386 ลบ.ม./วินาที

โดยการ Interpolate

$q = 1.50$ ลบ.ม./วินาที/ม. (ประมาณ)

ดังนั้น

$B = 2.257$ ม.

ปรับค่าความกว้างให้ลงตัวเลือกใช้ $B = 2.30$ ม.

$q = 1.472$ ลบ.ม./วินาที/ม.

2. หาขอบเขตของขนาดแท่ง Baffle โดยอาศัยความสัมพันธ์กับค่า d_c

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{(1.472)^2}{9.81}}$$

$d_c = 0.531$ ม.

ความสูงของแท่ง Baffle, $h_b = 0.9\, d_c = 0.478$ ม.

ใช้ $h_b = 0.50$ ม.

ความกว้างของแท่ง Baffle และระยะห่าง W

min W $= h_b = 0.5$ ม.

Max W $= 1.5\, h = 0.75$ ม.

สำหรับ Partial Block

$W_p = 1/3\, h_b$ min $= 0.167$ ม.

$= 2/3\, h_b$ max $= 0.333$ ม.

3. หาขนาดที่แท้จริงของแท่ง Baffle และความกว้าง Chute ทำการจัดวางแถวต่าง ๆ ของแท่ง Baffle ดังนี้

กำหนดให้ความกว้างของส่วน Partial Block เป็น W/2

จุดวางแถวที่ 1 และ 3 ได้เป็น

แท่ง Baffle ชนิดเต็ม 1 แถว = 1W

ช่องว่างขนาดเต็ม 2 แถว = 2W

แท่ง Baffle ชนิด Parfial 2 แถว = 1W

B = 4W

แถว 2 และ 4

แท่ง Baffle ชนิดเต็ม 2 แถว = 2W

ช่องว่างขนาดเต็ม 1 แถว = 1W

ช่องว่างขนาด Partial 2 แถว = 1W

B = 4W

จะเห็นได้ว่าความกว้าง Chate (B) ในแต่ละแถวจะเท่ากับ 4W

เลือกใช้ค่าความกว้างต่ำสุดของแท่ง Baffle ต่อ 0.50 ม.

$B = 4 \times 0.5 = 2.00$ ม.

$W = 0.5$ ม.

$Wp = 0.25$ ม.

$q = \frac{3.386}{2.00} = 1.693$ ลบ.ม./วินาที/ม.

$d_c = \sqrt[3]{\frac{(1.693)^2}{9.81}}$

$= 0.664$

$h_b = 0.9\, d_c = 0.597$ ม.

ใช้ $h_b = 0.60$ ม.

เลือกใช้ความกว้าง $T = 0.25$ ม.

(T จะต้องอยู่ระหว่าง 0.20 ม. ถึง 0.25 ม.)

4. หาความยาว Inlet, L_1

$L_1 = 2d_1 = 2 \times 1.25 = 2.50$ ม.

5. หาความสูงของธรณี Inlet

$B = 2.00$, $q = 1.693$ ลบ.ม./วินาที/ม., $d_c = 0.664$ ม.

$V_c = 2.55$ ม./วินาที, $h_{vc} = 0.33$ ม.

ดังนั้น

$h_s = E_{s1} - E_{sc} - h_i$ (เมื่อ h_i = Inlet loss)

$= (d1 + h_{v1}) - (d_c + h_{vc}) - 0.5\,(h_{vc} - h_{v1})$

$= (1.25 + 0.019) - (0.664 + 0.33) - 0.5 \times (0.33 - 0.019)$

$= 1.269 - 0.994 - 0.156$

$= 0.119$

6. ตรวจสอบความเร็วที่ Inlet เพื่อไม่ให้น้ำพุ่งกระจายมาก

หาค่า d_1 ที่ Inlet Cutout

$$d_1 = h_s + d_c + h_{vc}$$
$$= 0.119 + 0.664 + 0.33$$
$$= 1.113 \text{ ม.}$$

ความเร็วที่ทางเข้าจะเป็น

$$V_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{Q}{d_1 \times B}$$

$$= \frac{3.386}{1.113 \times 2} = 1.521 \text{ ม./วินาที}$$

หาค่า V_c ที่เหนือสันธรณี

$$V_c = \frac{Q}{A} = \frac{3.386}{d_c \times B}$$

$$= \frac{3.386}{0.664 \times 2} = 2.55 \text{ ม./วินาที}$$

ค่าความเร็วที่ทางเข้าเป็นร้อยละ 60 ของความเร็ววิกฤติ และการกระเด็นไม่มากนัก

7. หาค่าความยาว Sill L_2 และค่า e ตามรูป 4-4 ใช้ค่า R = 1.80 ม. และพื้นรางเดียว 1:2

$$\varnothing = 26^\circ 34'$$

$$\text{Sin}\varnothing = 0.4472 = y/z$$

$$\tan\varnothing = 0.5 = y/x$$

$$\frac{\varnothing}{2} = 13^\circ 17'$$

$$\tan\frac{\varnothing}{2} = 0.2361 = Z/R$$

โดยการแทนค่า

$$Z = 0.236/R = 0.425 \text{ ม.}$$

$$Y = 0.4472Z = 0.190 \text{ ม.}$$

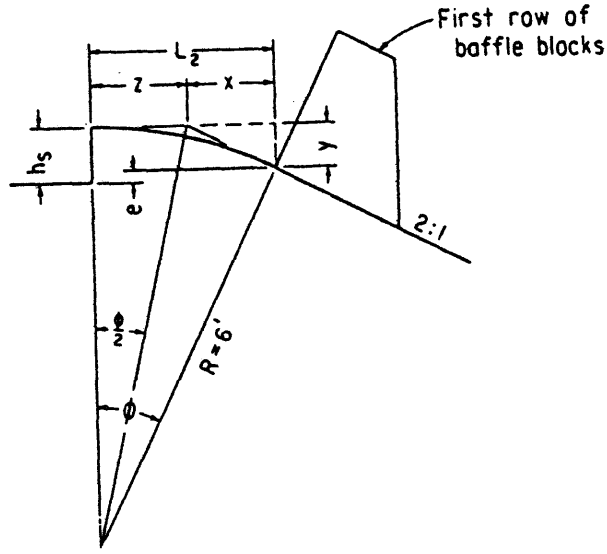
$$X = \frac{Y}{0.5} = 0.38 \text{ ม.}$$

ดังนั้น

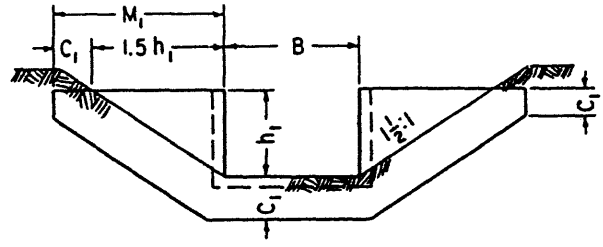
$$L_2 = X + Z = 0.38 + 0.425 = 0.805 \text{ ม.}$$

และ

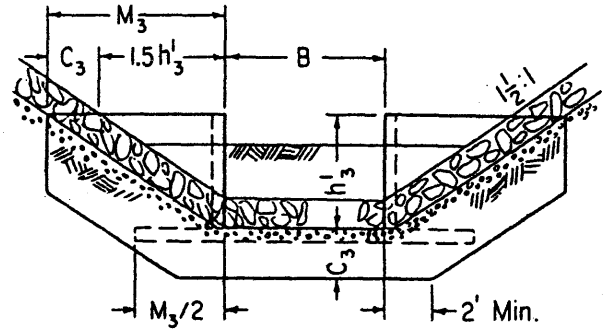
$$e = h_s - y = 0.119 - 0.19 = -0.071 \text{ ม.}$$



รูป 4-4 Sill curve dimensions.



รูป 4-5 Upstream wingwalls



รูป 4-6 Downstream wingwalls.

8. หาระยะตามลาด S ระหว่างแถวของแท่ง Baffle ตามรูป 4-3

$S = Zh_b \quad min$

$= 2 \times 0.6 = 1.20$ ม.

ใช้ $S = 1.80$ ม.

9. หาความลึกของดินน้อยที่สุด (j) ทางด้าน Outlet เพื่อให้แน่ใจได้ว่าแท่ง Baffle แถวสุดท้ายจะต้องจมปิดอยู่ในดิน เมื่อทำการกลบดินถึงระดับก้นทางน้ำ

$S_y = S \sin\varnothing = 1.8 \times 0.4472 = 0.805$ ม.

$h_y = h_b \cos\varnothing = 0.6 \times 0.8944 = 0.537$ ม.

$j = S_y + h_y = 1.342$ ม.

10. หาความยาว Apron (L_3 และ L_5) เมื่อระดับพื้นทางน้ำต่างกัน 1.80 ม.

ความยาวต่ำสุด $L_y = e + F + j$

$= -0.071 + 1.8 + 1.342$

$= 3.071$ ม.

จำนวนแถวต่ำสุด $= \frac{L_y}{S_y}$

$= \frac{3.071}{0.805} = 3.81$ แถว

ใช้ 4 แถว

หากอัตราส่วน L_y/S_y มีค่าน้อย ๆ จะต้องจัดให้มีจำนวนแถวอย่างน้อย 4 แถว โดยทำให้จบลงไปในดินด้านท้ายน้ำ 2 แถว หรือมากกว่านั้นหากจำเป็น

ในที่สุดจะได้ว่า

$L_S = 4s = 4 \times 1.8 = 7.2$ ม.

$L_Y = 4S_y = 4 \times 0.805 = 3.22$ ม.

$L_3 = 4S_y = 4 \times 1.8 \times 0.8944 = 6.44$ ม.

11. หาความยาวของอาคารทั้งหมด

$L = L_1 + L_2 + L_3$

$= 2.50 + 0.805 + 6.44$

$= 9.745$

12. หาความสูงกำแพงส่วนต่าง ๆ (ดูรูป 4-3)

$h_1 = d_1 + 0.30$ ม.

$= 1.25 + 0.30$ ม.

$= 1.55$ ม.

โดยที่พื้นอาคารอยู่ในแนวราบ และส่วนยอดของกำแพงจาก h_1 ถึง h_2 เป็นแนวราบเช่นเดียวกัน

$$h_2 = h_1 - h_2$$

$$= 1.55 - 0.119 = 1.431 \text{ ม.}$$

ความสูงของกำแพง Chute

$$h_3 = 3h_b = 3 \times 0.60 = 1.80 \text{ ม.}$$

13. หาความยาว M_1 ของ Wingwall ด้านเหนือน้ำ ตามรูป 4-5

$$M_1 = 1.5 \times h_1 + C_1$$

เมื่อน้ำลึก 1.25 ม. C_1 จะมีค่า 0.75 ม.

$$M_1 = 1.5 \times 1.55 + 0.75$$

$$= 3.075 \text{ ม.}$$

ใช้ $M_1 = 3.10$ ม.

14. หาความยาว M_3 ของ Wingwall ด้านท้ายน้ำตามรูป 4-6

$$M_3 = 1.5 \times h_3 + C_3$$

เมื่อน้ำลึก 1.25 ม. C_3 จะมีค่า 0.75 ม.

$$h_3 = h_3/\text{Cos } \varnothing$$

$$= 1.8/0.8944$$

$$= 2.012 \text{ ม.}$$

ดังนั้น

$$M_3 = 2.012 \times 1.5 + 0.25$$

$$= 3.269$$

ใช้ $M_3 = 3.30$ ม.

15. ตรวจสอบการลอยตัวของอาคารเนื่องจากแรง Uplift

16. ตรวจสอบความมั่นคงต่อการลื่นไถล

17. หาส่วนป้องกันการกัดเซาะโดยพิจารณาว่าเป็น Inclined Drop ที่มีระดับน้ำด้านหน้าและท้ายอาคารลึก 1.25 ม. จะได้ว่า ด้าน Inlet เป็น Protection Type 1 ยาวเท่ากับความลึก d_1 ไปทางด้านเหนือน้ำ และปูตามลาดด้านทั้งของทางน้ำขึ้นไปจนถึงระดับสูงกว่าระดับน้ำปกติ 0.30 ม.

ที่ลาดของตัวอาคารเป็น Protection Type ดังรายละเอียดที่กล่าวถึงมาข้างต้นแล้ว

ด้าน Outlet เป็น Protection type 3 ยาวเป็น 4 เท่าของความลึกไปทางด้านท้ายน้ำและปูตามลาดด้านข้างของทางน้ำขึ้นไปจนถึงระดับสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดที่คาดว่าจะเกิด 0.30 ม. หรือจนถึงระดับหลังคันแล้วแต่ระดับไหนจะสูงกว่ากัน ขอให้สังเกตว่าดินถมที่ปลายทางด้านท้ายน้ำเพื่อให้ทับแท่ง Baffle แถวสุดท้ายนั้นจะทับอยู่บนหินเรียบขึ้นมาจนระดับถึงระดับกันทางน้ำ (ดูรูป 4-3)

18. ตรวจสอบการที่น้ำซึมลอดอาคาร ถ้าจะเป็นก็ต้องนำ Cutoff wall เพิ่มเติม

4.3 อาคารปากทางออกแบบมีแผงสลายพลังงาน (Baffled Outlet)

4.3.1 วัตถุประสงค์ พลังงานส่วนเกินของการไหลหรือการตกลงมาของน้ำ จะต้องได้รับการทำให้สลายไปอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อไม่ให้เกิดการกัดเซาะเสียหายต่อทางน้ำทางด้านท้ายน้ำ อาคารต่าง ๆ เช่น Pipe drop, Pipe Chute และท่อลอดคลองเพื่อระบายน้ำ ย่อมต้องมีการสลายพลังงานด้วยรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ตามปกติการสลายพลังงานจะทำในท่อส่วนที่เรียกว่า Sump ในอ่างน้ำนิ่ง หรือใน Baffled Outlet การสลายพลังงานที่ Sump และในอ่างน้ำนิ่งใช้วิธีการทำให้เกิด Jump ในขณะซึ่ง Baffled Outlet เป็นส่วนสลายพลังงานโดยให้เกิดการกระแทก (Impact type energy dissipator)

Baffled Outlet เป็นอาคารที่มีลักษณะเป็นกล่อง มีส่วน Baffle ติดตั้งอยู่ในแนวตั้งฉากกับพื้นอาคารที่ปลายด้านท้ายน้ำของอาคารมีธรณี (End Sill) การสลายตัวของพลังงานส่วนเกิน ส่วนใหญ่จะเกิดจากการที่น้ำพุ่งชนส่วน Baffle และมีส่วนที่พลังงานถูกสลายไปโดยความปั่นป่วนของน้ำที่เกิดขึ้นภายหลังการที่น้ำกระแทก Baffle แล้วเป็นอาคารแบบที่ไม่ต้องการความลึกด้านท้ายน้ำเพื่อให้มีคุณสมบัติทางชลศาสตร์ที่ดีเหมือนกับอาคารชนิดที่ทำให้เกิด Jump ในอ่างน้ำนิ่ง แต่ในบางครั้งการมีระดับน้ำด้านท้ายน้ำอยู่บ้างทำให้การไหลของน้ำที่ทางออกดีเสียกว่าที่ไม่มีน้ำเลย

เพื่อให้อาคารแบบนี้ใช้งานได้ดีที่สุด ระดับน้ำด้านท้ายควรจะอยู่สูงกว่าระดับพื้นอาคารเท่ากับ $\left(\frac{b}{2}+f\right)$ ความสูงของน้ำจะต้องไม่ให้อยู่สูงกว่าพื้นอาคารเกิน b+f เนื่องจากจะทำให้น้ำบางส่วนไม่พุ่งชนกับ Baffle หากใช้ Baffled Outlet ในทางน้ำที่ไม่สามารถควบคุมระดับน้ำด้านท้ายได้ ตามปกติแล้วจะกำหนดให้พื้นล่างของ Baffled Outlet อยู่ต่ำกว่าระดับพื้นทางน้ำด้านท้ายน้ำเท่ากับระยะ f

เนื่องจาก Baffled Outlet เป็นอาคารที่ไม่ต้องการระดับน้ำด้านท้าย ฉะนั้น Outlet แบบนี้จึงมีประโยชน์สำหรับงานซึ่งควบคุมระดับน้ำด้านท้ายไม่ได้ หรือเมื่อมีโอกาสที่ระดับน้ำด้านท้ายอาคารเปลี่ยนแปลงช้า ในขณะที่ปริมาณการไหลของน้ำสามารถเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ถ้าออกแบบ Baffled Outlet ได้อย่างถูกต้องแล้ว การสลายพลังงานของอาคารแบบนี้จะดีกว่าแบบที่ทำให้เกิด Jump

4.3.2 การพิจารณาด้านชลศาสตร์

การพัฒนา Baffled Outlet ทำขึ้นโดยใช้การศึกษาแบบจำลองทางชลศาสตร์ รายละเอียดและขนาดต่าง ๆ ได้มาจากการทดลองโดยใช้ค่า Froude number ต่าง ๆ กัน เพื่อให้วิธีการคำนวณหา Froude number เป็นมาตรฐาน จึงสมมุติให้น้ำที่ไหลพุ่งไปชน Baffle มีรูปเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ฉะนั้นความลึกของน้ำที่พุ่งไปจะเป็นรากที่สองของพื้นที่ $\sqrt{A}$ เมื่อใช้สมการ $A = Q/V$

ในสมการ V คือความเร็วในทางทฤษฎีซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sqrt{2gh}$ ความสูง h ก็คือ ความสูงที่ต้องการให้ทำการสลายพลังงาน ตามปกติจะใช้ความแตกต่างของระดับพื้นทางน้ำที่ Inlet และ Outlet ซึ่งถือว่าละเอียดเพียงพอแล้ว อย่างไรก็ตามความสูญเสียเนื่องจากความฝืดที่เกิดขึ้นกับอาคารที่เป็น Chute ยาว ๆ ก็อาจมีความหมาย และดังนั้นจึงจะต้องนำมาพิจารณาร่วมในการหาระดับพลังงานที่ต้องการสลาย

แนวทางในการพิจารณาคุณสมบัติของอาคารแบบนี้ ก็โดยอาศัยแนวทางการพิจารณาถึงความราบเรียบของน้ำ การกัดเซาะด้านท้ายน้ำรวมทั้งความสามารถในการรับปริมาณน้ำ ผลของการทดลองแต่ละครั้งจะได้รับการตัดสินว่าใช้ได้หรือไม่ และทำการพล็อตอยู่ในรูปของ Froude number, F, กับอัตราส่วนของความ

กว้างตัวอ่างกับความลึก (W/d) จากข้อมูลเหล่านี้ทำให้ได้ Curve ที่ใช้เพื่อการออกแบบตามรูป 4-7 โดยที่ขนาดของน้ำที่พุ่งไปกระทบกับ Baffle จะมีขนาดเล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับความกว้างของอ่าง ดังนั้นค่าอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกจึงไม่หาไปจนเกิน 10 ซึ่งสัมพันธ์กับค่า Froude number ประมาณ 90 สำหรับเมื่อ W/d ประมาณ 3 จะสัมพันธ์กับค่า Froude number ประมาณ 1 ซึ่งสำหรับ Froude number ขนาดนี้พลังงานส่วนเกินจะมีอยู่น้อยมาก ฉะนั้นจึงไม่สมควรที่จะใช้ Baffled Outlet เพื่อสลายพลังงานส่วนเกินเมื่ออัตราส่วน W/d น้อยกว่า 3

Curve ในรูป 4-7 ได้แสดงไว้แล้วว่าความกว้างต่ำสุดของแต่ละ Froude number ควรจะเป็นเท่าไร แต่ถ้าอ่างกว้างเกินไปการสลายพลังงานจะไม่ได้ผลดี เนื่องจากแท่งน้ำที่พุ่งมาจะกระจายออก และลอดใต้ Baffle แทนที่จะกระแทกกับ Baffle ความสูงของแผ่น Baffle จะต้องไม่น้อยกว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อเช่นกัน เพื่อป้องกันการที่น้ำพุ่งข้าม Baffle ไปได้ ถ้าทำการออกแบบโดยกำหนดให้ความกว้างของอ่างเท่ากับที่คำนวณได้จาก curue หรือโตกว่าพื้นเล็กน้อยแล้ว การสลายพลังงานจะเป็นไปได้ดีทั้งเมื่อน้ำไหลมาเต็มตามปริมาณที่ออกแบบไว้ และเมื่อน้ำไหลเป็นบางส่วน ขนาดส่วนอื่น ๆ ของ Baffle Outlet อยู่ในค่าของอัตราส่วนดังที่แสดงไว้ในรูป 4-7

เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายแก่อาคาร เนื่องจาก cavitation หรือจากแรงกระแทก ความเร็วของน้ำในท่อตามทฤษฎี ($\sqrt{2gh}$) จะต้องไม่เกินกว่า 15 ม./วินาที

การหาขนาดท่อที่จะใช้ร่วมกับ Baffled Outlet ควรหาโดยกำหนดให้ความเร็วของน้ำในท่อเป็น 3.6 ม./วินาที โดยสมมุติว่าน้ำไหลเต็มท่อ

ถ้าท่อที่เข้าสู่ Baffled Outlet มีลักษณะลาดเอียงลงที่ส่วนของท่อก่อนจะเข้าสู่ Baffled Outlet จะต้องให้มีลักษณะราบมีความยาวอย่างน้อย 3 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ เพื่อให้น้ำที่ไหลออกจากท่อพุ่งออกไปกระทบ Baffle ตามที่ออกแบบไว้

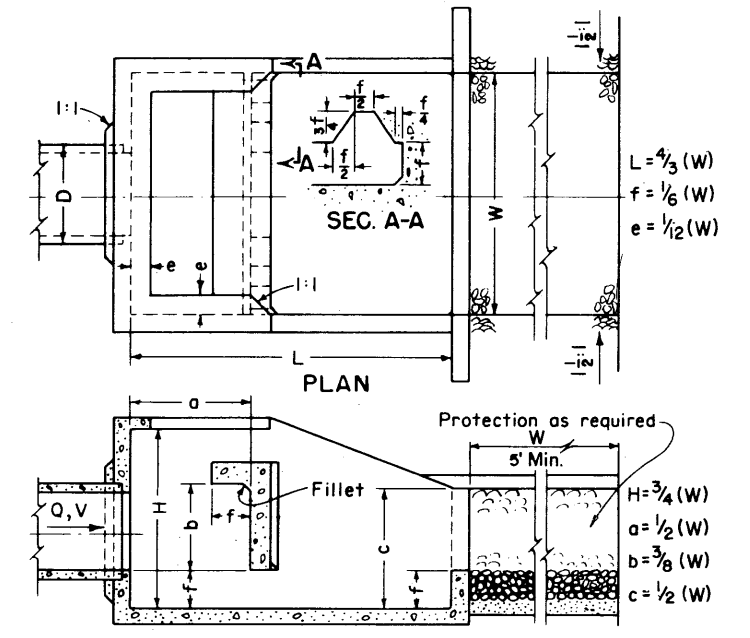
ถ้ามีโอกาสซึ่งน้ำจะท่วมที่ทั้งปลายท่อด้านทางเข้าและทางออกแล้ว จำเป็นจะต้องมีท่อระบายอากาศที่ปลายด้านเหนือน้ำ เพื่อไม่ให้แรงดันวิ่งกลับไปกลับมา และจะทำให้เป็น Suge ขึ้นในท่อ

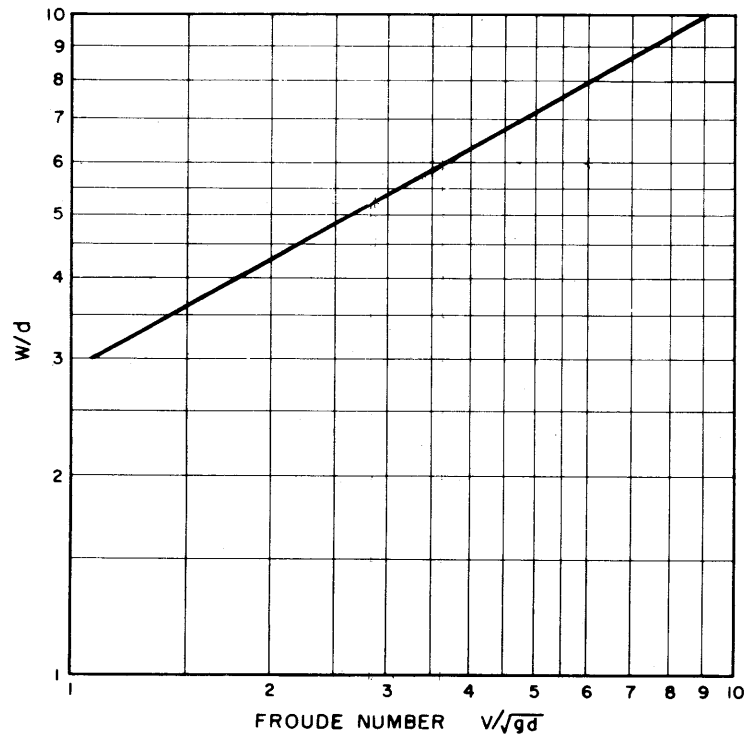
อาจมีการใช้ Baffled Outlet กับรางน้ำเปิด รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในกรณีเช่นนี้ความสูงของกำแพงข้างรางน้ำจะต้องเท่ากับกำแพงข้างของตัวอย่าง และที่ทางเข้าสู่ Baffled Outlet พื้นรางน้ำจะต้องราบมีระยะอย่างน้อย 3 เท่าของความกว้างรางน้ำ

4.3.3 การตกตะกอนและขยะ (Sediment and debris)

ขณะเมื่อน้ำไหลผ่านด้วยปริมาณน้อย ๆ หรือเมื่อไม่ได้ใช้งาน อาจมีการตกตะกอนในอ่างที่ Baffle จะเจาะเป็นช่อง (Notch) เอาไว้เพื่อให้น้ำพุ่งไปเริ่มชะล้างตะกอนที่ตกอยู่เมื่อมีน้ำไหลผ่านเพิ่มมากขึ้นตะกอนก็จะถูกล้างออกไป อย่างไรก็ตาม อ่างแบบนี้สามารถที่จะให้ปริมาณน้ำทั้งหมดตามที่ออกแบบไว้ไหลข้าม Baffle ไปได้ เพื่อเพิ่มความปลอดภัย

สำหรับขยะหรือวัชพืชที่ไหลมากับน้ำ อ่างแบบนี้ไม่สามารถทำความสะอาดตัวเองได้ ซึ่งขยะหรือวัชพืชเหล่านี้เป็นสิ่งลดประสิทธิภาพที่สำคัญสำหรับอาคารแบบนี้ หากมีปัญหาเนื่องจากเรื่องนี้ อาจต้องเลือกใช้วิธีสลายพลังงานอย่างอื่น หรือถ้าสะดวกก็อาจใช้ตะแกรงคัดขยะที่ทางเข้าท่อก็ได้





W, ft., Is the inside width of the basin
V, fps, Is the theoretical velocity of the incoming flow and is $\sqrt{2gh}$
h, ft., Is the head to be dissipated
A, ft.^{2}, Is the area of flow entering the basin and is Q/V
d, ft., Represents the depth of flow entering the basin and is $\sqrt{A}$

รูป 4–7 Design width of basin.

4.3.4 การป้องกันการกัดเซาะ (Erosion protection)

หินเรียงที่ใช้เพื่อป้องกันการกัดเซาะ จะต้องมีขนาดที่คละกันดี ส่วนใหญ่ต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับเศษหนึ่งส่วนยี่สิบเท่า ของความกว้างตัวอย่าง ความลึกของการเรียงหินจะต้องสูงเท่ากับความสูงของ End sill โดยมีระยะทางยาวไปทางท้ายน้ำเท่ากับความกว้างของอ่างทั่ว ๆ ไปแล้ว จะใช้หินเรียงหรือกรวดหยาบหนา 0.30 ม. วางทับอยู่บนกรวดปนทรายหนา 0.15 ม.

4.3.5 วิธีการกำหนดความกว้างอ่าง เมื่อได้ทราบปริมาณน้ำและความสูงของพลังงานที่ต้องการสลายแล้ว จะสามารถหาความกว้างอ่าง Baffle Outlet ได้โดยวิธีการดังต่อไปนี้

1. คำนวณหาความเร็วทางทฤษฎี $V = \sqrt{2gh}$
2. คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของน้ำที่ไหลเข้าสู่อ่าง $A = Q/v$
3. เนื่องจากสมมุติว่าน้ำมีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส จึงหาความลึกของการไหลได้ $d = \sqrt{A}$
4. คำนวณหา Froude number $F = V/\sqrt{g.d}$
5. จากค่า Froude number จะได้ค่า W/d จากรูป 4-7
6. จะหาค่า W ต่ำสุดได้

4.3.6 ตัวอย่าง

ก. กำหนดให้

1. ข้อมูลทางชลศาสตร์ อาคารเป็นท่อระบายน้ำลอดคลอง น้ำที่ไหลผ่าน 4.00 ลบ.ม./วินาที ความสูงของพลังงานที่ต้องการลด 9.15 ม.

2. เลือกขนาดท่อ ความเร็วสูงสุดในท่อที่เลือกใช้คือ 3.6 ม./วินาที โดยถือว่าน้ำไหลเต็มท่อ

พื้นที่ท่ออย่างต่ำ = Q/V = 4.00/3.6

= 1.11 ตร.ม.

ท่อ 1.20 ม. A = 1.13 ตร.ม.

3. ตรวจสอบความต้องการท่อระบายอากาศ

เนื่องจากน้ำจะท่วมที่ปลายทั้งสองของอาคาร จึงต้องมีท่อระบายอากาศที่ปากทางเข้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อควรเป็น 1/6 ของขนาดท่อ คือ 1.20/6 = 0.20 ม.

ข. การหาขนาด Baffled Outlet

1. ความเร็วทางทฤษฎี

$V = \sqrt{2.g.h.}$ $= \sqrt{2 \times 9.81 \times 9.15}$

= 13.40 ม./วินาที

ความเร็วที่หาได้นี้น้อยกว่า 15 ม./วินาที ฉะนั้นจึงใช้ Baffled Outlet ได้

2. พื้นที่การไหล

$A = Q/V = 4/13.40 = 0.298$ ตร.ม.

3. ความลึก

$d = \sqrt{A} = 0.546$ ม.

4. Froude number

$$F = \frac{V}{\sqrt{g.d}} = 13.4/\sqrt{9.81 \times 0.546}$$

5. เมื่อ $F = 5.79$

$W/d = 7.8$

6. ความกว้างอ่างฯ

$W = d \times w/d = 0.546 \times 7.8$

$= 4.26$ ม.

7. เลือกใช้ขนาดอ่างกว้าง 4.30 ม.

8. นำค่า W ของอ่างฯ ไปหาขนาดส่วนอื่น ๆ ดังที่แสดงไว้ในรูป 4-7

9. การคำนวณหาส่วนป้องกันการกัดเซาะ

1. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหิน $= \frac{W}{20} = 0.215$ ม.

$= 21.5$ ซม.

ปริมาณของหิน $= \frac{\pi d^3}{6} = 0.005$ ลบ.ม.

เนื่องจากขนาดของกรวดหยาบใหญ่ที่สุดคือ 0.004 ลบ.ม. แสดงว่าจะใช้กรวดหยาบไม่ได้ เนื่องจากเล็กเกินไป จึงเลือกใช้ทางป้องกันการกัดเซาะขนาดถัดขึ้นไปคือหินเรียง หนา 0.30 ม. บนกรวดปนทรายหนา 0.15 ม.

2. ความยาวของการป้องกันการกัดเซาะเท่ากับความกว้างคือ 4.30 ม. ใช้ 5.00 ม.

3. ความลึกของหินเรียงที่ต้องการ = w/6 = 0.71 ม. ความลึกของหินเรียงและกรวดทรายที่ใช้เพียง 0.45 ม. แต่เนื่องจากขนาดหินที่ใช้ใหญ่กว่าที่คำนวณได้มาก จึงถือว่าความหนาของส่วนป้องกันการกัดเซาะที่ใช้ที่เพียงพอ

บทที่ 5
อาคารวัดน้ำชลประทาน
(Water Measurement Structure)

5.1 ทั่วไป

ในการที่จะจัดสรรน้ำจากแหล่งน้ำที่มีอยู่ไปใช้ในการเพาะปลูกให้เกิดประโยชน์ในทางเศรษฐกิจอย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นจะต้องทราบว่ามีน้ำต้นทุนอยู่มากน้อยเท่าใด จะได้รับเพิ่มขึ้นมาในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ เท่าใด จะต้องส่งออกไปให้แก่เกษตรกรผู้ใช้น้ำในช่วงใดบ้างและด้วยอัตราเท่าใด ทางด้านเกษตรกรเมื่อได้น้ำมาแล้วก็จะต้องนำมาให้แก่พืชในปริมาณที่พอเหมาะกับความต้องการ และให้ด้วยอัตราที่พอเหมาะกับวิธีการให้น้ำ, คุณสมบัติของดิน, ลักษณะของภูมิประเทศ ฯลฯ

จะเห็นได้ว่า ถ้าจะใช้น้ำให้มีประสิทธิภาพแล้วจำเป็นต้องมีการวัดอัตราและปริมาณในทุกขั้นตอน ไม่ว่าจะเป็นการได้เพิ่มขึ้นมาหรือใช้ไป เพราะมิฉะนั้นแล้วจะไม่มีข้อมูลพอที่จะจัดสรรน้ำให้มีประสิทธิภาพได้ โดยหลักการแล้วการวัดน้ำชลประทานเป็นสิ่งจำเป็น เพราะข้อมูลนี้มีประโยชน์ต่อการจัดสรรน้ำและบริหารโครงการชลประทานหลายอย่างด้วยกัน กล่าวคือ

1. ทำให้ทราบถึงอัตราและปริมาณน้ำต้นทุนที่จะนำมาใช้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแหล่งน้ำนั้นมีการใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์หลายอย่างร่วมกัน เช่น ปริมาณน้ำที่ไหลมาของลำน้ำสายหนึ่งอาจจะต้องแบ่งไว้สำหรับการอุปโภคบริโภค การคมนาคมทางน้ำ การควบคุมน้ำเค็มบริเวณปากอ่าว เหลือเท่าไรจึงเอาไปใช้ในการชลประทานได้เป็นต้น

2. ทำให้สามารถส่งน้ำเข้าระบบส่งน้ำได้อย่างถูกต้องตามความต้องการ รวมทั้งสามารถจัดสรรน้ำให้แก่เกษตรกรอย่างยุติธรรมด้วย

3. ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของคลอง คูส่งน้ำ ในช่วงตอนต่าง ๆ สำหรับเป็นแนวทางในการปรับปรุงหรือแก้ไขระบบส่งน้ำให้ดีขึ้น

4. เมื่อมีการวัดการให้น้ำในแปลงเพาะปลูก ก็จะทำให้ทราบถึงอัตราและปริมาณที่ให้แก่พืช สำหรับเป็นแนวทางในการปรับปรุงการให้น้ำให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5. เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเก็บค่าน้ำจากผู้ใช้น้ำ

6. ใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินข้อพิพาทเรื่องแก่งแย่งน้ำ หรือสิทธิในการใช้น้ำ

5.1.1 การวัดน้ำในระบบคลองส่งน้ำ

โดยปกติแล้วการวัดน้ำในระบบส่งน้ำจะเริ่มต้นทันทีที่จุดส่งน้ำจากแหล่งน้ำเข้าระบบซึ่งอาจจะเป็นประตูระบายปากคลองหรือท่อระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่หลังจากนั้นก็จะวัดทุกจุดที่มีระบบย่อยแตกแขนงออกไป เช่น ปากคลองซอย, ปากคลองแยกซอย เป็นต้น และทุก ๆ จุดหลังท่อส่งน้ำเข้านา

เครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลของน้ำมีมากมายหลายแบบ แต่เนื่องจากว่าส่วนใหญ่แล้วความลาดเทของผิวน้ำในคลองค่อนข้างราบ เครื่องมือที่ใช้จึงไม่ควรก่อให้เกิดการเสียพลังงานหรือเสียเฮด (Head) ในการไหลมาก โดยทั่ว ๆ ไปจึงนิยมใช้รางวัดน้ำ เช่นรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Parshall Flume) หรือรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (Cut-Throat Flume) เป็นต้น ทั้งนี้ยกเว้นบริเวณปากคลองซอยหรือแยกซอยซึ่งจำเป็นต้องมีอาคารปิดและเปิดน้ำด้วย ในกรณีดังกล่าวนี้จะนิยมใช้อาคารวัดน้ำที่มีระดับต่างคงที่ (Constant Head Orifice) หรือ CHO ซึ่งทำหน้าที่ได้ทั้งวัดน้ำและปิด-เปิดน้ำแทน

โดยหลักการแล้วจุดที่น่าจะต้องทำการวัดมากที่สุดในระบบส่งน้ำก็คือหลังท่อส่งน้ำเข้านา ทั้งนี้เพราะว่าที่จุดนี้เป็นจุดสุดท้ายที่น้ำชลประทานจะพ้นจากความรับผิดชอบของโครงการ และเป็นจุดที่ถือว่าเกษตรกรจะต้องรับน้ำไปจากจุดนี้ ดังนั้นค่าที่วัดได้จึงถือว่าเป็นปริมาณที่เกษตรกรได้รับจากโครงการชลประทาน ถ้าหากจะมีการเก็บค่าน้ำก็จะต้องคำนวณจากค่าที่วัดได้ที่จุดนี้ โครงการชลประทานส่งน้ำได้ทั่วถึงหรือไม่ก็บอกได้ที่จุดนี้ อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันโครงการชลประทานในประเทศไทยเป็นกิจการที่รัฐบาลให้บริการแก่เกษตรกรฟรี ดังนั้นจึงยังมิได้ให้ความสำคัญต่อการวัดน้ำที่ท่อส่งน้ำเข้านาแต่อย่างใด

5.1.2 ลักษณะของเครื่องมือวัดน้ำที่ดี

เครื่องมือวัดน้ำที่จะกล่าวถึงในที่นี้ถือว่าเป็นเครื่องมือวัดน้ำที่จะใช้ในระบบส่งน้ำขนาดเล็กและใช้ในไร่นา ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปอัตราการไหลจะมีค่าไม่เกินประมาณ 500 ลิตรต่อวินาที เครื่องมือวัดน้ำในคลองส่งน้ำที่ดีควรมีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ

1. เนื่องจากว่าความลาดเทตามแนวยาวของคลองส่วนใหญ่จะแบนราบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดน้ำที่มีความต้านทานต่อการไหลน้อย หรืออีกนัยหนึ่งมีการเสียเฮด (Head) น้อย นอกจากนั้น เศษวัชพืชหรือสิ่งที่ลอยมากับน้ำควรจะไหลผ่านไปได้โดยไม่ก่อให้เกิดการกีดขวางการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น

2. ถ้าเป็นไปได้ควรจะทำหน้าที่อย่างอื่นนอกเหนือการวัดน้ำได้ด้วย เช่นช่วยควบคุมระดับน้ำในคลองทำหน้าที่เป็นประตูน้ำด้วย เช่น อาคารวัดน้ำแบบ CHO เป็นต้น

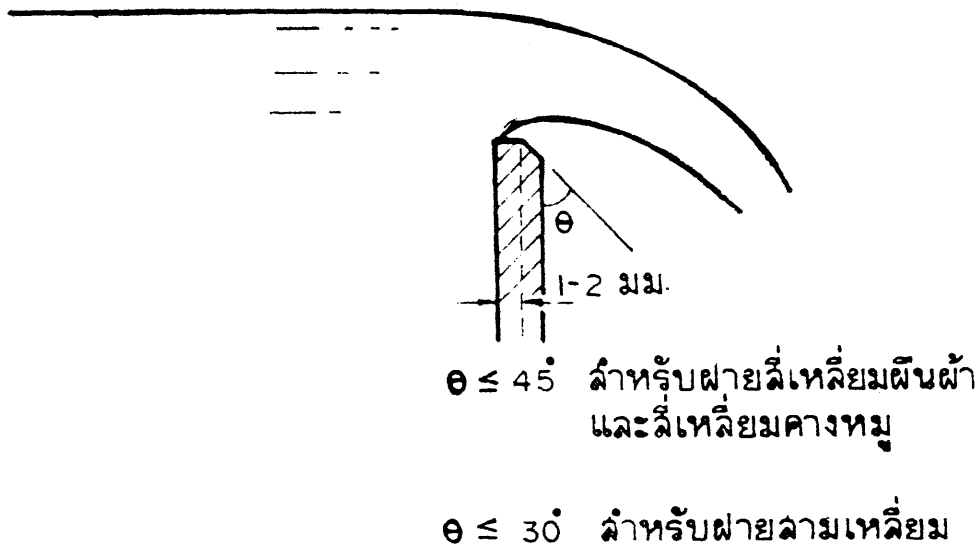
3. จะต้องใช้ง่าย แผ่นสเกล (Scale) ที่อ่านค่าเฮด (Head) ควรติดอยู่กับที่ สามารถมองเห็นได้ชัดเจนและอ่านได้ง่าย ควรมีตารางที่บอกอัตราการไหลได้ทันทีจากค่าเฮดที่อ่านได้

4. ให้ความละเอียดถูกต้องดีพอสมควรตลอดช่วงการวัดตั้งแต่ส่งน้ำด้วยอัตราต่ำสุดถึงสูงสุด

5. จะต้องมั่นคงแข็งแรง ติดตั้งและใช้งานง่าย ไม่ต้องการการบำรุงรักษามาก และมีราคาไม่แพง

5.2 ฝายวัดน้ำ (Weir)

ฝายวัดน้ำอาจจะให้คำจำกัดความได้ว่า เป็นอาคารที่สร้างขึ้นขวางกั้นทางน้ำ เพื่อให้น้ำไหลล้นข้ามผ่านช่องเปิดที่ทำไว้ตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งเป็นผลให้อัตราการไหลข้ามสัมพันธ์กับความลึกของน้ำเหนือระดับสันฝายเป็นกฎเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัว



รูปที่ 5-1 ลักษณะของสันฝายคม และการไหลผ่านสันฝายชนิดนี้

ฝายวัดน้ำที่ใช้กันโดยทั่วๆ ไปเป็นฝายสันคม (Sharp Crested) ซึ่งทำจากเหล็กหรือโลหะแผ่นเรียบ ปาดสันให้คมด้วยการลบมุม 30 ถึง 45 องศากับหน้าของแผ่นจนความหนาของสันเหลือ 1 ถึง 2 มิลลิเมตร ส่วนที่ลบมุมนี้จะติดตั้งไว้ทางด้านท้ายน้ำเพื่อให้แผ่นน้ำไหลข้ามไปได้โดยไม่ลู่ติดกับสันฝาย ลักษณะของสันฝายและการไหลผ่านสันฝายชนิดนี้แสดงไว้ในรูปที่ 5-1

ฝายสันคมแบบมาตรฐานที่ใช้กันอยู่จะเรียกชื่อตามรูปร่างลักษณะของช่องเปิดที่น้ำไหลผ่าน เช่น เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมคางหมู และสามเหลี่ยม สำหรับฝายประเภทแรกคือสี่เหลี่ยมผืนผ้านั้นยังแบ่งออกเป็นแบบไม่บีบข้าง คือความยาวของสันฝายเท่ากับความกว้างของทางน้ำซึ่งเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าเช่นเดียวกัน และแบบบีบข้าง (Contracted) ซึ่งช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านแคบกว่าความกว้างของทางน้ำ อีกสองประเภทที่เหลือคือแบบสี่เหลี่ยมคางหมูและสามเหลี่ยมเป็นแบบบีบข้างทั้งสองประเภท

5.2.1 ข้อกำหนดในการติดตั้งฝายวัดน้ำ

เนื่องจากว่าการวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายหรืออาคารวัดน้ำอื่นๆ นั้นมิใช่เป็นการวัดอัตราการไหลโดยตรง แต่เป็นการวัดความลึกของน้ำเหนือสันฝายหรือเฮด (Head) แล้วไปแทนค่าในสูตร หรือนำไปเปิดตารางอัตราการไหลที่มีผู้จัดทำไว้ ตารางดังกล่าวนี้คำนวณโดยสูตรซึ่งได้จากการทดลองวัดการไหลผ่านฝายที่มีลักษณะเฉพาะและติดตั้งในลักษณะที่กำหนดไว้ ดังนั้น ถ้าจะให้ฝายที่ติดตั้งในสนามวัดได้ละเอียดถูกต้องตามสูตรหรือตารางก็จะต้องติดตั้งตามกฎเกณฑ์ที่กำหนดไว้เช่นเดียวกันลักษณะเฉพาะของฝายและหลักเกณฑ์ทั่วๆ ไปในการติดตั้งฝายวัดน้ำมีดังต่อไปนี้ คือ

1. ผนังด้านเหนือน้ำของฝายจะต้องเรียบ อยู่ในแนวดิ่ง และตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางของทางน้ำ
2. แผ่นโลหะสันฝายซึ่งติดอยู่กับตัวฝายต้องเรียบเป็นผืนเดียวกับผนังด้านหน้า สันฝายจะต้องตรงและเรียบ

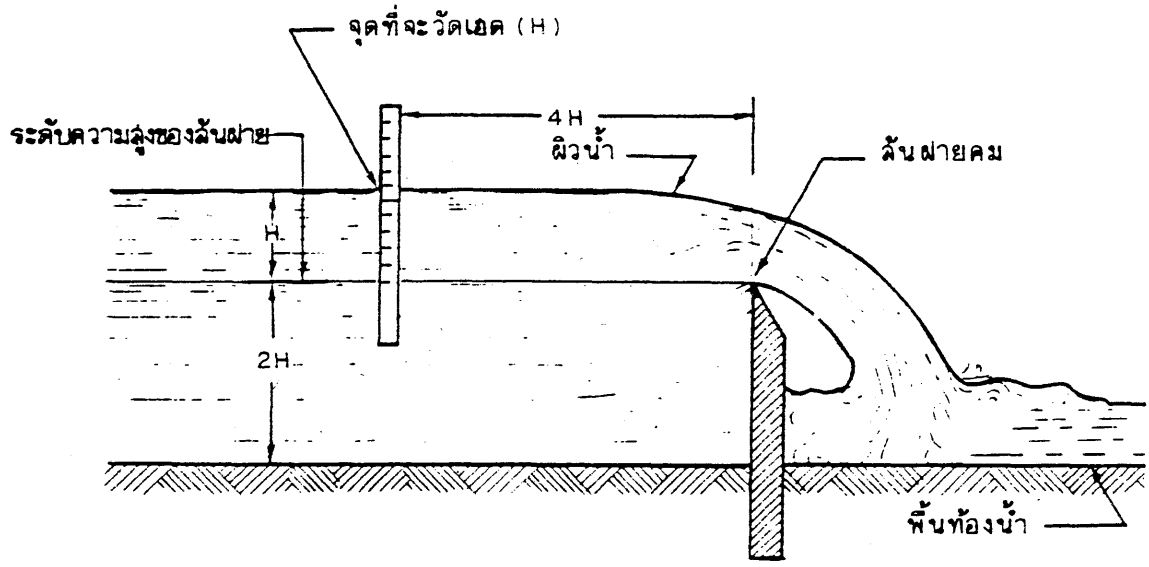
3. สันฝายจะต้องวางให้ได้ระดับหรือมุมตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ เช่นสันฝายด้านล่างของฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือฝายสี่เหลี่ยมคางหมูจะต้องได้ระดับราบ สันฝายด้านข้างของแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะต้องได้ดิ่งและทำมุมฉากกับสันฝายด้านล่าง เป็นต้น ความหนาของสันฝายควรจะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิเมตร (สันฝายคมบางใช้กับอัตราการไหลน้อย ๆ) ด้านมุมฉากของสันฝายอยู่ทางเหนือน้ำ ดังรูปที่ 5-1

4. การลบมุมด้านท้ายน้ำของสันฝายจะต้องไม่เกิน 45 องศาจากผิวหน้าของแผ่นสันฝาย ถ้าเป็นฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมคางหมู แต่ถ้าเป็นฝายสามเหลี่ยม มุมดังกล่าวไม่ควรเกิน 30 องศา ไม่ควรใช้สันฝายที่คมมากเพราะจะดูแลรักษาได้ยาก

5. ความสูงจากก้นคลองหรือทางน้ำถึงจุดต่ำสุดของสันฝายจะต้องไม่น้อยกว่าสองเท่าของความสูงของผิวน้ำเหนือสันฝายหรือเฮด (Head) และต้องไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร ทั้งนี้ยกเว้นฝายสามเหลี่ยมที่ยอมให้น้อยกว่า 30 เซนติเมตรได้ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 เท่าของเฮด ถ้าเป็นไปได้ควรจะยกสันฝายให้สูงไว้เพื่อให้น้ำไหลผ่านและตกลงมาอย่างอิสระ (Free Flow)

6. จะต้องมีอากาศผ่านเข้าใต้ผืนน้ำที่ไหลข้ามสันฝายได้ เพื่อให้น้ำที่ไหลผ่านสัมผัสกับสันฝายด้านมุมฉาก ซึ่งไม่ได้ลบเหลี่ยมเพียงด้านเดียวเท่านั้น ถ้าอากาศผ่านไม่ได้อาจเกิดสูญญากาศใต้ผืนน้ำ ทำให้การวัดผิดพลาด

7. การวัดเฮด (Head) หรือความสูงของผิวน้ำเหนือสันฝาย จะต้องวัดทางด้านเหนือน้ำที่จุดซึ่งอยู่ห่างจากสันฝายออกมาไม่น้อยกว่าสี่เท่าของเฮดสูงสุดของการวัดนั้น ดังแสดงในรูปที่ 5-2



รูปที่ 5-2 รูปตัดตามแนวยาวของทางน้ำเพื่อแสดงการติดตั้งฝาย และหลักวัดระดับน้ำสำหรับอ่านค่าเฮด (H)

8. พื้นที่หน้าตัดของทางน้ำหน้าฝายจะต้องไม่น้อยกว่า 8 เท่าของพื้นที่หน้าตัดของน้ำในช่องเปิดเหนือสันฝายนั้น ขนาดพื้นที่หน้าตัดเช่นที่ว่านี้จะต้องเป็นระยะทางยาวขึ้นไปทางเหนือน้ำไม่น้อยกว่า 15 ถึง 20 เท่าของเฮด

9. ถ้าหากไม่สามารถเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำตามข้อที่ 8 ได้ การคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายจะต้องนำเอาความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝาย (Velocity of Approach) มาพิจารณาด้วย

วิธีการติดตั้งตามข้อ 5 และข้อ 7 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-2

5.2.2 การคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายวัดน้ำ

สูตรและตารางสำหรับคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ถือว่าลักษณะและการติดตั้งฝายเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ในกรณีที่สภาพการวัดในสนามไม่ตรงตามกฎเกณฑ์นี้ให้ถือว่าสูตรและตารางที่ให้ไว้นี้เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น

ก. ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง (Suppressed Rectangular Weir) เป็นแบบซึ่งสันฝายยาวเต็มความกว้างของทางน้ำซึ่งเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสม่ำเสมอกันตลอดจนพ้นบริเวณที่น้ำไหลตกลงมาดังรูปที่ 5-3 การใช้ฝายแบบนี้จำเป็นต้องมีท่ออากาศต่อลงไปใต้ผืนน้ำที่ไหลตกจากสันฝาย มิฉะนั้นจะเกิดสูญญากาศและทำให้น้ำไหลลู่ติดกับผนังฝายด้านท้ายน้ำ การวัดก็จะผิดพลาด อัตราการไหลผ่านฝายประเภทนี้คำนวณโดยสูตร

$$Q = 0.01838\ LH^{3/2} \qquad \text{.....(5.1)}$$

ในเมื่อ Q = อัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที

L = ความยาวของสันฝาย เป็นเซนติเมตร

H = เฮดหรือความลึกของน้ำเหนือสันฝาย เป็นเซนติเมตร

ในกรณีที่ความเร็วของกระแสน้ำในทางน้ำมากกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที ความเร็วดังกล่าวจะช่วยให้น้ำไหลข้ามฝายเร็วขึ้น ดังนั้นต้องนำเอาเฮดความเร็ว (Velocity head) ของน้ำมาพิจารณาด้วย เฮดความเร็วนี้คำนวณโดยสูตร

$$h = \frac{V^2}{2g} \qquad \text{.....(5.2)}$$

โดย h = เฮดความเร็วมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

V = ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำหน้าฝาย เป็นเซนติเมตร/วินาที

g = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

= 981 เซนติเมตร/(วินาที)^2

จากนั้นอัตราการไหลผ่านฝายก็จะคำนวณได้โดยสูตร

$$Q = 0.01838L\ [(H + h)^{3/2} - h^{3/2}] \qquad \text{.....(5.3)}$$

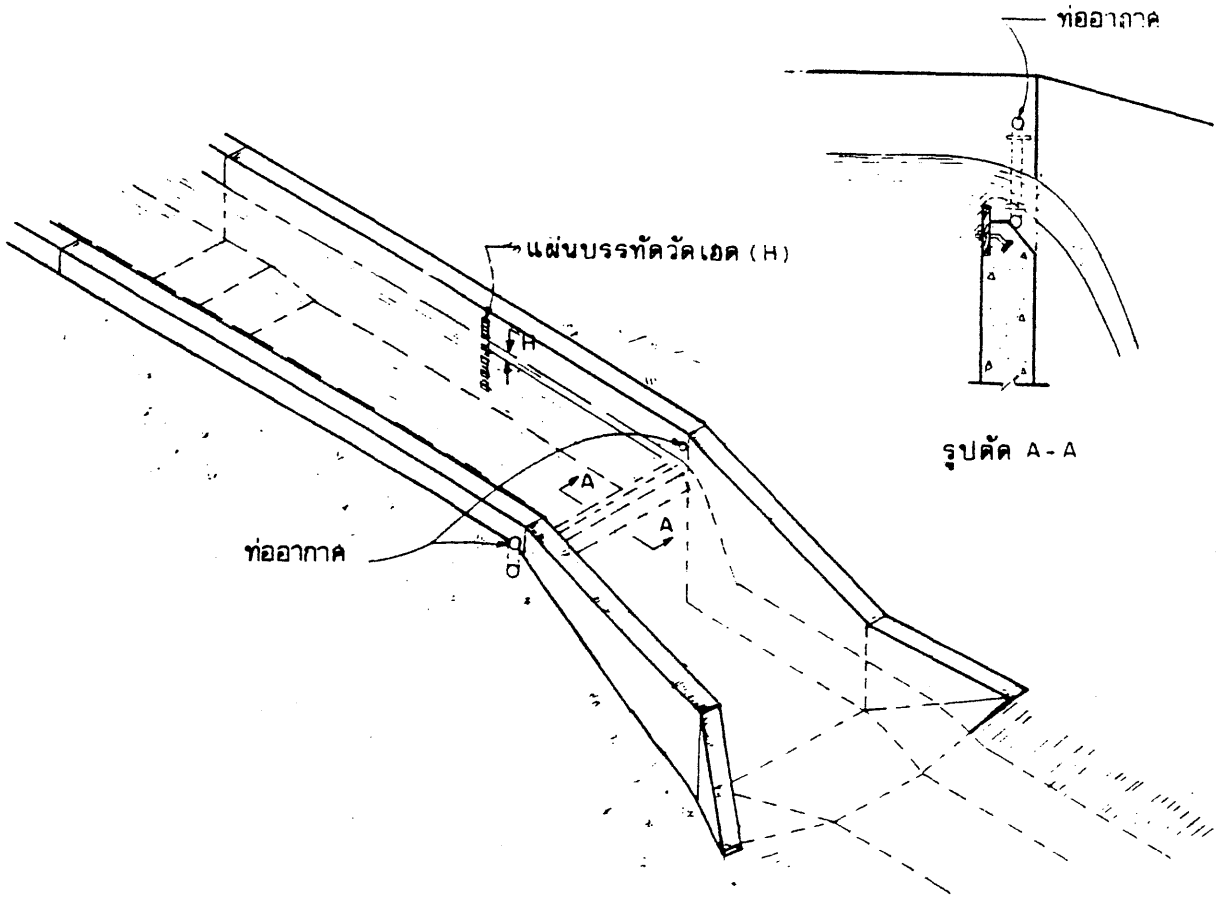
การใช้สูตรที่ (5.1) และ (5.3) มีข้อจำกัดดังนี้คือ

1. สันฝายจะต้องอยู่สูงกว่าพื้นท้องน้ำไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร

2. อัตราส่วนระหว่างเฮด (H) ต่อความสูงของสันฝายเหนือพื้นท้องน้ำจะต้องไม่เกิน 0.5

3. ฝายวัดน้ำชนิดนี้วัดได้ถูกต้องดีสำหรับเฮดไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร และไม่เกิน 1/2 ของความยาวของสันฝาย หรือ 60 เซนติเมตร

4. ความยาวของสันฝายควรกำหนดโดยให้เกิดเฮดใกล้เคียงกับค่าเฮดสูงสุดที่ยอมให้สำหรับอัตราการไหลที่ต้องการวัด อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าชนิดไม่บีบข้างเมื่อความยาวของสันฝายเท่ากับ 1.0 เมตร และไม่คิดเฮดความเร็ว (Velocity Head) อาจดูได้จากตารางที่ 5-1



รูปที่ 5-3 ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง (Suppressed Rectangular Weir)

ตารางที่ 5-1 อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง (**Suppressed Rectangular Weir**)
เมื่อความยาวของสันฝายเท่ากับ 1.0 เมตร คำนวณโดยสูตร

$$Q = 0.01838\ LH^{3/2}$$

เฮด (H) ซม.	Q ลิตร/วินาที	เฮด (H) ซม.	Q ลิตร/วินาที	เฮด (H) ซม.	Q ลิตร/วินาที
1.0	1.84	15.0	107	29.0	288
1.5	3.38	15.5	112	29.5	295
2.0	5.20	16.0	118	30.0	302
2.5	7.27	16.5	123	30.5	310
3.0	9.56	17.0	129	31.0	318
3.5	12.0	17.5	135	31.5	325
4.0	14.7	18.0	141	32.0	333
4.5	17.6	18.5	146	32.5	341
5.0	20.6	19.0	152	33.0	349
5.5	23.7	19.5	158	33.5	357
6.0	27.0	20.0	165	34.0	365
6.5	30.5	20.5	171	34.5	373
7.0	34.1	21.0	177	35.0	381
7.5	37.8	21.5	183	35.5	389
8.0	41.6	22.0	190	36.0	397
8.5	45.6	22.5	196	36.5	406
9.0	49.7	23.0	203	37.0	414
9.5	53.9	23.5	210	37.5	422
10.0	58.2	24.0	216	38.0	431
10.5	62.6	24.5	223	38.5	440
11.0	67.1	25.0	230	39.0	448
11.5	71.8	25.5	237	39.5	457
12.0	76.5	26.0	244	40.0	466
12.5	81.3	26.5	251	40.5	475
13.0	86.2	27.0	258	41.0	483
13.5	91.3	27.5	265	41.5	492
14.0	96.4	28.0	273	42.0	501
14.5	102	28.5	280	42.5	510

ตัวอย่างที่ 5.1

จงคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง ซึ่งมีความยาวของสันฝาย 1.0 เมตร เฮด 35 เซนติเมตร

วิธีทำ

จากสูตร $Q = 0.01838\ LH^{3/2}$

$L = 100$ เซนติเมตร $\quad H = 35$ เซนติเมตร

ดังนั้น $Q = 0.01838 \times 100 \times (35)^{3/2}$

$= 380.6$ ลิตร/วินาที

ตัวอย่างที่ 5.2

สมมุติว่าความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายในตัวอย่างที่ 5.1 เท่ากับ 50 เซนติเมตรต่อวินาที อัตราการไหลที่คำนวณได้จะน้อยกว่าที่ควรจะเป็นเท่าไร

วิธีทำ

เมื่อคิดเฮดความเร็ว $h = \frac{V^2}{2g}$

$= \frac{(50)^2}{2 \times 981}$

$= 1.27$ เซนติเมตร

จากสูตรการไหลผ่านฝายเมื่อคิดเฮดความเร็ว

$Q = 0.01838\ L\ [(H + h)^{3/2} - h^{3/2}]$

$= 0.01838 \times 100\ [(35 + 1.27)^{3/2} - (1.27)^{3/2}]$

$= 1.838\ (218.43 - 1.43)$

$= 398.8$ ลิตร/วินาที

ดังนั้น ถ้าไม่คิดเฮดความเร็ว การวัดจะผิดพลาดไป

$= 398.8 - 380.6 = 18.2$ ลิตร/วินาที

หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

$= \frac{18.2 \times 100}{398.8} = 4.56\%$

ตัวอย่างที่ 5.3

จากตารางที่ 5-1 ซึ่งใช้สำหรับความยาวของสันฝาย 1.0 เมตร จงคำนวณอัตรการไหลผ่านฝายเมื่อความยาวของสันฝายเท่ากับ (ก) 0.75 เมตร และ (ข) 1.20 เมตร ถ้าเฮดของทั้งสองกรณีเท่ากับ 30 เซนติเมตร

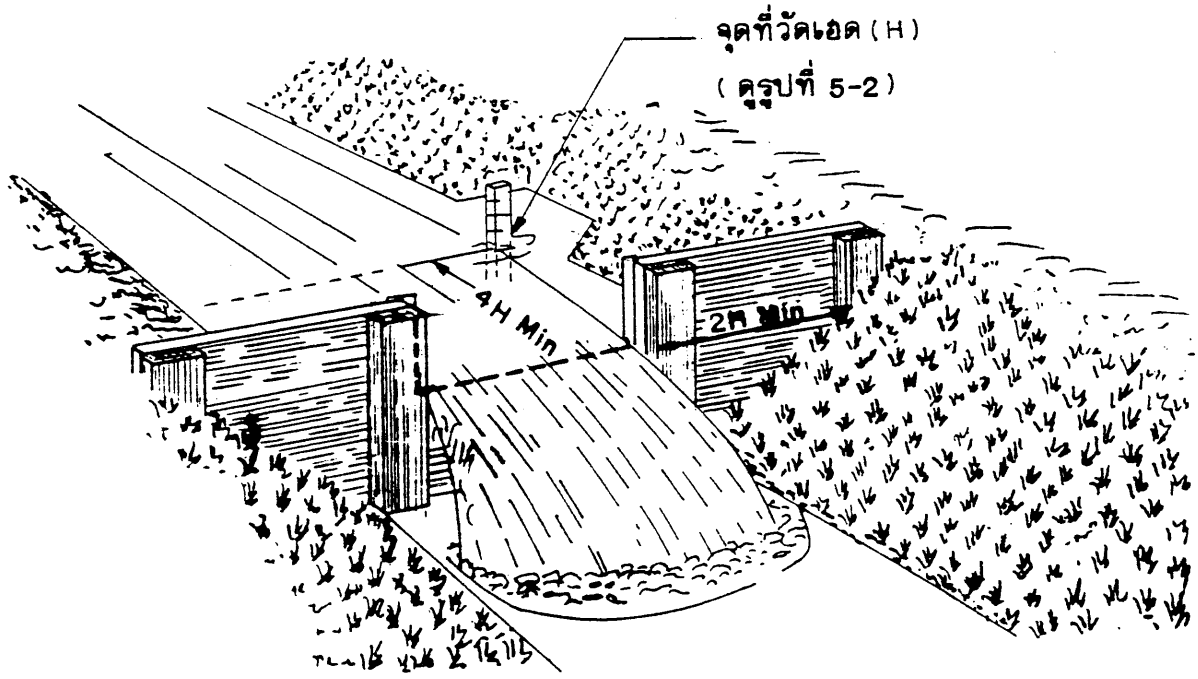
วิธีทำ

จากตารางที่ 5-1 เมื่อเฮดเท่ากับ 30 เซนติเมตร อัตราการไหลผ่านฝายเท่ากับ 302 ลิตร/วินาที/ความยาวของสันฝาย 1 เมตร

(ก) เมื่อความยาวของสันฝายเท่ากับ 0.75 เมตร Q = 0.75 x 302 = 226.5 ลิตร/วินาที

(ข) เมื่อความยาวของสันฝายเท่ากับ 1.20 เมตร Q = 1.20 x 302 = 362.4 ลิตร/วินาที

ข. ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบีบข้าง (Contracted Rectangular Weir) เป็นฝายซึ่งมีช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเช่นเดียวกันกับแบบแรก แต่ไม่เต็มความกว้างของทางน้ำ กล่าวคือมีกำแพงยื่นออกมาทั้งสองข้างทำให้ทางน้ำไหลผ่านแคบเข้า กำแพงแต่ละข้างที่ยื่นออกมาเมื่อวัดที่ผิวน้ำเป็นความยาวไม่น้อยกว่าสองเท่าของเฮด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5-4



รูปที่ 5-4 ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบีบข้าง (Contracted Rectangular Weir)

อัตราการไหลผ่านฝายชนิดนี้เมื่อไม่คิดเฮดความเร็ว (Velocity Head) เมื่อความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำหน้าฝายน้อยกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที คือ

$$Q = 0.01838\ (L - 0.2H)\ H^{3/2} \qquad \text{.....(5.4)}$$

และอัตราการไหลผ่านฝายเมื่อความเร็วของกระแสน้ำมากกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที คือ

$$Q = 0.01838 \cdot (L - 0.2H)[H + h)^{3/2} - h^{3/2}] \qquad \text{.....(5.5)}$$

สัญญลักขณ์และข้อจำกัดในการใช้สูตรทั้งสองนี้ยังคงเหมือนกับฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้างของหัวข้อที่แล้ว ข้อที่ควรสังเกตคือ เมื่อแทนค่าความยาวของสันฝาย L ในสมการที่ (5.1) และ (5.3) ด้วย (L - 0.2H) ก็จะเปลี่ยนสูตรสำหรับการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง (Suppressed Rectangular Weir) มาเป็นแบบบีบข้าง (Contracted Rectangular Weir) ดังนั้น เราอาจจะใช้ตารางที่ 5-1 ซึ่งเป็นอัตราการไหลผ่านฝายแบบไม่บีบข้างที่มีความยาวของสันฝายเท่ากับ 1.0 เมตร มาคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายแบบบีบข้างได้โดยคูณค่าที่อ่านได้จากตารางเมื่อเฮดเท่ากันด้วยค่า (L - 0.2H) ที่มีหน่วยเป็นเมตร ก็จะได้อัตราการไหลผ่านฝายบีบข้าง

ตัวอย่างที่ 5.4

จงคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบีบข้าง สมมุติว่าความยาวของสันฝายเท่ากับ 1.50 เมตร และเฮดเท่ากับ 35 เซนติเมตร

วิธีทำ

จากสูตร

$$Q = 0.01838 (L - 0.2H) H^{3/2}$$

L = ความยาวของสันฝาย = 150 เซนติเมตร

H = เฮด = 35 เซนติเมตร

ดังนั้น $Q = 0.01838 (150 - 0.2 \times 35) (35)^{3/2}$

$= 0.01838 \times 143 \times 207.1$

$= 544.2$ ลิตร/วินาที

ตัวอย่างที่ 5.5

จงคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายในข้อ 5.4 โดยใช้ตารางที่ 5-1

วิธีทำ

เมื่อความยาวของฝายเท่ากับ 1.0 เมตร เฮดเท่ากับ 35 เซนติเมตร อัตราการไหลจากตารางที่ 5-1 เท่ากับ 381 ลิตร/วินาที

คำนวณค่า $(L - 0.2H) = 150 - 0.2 \times 35$

$= 143$ เซนติเมตร

$= 1.43$ เมตร

ดังนั้น อัตราการไหลเมื่อเป็นฝายแบบบีบข้าง

$= 381 \times 1.43$

$= 544.8$ ลิตร

ความแตกต่างของผลลัพธ์ในตัวอย่างที่ 5.4 กับ 5.5 นั้น เนื่องมาจากการปัดเศษของตารางที่ 5-1

ตัวอย่างที่ 5.6

จงคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบีบข้าง สมมุติว่าความยาวของสันฝายเท่ากับ 1.20 เมตร เฮดเท่ากับ 42 เซนติเมตร และความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายเท่ากับ 0.55 เมตร/วินาที

วิธีทำ

เฮดความเร็ว $h = \frac{V^2}{2g}$

$= \frac{(55)^2}{2 \times 981} = 1.54$ เซนติเมตร

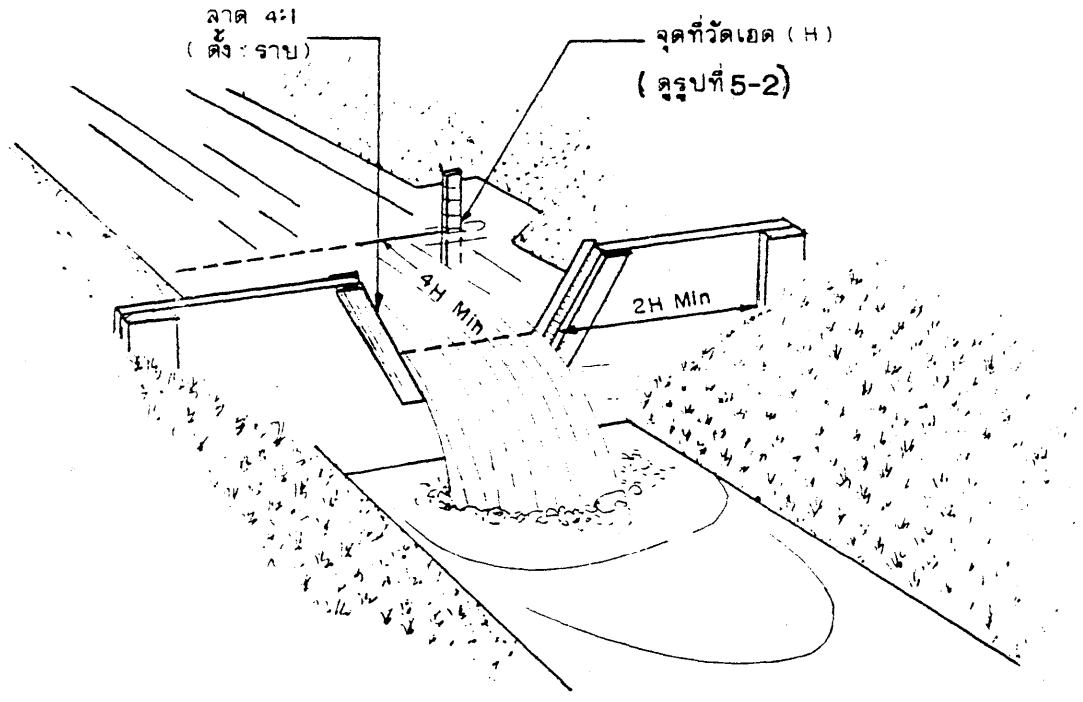
จากสูตร $Q = 0.01838 (L - 0.2H)[(H + h)^{3/2} - h^{3/2}]$

$= 0.01838 (120 - 0.2 \times 42)[(42 + 1.54)^{3/2} - (1.54)^{3/2}]$

$= 0.01838 \times 111.6 \times (287.3 - 1.9)$

$= 585.4$ ลิตร/วินาที

ค. ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Cipolletti หรือ Trapezoidal Weir) เป็นฝายประเภทบีบข้าง (Contracted) ที่ช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สันฝายด้านล่างอยู่ในแนวระดับราบ สันฝายด้านข้างเอียงออกโดยมีความลาดเทด้านราบ 1 ส่วน ด้านตั้ง 4 ส่วน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5-5



รูปที่ 5-5 ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Cipolletti or Trapezoidal Weir)

ตารางที่ 5-2 อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Weir) ที่มีความยาวของสันฝายขนาดต่าง ๆ เมื่อคำนวณโดยสมการ

$$Q = 0.01859\ LH^{3/2}$$

เฮด	ความยาวของสันฝาย (L) - เมตร									
(H)	0.25	0.50	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
ซม.	อัตราการไหล (Q) - ลิตร/วินาที									
1	0.5	0.9	1.4	1.9	2.8	3.7	5.6	7.4	9.3	11.2
2	1.3	2.6	3.9	5.3	7.9	10.1	15.8	21.0	26.3	31.6
3	2.4	4.8	7.2	9.7	14.5	19.3	29.0	38.7	48.3	58.0
4	3.7	7.4	11.2	14.9	22.3	29.8	44.6	59.5	74.4	89.3
5	5.2	10.4	15.6	20.8	31.2	41.6	62.4	83.2	104	125
6	6.8	13.7	20.5	27.3	41.0	54.7	82.0	109	137	164
7	8.6	17.2	25.8	34.4	51.7	68.9	103	138	172	207
8	10.5	21.0	31.6	42.1	63.1	84.2	126	168	210	252
9	12.6	25.1	37.7	50.2	75.3	100	151	201	251	301
10	14.7	29.4	44.1	58.8	88.2	118	176	235	294	353
11	17.0	33.9	50.9	67.8	102	136	204	271	339	407
12	19.3	38.7	58.0	77.3	116	155	232	309	387	464
13	21.8	43.6	65.4	87.2	131	174	262	349	436	523
14	24.4	48.7	73.1	97.4	146	195	292	390	487	585
15	27.0	54.1	81.1	108	162	216	324	432	540	649
16	29.8	59.5	89.2	119	178	238	357	476	595	714
17	32.6	65.2	97.8	130	196	261	391	522	652	782
18	35.5	71.0	107	142	213	284	426	568	710	852
19	38.5	77.0	116	154	231	308	462	616	770	924
20	41.6	83.2	125	166	250	333	499	666	832	998
21	44.8	89.5	134	179	268	358	537	716	895	1074
22	48.0	96.0	144	192	288	384	576	768	960	1152
23	51.3	103	154	205	308	410	616	821	1026	1231
24	54.7	109	164	219	328	437	656	875	1094	1312
25	58.1	116	174	232	349	465	698	930	1162	1395
26	61.6	123	185	247	370	493	740	986	1233	1480
27	65.2	131	196	261	392	522	783	1044	1305	1566
28	68.9	138	207	276	414	551	827	1103	1378	1654
29	72.6	145	218	291	436	581	872	1162	1452	1743
30	76.4	153	229	306	458	611	917	1222	1528	1834

อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมูเมื่อไม่คิดเฮดความเร็ว (Velocity Head) ซึ่งใช้เมื่อความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายน้อยกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที คือ

$$Q = 0.01859\ LH^{3/2} \qquad \text{.....(5.6)}$$

และเมื่อความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายมากกว่า 0.30 เมตร/วินาที ควรใช้สูตร

$$Q = 0.01859\ L(H + 1.5h)^{3/2} \qquad \text{.....(5.7)}$$

สัญญลักขณ์ที่ใช้ในสมการที่ (5.6) และ (5.7) ยังคงเหมือนเดิมคือ Q เป็นอัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที L เป็นความยาวของสันฝายเป็นเซนติเมตร, H เป็นเฮดหรือความลึกของน้ำเหนือสันฝายเป็นเซนติเมตร, h เป็นเฮดความเร็วเป็นเซนติเมตร

อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมูสำหรับความยาวของสันฝายขนาดต่าง ๆ เมื่อคำนวณโดยไม่คิดเฮดความเร็วแสดงไว้ในตารางที่ 5-2

ข้อจำกัดในการใช้ฝายสี่เหลี่ยมคางหมูนี้ก็เหมือนกับแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าสองแบบที่กล่าวข้างต้น กล่าวคือ

1. สันฝายด้านล่างและด้านข้างจะต้องอยู่สูงกว่าพื้นท้องน้ำและตลิ่งไม่น้อยกว่าสองเท่าของเฮด
2. ฝายชนิดนี้ให้ความละเอียดถูกต้องในการวัดดีเมื่อเฮดไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตร และไม่เกิน 1/2 ของความยาวของสันฝาย

ตัวอย่างที่ 5.7

จงคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมู ถ้าสันฝายยาว 1.20 เมตร เฮดเท่ากับ 28 เซนติเมตร ไม่คิดเฮดความเร็ว

ถ้าลดความยาวของสันฝายเหลือ 1.0 เมตร อัตราการไหลจะเหลือเท่าไร

วิธีทำ

เมื่อไม่คิดเฮดความเร็ว

$$Q = 0.01859\ LH^{3/2}$$

L = 120 เซนติเมตร H = 28 เซนติเมตร

$$Q = 0.01859 \times 120\ (28)^{3/2}$$

$$= 330.5 \text{ ลิตร/วินาที}$$

เนื่องจากอัตราการไหลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของสันฝาย ดังนั้นอัตราการไหลเมื่อความยาวของสันฝายลดลงเหลือ 1.0 เมตร จะคำนวณได้โดย

$$Q = 330.5 \times \frac{1.00}{1.20}$$

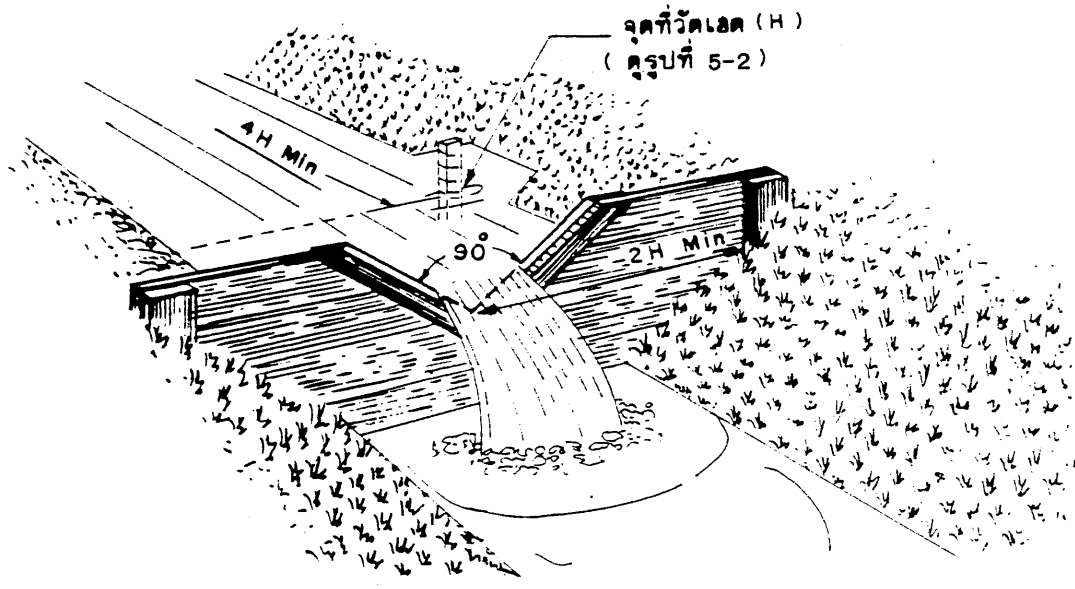
$$= 275.4 \text{ ลิตร/วินาที}$$

ง. ฝายสามเหลี่ยม (Triangular or V-notch Weir) เป็นฝายประเภทบีบข้าง (Contracted) ที่ช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยสันฝายทั้งสองข้างทำมุม 45 องศากับแนวดิ่ง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5-6

อัตราการไหลผ่านฝายสามเหลี่ยมคำนวณได้โดยสมการ

$$Q = 0.0138\ H^{5/2} \qquad \text{.....(5.8)}$$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที และ H เป็นเฮดหรือความลึกของน้ำเหนือยอดสามเหลี่ยมของสันฝายเป็นเซนติเมตร อัตราการไหลสำหรับเฮดขนาดต่าง ๆ อาจจะดูได้จากตารางที่ 5-3



รูปที่ 5-6 ฝายสามเหลี่ยม (Triangular or V-Notch Weir)

ฝายสามเหลี่ยมเป็นฝายวัดอัตราการไหลของน้ำที่ให้ความละเอียดถูกต้องดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอัตราการไหลน้อย ๆ ฝายชนิดนี้เป็นฝายประเภทบีบข้าง ดังนั้นสันฝายจะต้องอยู่ห่างจากตลิ่ง และจุดปลายยอดของสามเหลี่ยมจะต้องอยู่สูงกว่าพื้นท้องน้ำไม่น้อยกว่าสองเท่าของเฮด

เนื่องจากว่าฝายสามเหลี่ยมนี้ไม่มีสันฝายในแนวราบ เฮดจึงต้องมากกว่าฝายแบบอื่นเมื่ออัตราการไหลเท่า ๆ กัน การมีเฮดมากนี้จะช่วยให้น้ำไหลผ่านสันฝายอย่างอิสระ ไม่ลู่ติดกับสันฝาย ทำให้วัดอัตราการไหลน้อย ๆ ได้ถูกต้องกว่าแบบอื่น

ตัวอย่างที่ 5.8

จงคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสามเหลี่ยม สมมุติว่าเฮดที่วัดได้เท่ากับ 17.5 เซนติเมตร

วิธีทำ

จากสมการ $Q = 0.0138\ H^{5/2}$

$H = 17.5$ เซนติเมตร

$Q = 0.0138\ (17.5)^{5/2}$

$= 17.7$ ลิตร/วินาที

ตารางที่ 5-3 อัตราการไหลผ่านฝายสามเหลี่ยม (V-notch Weir) ซึ่งคำนวณโดยสมการ $Q = 0.0138\ H^{5/2}$

เฮด (H) ซม.	Q ลิตร/วินาที	เฮด (H) ซม.	Q ลิตร/วินาที	เฮด (H) ซม.	Q ลิตร/วินาที
1.0	0.014	15.5	13.1	30.0	68.0
1.5	0.038	16.0	14.1	30.5	70.9
2.0	0.078	16.5	15.3	31.0	73.8
2.5	0.136	17.0	16.4	31.5	76.9
3.0	0.215	17.5	17.7	32.0	79.9
3.5	0.316	18.0	18.9	32.5	83.1
4.0	0.441	18.5	20.3	33.0	86.4
4.5	0.592	19.0	21.7	33.5	89.7
5.0	0.731	19.5	23.2	34.0	93.0
5.5	0.977	20.0	24.7	34.5	96.5
6.0	1.21	20.5	26.2	35.0	100
6.5	1.49	21.0	27.9	35.5	104
7.0	1.79	21.5	29.5	36.0	107
7.5	2.11	22.0	31.3	36.5	111
8.0	2.49	22.5	33.1	37.0	115
8.5	2.90	23.0	35.1	37.5	117
9.0	3.34	23.5	37.0	38.0	123
9.5	3.85	24.0	38.9	38.5	127
10.0	4.36	24.5	41.0	39.0	131
10.5	4.92	25.0	43.1	39.5	135
11.0	5.54	25.5	45.3	40.0	140
11.5	6.20	26.0	47.6	40.5	144
12.0	6.91	26.5	49.9	41.0	148
12.5	7.65	27.0	52.3	41.5	153
13.0	8.41	27.5	54.8	42.0	158
13.5	9.27	28.0	57.3	42.5	163
14.0	10.2	28.5	59.9	43.0	167
14.5	11.0	29.0	62.5	43.5	172
15.0	12.0	29.5	65.3	44.0	177

5.2.3 ข้อดีและข้อเสียของฝายวัดน้ำ

ก. ข้อดี

1. สามารถวัดอัตราการไหลได้ละเอียดถูกต้องดีมีหลายแบบที่สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานได้ นอกจากนั้น บางแบบยังสามารถขยายความยาวของสันฝายให้พอเหมาะกับอัตราการไหลได้

2. ออกแบบ สร้าง ติดตั้ง และใช้งานง่าย อาจสร้างให้เป็นอาคารวัดน้ำแบบถาวร หรือเป็นแบบเคลื่อนย้ายได้ ได้ทั้งสองอย่าง

3. เศษวัสดุที่ลอยมากับน้ำไหลผ่านไปได้ ไม่ทำให้เกิดการกีดขวางการไหลของน้ำ

4. มีความคงทนแข็งแรงพอสมควร ไม่มีชิ้นส่วนที่ต้องดูแลรักษาเป็นพิเศษ

ข. ข้อเสีย ฝายวัดน้ำมีจุดอ่อนดังต่อไปนี้ คือ

1. ต้องให้น้ำไหลผ่านและตกลงมาอย่างอิสระ (Free Flow) ดังนั้นจะต้องการเฮดมากจนบางครั้งไม่อาจใช้ในพื้นที่หรือระบบส่งน้ำที่ระบายมากๆ

2. อาจจะมีกรวด ทราย หรือเศษวัสดุถูกพัดพามาตกจมหน้าฝาย ทำให้ระดับพื้นท้องน้ำสูงขึ้นจนทำให้สันฝายอยู่สูงกว่าท้องน้ำน้อยกว่าสองเท่าของเฮด ค่าที่วัดได้ก็จะน้อยกว่าที่ไหลผ่านจริง

3. ต้องมีการป้องกันการกัดเซาะพื้นท้องน้ำและตลิ่งท้ายฝายด้วย

4. อาจมีน้ำไหลลอดใต้ฝายได้

5.3 หลักการเบื้องต้นของรางวัดน้ำ

รางวัดน้ำเป็นอาคารวัดน้ำที่สร้างขึ้นหรือติดตั้งไว้ในทางน้ำโดยแนวศูนย์กลางตามยาวของรางกับของทางน้ำทับกัน แต่ขนาดของรางน้ำจะถูกบีบให้แคบกว่าด้วยผนังของรางทั้งสองข้าง หรือด้วยการยกพื้นรางให้สูงขึ้นหรือทั้งสองอย่าง เพื่อให้อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลึกของน้ำในรางนั้น

ทฤษฎีทางชลศาสตร์ที่ใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบรางวัดน้ำก็คือ ทำให้ความเร็วของกระแสน้ำขณะไหลเข้ามาในรางเพิ่มขึ้นโดยการบีบทางน้ำให้แคบเข้า จนกระทั่งได้ความเร็ววิกฤติ (Critical Velocity) หรือเร็วกว่าที่บริเวณส่วนที่แคบที่สุด แล้วผายออกจนกระทั่งการไหลเป็นไปอย่างปกติอีกครั้ง ตามหลักการข้างต้นอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำจะคำนวณได้โดยสมการ

$$Q = KH^n \qquad \text{.....(5.9)}$$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำ, K เป็นสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของรางและจุดที่ทำการวัดเฮดหรือความลึกของน้ำในราง H เป็นเฮด หรือความลึกของน้ำเหนือพื้นรางวัดน้ำ ถ้าพื้นรางมีหลายระดับก็วัดจากพื้นที่อยู่สูงที่สุด และ n เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของรางเช่นเดียวกันกับค่า K, ค่า n และ K ของรางวัดน้ำชนิดต่างๆ จะได้จากการทดลองวัดจริงตามสภาพการติดตั้งที่กำหนด

5.3.1 รางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Parshall Flume)

รางวัดน้ำแบบพาร์แชล เป็นรางวัดน้ำที่ออกแบบโดย Mr. Ralph L. Parshall เพื่อใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด รูปร่างลักษณะของรางวัดน้ำแบบพาร์แชลซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 5-7 ประกอบด้วยส่วนสำคัญสามส่วนด้วยกันคือ

1. ทางผายเข้า (Converging Section) เป็นทางเข้าที่ผนังของรางซึ่งอยู่ในแนวดิ่งเริ่มบีบตัวจากกำแพงปีกซึ่งกางเต็มความกว้างของทางน้ำให้แคบเข้า พื้นของรางส่วนนี้อยู่ในแนวราบแต่อยู่สูงกว่าพื้นของส่วนอื่น

2. ส่วนคอ (Throat Section) เป็นส่วนที่แคบที่สุดซึ่งผนังของรางบีบเข้ามาเป็นแนวขนานกัน ความกว้างของส่วนคอนี้จะเท่ากันตลอด แต่พื้นรางจะลาดลงต่ำกว่าพื้นของทางผายเข้า ความกว้างของส่วนคอเป็นค่าที่ใช้บอกขนาดของรางวัดน้ำแบบนี้

3. ทางผายออก (Diverging Section) เป็นส่วนที่ผายออกจากส่วนคอออกไปพบกำแพงปีกด้านท้ายน้ำซึ่งจะผายออกไปเท่ากับความกว้างของทางน้ำตามเดิม ระดับพื้นของส่วนนี้จะลาดจากส่วนคอขึ้นไปหาระดับพื้นท้องน้ำ แต่ปลายของส่วนนี้ยังคงอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นของทางผายเข้า

รางวัดน้ำแบบพาร์แชลที่ได้ออกแบบไว้ทั้งหมดมีขนาดตั้งแต่ 1 นิ้วจนถึง 50 ฟุต รวม 22 ขนาด สัดส่วนมาตรฐานของรางวัดน้ำขนาดต่าง ๆ และช่วงอัตราการไหลเมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) แสดงไว้ในตารางที่ 5-4

เนื่องจากว่ามิติต่าง ๆ ของรางวัดน้ำแบบพาร์แชลทั้ง 22 ขนาดนั้นไม่เป็นสัดส่วนทางชลศาสตร์ (Hydraulic Scale) ซึ่งกันและกัน ดังนั้น มิติต่าง ๆ ที่ให้ไว้จึงไม่อาจเปลี่ยนให้เป็นระบบเมตริกที่เป็นเลขลงตัวได้ เพราะค่าสัมประสิทธิ์ในสูตรของแต่ละขนาดทั้ง 22 สูตรเป็นค่าเฉพาะของรางขนาดนั้น ๆ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงขนาดก็จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์เปลี่ยนไปด้วย เช่น สำหรับรางวัดน้ำขนาด 1, 2 และ 3 นิ้ว ได้กำหนดไว้ว่าความกว้างของส่วนคอจะผิดได้ไม่เกิน 1/64 นิ้ว หรือ 0.4 มิลลิเมตรเท่านั้น ดังนั้นรางวัดน้ำขนาด 3 นิ้วไม่สามารถเทียบมาเป็นขนาด 7.5 เซนติเมตร เพราะค่าความผิดพลาดจะมากเกินกว่าที่ยอมให้

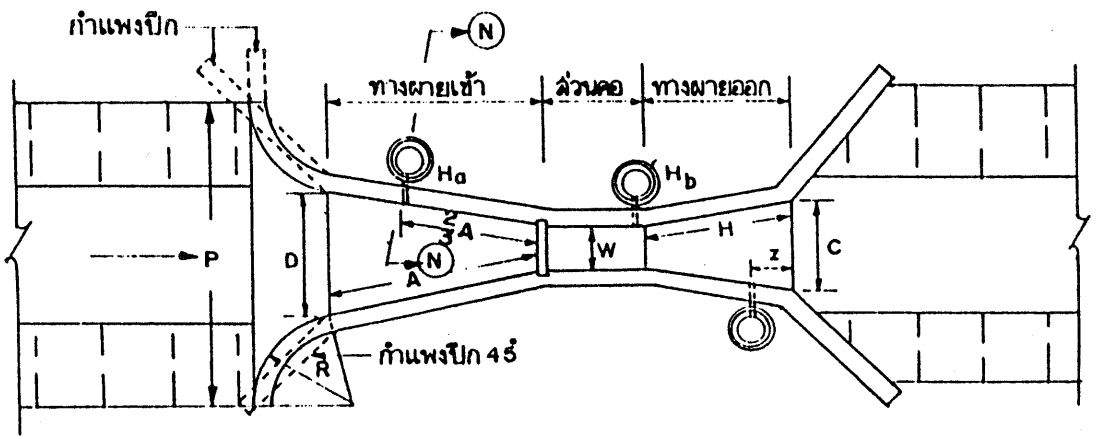
5.3.2 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

การไหลของน้ำผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลมีสองลักษณะคือ เป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow) และการไหลใต้ผิวน้ำ (Submerged Flow) ลักษณะของผิวน้ำในการไหลทั้งสองแบบนี้แสดงไว้ในรูปด้านข้างของรูปที่ 5-7 กล่าวคือเส้นระดับผิวน้ำเส้นบนในส่วนผายออกของรางเป็นลักษณะของการไหลใต้ผิวน้ำ และเส้นระดับผิวน้ำเส้นล่างเป็นการไหลแบบอิสระ

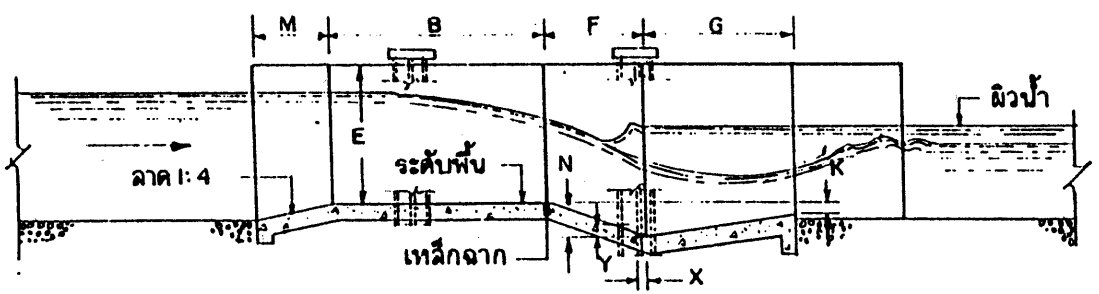
อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลขึ้นอยู่กับเฮดหรือความลึกของน้ำในราง ความลึกดังกล่าวนี้จะวัดในบ่อน้ำนิ่ง (Stilling Well) ซึ่งต่อกับทางผายเข้าและส่วนคอ เฮดที่วัดได้ที่จุดทั้งสองนี้ใช้แทนด้วยสัญลักษณ์ H_a และ H_b ตามลำดับ

ก. เมื่อเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow) จากการทดลองพบว่า เมื่อเป็นการไหลแบบอิสระ อัตราการไหลผ่านจะขึ้นอยู่กับขนาดหรือความกว้างของส่วนคอ และ H_a เท่านั้น ไม่ขึ้นอยู่กับ H_b

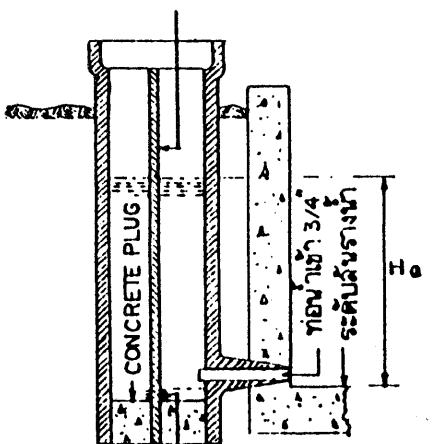
การไหลของน้ำผ่านรางจะเป็นแบบอิสระ (Free Flow) เมื่ออัตราส่วน H_b/H_a ไม่เกินค่าที่กำหนดดังต่อไปนี้



รูปแปลน



รูปด้านข้าง



รูปตัด N-N

รูปที่ 5-7 รางวัดน้ำแบบพาร์แชล (PARSHALL FLUME) ขัดล่วนมาตรฐานที่ให้ไว้ดูได้จากตารางที่ 5-4

ตารางที่ 5-4 ขัดส่วนมาตรฐานของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (PARSHALL FLUMES) และช่วงอัตราการไหลผ่านเมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ

W		A		$\frac{2}{3}$A		B		C		D		E		F		G		H		K		M		N		P		R		X		Y		Z		ไหลแบบอิสระ ลิตร/วินาที	
ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ฟุต	นิ้ว	ต่ำสุด	สูงสุด
0	1	1	$2\frac{9}{32}$	0	$9\frac{17}{32}$	1	2	0	$3\frac{21}{32}$	0	$6\frac{19}{32}$	0	6-9	0	3	0	8	0	$8\frac{1}{8}$	0	$\frac{3}{4}$	–	–	0	$1\frac{1}{8}$		–	–		0	$\frac{5}{16}$	0	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{8}$		
	2	1	$4\frac{5}{16}$		$10\frac{7}{8}$	1	4		$5\frac{5}{16}$		$8\frac{13}{32}$		6-10		$4\frac{1}{2}$		10		$10\frac{1}{8}$		$\frac{7}{8}$		–		$1\frac{11}{16}$		–	–			$\frac{3}{8}$		1		$\frac{1}{4}$	0.09	5.4
	3	1	$6\frac{3}{8}$	1	$\frac{1}{4}$	1	6		7		$10\frac{3}{16}$	$1-\frac{1}{2}$			6	1	0	1	$\frac{5}{32}$		1	–			$2\frac{1}{4}$		–	–			1		$1\frac{1}{2}$		$\frac{1}{2}$	0.18	13.2
																																				0.77	32.1
0	6	2	$\frac{7}{16}$	1	$4\frac{5}{16}$	2	0	1	$3\frac{1}{2}$	1	$3\frac{5}{8}$	2	0	1	0	2	0	–		0	3	1	0	0	$4\frac{1}{2}$	2	$11\frac{1}{2}$	1	4	0	2	0	3	–		1.50	111
	9	2	$10\frac{3}{8}$	1	$11\frac{1}{8}$	2	10	1	3	1	$10\frac{3}{8}$	2	6	1	0	1	6	–			3	1	0		$4\frac{1}{2}$	3	$6\frac{1}{2}$	1	4		2		3	–		2.50	251
1	0	4	6	3	0	4	$4\frac{7}{8}$	2	0	2	$9\frac{1}{4}$	3	0	2	0	3	0	–			3	1	3		9	4	$10\frac{3}{4}$	1	8		2		3	–		3.32	457
1	6	4	9	3	2	4	$7\frac{7}{8}$	2	8	3	$4\frac{3}{8}$	3	0	2	0	3	0	–			3	1	3		9	5	6	1	8		2		3	–		4.80	695
2	0	5	0	3	4	4	$10\frac{7}{8}$	3	0	3	$11\frac{1}{2}$	3	0	2	0	3	0	–			3	1	3		9	6	1	1	8		2		3	–		12.1	937
3	0	5	6	3	8	5	$4\frac{3}{4}$	4	0	5	$1\frac{7}{8}$	3	0	2	0	3	0	–			3	1	3		9	7	$3\frac{1}{2}$	1	8		2		3	–		17.6	1427
4	0	6	0	4	0	5	$10\frac{5}{8}$	5	0	6	$4\frac{1}{4}$	3	0	2	0	3	0	–			3	1	6		9	8	$10\frac{3}{4}$	2	0		2		3	–		35.8	1923
5	0	6	6	4	4	6	$4\frac{1}{2}$	6	0	7	$6\frac{5}{8}$	3	0	2	0	3	0	–			3	1	6		9	10	$1\frac{3}{4}$	2	0		2		3	–		44.1	2424
6	0	7	0	4	8	6	$10\frac{3}{8}$	7	0	8	9	3	0	2	0	3	0	–			3	1	6		9	11	$3\frac{1}{2}$	2	0		2		3	–		74.1	2929
7	0	7	6	5	0	7	$4\frac{1}{4}$	8	0	9	$11\frac{3}{4}$	3	0	2	0	3	0	–			3	1	6		9	12	6	2	0		2		3	–		85.8	3438
8	0	8	0	5	4	7	$10\frac{1}{8}$	9	0	11	$1\frac{5}{8}$	3	0	2	0	3	0	–			3	1	6		9	13	$8\frac{1}{4}$	2	0		2		3	–		97.2	3949
10	0	–		6	0	14	0	12	0	15	$7\frac{1}{2}$	4	0	3	0	6	0	–		0	6	–			$1\frac{1}{2}$	–		–		0	9	1	0	–		0.16	8.28
12	0	–		6	8	16	0	14	8	18	$4\frac{1}{4}$	5	0	3	0	8	0	–			6	–			$1\frac{1}{2}$	–		–			9	1	0	–		0.19	14.68
15	0	–		7	8	25	0	18	4	25	0	6	0	4	0	10	0	–			9	–			6	–		–			9	1	0	–		0.23	25.04
20	0	–		9	4	25	0	24	0	30	0	7	0	6	0	12	0	–		1	0	–			2	3	–				9	1	0	–		0.31	37.97
25	0	–		11	0	25	0	29	4	35	0	7	0	6	0	13	0	–		1	0	–			2	3	–				9	1	0	–		0.38	47.14
30	0	–		12	8	28	0	34	8	40	$4\frac{3}{4}$	7	0	6	0	14	0	–		1	0	–			2	3	–				9	1	0	–		0.46	56.33
40	0	–		16	0	27	0	45	4	50	$9\frac{1}{2}$	7	0	6	0	16	0	–		1	0	–			2	3	–				9	1	0	–		0.60	74.70
50	0	–		19	4	27	0	56	8	60	$9\frac{1}{2}$	7	0	6	0	20	0	–		1	0	–			2	3	–				9	1	0	–		0.75	93.04

หมายเหตุ 1. ความคลาดเคลื่อนในขนาดของคอ (W) ที่ยอมให้ไม่เกิน ±1/64 นิ้ว

2. ความคลาดเคลื่อนในขนาดของส่วนอื่น ไม่เกิน ±1/32 นิ้ว

3. อัตราการไหลเมื่อขนาดโตกว่า 10 ฟุต มีหน่วยเป็น ล.บ.ม./วินาที

ขนาดของรางวัดน้ำ	H_b/H_a
1 ถึง 3 นิ้ว	0.50
6 และ 9 นิ้ว	0.60
1 ถึง 8 ฟุต	0.70
10 ถึง 50 ฟุต	0.80

สูตรสำหรับอัตราการไหล ช่วงการวัดเฮดและอัตราการไหลสำหรับกรณีที่การไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) ของรางวัดน้ำทั้ง 22 ขนาด แสดงไว้ในตารางที่ 5-5 อัตราการไหลสำหรับรางวัดน้ำขนาดไม่เกิน 9 นิ้ว และเป็นการไหลแบบอิสระอาจจะดูได้จากตารางที่ 5-6 ถึง 5-10

สูตรที่ให้ไว้ในตารางที่ 5-5 ทั้ง 22 สูตรอาจเขียนเป็นสมการทั่วๆ ไปได้เป็น

$$Q = KH_a^n \qquad \text{.....(5.9.1)}$$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที Ha เป็นเฮดที่ทางผายเข้ามีหน่วยเป็นเมตร

ตัวอย่างที่ 5.9

ต้องการใช้รางวัดน้ำแบบพาร์แชลวัดอัตราการไหลของน้ำในคลอง สมมุติว่าอัตราการไหลต่ำสุดและสูงสุดอยู่ในช่วง 5 ถึง 300 ลิตรต่อวินาที จงหาขนาดของรางวัดน้ำที่ใช้ได้และสูตรสำหรับคำนวณอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำนั้น ถ้าการไหลเป็นแบบอิสระ

วิธีทำ

จากตารางที่ 5-5 ถ้าอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 300 ลิตรต่อวินาที ขนาดของรางจะต้องไม่เล็กกว่า 1 ฟุต

เมื่อพิจารณาทางด้านอัตราการไหลต่ำสุด รางที่วัดอัตราการไหลต่ำสุดได้ 5 ลิตรต่อวินาที จะต้องไม่โตกว่า 1 ฟุต 6 นิ้ว

ดังนั้น รางวัดน้ำแบบพาร์แชลที่จะใช้ได้คือ ขนาด 1 ฟุต และขนาด 1 ฟุต 6 นิ้ว

ขนาด 1 ฟุต $Q = 0.6909\ H_a^{1.522}$

ขนาด 1.5 ฟุต $Q = 1.056\ H_a^{1.538}$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ H_a เป็นเฮดซึ่งวัดที่ทางผายเข้าเป็นเมตร

ตัวอย่างที่ 5.10

จงหาอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลที่เลือกไว้ในตัวอย่างที่ 5.9 ถ้าเฮดซึ่งวัดที่ทางผายเข้าเท่ากับ 50 เซนติเมตรเท่ากันทั้งสองขนาด และการไหลเป็นแบบอิสระ

H_a = 50 เซนติเมตร = 0.50 เมตร

ถ้าเป็นรางขนาด 1 ฟุต

$$Q = 0.6909\ H_a^{1.522}$$
$$= 0.6909\ (0.5)^{1.522}$$
$$= 0.2406 \text{ ม.}^3\text{/วินาที}$$
$$= 240.6 \text{ ลิตร/วินาที}$$

ถ้าเป็นรางขนาด 1.5 ฟุต

$$Q = 1.056\ H_a^{1.538}$$
$$= 1.056(C.50)^{1.538}$$
$$= 0.3636 \text{ ม.}^3\text{/วินาที}$$
$$= 363.6 \text{ ลิตร/วินาที}$$

ข. เมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ (Submerged Flow) เมื่อความลึกของน้ำทางด้านผายออกของรางวัดน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการไหลผ่านจะลดลงเนื่องจากมีความต้านทานต่อการไหลมากขึ้น ความต้านทานดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วน H_b/H_a มากกว่าค่าสูงสุดที่กำหนดไว้สำหรับการไหลแบบอิสระ เช่น สำหรับรางวัดน้ำขนาด 6 นิ้ว อัตราส่วน H_b/H_a ไม่เกิน 0.60 ถือว่าเป็นการไหลแบบอิสระ ถ้ามากกว่า 0.60 ถือว่าเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ (Submerged Flow) เป็นต้น เมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ อัตราการไหลจะคำนวณโดย

$$Q_s = Q - Q_E \qquad \text{.....(5.10)}$$

ในเมื่อ Q_S เป็นอัตราการไหลผ่านราง เมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ, Q เป็นอัตราการไหลแบบอิสระ ซึ่งคำนวณโดยใช้ค่า H_a และ Q_E เป็นค่าปรับแก้อัตราการไหลอันเนื่องมาจากเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ ค่า Q_E สำหรับรางวัดน้ำขนาดต่าง ๆ อาจจะดูได้จากรูปที่ 5-8 ถึง 5-13 ค่า Q_E ในรูปที่ 5-13 ซึ่งเป็นของรางขนาด 1 ฟุต ใช้กับรางขนาดโตกว่า คือ ตั้งแต่ 1.5 ถึง 8 ฟุต ได้ด้วย โดยคูณค่า Q_E ที่อ่านได้สำหรับรางขนาด 1 ฟุต ด้วยตัวคูณปรับขนาดอีกค่าหนึ่ง ดังนี้ คือ

ขนาดของรางวัดน้ำ - ฟุต	ตัวคูณปรับขนาด
1.0	1.0
1.5	1.4
2	1.8
3	2.4
4	3.1
5	3.7
6	4.3
7	4.9
8	5.4

ค่าเหล่านี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-13 ด้วยแล้ว

ตารางที่ 5-5 สูตรสำหรับคำนวณอัตราการไหล ช่วงอัตราการวัดและช่วงการไหลที่ถือว่าเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow) สำหรับรางวัดน้ำ พาร์แชล

ขนาดของรางวัด W	ช่วงอัตราการไหล ม.^{3}/วินาทีx1000		สูตรสำหรับคำนวณ $Q = KH_a^n$	ช่วงเฮด เมตร		ช่วงการไหลแบบอิสระ
	ต่ำสุด	สูงสุด		ต่ำสุด	สูงสุด	H_b/H_a สูงสุด
1″	0.09	5.4	$0.0604\ H_a^{1.55}$	0.015	0.21	0.50
2″	0.18	13.2	$0.1207\ H_a^{1.55}$	0.015	0.24	0.50
3″	0.77	32.1	$0.1771\ H_a^{1.55}$	0.03	0.33	0.50
6″	1.50	111	$0.3812\ H_a^{1.58}$	0.03	0.45	0.60
9″	2.50	251	$0.5354\ H_a^{1.53}$	0.03	0.61	0.60
1	3.32	457	$0.6909\ H_a^{1.522}$	0.03	0.76	0.70
1′6″	4.80	695	$1.056\ H_a^{1.538}$	0.03	0.76	0.70
2′	12.1	937	$1.428\ H_a^{1.550}$	0.046	0.76	0.70
3′	17.6	1427	$2.184\ H_a^{1.566}$	0.046	0.76	0.70
4′	35.8	1923	$2.953\ H_a^{1.578}$	0.06	0.76	0.70
5′	44.1	2424	$3.732\ H_a^{1.587}$	0.06	0.76	0.70
6′	74.1	2929	$4.519\ H_a^{1.595}$	0.076	0.76	0.70
7′	85.8	3438	$5.312\ H_a^{1.601}$	0.076	0.76	0.70
8′	97.2	3949	$6.112\ H_a^{1.607}$	0.076	0.76	0.70
	ม.^{3}/วินาที					
10′	0.16	8.28	$7.463\ H_a^{1.60}$	0.09	1.07	0.80
12′	0.19	14.68	$8.859\ H_a^{1.60}$	0.09	1.37	0.80
15′	0.23	25.04	$10.96\ H_a^{1.60}$	0.09	1.67	0.80
20′	0.31	37.97	$14.45\ H_a^{1.60}$	0.09	1.83	0.80
25′	0.38	47.14	$17.94\ H_a^{1.60}$	0.09	1.83	0.80
30′	0.46	56.33	$21.44\ H_a^{1.60}$	0.09	1.83	0.80
40′	0.60	74.70	$28.43\ H_a^{1.60}$	0.09	1.83	0.80
50′	0.75	93.04	$35.41\ H_a^{1.60}$	0.09	1.83	0.80

หมายเหตุ สูตรสำหรับคำนวณอัตราการไหล $Q = KH_a^n$

Q มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

H_a มีหน่วยเป็นเมตร

ตารางที่ 5-6 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล ขนาด 1 นิ้ว เป็นลิตรต่อวินาที เมื่อเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow) ค่าในตารางคำนวณโดยสมการ $Q = 0.0604\ H_a^{1.55}$

เฮด H_a เมตร	ทศนิยมตำแหน่งที่สามของเฮด									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.01						0.09	0.10	0.11	0.12	0.13
.02	0.14	0.15	0.16	0.17	0.19	0.20	0.21	0.22	0.24	0.25
.03	0.26	0.28	0.29	0.31	0.32	0.33	0.35	0.36	0.38	0.40
.04	0.41	0.43	0.44	0.46	0.48	0.49	0.51	0.53	0.55	0.56
.05	0.58	0.60	0.62	0.64	0.66	0.67	0.69	0.71	0.73	0.75
.06	0.77	0.79	0.81	0.83	0.85	0.87	0.89	0.92	0.94	0.96
.07	0.98	1.00	1.02	1.05	1.07	1.09	1.11	1.14	1.16	1.18
.08	1.20	1.23	1.25	1.28	1.30	1.32	1.35	1.37	1.40	1.42
.09	1.45	1.47	1.50	1.52	1.55	1.57	1.60	1.62	1.65	1.68
.10	1.70	1.73	1.76	1.78	1.81	1.84	1.86	1.89	1.92	1.95
.11	1.97	2.00	2.03	2.06	2.09	2.11	2.14	2.17	2.20	2.23
.12	2.26	2.29	2.32	2.35	2.38	2.41	2.44	2.47	2.50	2.53
.13	2.56	2.59	2.62	2.65	2.68	2.71	2.74	2.77	2.80	2.84
.14	2.87	2.90	2.93	2.96	3.00	3.03	3.06	3.09	3.13	3.16
.15	3.19	3.22	3.26	3.29	3.32	3.36	3.39	3.43	3.46	3.49
.16	3.53	3.56	3.60	3.63	3.66	3.70	3.73	3.77	3.80	3.84
.17	3.87	3.91	3.95	3.98	4.02	4.05	4.09	4.12	4.16	4.20
.18	4.23	4.27	4.31	4.34	4.38	4.42	4.45	4.49	4.53	4.57
.19	4.60	4.64	4.68	4.72	4.75	4.79	4.83	4.87	4.91	4.95
.20	4.98	5.02	5.06	5.10	5.14	5.18	5.22	5.26	5.30	5.34
.21	5.38									

ตารางที่ 5-7 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล ขนาด 2 นิ้ว เป็นลิตรต่อวินาที เมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) ค่าในตารางคำนวณโดยสมการ $Q = 0.1207\ H_a^{1.55}$

เฮด H_a เมตร	ทศนิยมตำแหน่งที่สามของเฮด									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.01						0.18	0.20	0.22	0.24	0.26
.02	0.28	0.30	0.33	0.35	0.37	0.40	0.42	0.45	0.47	0.50
.03	0.53	0.55	0.58	0.61	0.64	0.67	0.70	0.73	0.76	0.79
.04	0.82	0.85	0.89	0.92	0.95	0.99	1.02	1.06	1.09	1.13
.05	1.16	1.20	1.23	1.27	1.31	1.35	1.38	1.42	1.46	1.50
.06	1.54	1.58	1.62	1.66	1.70	1.74	1.79	1.83	1.87	1.91
.07	1.96	2.00	2.04	2.09	2.13	2.18	2.22	2.27	2.31	2.36
.08	2.41	2.45	2.50	2.55	2.60	2.64	2.69	2.74	2.79	2.84
.09	2.89	2.94	2.99	3.04	3.09	3.14	3.19	3.24	3.30	3.35
.10	3.40	3.45	3.51	3.56	3.62	3.67	3.72	3.78	3.83	3.89
.11	3.94	4.00	4.06	4.11	4.17	4.22	4.28	4.34	4.40	4.45
.12	4.51	4.57	4.63	4.69	4.75	4.81	4.87	4.93	4.99	5.05
.13	5.11	5.17	5.23	5.29	5.35	5.42	5.48	5.54	5.60	5.67
.14	5.73	5.79	5.86	5.92	5.99	6.05	6.12	6.18	6.25	6.31
.15	6.38	6.44	6.51	6.58	6.64	6.71	6.78	6.84	6.91	6.98
.16	7.05	7.12	7.19	7.25	7.32	7.39	7.46	7.53	7.60	7.67
.17	7.74	7.81	7.88	7.96	8.03	8.10	8.17	8.24	8.31	8.39
.18	8.46	8.53	8.61	8.68	8.75	8.83	8.90	8.98	9.05	9.12
.19	9.20	9.27	9.35	9.43	9.50	9.58	9.65	9.73	9.81	9.88
.20	9.96	10.04	10.12	10.19	10.27	10.35	10.43	10.51	10.59	10.66
.21	10.74	10.82	10.90	10.98	11.06	11.14	11.22	11.30	11.38	11.47
.22	11.55	11.63	11.71	11.79	11.87	11.96	12.04	12.12	12.20	12.29
.23	12.37	12.45	12.54	12.62	12.71	12.79	12.87	12.96	13.04	13.13
.24	13.21									

ตารางที่ 5-8 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล ขนาด 3 นิ้ว เป็นลิตรต่อวินาที เมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) ค่าในตารางคำนวณโดยสมการ $Q = 0.1771\ H_a^{1.55}$

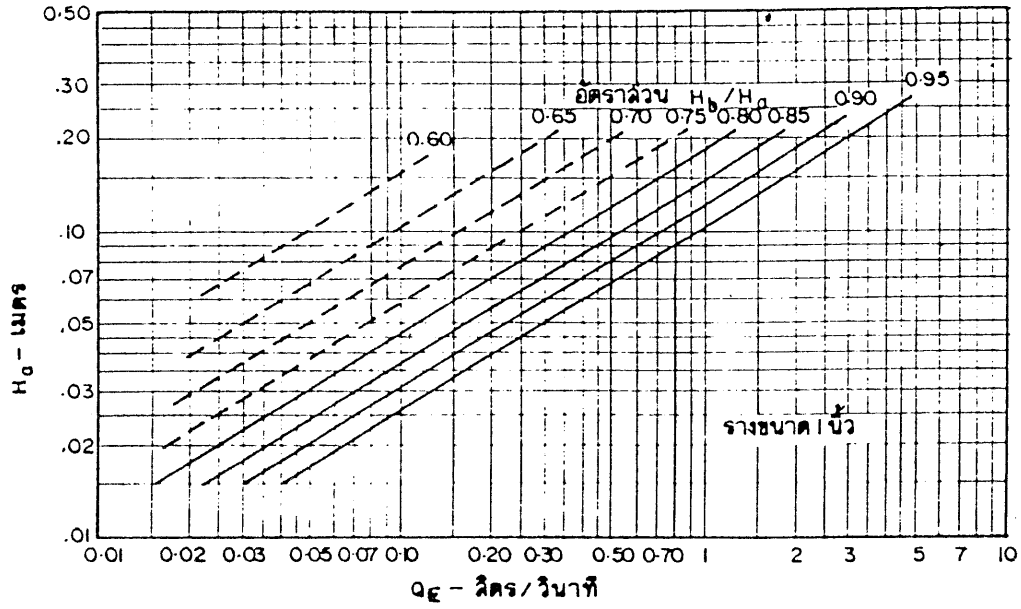
เฮด H_a เมตร	ทศนิยมตำแหน่งที่สามของเฮด									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.03	0.77	0.81	0.85	0.90	0.94	0.98	1.02	1.07	1.11	1.16
.04	1.21	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55	1.60	1.65
.05	1.70	1.76	1.81	1.87	1.92	1.98	2.03	2.09	2.15	2.20
.06	2.26	2.32	2.38	2.44	2.50	2.56	2.62	2.68	2.75	2.81
.07	2.87	2.94	3.00	3.06	3.13	3.20	3.26	3.33	3.40	3.46
.08	3.53	3.60	3.67	3.74	3.81	3.88	3.95	4.02	4.09	4.17
.09	4.24	4.31	4.39	4.46	4.53	4.61	4.69	4.76	4.84	4.91
.10	4.99	5.07	5.15	5.23	5.30	5.38	5.46	5.54	5.62	5.70
.11	5.79	5.87	5.95	6.03	6.12	6.20	6.28	6.37	6.45	6.54
.12	6.62	6.71	6.79	6.88	6.97	7.05	7.14	7.23	7.32	7.41
.13	7.50	7.59	7.68	7.77	7.80	7.95	8.04	8.13	8.22	8.32
.14	8.41	8.50	8.60	8.69	8.78	8.88	8.97	9.07	9.16	9.26
.15	9.36	9.45	9.55	9.65	9.75	9.85	9.94	10.04	10.14	10.24
.16	10.34	10.44	10.54	10.64	10.75	10.85	10.95	11.05	11.15	11.26
.17	11.36	11.46	11.57	11.67	11.78	11.88	11.99	12.09	12.20	12.31
.18	12.41	12.52	12.63	12.74	12.84	12.95	13.06	13.17	13.28	13.39
.19	13.50	13.61	13.72	13.83	13.94	14.05	14.16	14.28	14.39	14.50
.20	14.62	14.73	14.84	14.96	15.07	15.19	15.30	15.42	15.53	15.65
.21	15.76	15.88	16.00	16.11	16.23	16.35	16.47	16.59	16.70	16.82
.22	16.94	17.06	17.18	17.30	17.42	17.54	17.66	17.79	17.91	18.03
.23	18.15	18.27	18.40	18.52	18.64	18.77	18.89	19.01	19.14	19.26
.24	19.39	19.51	19.64	19.77	19.89	20.02	20.15	20.27	20.40	20.53
.25	20.66	20.78	20.91	21.04	21.17	21.30	21.43	21.56	21.69	21.82
.26	21.95	22.08	22.21	22.34	22.48	22.61	22.74	22.87	23.01	23.14
.27	23.27	23.41	23.54	23.67	23.81	23.94	24.08	24.21	24.35	24.49
.28	24.62	24.76	24.89	25.03	25.17	25.31	25.44	25.58	25.72	25.86
.29	26.00	26.14	26.28	26.42	26.56	26.70	26.84	26.98	27.12	27.26
.30	27.40	27.54	27.68	27.83	27.97	28.11	28.25	28.40	28.54	28.68
.31	28.83	28.97	29.12	29.26	29.41	29.55	29.70	29.84	29.99	30.14
.32	30.28	30.43	30.58	30.72	30.87	31.02	31.17	31.32	31.46	31.61
.33	31.76	31.91	32.06							

ตารางที่ 5-9 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล ขนาด 6 นิ้ว เป็นลิตรต่อวินาที เมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) ค่าในตารางคำนวณโดยสมการ $Q = 0.3812\ H_a^{1.580}$

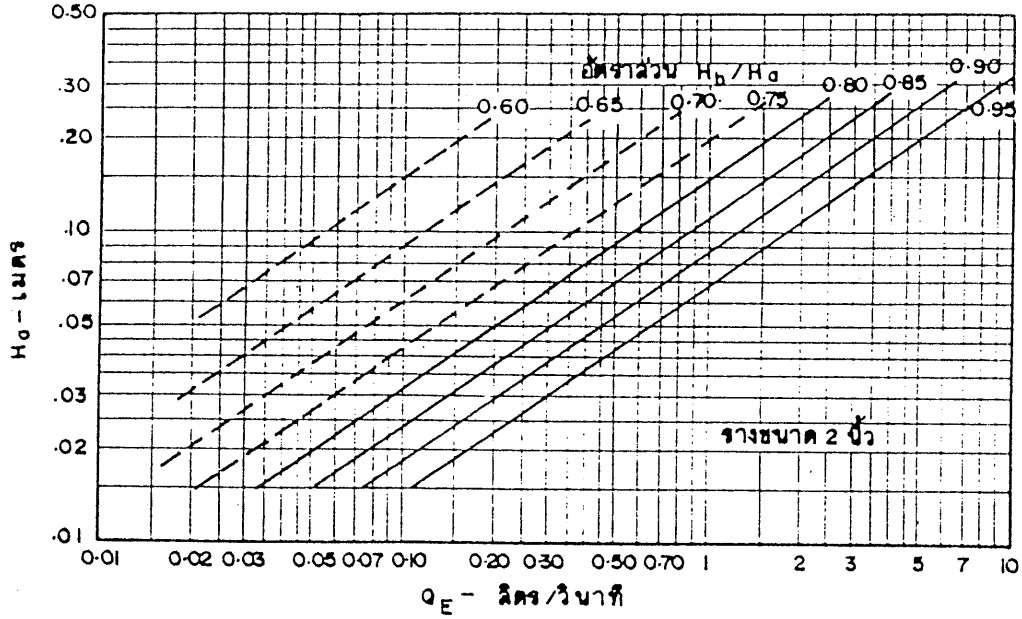
เฮด H_a เมตร	ทศนิยมตำแหน่งที่สามของเฮด									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.03	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3
.04	2.4	2.4	2.6	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2
.05	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.4
.06	4.5	4.6	4.7	4.8	5.0	5.1	5.2	5.3	5.4	5.6
.07	5.7	5.8	6.0	6.1	6.2	6.4	6.5	6.6	6.8	6.9
.08	7.0	7.2	7.3	7.5	7.6	7.8	7.9	8.0	8.2	8.3
.09	8.5	8.6	8.8	8.9	9.1	9.2	9.4	9.6	9.7	9.9
.10	10.0	10.2	10.4	10.5	10.7	10.8	11.0	11.2	11.3	11.5
.11	11.7	11.8	12.0	12.2	12.3	12.5	12.7	12.8	13.0	13.2
.12	13.4	13.6	13.7	13.9	14.1	14.3	14.4	14.6	14.8	15.0
.13	15.2	15.4	15.6	15.7	15.9	16.1	16.3	16.5	16.7	16.9
.14	17.1	17.3	17.4	17.6	17.8	18.0	18.2	18.4	18.6	18.8
.15	19.0	19.2	19.4	19.6	19.8	20.0	20.2	20.4	20.7	20.9
.16	21.1	21.3	21.5	21.7	21.9	22.1	22.3	22.6	22.8	23.0
.17	23.2	23.4	23.6	23.8	24.1	24.3	24.5	24.7	24.9	25.2
.18	25.4	25.6	25.8	26.0	26.3	26.5	26.7	27.0	27.2	27.4
.19	27.6	27.9	28.1	28.3	28.6	28.8	29.0	29.3	29.5	29.7
.20	30.0	30.2	30.4	30.7	30.9	31.2	31.4	31.6	31.9	32.1
.21	32.4	32.6	32.9	33.1	33.4	33.6	33.8	34.1	34.4	34.6
.22	34.8	35.1	35.4	35.6	35.8	36.1	36.4	36.6	36.9	37.1
.23	37.4	37.6	37.9	38.2	38.4	38.7	38.9	39.2	39.5	39.7
.24	40.0	40.2	40.5	40.8	41.0	41.3	41.6	41.8	42.1	42.4
.25	42.6	42.9	43.2	43.5	43.7	44.0	44.3	44.6	44.8	45.1
.26	45.4	45.6	45.9	46.2	46.5	46.8	47.0	47.3	47.6	47.9
.27	48.2	48.4	48.7	49.0	49.3	49.6	49.9	50.2	50.4	50.7
.28	51.0	51.3	51.6	51.9	52.2	52.5	52.8	53.0	53.3	53.6
.29	53.9	54.2	54.5	54.8	55.1	55.4	55.7	56.0	56.3	56.6
.30	56.9	57.2	57.5	57.8	58.1	58.4	58.7	59.0	59.3	59.6
.31	59.9	60.2	60.5	60.8	61.1	61.4	61.8	62.1	62.4	62.7
.32	62.0	63.3	63.6	63.9	64.2	64.6	64.9	65.2	65.5	65.8
.33	66.1	66.4	66.8	67.1	67.4	67.7	68.0	68.4	68.7	69.0
.34	69.3	69.6	70.0	70.3	70.6	70.9	71.3	71.6	71.9	72.2
.35	72.6	72.9	73.2	73.6	73.9	74.2	74.6	74.9	75.2	75.5
.36	75.9	76.2	76.5	76.9	77.2	77.6	77.9	78.2	78.6	78.9
.37	79.2	79.6	79.9	80.2	80.6	80.9	81.3	81.6	82.0	82.3
.38	82.6	83.0	83.3	83.7	84.0	84.4	84.7	85.1	85.4	85.8
.39	86.1	86.5	86.8	87.2	87.5	87.9	88.2	88.6	88.9	89.3
.40	89.6	90.0	90.3	90.7	91.0	91.4	91.8	92.1	92.5	92.8
.41	93.2	93.6	93.9	94.3	94.6	95.0	95.4	95.7	96.1	96.4
.42	96.8	97.2	97.5	97.9	98.3	98.6	99.0	99.4	99.7	100.1
.43	100.5	100.8	101.2	101.6	102.0	102.3	102.7	103.1	103.4	103.8
.44	104.2	104.6	104.9	105.3	105.7	106.1	106.4	106.8	107.2	107.6
.45	108.0	108.3	108.7	109.1	109.5	109.8	110.2	110.6		

ตารางที่ 5-10 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล ขนาด 9 นิ้ว เป็นลิตรต่อวินาที เมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) ค่าในตารางคำนวณโดยสมการ $Q = 0.5354\ H_a^{1.53}$

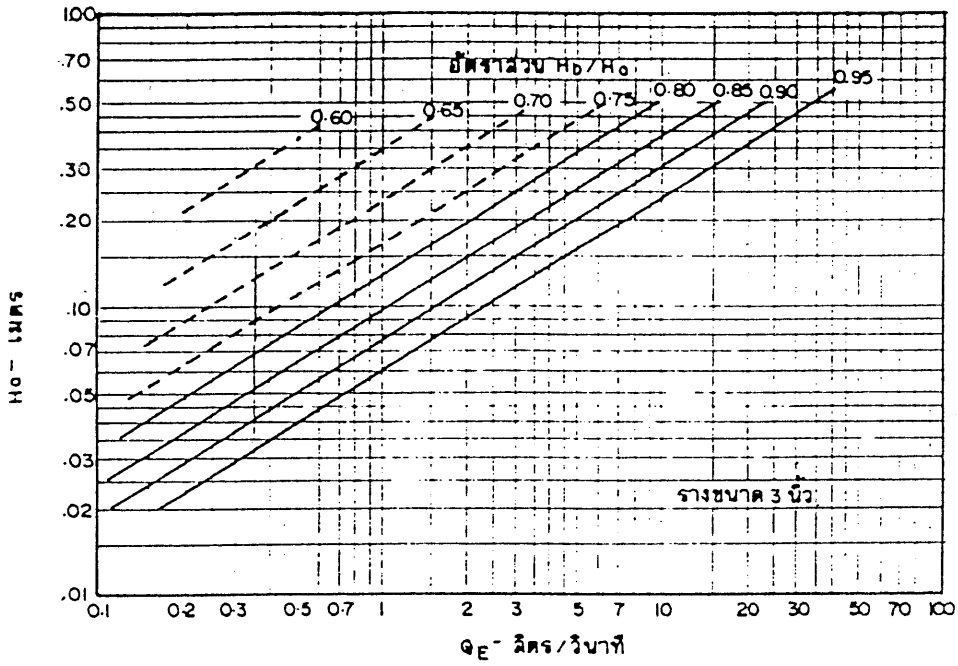
เฮด H_a เมตร	ทศนิยมตำแหน่งที่สามของเฮด									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
.03	2.5	2.6	2.8	2.9	3.0	3.2	3.3	3.4	3.6	3.7
.04	3.9	4.0	4.2	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	5.1	5.3
.05	5.5	5.6	5.8	6.0	6.2	6.3	6.5	6.7	6.9	7.0
.06	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	8.2	8.4	8.6	8.8	9.0
.07	9.2	9.4	9.6	9.8	10.0	10.2	10.4	10.6	10.8	11.0
.08	11.2	11.4	11.7	11.9	12.1	12.3	12.5	12.8	13.0	13.2
.09	13.4	13.7	13.9	14.1	14.4	14.6	14.8	15.1	15.3	15.6
.10	15.8	16.0	16.3	16.5	16.8	17.0	17.3	17.5	17.8	18.0
.11	18.3	18.5	18.8	19.0	19.3	19.6	19.8	20.1	20.4	20.6
.12	20.9	21.2	21.4	21.7	22.0	22.2	22.5	22.8	23.0	23.3
.13	23.0	23.9	24.2	24.4	24.7	25.0	25.3	25.6	25.9	26.2
.14	26.4	26.7	27.0	27.3	27.6	27.9	28.2	28.5	28.8	29.1
.15	29.4	29.7	30.0	30.3	30.6	30.9	31.2	31.5	31.8	32.1
.16	32.4	32.7	33.0	33.4	33.7	34.0	34.3	34.6	30.0	35.3
.17	35.6	35.9	36.2	36.6	36.9	37.2	37.5	37.8	38.2	38.5
.18	38.8	39.2	39.5	39.8	40.2	40.5	40.8	41.2	41.5	41.8
.19	42.2	42.5	42.9	43.2	43.6	43.9	44.2	44.6	44.9	45.3
.20	45.6	46.0	46.3	46.7	47.0	47.4	47.7	48.1	48.4	48.8
.21	49.2	49.5	49.9	50.2	50.6	51.0	51.3	51.7	52.1	52.4
.22	52.8	53.2	53.5	53.9	54.3	54.6	55.0	55.4	55.8	56.1
.23	56.5	56.9	57.3	57.6	58.0	58.4	58.8	59.2	59.5	59.9
.24	60.3	60.7	61.1	61.5	61.9	62.2	62.6	63.0	63.4	63.8
.25	64.2	64.6	65.0	65.4	65.8	66.2	66.6	67.0	67.4	67.8
.26	68.2	68.6	69.0	69.4	69.8	70.2	70.6	71.0	71.4	71.8
.27	72.2	72.6	73.0	73.4	73.9	74.3	74.7	75.1	75.5	75.9
.28	76.4	76.8	77.2	77.6	78.0	78.4	78.9	79.3	79.7	80.1
.29	80.6	81.0	81.4	81.8	82.3	82.7	83.1	83.6	84.0	84.4
.30	84.8	85.3	85.7	86.2	86.6	87.0	87.5	87.9	88.3	88.8
.31	89.2	89.7	90.1	90.5	91.0	91.4	91.9	92.3	92.8	93.2
.32	93.7	94.1	94.6	95.0	95.5	95.9	96.4	96.8	97.3	97.7
.33	98.2	98.6	99.1	99.5	100.0	100.5	100.9	101.4	101.8	102.3
.34	102.8	103.2	103.7	104.2	104.6	105.1	105.6	106.0	106.5	107.0
.35	107.4	107.9	108.4	108.8	109.3	109.8	110.2	110.7	111.2	111.7
.36	112.2	112.6	113.1	113.6	114.1	114.6	115.0	115.5	116.0	116.5
.37	117.0	117.4	117.9	118.4	118.9	119.4	119.9	120.4	120.8	121.3
.38	121.8	122.3	122.8	123.3	123.8	124.3	124.8	125.3	125.8	126.3
.39	126.8	127.3	127.8	128.3	128.8	129.3	129.8	130.3	130.8	131.3
.40	131.8	132.3	132.8	133.3	133.8	134.3	134.8	135.3	135.8	136.3
.41	136.8	137.4	137.9	138.4	138.9	139.4	139.9	140.4	141.0	141.5
.42	142.0	142.5	143.0	143.5	144.1	144.6	145.1	145.6	146.2	146.7
.43	147.2	147.7	148.2	148.8	149.3	149.8	150.4	150.9	151.4	151.9
.44	152.5	153.0	153.5	154.1	154.6	155.1	155.6	156.2	156.7	157.3
.45	157.8	158.3	158.9	159.4	160.0	160.5	161.0	161.6	162.1	162.6
.46	163.2	163.7	164.3	164.8	165.4	165.9	166.5	167.0	167.6	168.1
.47	168.6	169.2	169.8	170.3	170.8	171.4	172.0	172.5	173.1	173.6
.48	174.2	174.7	175.3	175.8	176.4	177.0	177.5	178.1	178.6	179.2
.49	179.8	180.3	180.9	181.4	182.0	182.6	183.1	183.7	184.3	184.8
.50	185.4	186.0	186.5	187.1	187.7	188.2	188.8	189.4	190.0	190.5
.51	191.1	191.7	192.2	192.8	193.4	194.0	194.6	195.1	195.7	196.3
.52	196.9	197.4	198.0	198.6	199.2	199.8	200.4	200.9	201.5	202.1
.53	202.7	203.3	203.9	204.4	205.0	205.6	206.2	206.8	207.4	208.0
.54	208.6	209.2	209.8	210.3	210.9	211.5	212.1	212.7	213.3	213.0
.55	214.5	215.1	215.7	216.3	216.9	217.5	218.1	218.7	219.3	219.9
.56	220.5	221.1	221.7	222.3	222.9	223.5	224.1	224.7	225.3	225.9
.57	226.6	227.2	227.8	228.4	229.0	229.6	230.2	230.8	231.4	232.0
.58	232.7	233.3	233.9	234.5	235.1	235.7	236.4	237.0	237.6	238.2
.59	238.8	239.4	240.1	240.7	241.3	241.9	242.6	243.2	243.8	244.4
.60	245.0	245.7	246.3	246.0	247.6	248.2	248.8	249.4	250.1	250.7
.61	251.3									



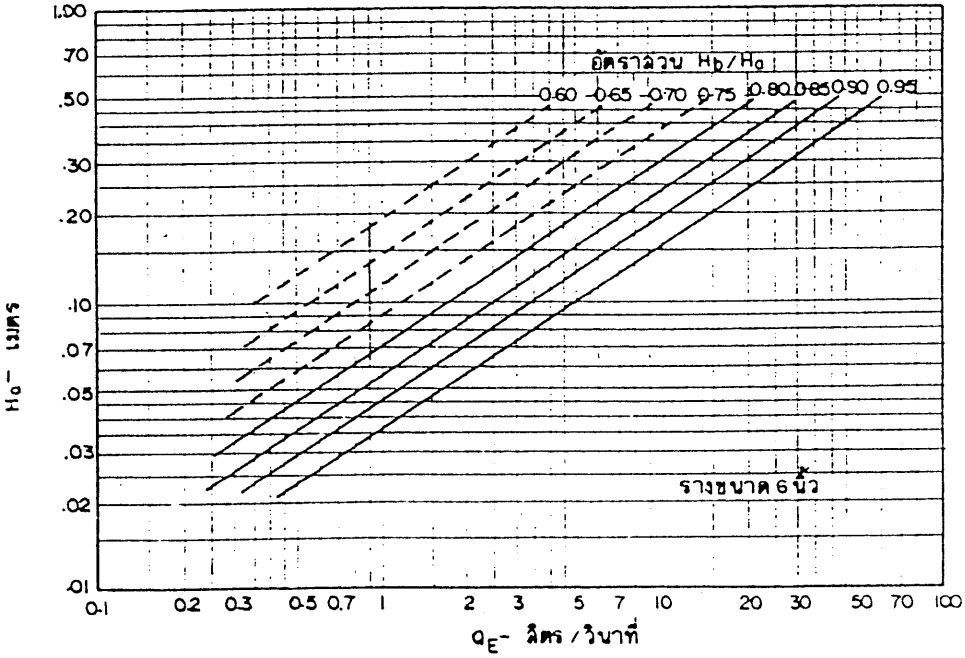
รูปที่ 5-8 ค่าปรับแก้อัตราการไหล เนื่องจากเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ (SUBMERGED FLOW)
สำหรับรางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาด 1 นิ้ว



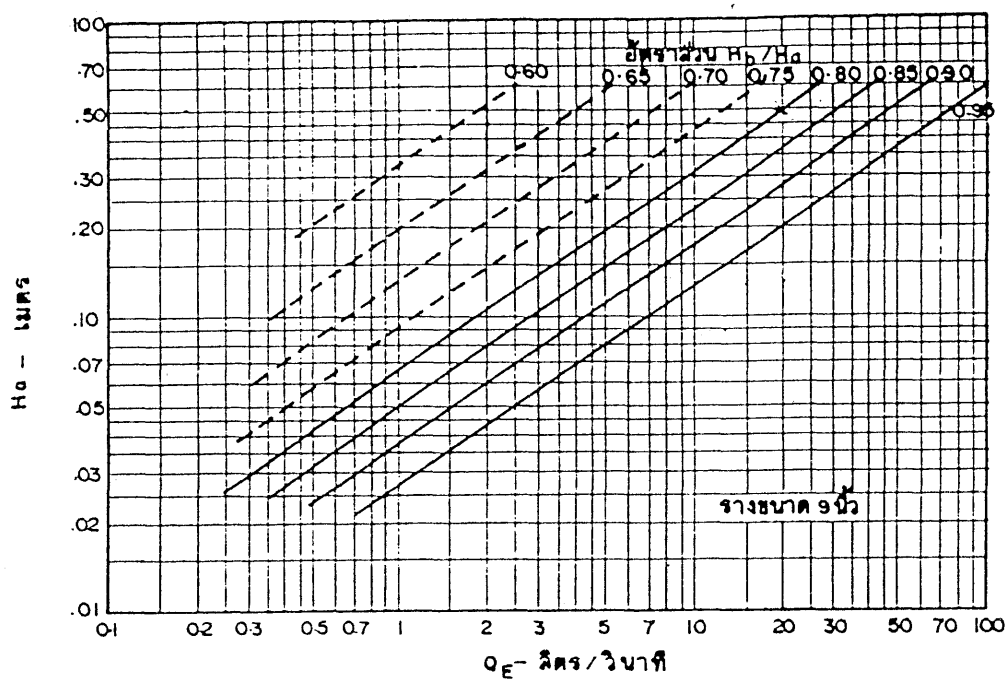
รูปที่ 5-9 ค่าปรับแก้อัตราการไหล เนื่องจากเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ (SUBMERGED FLOW)
สำหรับรางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาด 2 นิ้ว



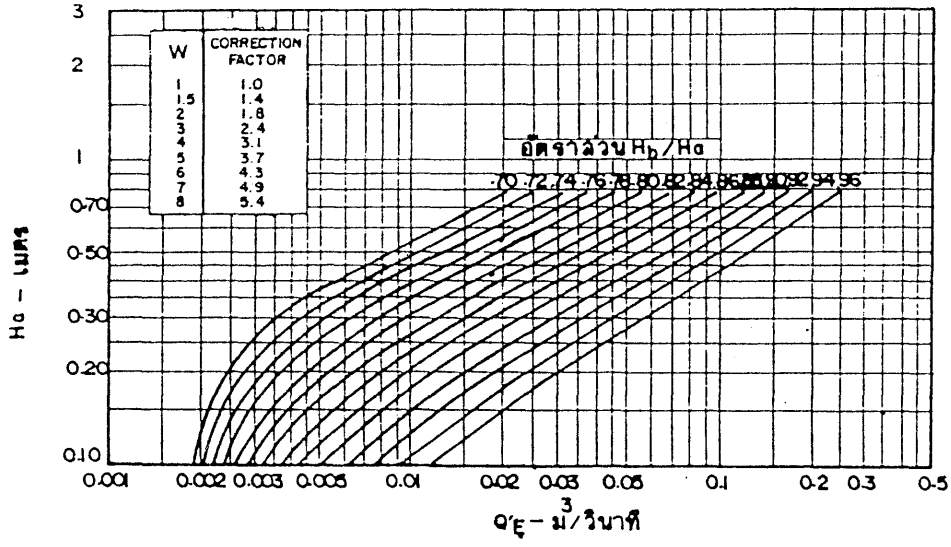
รูปที่ 5-10 ค่าปรับแก้อัตราการไหล เนื่องจากเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ (SUBMERGED FLOW)
สำหรับรางวัดน้ำพาร์แชลขนาด 3 นิ้ว



รูปที่ 5-11 ค่าปรับแก้อัตราการไหล เนื่องจากเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ (SUBMERGED FLOW)
สำหรับรางวัดน้ำพาร์แชลขนาด 6 นิ้ว



รูปที่ 5-12 ค่าปรับแก้อัตราการไหล เนื่องจากเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ (SUBMERGED FLOW) สำหรับรางวัดน้ำพาร์แชลขนาด 9 นิ้ว



รูปที่ 5-13 ค่าปรับแก้อัตราการไหล เนื่องจากเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ (SUBMERGED FLOW) สำหรับวัดน้ำขนาด 1 ฟุต ถ้ารางใดกว่า 1 ฟุต ให้คูณค่าที่อ่านได้ด้วยตัวคูณปรับขนาดสำหรับขาดนั้นจากตารางในรูป

จะเห็นได้ว่า การคำนวณอัตราการไหลเมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำนั้นค่อนข้างยุ่งยาก นอกจากนั้นยังต้องมีการวัดเฮดทั้งสองแห่ง ดังนั้น โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจึงพยายามหลีกเลี่ยงโดยการติดตั้งให้การไหลผ่านเป็นการไหลแบบอิสระแต่เพียงอย่างเดียว

ตัวอย่างที่ 5.11

จงหาอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาด 6 นิ้ว

(ก) เมื่อ H_a = 0.40 เมตร H_b = 0.20 เมตร

(ข) เมื่อ H_a = 0.40 เมตร H_b = 0.30 เมตร

วิธีทำ

จากตารางที่ 5-5 สำหรับรางวัดน้ำแบบพาร์แชล ขนาด 6 นิ้ว เมื่อเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow)

$$H_b/H_a \leq 0.60$$

และ $$Q = 0.3812\ H_a^{1.58}$$

(ก) $H_b/H_a = 0.20/0.40 = 0.50$

เนื่องจาก H_b/H_a น้อยกว่า 0.60 ดังนั้นเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow)

และ $Q = 0.3812(0.40)^{1.58}$

$= 0.0896$ ม.^{3}/วินาที

$= 89.6$ ลิตร/วินาที

(ข) $H_b/H_a = 0.30/0.40 = 0.75$

เนื่องจาก H_b/H_a มากกว่า 0.60 การไหลเป็นแบบใต้ผิวน้ำ

เพราะฉะนั้น $Q_S = Q - Q_E$

จากรูปที่ 5-11 เมื่อ H_a = 0.40 เมตร และ H_b/H_a เท่ากับ 0.75 Q_E = 11 ลิตร/วินาที

จากข้อ (ก) เมื่อเป็นการไหลแบบอิสระ Q = 89.6 ลิตร/วินาที

ดังนั้น $Q_S = 89.6 - 11$

$= 78.6$ ลิตร/วินาที

5.3.3 การติดตั้งรางวัดน้ำแบบพาร์แชลเพื่อให้การไหลเป็นแบบอิสระ

เนื่องจากว่า การวัดเฮดและการคำนวณอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำเมื่อการไหลเป็นแบบอิสระนั้นสะดวกกว่าเมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำมาก ดังนั้น โดยปกติแล้วจะติดตั้งให้การไหลผ่านเป็นแบบอิสระ วิธีการคำนวณเพื่อติดตั้งให้ดำเนินการดังนี้ คือ

1. ตรวจสอบให้แน่นอนว่า อัตราการไหลสูงสุด (Qmax) ที่จะวัดนั้นเท่ากับเท่าไร

2. เมื่อมีน้ำไหลผ่านด้วยอัตราสูงสุด ระดับน้ำอยู่ที่ใด มี Free Board หรือเผื่อล้นในคลองเท่าใด

3. เลือกขนาดของรางวัดน้ำที่จะใช้ได้ตามวิธีการเช่นในตัวอย่างที่ 5.9 แล้วคำนวณ H_a เมื่ออัตราการไหลผ่านเท่ากับ Qmax และการไหลเป็นแบบอิสระ

4. จากตารางที่ 5-5 ดูว่าค่า H_b/H_a สูงสุดที่การไหลเป็นแบบอิสระเท่ากับเท่าไร คำนวณค่า H_b จากอัตราส่วนที่ได้นี้

5. ติดตั้งรางวัดน้ำโดยให้พื้นของทางผายเข้าอยู่ต่ำจากผิวน้ำในคลองไม่เกิน H_b ดังนั้นระดับน้ำหน้ารางวัดน้ำจะสูงขึ้นกว่าเดิมเท่ากับ $H_a - H_b$ เป็นอย่างน้อย

6. ตรวจสอบดูว่าระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้ ($H_a - H_b$) จะทำให้น้ำล้นคลอง หรือเกินค่าเผื่อล้น (Free Board) หรือไม่ ถ้าเกินก็ให้ทดลองใช้รางวัดน้ำขนาดโตกว่าถัดมาจนกว่าจะได้ขนาดรางที่ต้องการ

ตัวอย่างที่ 5.12

คลองส่งน้ำสายหนึ่ง เมื่อส่งน้ำด้วยอัตราสูงสุด 0.30 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีจะมีความลึกของน้ำในคลองเท่ากับ 0.60 เมตร และเผื่อล้น (Free Board) 0.30 เมตร จงหาขนาดและบอกระดับพื้นรางวัดน้ำที่จะติดตั้งเพื่อให้การไหลเป็นแบบอิสระ สมมุติว่าระดับผิวน้ำในคลองก่อนติดตั้งรางวัดน้ำเท่ากับ + 20.000 เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง

วิธีทำ

จากตารางที่ 5-5 เมื่ออัตราการไหลเท่ากับ 300 ลิตร/วินาที ขนาดของรางต่ำสุดจะต้องไม่เล็กกว่า 1 ฟุต สำหรับรางขนาด 1 ฟุต

$$Q = 0.6909H_a^{1.522}$$

และ $H_b/H_a = 0.70$ สำหรับการไหลแบบอิสระ

$$\text{ดังนั้น } H_a = \left[\frac{Q}{0.6909}\right]^{1/1.522}$$

$$= \left[\frac{0.30}{0.6909}\right]^{1/1.522} = 0.578 \text{ เมตร}$$

$$H_b = 0.70H_a$$

$$= 0.70 \times 0.578 = 0.40 \text{ เมตร}$$

ดังนั้น ระดับต่ำสุดของพื้นรางวัดน้ำ = ระดับผิวน้ำ - H_b

= 20 - 0.40

= +19.60

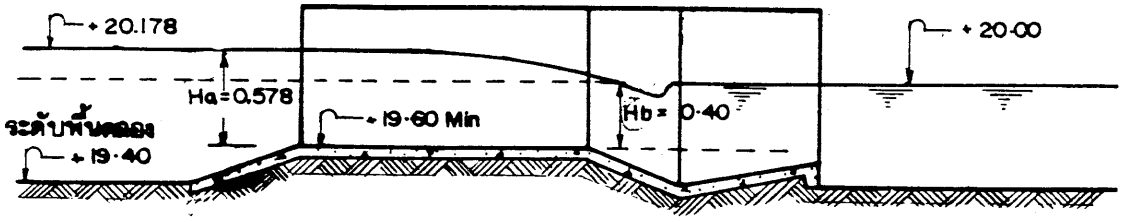
ระดับผิวน้ำหน้ารางวัดน้ำหลังติดตั้งรางแล้ว

= ระดับพื้นรางวัดน้ำ + H_a

= 19.60 + 0.578 = +20.178

หรือระดับน้ำสูงขึ้นจากเดิม = 20.178 - 20.0 = 0.178 เมตร ซึ่งน้อยกว่าเผื่อล้น (30 เซนติเมตร) ก็แสดงว่าใช้ได้ แต่ถ้าระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้มากกว่าก็จะต้องทดลองคำนวณดูว่าขนาดโตกว่าถัดมา คือขนาด 1.5 ฟุต ใช้ได้หรือไม่จนกว่าจะได้ขนาดที่ใช้ได้

ลักษณะการติดตั้งรางวัดน้ำของตัวอย่างนี้แสดงไว้ในรูปที่ 5-14



รูปที่ 5-14 แสดงการติดตั้งรางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาด 1 ฟุต ให้มีการไหลผ่านแบบอิสระ (FREE FLOW) สำหรับอัตราการไหลไม่เกิน 300 ลิตร/วินาที (ตัวอย่างที่ 5.12)

5.3.4 ข้อกำหนดในการติดตั้งและใช้งานของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

เพื่อให้การวัดอัตราไหลของน้ำผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชมีความละเอียดถูกต้องเชื่อถือได้การสร้างติดตั้งและใช้งานจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้ คือ

1. สัดส่วนของรางวัดน้ำจะต้องตรงตามมาตรฐานที่ให้ไว้ในตารางที่ 5-4 อย่างเคร่งครัด
2. ช่วงอัตราการวัดควรจะอยู่ในขอบเขตที่ให้ไว้ของแต่ละขนาด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5-5
3. อัตราส่วน H_b/H_a สูงสุดที่ที่ใช้งานจะต้องไม่มากกว่า 0.95
4. รางวัดน้ำจะต้องติดตั้งให้ได้ระดับทั้งตามแนวยาวและด้านขวาง
5. รางวัดน้ำแบบพาร์แชลออกแบบไว้สำหรับติดตั้งตามแนวยาวของทางน้ำ โดยให้ศูนย์กลางตามแนวยาวของรางและของทางน้ำทับกัน ดังนั้นไม่ควรติดตั้งทำมุมใด ๆ กับทิศทางการไหลของน้ำ ยกเว้นแต่ว่ามีอุปกรณ์ช่วยทำให้ความเร็วของน้ำสม่ำเสมอก่อนถึงทางผายเข้าของราง

5.3.5 ข้อดีและข้อเสียของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

รางวัดน้ำแบบพาร์แชลเป็นรางวัดน้ำที่รู้จักกันดีและนิยมใช้กันมากแบบหนึ่ง ข้อดีและข้อเสียของรางวัดน้ำชนิดนี้มีดังต่อไปนี้ คือ

ก. ข้อดี

1. เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่ให้ความละเอียดถูกต้องสูง
2. สามารถวัดอัตราการไหลได้โดยใช้ความต่างของเฮดเพียงเล็กน้อย กล่าวคืออัตราส่วน H_b/H_a ที่อยู่ในเกณฑ์ที่วัดได้มากถึง 0.95

3. ในช่วงที่การไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) สามารถวัดอัตราการไหลโดยวัด H_a เพียงค่าเดียว นอกจากนั้นอัตราส่วน H_b/H_a ที่การไหลเป็นแบบอิสระก็ค่อนข้างมาก (0.50 สำหรับรางขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว จนถึง 0.80 สำหรับรางขนาดโตกว่า 8 ฟุต) ต้องวัดเฮดสองค่าคือ H_a และ H_b ต่อเมื่อเป็นการไหลแบบใต้ผิวน้ำเท่านั้น

4. ไม่เป็นสิ่งกีดขวางตะกอนหรือเศษวัสดุที่ลอยมากับน้ำ

5. เมื่อวางตามแนวยาวของทางน้ำ ความละเอียดถูกต้องของการวัดจะไม่ขึ้นกับความเร็วของน้ำในทางน้ำที่อยู่ในเกณฑ์ปกติ กล่าวคือ การไหลของน้ำหน้ารางไม่ปั่นป่วน ซึ่งถ้าหากเป็นฝายวัดน้ำก็จะต้องพิจารณาความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายด้วย

ข. ข้อเสีย

1. มีราคาแพงกว่าฝายวัดน้ำ

2. จะต้องสร้างและติดตั้งตามข้อกำหนดอย่างถูกต้องจึงจะให้ความละเอียดถูกต้องดี

3. ออกแบบไว้สำหรับติดตั้งตามแนวยาวของทางน้ำเท่านั้น ดังนั้น จะไม่เหมาะที่จะใช้คู่กับอาคารแบ่งน้ำเข้าแปลง หรือใช้เป็นอาคารส่งน้ำเข้าแปลงจากคลองส่งน้ำโดยตรง

5.4 รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (Cut - Throat Flume)

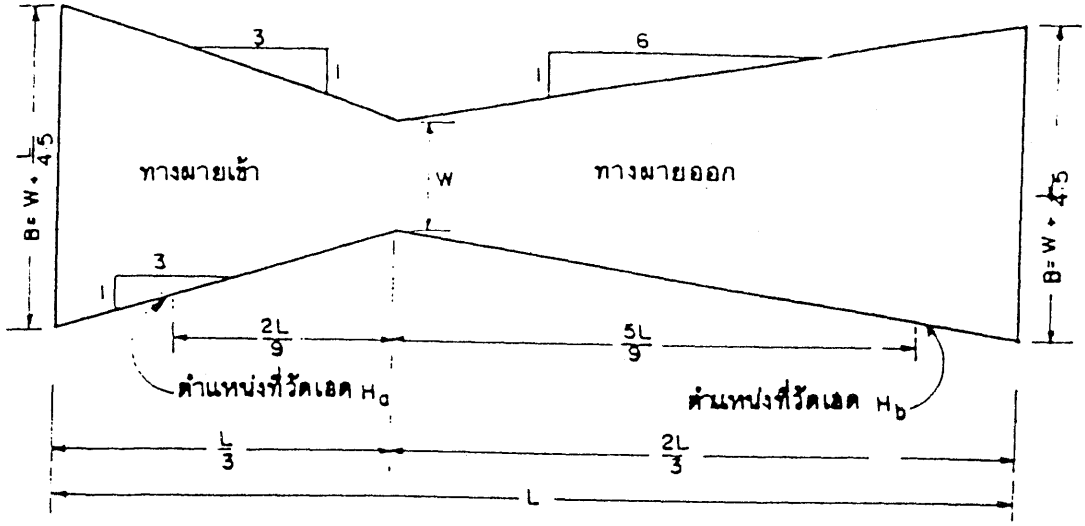
รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ อาจกล่าวได้ว่าเป็นรางวัดน้ำที่ดัดแปลงมาจากรางวัดน้ำแบบพาร์แชล โดยการตัดส่วนคอออกไปและทำให้พื้นรางเรียบเสมอกันตลอด รูปร่างลักษณะของรางวัดน้ำแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 5-15

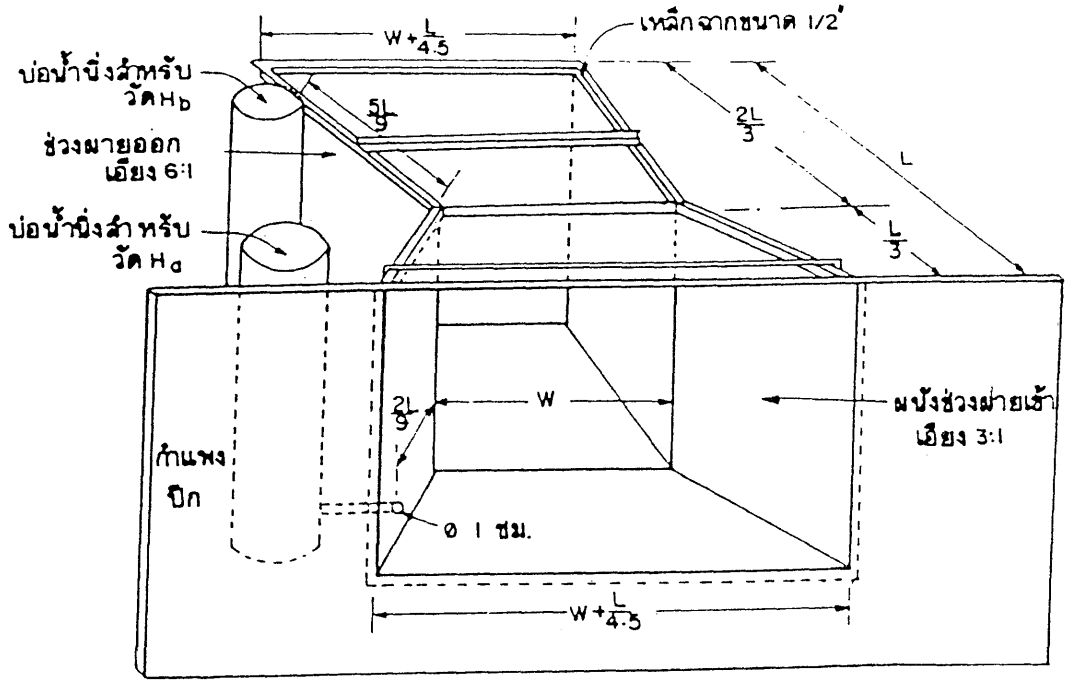
ดังแสดงในรูป รางวัดน้ำแบบไม่มีคอประกอบขึ้นด้วยส่วนที่สำคัญสองส่วนด้วยกัน คือทางผายเข้าซึ่งผนังของรางจะบีบทางน้ำให้แคบเข้าด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 3 เมื่อสุดทางผายเข้าแล้วรางก็จะผายออกทันทีด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 6 ความยาวของทางผายออกจะมากเป็นสองเท่าของทางผายเข้าเสมอ ขนาดของรางวัดน้ำแบบนี้จะบอกด้วยความกว้างของช่องแคบที่ทางผายเข้าพบกับทางผายออกกับความยาวทั้งหมดของราง เช่น รางขนาด 0.50 x 1.50 เมตร เป็นรางที่ช่องแคบที่น้ำไหลผ่านกว้าง 0.50 เมตร และรางยาว 1.50 เมตร

การดัดแปลงจากรางวัดน้ำแบบพาร์แชลโดยการตัดส่วนคอออกและทำให้พื้นราบเรียบเสมอกันมีข้อดีหลายอย่างคือ ทำให้สร้างได้ง่ายขึ้นมากไม่ว่าจะใช้เหล็กแผ่น ไม้ หรือคอนกรีต ราคาก็ถูกกว่ารางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาดเดียวกัน การติดตั้งก็ง่ายกว่าเพราะสามารถวางบนพื้นคลองคอนกรีตได้ หรือถ้าเป็นทางน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้าอยู่แล้วก็จะสะดวกมากเพราะขนาดของปากทางเข้าและออกเท่ากัน อาจจะต้องการแต่ผนังของรางสองข้างและบ่อน้ำนิ่งวัดระดับน้ำเท่านั้น

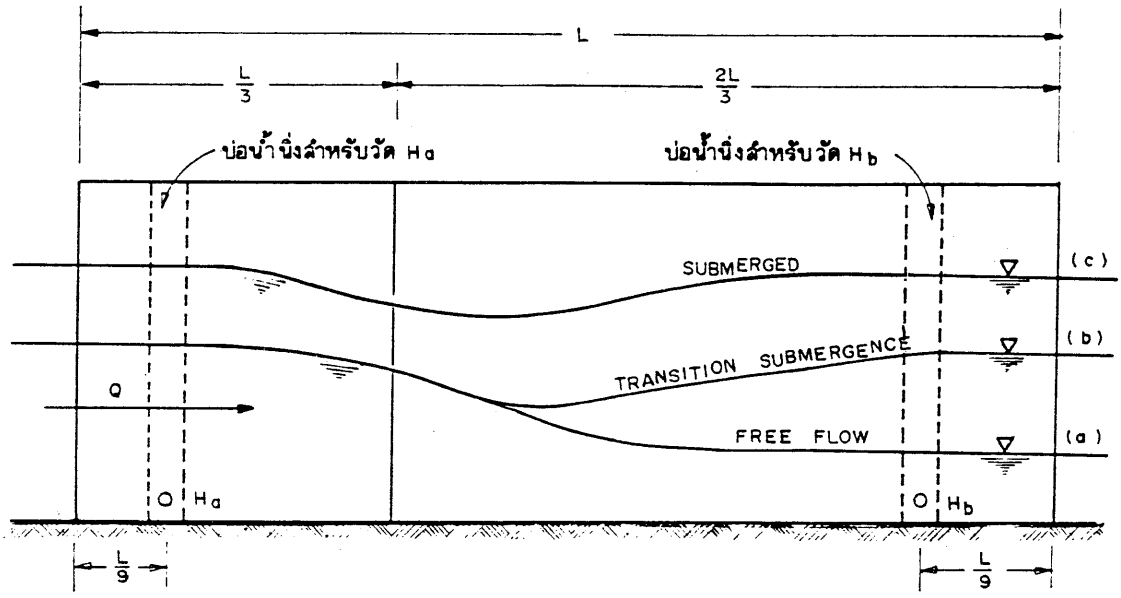
5.4.1 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ

การวัดอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ ทำโดยการวัดเฮดในบ่อน้ำนิ่งซึ่งต่อเข้ากับทางผายเข้าและทางผายออกที่ตำแหน่งซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 5-15 การไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคออาจแบ่งออกเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow) และการไหลใต้ผิวน้ำ (Submerged Flow) เช่นเดียวกันกับรางวัดน้ำแบบพาร์แชล ลักษณะของผิวน้ำเมื่อเป็นการไหลแบบอิสระและไหลใต้ผิวน้ำแสดงไว้ในรูปที่ 5-16 ด้วยเส้นผิวน้ำ (a) และ (c) ตามลำดับ สำหรับเส้นผิวน้ำ (b) นั้นเป็นช่วงต่อที่จะเปลี่ยนลักษณะการไหลจากแบบหนึ่งไปเป็นอีกแบบหนึ่ง (Transition Submergence)





รูปที่ 5-15 รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (CUTTHROAT FLUME)



รูปที่ 5-16 ลักษณะการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (a) ไหลแบบอิสระ (FREE FLOW) (C) ไหลใต้ผิวน้ำ (SUBMERGED FLOW) และ (B) อยู่ระหว่างการไหลอิสระกับไหลใต้ผิวน้ำ (TRANSITION SUBMERGENCE)

(ก) เมื่อเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow) อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ เมื่อเป็นการไหลแบบอิสระจะขึ้นอยู่กับเฮดทางด้านผายเข้าเพียงอย่างเดียว อัตราการไหลดังกล่าวนี้อาจคำนวณโดยสมการ

$$Q = CH_a^{n1} \quad ; \quad H_a/L \leq 0.4 \qquad \text{.....(5.11)}$$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที H_a เป็นเฮดหรือความลึกของน้ำในทางผายเข้าเป็นเมตร n_1 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวของราง (L) เพียงอย่างเดียว ไม่ขึ้นกับความกว้างของช่องแคบหรือส่วนคอ ดังนั้น รางวัดน้ำที่มีความยาวเท่ากันจะมีค่า n_1 เท่ากัน ค่า n_1 นี้จะดูได้จากกราฟของรูปที่ 5-17

สำหรับค่า C ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ เมื่อการไหลผ่านรางเป็นแบบอิสระจะคำนวณโดยสมการ

$$C = K.W^{1.025} \qquad \text{.....(5.12)}$$

โดย W เป็นความกว้างของส่วนคอมีหน่วยเป็นเมตร ค่า K เป็นสัมประสิทธิ์ที่ขึ้นอยู่กับความยาวของราง ซึ่งอาจดูได้จากกราฟของรูปที่ 5-17

ข้อจำกัดในการวัดอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบนี้ที่ต้องระวังก็คือ การวัดจะให้ความละเอียดถูกต้องดีก็ต่อเมื่ออัตราส่วน H_a/L มีค่าไม่เกิน 0.4 ถ้าเกินจากนี้มากขึ้นเท่าไรความละเอียดถูกต้องก็จะยิ่งลดลงเท่านั้น ทั้งนี้เพราะความเร็วของกระแสน้ำหน้ารางจะมีผลต่อการวัดมาก

อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอขนาดต่าง ๆ เมื่อการไหลเป็นแบบอิสระจะดูได้จากตารางที่ 5-11

ตัวอย่างที่ 5.13

จงคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ ขนาด 0.30x0.90 เมตร สมมุติว่าเฮดที่วัดได้ที่ทางผายเข้าเท่ากับ 0.25 เมตร และการไหลเป็นแบบอิสระ

วิธีทำ

ตรวจสอบค่า $H_a/L = 0.25/0.90 = 0.28$ น้อยกว่า 0.40

ดังนั้น สามารถคำนวณโดยสมการ (10.11) ได้ถูกต้อง

$C = KW^{1.025}$

W = ความกว้างของคอ = 0.30 เมตร

จากรูปที่ 5-17 สำหรับรางวัดน้ำยาว 0.90 เมตร

$K = 3.75$, $n_1 = 1.84$

แทนค่าในสูตรจะได้ $C = 3.75\ (0.30)^{1.025} = 1.092$

และ $Q = CH_a^{n1}$

$= 1.092(0.25)^{1.84}$

$= 0.0852$ ม.^{3}/วินาที

$= 85.2$ ลิตร/วินาที

ข. เมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ (Submerged Flow) เมื่อความลึกของน้ำทางด้านผายออก (H_b) มีค่าสูงขึ้นจนกระทั่งทำให้ความลึกของน้ำในรางที่จุดใดจุดหนึ่งมากกว่าความลึกวิกฤติ (Critical Depth) การไหลของน้ำในรางก็จะเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ (Submerged Flow) และการคำนวณอัตราการไหลจำเป็นต้องพิจารณาความลึกของน้ำทั้งสองแห่งคือทั้ง H_a และ H_b ดังนี้

$$Q = \frac{C_1(H_a - H_b)^{n_1}}{(-\log S)^{n_2}} \quad ; H_a/L \leq 0.40 \qquad \text{.....(5.13)}$$

ในเมื่อ C_1 เป็นค่าสัมประสิทธิ์เมื่อการไหลผ่านรางเป็นแบบใต้ผิวน้ำ ค่าดังกล่าวนี้คำนวณโดยสมการ

$$C_1 = K_1 W^{1.025} \qquad \text{.....(5.14)}$$

K_1, n_1 และ n_2 เป็นสัมประสิทธิ์ที่ค่าของมันขึ้นอยู่กับความยาวของรางวัดเพียงอย่างเดียว ค่าเหล่านี้จะดูได้จากกราฟของรูปที่ 5-17 สำหรับ S เป็นอัตราส่วนระหว่างเฮดทางด้านท้ายน้ำต่อเฮดทางด้านเหนือน้ำ หรือ

$$S = H_b/H_a \qquad \text{.....(5.15)}$$

ตารางที่ 5-11 อัตราการไหลของน้ำผ่านรางวัดแบบไม่มีคอขนาดต่าง ๆเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ

เฮด H_a เมตร	ขนาดของรางวัดน้ำ - ซม. ซม.								
	10x90	20x90	30x90	20x180	40x180	60x180	30x270	60x270	100x270
.005	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001
.010	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.000	.001	.002
.015	.000	.000	.000	.000	.001	.001	.001	.002	.003
.020	.000	.001	.001	.001	.002	.002	.001	.003	.005
.025	.000	.001	.001	.001	.002	.003	.002	.004	.007
.030	.001	.001	.002	.001	.003	.005	.003	.005	.009
.035	.001	.002	.002	.002	.004	.006	.003	.007	.011
.040	.001	.002	.003	.002	.005	.007	.004	.008	.014
.045	.001	.003	.004	.003	.006	.009	.005	.010	.017
.050	.001	.003	.004	.003	.007	.011	.006	.012	.020
.055	.002	.004	.005	.004	.008	.012	.007	.014	.023
.060	.002	.004	.006	.005	.009	.014	.008	.016	.026
.065	.002	.005	.007	.005	.011	.016	.009	.018	.030
.070	.003	.006	.008	.006	.012	.018	.010	.020	.034
.075	.003	.006	.009	.007	.014	.021	.011	.022	.038
.080	.003	.007	.011	.007	.015	.023	.012	.025	.042
.085	.004	.008	.012	.008	.017	.025	.013	.027	.046
.090	.004	.009	.013	.009	.018	.028	.015	.030	.050
.095	.005	.010	.014	.010	.020	.030	.016	.032	.054
.100	.005	.011	.016	.011	.022	.033	.017	.035	.059
.105	.006	.012	.017	.012	.024	.036	.018	.038	.063
.110	.006	.013	.019	.013	.026	.039	.020	.040	.068
.115	.007	.014	.021	.013	.027	.042	.021	.043	.073
.120	.007	.015	.022	.014	.029	.045	.023	.046	.078
.125	.008	.016	.024	.015	.032	.048	.024	.049	.083
.130	.008	.018	.026	.016	.034	.051	.026	.052	.089
.135	.009	.019	.028	.018	.036	.054	.027	.056	.094
.140	.010	.020	.030	.019	.038	.057	.029	.059	.099
.145	.010	.022	.031	.020	.040	.061	.031	.062	.105
.150	.011	.023	.034	.021	.043	.064	.032	.066	.111

ตารางที่ 5-11 (ต่อ)

เฮด H_a เมตร	ขนาดของรางวัดน้ำ - ซม. x ซม.								
	10x90	20x90	30x90	20x180	40x180	60x180	30x270	60x270	100x270
.155	.012	.024	.036	.022	.045	.068	.034	.069	.117
.160	.012	.026	.038	.023	.047	.072	.036	.073	.122
.165	.013	.027	.040	.024	.050	.075	.037	.076	.129
.170	.014	.029	.042	.026	.052	.079	.039	.080	.135
.175	.014	.031	.045	.027	.055	.083	.041	.083	.141
.180	.015	.032	.047	.028	.058	.087	.043	.087	.147
.185	.016	.034	.049	.030	.060	.091	.045	.091	.154
.190	.017	.036	.052	.031	.063	.095	.047	.095	.160
.195	.018	.037	.054	.032	.066	.099	.049	.099	.167
.200	.018	.039	.057	.034	.068	.104	.051	.103	.174
.205	.019	.041	.060	.035	.071	.108	.052	.107	.180
.210	.020	.043	.062	.036	.074	.112	.055	.111	.187
.215	.021	.045	.065	.038	.077	.117	.057	.115	.194
.220	.022	.047	.068	.039	.080	.121	.059	.119	.201
.225	.023	.049	.071	.041	.083	.126	.061	.123	.209
.230	.024	.051	.074	.042	.086	.130	.063	.128	.216
.235	.025	.053	.077	.044	.089	.135	.065	.132	.223
.240	.026	.055	.080	.045	.092	.140	.067	.137	.231
.245	.027	.057	.083	.047	.096	.145	.069	.141	.238
.250	.028	.059	.086	.049	.099	.150	.072	.146	.246
255	.029	.061	.089	.050	.102	.155	.074	.150	.254
.260	.030	.063	.092	.052	.106	.160	.076	.155	.261
.265	.031	.066	.096	.053	.109	.165	.078	.159	.269
.270	.032	.068	.099	.055	.112	.170	.081	.164	.277
.275	.033	.070	.102	.057	.116	.175	.083	.169	.285
.280	.034	.073	.106	.059	.119	.180	.085	.174	.293
.285	.035	.075	.109	.060	.123	.186	.088	.179	.302
.290	.037	.078	.113	.062	.126	.191	.090	.183	.310
.295	.038	.080	.116	.064	.130	.197	.093	.188	.318
.300	.039	.082	.120	.066	.134	.202	.095	.193	.327

ตารางที่ 5-11 (ต่อ)

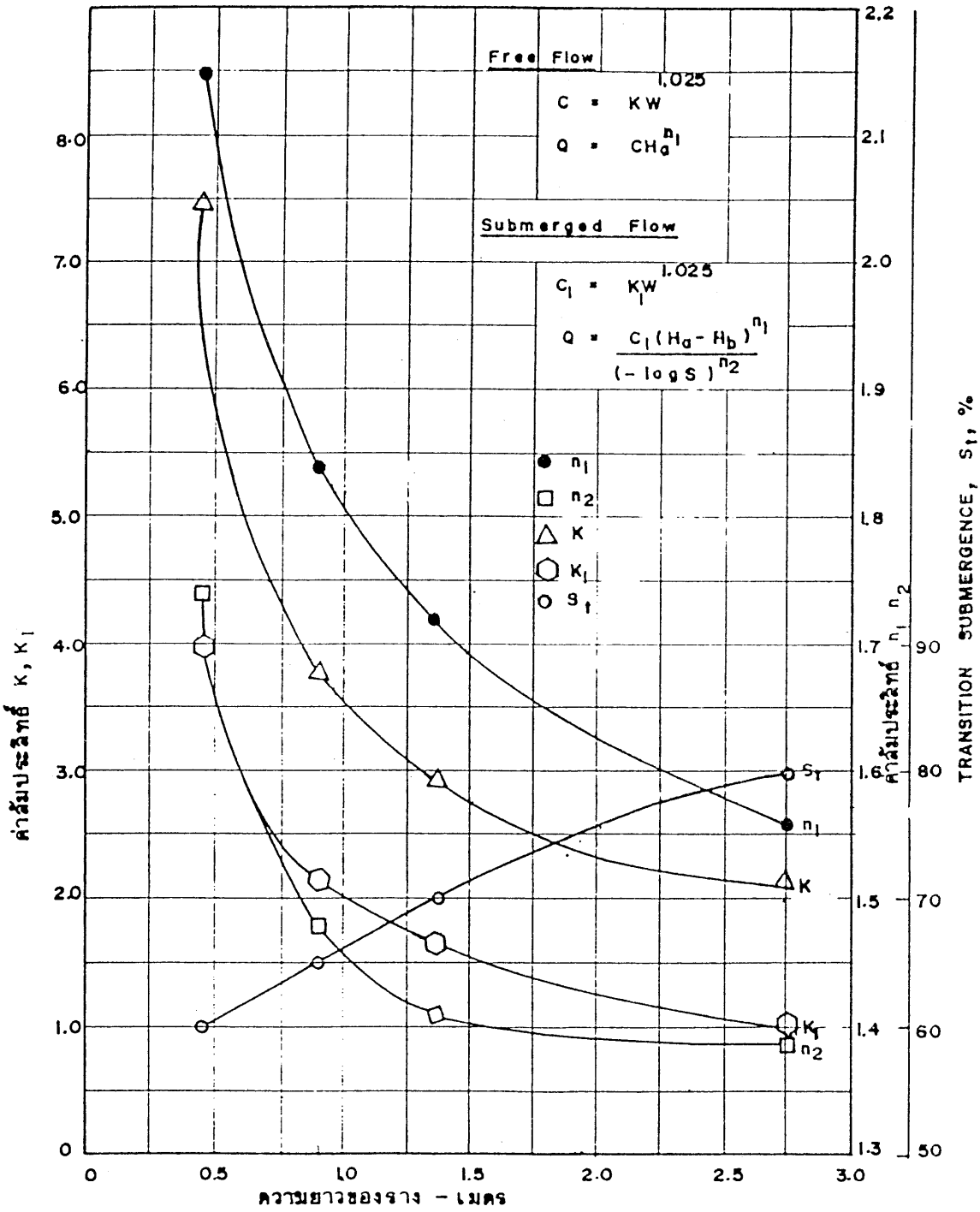
เฮด H_a เมตร	ขนาดของรางวัดน้ำ - ซม. x ซม.								
	10x90	20x90	30x90	20x180	40x180	60x180	30x270	60x270	100x270
0.305	.040	.085	.124	.067	.137	.208	.098	.199	.335
.310	.041	.088	.127	.069	.141	.213	.100	.204	.344
.315	.043	.090	.131	.071	.145	.219	.103	.209	.353
.320	.044	.093	.135	.073	.149	.225	.105	.214	.361
.325	.045	.096	.139	.075	.152	.231	.108	.219	.370
.330	.046	.098	.143	.077	.156	.237	.110	.224	.379
.335	.048	.101	.147	.079	.160	.243	.113	.230	.388
.340	.049	.104	.151	.081	.164	.249	.116	.235	.397
.345	.050	.107	.155	.083	.168	.255	.118	.241	.406
.350	.052	.110	.159	.085	.172	.261	.121	.246	.416
.355	.053	.112	.164	.087	.176	.267	.124	.252	.425
.360	.054	.115	.168	.089	.180	.273	.126	.257	.434
.365	.056	.118	.172	.091	.185	.279	.129	.263	.444
.370	.057	.121	.177	.093	.189	.286	.132	.268	.453
.375	.059	.124	.181	.095	.193	.292	.135	.274	.463
.380	.060	.127	.185	.097	.197	.299	.138	.280	.473
.385	.062	.131	.190	.099	.202	.305	.140	.286	.482
.390	.063	.134	.195	.101	.206	.312	.143	.291	.492
.395	.065	.137	.199	.103	.210	.318	.146	.297	.502
.400	.066	.140	.204	.105	.215	.325	.149	.303	.512
.405	.068	.143	.209	.108	.219	.332	.152	.309	.522
.410	.069	.147	.213	.110	.224	.339	.155	.315	.532
.415	.071	.150	.218	.112	.228	.345	.158	.321	.542
.420	.072	.153	.223	.114	.233	.352	.161	.327	.552
.425	.074	.157	.228	.116	.237	.359	.164	.333	.563
.430	.076	.160	.233	.119	.242	.360	.167	.339	.573
.435	.077	.163	.238	.121	.247	.373	.170	.346	.584
440	.079	.167	.243	.123	.251	.380	.173	.352	.594
.445	.080	.170	.248	.126	.256	.388	.176	.358	.605
.450	.082	.174	.253	.128	.261	.395	.179	.364	.615

ตารางที่ 5-11 (ต่อ)

เฮด H_a เมตร	ขนาดของรางวัดน้ำ - ซม. x ซม.								
	10x90	20x90	30x90	20x180	40x180	60x180	30x270	60x270	100x270
.455				.130	.266	.402	.182	.371	.626
.460				.133	.270	.409	.185	.377	.637
.465				.135	.275	.417	.189	.383	.648
.470				.138	.280	.424	.192	.390	.659
.475				.140	.285	.432	.195	.396	.669
.480				.142	.290	.439	.198	.403	.681
.485				.145	.295	.447	.201	.409	.692
.490				.147	.300	.454	.205	.416	.703
.495				.150	.305	.462	.208	.423	.714
.500				.152	.310	.470	.211	.429	.725
.505				.155	.315	.477	.214	.436	.737
.510				.157	.321	.485	.218	.443	.748
.515				.160	.326	.493	.221	.450	.760
.520				.162	.331	.501	.224	.457	.771
.525				.165	.336	.509	.228	.463	.783
.530				.168	.342	.517	.231	.470	.794
.535				.170	.347	.525	.235	.477	.806
.540				.173	.352	.533	.238	.484	.818
.545				.176	.358	.541	.242	.491	.830
.550				.178	.363	.550	.245	.498	.842
.555				.181	.369	.558	.249	.505	.854
.560				.184	.374	.566	.252	.513	.866
.565				.186	.380	.575	.256	.520	.878
.570				.189	.385	.583	.259	.527	.890
.575				.192	.391	.591	.263	.534	.902
.580				.195	.396	.600	.266	.541	.914
.585				.197	.402	.609	.270	.549	.927
.590				.200	.408	.617	.273	.556	.939
.595				.203	.414	.626	.277	.563	.952
.600				.206	.419	.635	.281	.571	.964

ตารางที่ 5-11 (ต่อ)

เฮด H_a เมตร	ขนาดของรางวัดน้ำ - ซม. x ซม.								
	10x90	20x90	30x90	20x180	40x180	60x180	30x270	60x270	100x270
.605							.284	.578	.977
.610							.288	.586	.989
.615							.292	.593	1.002
.620							.295	.601	1.015
.625							.299	.608	1.028
.630							.303	.616	1.040
.635							.307	.624	1.053
.640							.310	.631	1.066
.645							.314	.639	1.079
.650							.318	.647	1.092
.655							.322	.655	1.106
.660							.326	.662	1.119
.665							.330	.670	1.132
.670							.333	.678	1.145
.675							.337	.686	1.159
.680							.341	.694	1.172
.685							.345	.702	1.186
.690							.349	.710	1.199
.695							.353	.718	1.213
.700							.357	.726	1.226
.705							.361	.734	1.240
.710							.365	.742	1.256
.715							.369	.750	1.268
.720							.373	.759	1.281
.725							.377	.767	1.295
.730							.381	.775	1.309
.735							.385	.784	1.323
.740							.389	.792	1.337
.745							.393	.800	1.352
.750							.398	.809	1.366



รูปที่ 5-17 ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ในสูตรสำหรับคำนวนอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ ทั้งที่การไหลเป็นแบบอิสระ และแบบไหลใต้ผิวน้ำ พร้อมทั้งค่า TRANSITION SUBMERGENCE, S_t สำหรับตรวจสอบลักษณะการไหล

เมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ การวัดและคำนวณอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำจะให้ความละเอียดถูกต้องดีก็ต่อเมื่อ S มีค่าไม่เกิน 0.95 เช่นเดียวกันกับรางวัดน้ำแบบพาร์แชล นอกจากนั้นความลึกของน้ำในทางผายเข้าหรือ H_a ไม่ควรมีค่ามากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของความยาวของรางวัดน้ำ ($H_a/L \leq 0.40$)

เนื่องจากว่าการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ มีทั้งการไหลแบบอิสระและไหลใต้ผิวน้ำ และสูตรสำหรับคำนวณอัตราการไหลก็แตกต่างกันมาก เพราะฉะนั้น ก่อนที่จะคำนวณจำเป็นต้องตรวจสอบให้แน่นอนเสียก่อนว่าเป็นการไหลแบบใด ค่าที่จะบอกว่าเมื่อใดเป็นการไหลแบบอิสระหรือเมื่อใดเป็นการไหลใต้ผิวน้ำนั้นก็คือค่า Transition Submergence, S_t ซึ่งแสดงไว้ในกราฟของรูปที่ 5-17

ถ้า S หรือ H_b/H_a น้อยกว่า S_t ก็แสดงว่าเป็นการไหลแบบอิสระ

ถ้า S หรือ H_b/H_a มากกว่า S_t ก็แสดงว่าเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ

ถ้า S หรือ H_b/H_a เท่ากับ S_t ก็แสดงว่าการไหลอยู่ระหว่างแบบอิสระและใต้ผิวน้ำ จะใช้วิธีการคำนวณแบบใดก็จะได้ผลลัพธ์เท่ากัน

ตัวอย่างอย่างที่ 5.14

สมมุติว่ารางวัดน้ำแบบไม่มีคออันหนึ่งยาว 2.0 เมตร จงหาว่า

(ก) รางวัดน้ำนี้จะวัดได้ถูกต้องดีเมื่อ H_a มีค่ามากที่สุดเท่าไร

(ข) ถ้า H_a มีค่าเท่ากับ 0.60 เมตร เมื่อใดจึงจะเป็นการไหลแบบอิสระ เมื่อใดจึงเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ

วิธีทำ

(ก) การวัดจะต้องอยู่ในช่วง H_a/L ไม่เกิน 0.40

ดังนั้นรางวัดน้ำนี้จะให้ความละเอียดถูกต้องในการวัดดีเมื่อ H_a มีค่าไม่เกิน 0.40 L หรือ 0.80 เมตร

(ข) จากรูปที่ 5-17 สำหรับรางวัดน้ำขนาด 2 เมตร

Transition Submergence $S_t = 0.76$

หรือ $H_b/H_a = 0.76$

$H_b = 0.76 \times 0.60 = 0.456$ เมตร

นั่นคือ H_b ที่ Transition Submergence = 0.456 เมตร

เมื่อ H_b น้อยกว่า 0.456 เมตร การไหลในรางเป็นการไหลแบบอิสระ

และ H_b มากกว่า 0.456 เมตร เป็นการไหลใต้ผิวน้ำ

ตัวอย่างที่ 5.15

จงคำนวณอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอขนาด 0.40 x 1.80 เมตร ถ้า H_a และ H_b เท่ากับ 0.50 และ 0.38 เมตร ตามลำดับ

วิธีทำ

อัตราส่วน $H_b/H_a = 0.38/0.50 = 0.76$

และ $H_a/L = 0.50/1.80 = 0.28$

ในเมื่อ H_b/H_a น้อยกว่า 0.95 และ H_a/L น้อยกว่า 0.40 การคำนวณอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำจะถูกต้องเชื่อถือได้

จากรูปที่ 5-17 เมื่อรางวัดน้ำยาว 1.80 เมตร $S_t = 0.74$

เนื่องจาก H_b/H_a มากกว่า S_t ดังนั้น จะเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ

สูตรสำหรับการไหลใต้ผิวน้ำ

$$C_1 = K_1 W^{1.025}$$

และ $$Q = \frac{C_1 (H_a - H_b)^{n_1}}{(-\log S)^{n_2}}$$

จากรูปที่ 5-17

$K1 = 1.40, \quad n_1 = 1.65, \quad n_2 = 1.393$

แทนค่า

$$C_1 = 1.40(0.40)^{1.025}$$

$$= 0.547$$

และ $$Q = \frac{0.547(0.50 - 0.38)^{1.65}}{(-\log 0.76)^{1.393}}$$

$$= \frac{0.547 \times 0.0302}{0.0517}$$

$$= 0.319 \text{ ม.}^3/\text{วินาที}$$

5.4.2 การติดตั้งรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ

หลักเกณฑ์ทั่ว ๆ ไปในการติดตั้งรางวัดน้ำแบบไม่มีคอนั้นเหมือนกับรางวัดน้ำแบบพาร์แชล กล่าวคือ

1. รางวัดน้ำจะต้องติดตั้งตามแนวยาวของทางน้ำ โดยให้ศูนย์กลางตามแนวยาวของทางน้ำกับของรางวัดน้ำทับกัน ทางน้ำในบริเวณที่ติดตั้งรางจะต้องเป็นแนวตรง ไม่ควรติดตั้งในบริเวณที่น้ำไหลปั่นป่วนหรือมีคลื่น เช่น ในบริเวณติดกับประตูระบายหรือท่อระบายทางด้านท้ายน้ำ เป็นต้น

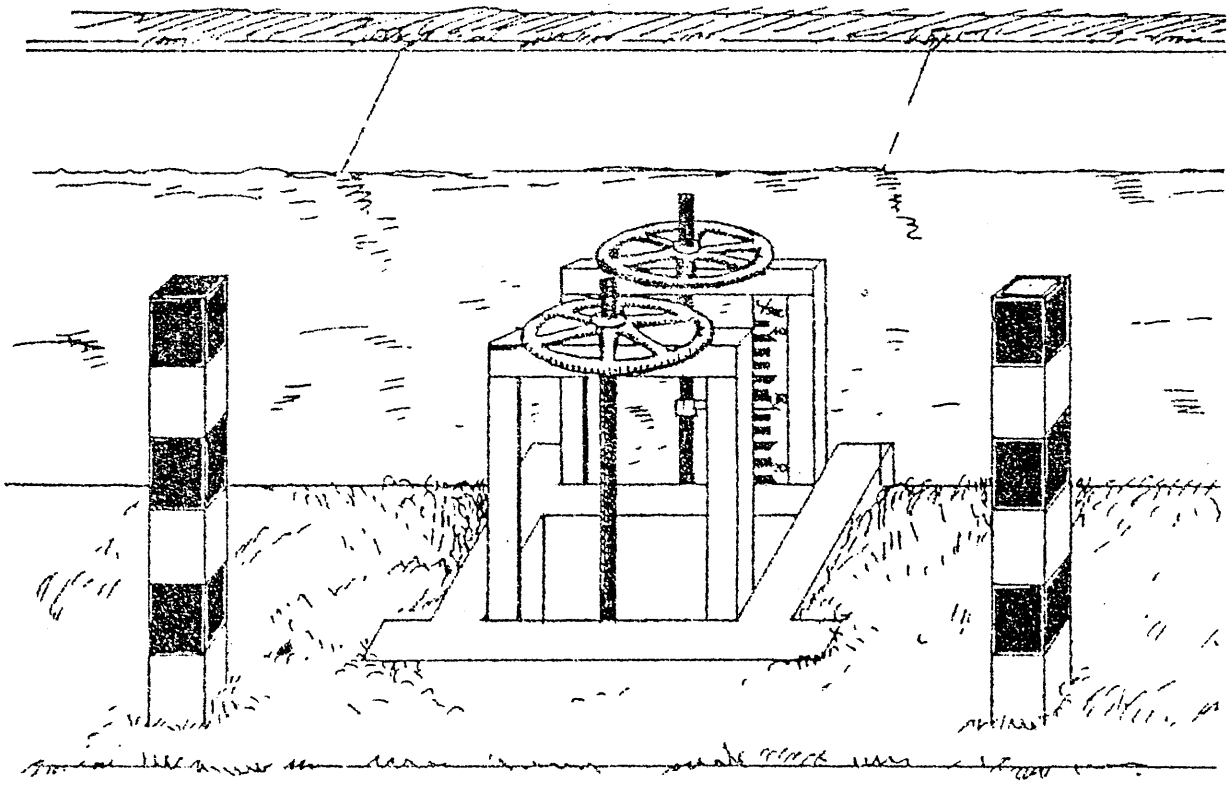
2. รางวัดน้ำจะต้องได้ระดับทั้งทางด้านยาวและด้านขวาง และจะต้องคอยตรวจสอบให้อยู่ในลักษณะเช่นที่กล่าวนี้ตลอดไป เพราะเมื่อใช้งานไปนาน ๆ อาจมีการทรุดตัวไม่เท่ากันได้

3. การวัดเฮดในทางผายเข้าและผายออกควรจะวัดโดยใช้บ่อน้ำนิ่ง (Stilling Wells) ซึ่งติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่กำหนด ถ้าจะใช้ไม้บรรทัดหรือแผ่นเทปติดไว้ที่ผนังของรางก็จะต้องติดให้อยู่ในแนวดิ่ง

4. เนื่องจากว่าการวัดเฮดและการคำนวณอัตราการไหลผ่านรางในกรณีที่เป็นการไหลแบบอิสระนั้นสะดวกกว่าเมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำมาก ดังนั้น โดยทั่วไปแล้วจึงมักติดตั้งให้น้ำไหลผ่านรางแบบอิสระ วิธีการคำนวณในการติดตั้งก็เหมือนกับของรางน้ำแบบพาร์แชล

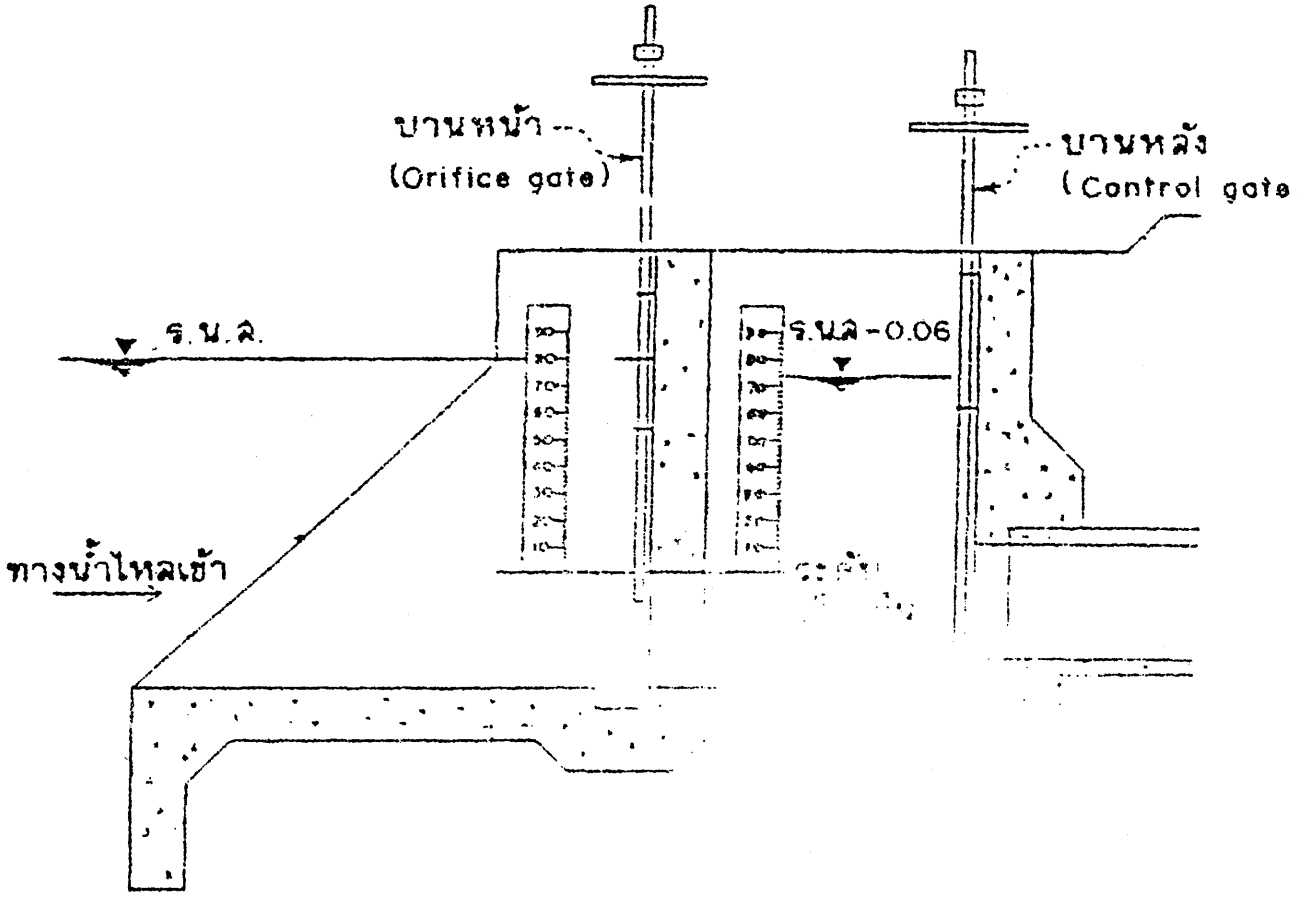
5.5 อาคารวัดน้ำชนิดที่มีความต่างระดับน้ำคงที่ (CHO)

CHO ประกอบด้วยบาน 2 บาน บานด้านหน้าเรียกว่า บานออริฟิซ ส่วนบานด้านหลังเรียกว่า บานควบคุมน้ำ สำหรับบานออริฟิซทำหน้าที่คล้ายกับบานเดี่ยวในกรณีการไหลแบบ Submerged flow ส่วนบานหลังหรือบานควบคุมน้ำทำหน้าที่ควบคุมให้ความแตกต่างของระดับน้ำเหนือบานออริฟิซคงที่ ฉะนั้นจึงเรียกอาคารชนิดนี้ว่า อาคารชนิดความต่างระดับน้ำคงที่ อาคาร CHO ขนาดใหญ่ส่วนมากจะใช้เป็น ปตร. ปากคลองซอย ส่วนขนาดเล็กจะใช้เป็นอาคารรับน้ำเข้าคูส่งน้ำ



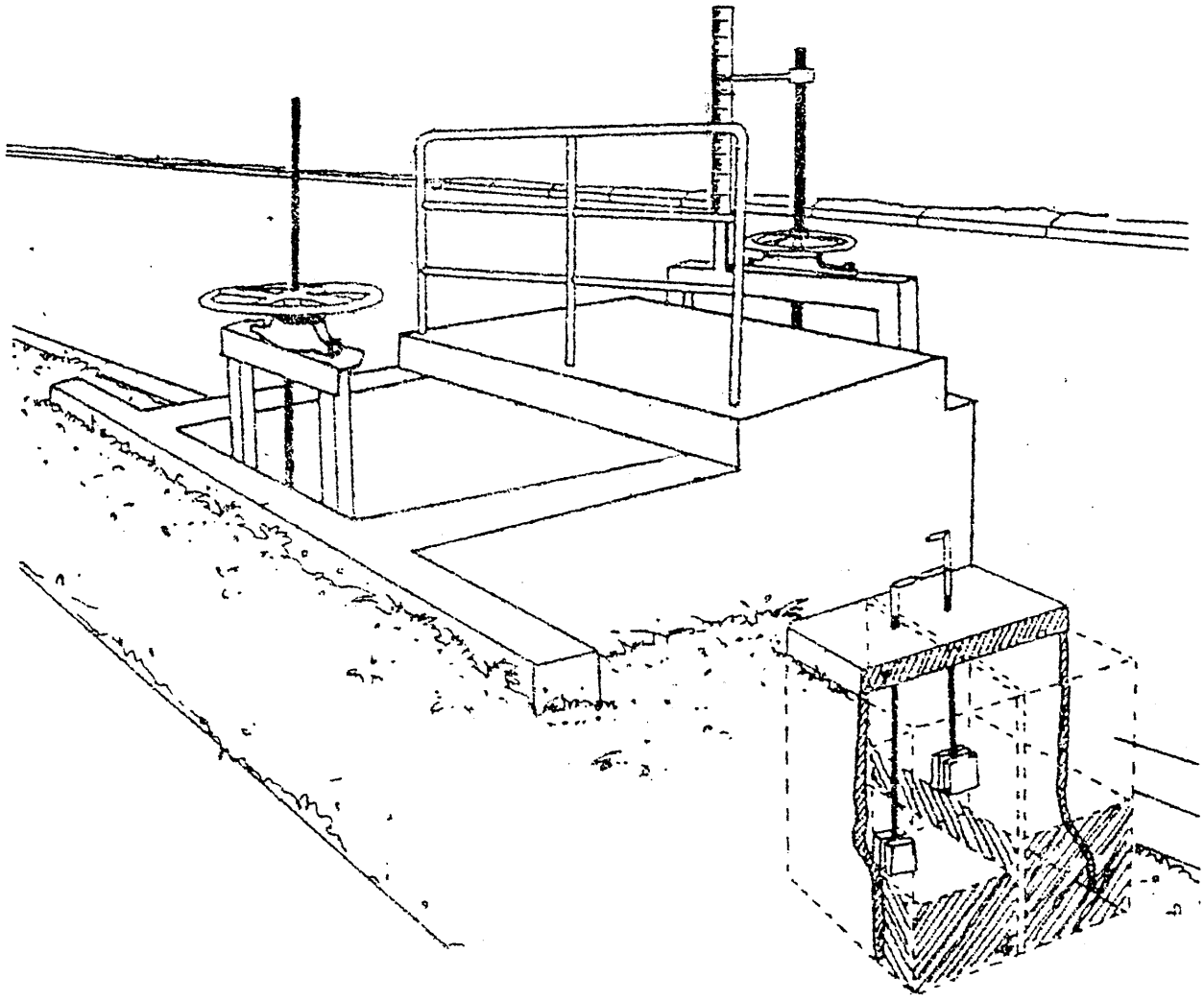
รูปที่ 5-18 ภาพสเกตของอาคารวัดน้ำแบบ CHO ขนาดเล็ก

เพื่อที่จะตรวจสอบว่าได้ความต่างระดับน้ำคงที่หรือไม่ จะต้องมีแผ่นระดับติดตั้งอยู่สองแห่งด้วยกันคือ ด้านหน้าและด้านหลังของบานออริฟิซ โดยการปรับบานหลังจะทำให้สามารถปรับระดับน้ำด้านหลังบานออริฟิซได้ จนมีความแตกต่างจากระดับน้ำด้านหน้าคงที่ ซึ่งส่วนมากจะใช้ค่าความต่างระดับน้ำคงที่ 6 ซม. สำหรับ CHO ขนาดเล็กและ 10 ซม. สำหรับ CHO ขนาดใหญ่



รูปที่ 5-19 รูปตัดตามยาวของอาคารวัดน้ำแบบ CHO แสดงตำแหน่งการติดตั้งแผ่นระดับทั้งสองแผ่น

ถ้าอาคาร CHO ประกอบด้วยบ่อวัดน้ำ ก็ต้องติดตั้งแผ่นระดับในบ่อวัดน้ำ หรืออาจใช้ลูกลอยพร้อมเข็มชี้ติดตั้งในบ่อวัดน้ำก็จะทำให้อ่านค่าระดับน้ำได้สะดวกขึ้น และทำการปรับตั้งความต่างระดับน้ำคงที่ได้ง่าย



รูปที่ 5-20 แสดงอาคารวัดน้ำแบบ CHO ขนาดใหญ่พร้อมติดตั้งเข็มบอกชี้ชนิดลูกลอย

สูตรที่ใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำของ CHO คือ :-

$$Q = C \times G_0 \times W \times \sqrt{2 \times g \times (H_{up} - H_{down})} \quad \text{.....(5.16)}$$

โดยที่ : Q = ปริมาณน้ำ (ม.^{3}/วินาที)

C = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ (-)

G_0 = ระยะการเปิดบาน (ม.)

W = ความกว้างของบาน (ม.)

g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (g = 9.81 เมตร/วินาที^{2})

H_{up} = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ (ม.)

H_{down} = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ (ม.)

เมื่อกำหนดให้ $H_{up} - H_{down}$ คงที่ = 0.06 ม. จะทำให้สูตรเป็นดังนี้ :-

$$Q = C \times G_0 \times W \times 1.08 \quad \text{.....(5.17)}$$

ถ้าทราบค่า C ที่ถูกต้องจากการปรับเทียบอาคารแล้ว ก็สามารถทำ ลิตร-สเกล นำไปติดตั้งขนานกับแกนบานพร้อมทั้งติดตั้งเข็มชี้ที่แกน ทำให้สามารถอ่านปริมาณน้ำได้โดยตรง กรณีที่ยังไม่ได้ปรับเทียบอาคารเพื่อหาค่า C ที่เป็นจริง ก็อาจใช้ค่า C = 0.7 ไปพลาง ๆ ก่อนได้

ตัวอย่าง : ตารางปริมาณน้ำสำหรับอาคารวัดน้ำชนิด CHO ที่มีขนาดความกว้างต่าง ๆ กัน หน่วยเป็น ลิตร/วินาที (โดยสมมุติให้ค่าสัมประสิทธิ์ C = 0.70)

G_0	ความกว้างของบานออริฟิช (ม.)						
(ม.)	.40	.50	.60	.80	1.00	1.20	1.50
.04	12	15	18	24	30	47	59
.06	18	23	27	36	45	71	88
.08	24	30	36	48	60	94	118
.10	30	38	45	60	76	118	147
.12	36	45	54	73	91	141	176
.14	42	53	64	85	106	165	206
.16	48	60	73	97	121	188	235
.18	54	68	82	109	136	212	265
.20	60	76	91	121	151	235	294
.22	67	83	100	133	166	259	324
.24	73	91	109	145	181	282	353
.26	79	98	118	157	197	306	382
.28	85	106	127	169	212	329	412
.30	91	113	136	181	227	353	441
.35		132	159	212	265	412	515
.40		151	181	242	302	471	588
.45			204	272	340	529	662
.50			227	302	378	588	735
.55				333	416	647	809
.60				363	454	706	882
.65					491	765	956
.70					529	824	1030

หมายเหตุ : ระยะเปิดบานสูงสุดต้องไม่เกินร้อยละ 80 ของความกว้างของบาน

ตัวอย่าง : ระยะเปิดบาน : 0.5 เมตร ความกว้างของบาน = 0.80 เมตร

ปริมาณน้ำ : 30.2 ลิตร/วินาที

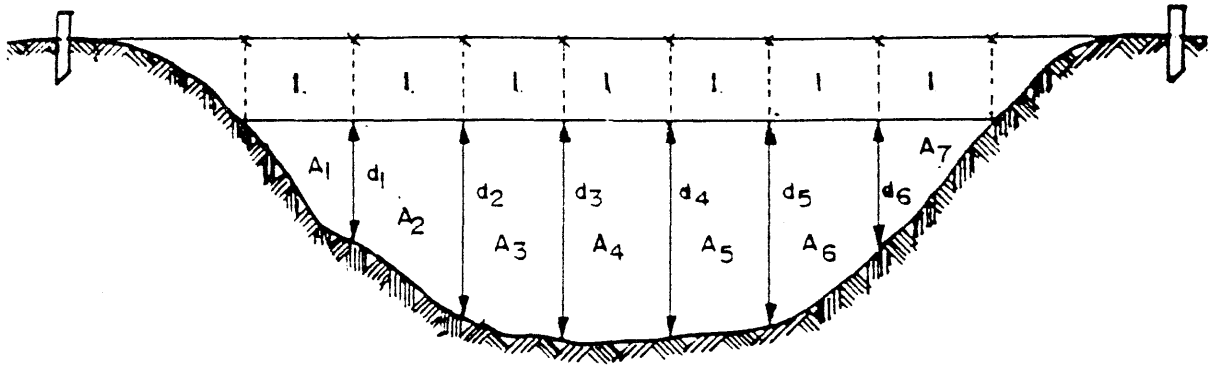
5.6 การวัดความเร็วของกระแสน้ำ

อัตราการไหลของน้ำในทางน้ำอาจจะหาได้จากผลคูณของพื้นที่หน้าตัดของน้ำกับความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำในทางน้ำนั้น กล่าวคือ

$$Q = AV \qquad \text{.....(5.18)}$$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลของน้ำผ่านจุดที่ทำการวัด A เป็นพื้นที่หน้าตัดของน้ำที่จุดเดียวกันและ V เป็นความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำซึ่งวัดได้ที่จุดนั้น

การหาพื้นที่หน้าตัดของน้ำอาจจะทำโดยการขึงเชือกขวางกั้นตั้งฉากกับทางน้ำ แล้ววัดความลึกที่จุดต่าง ๆ ตามแนวเชือกที่ขึงกั้นไว้เป็นระยะทางเท่า ๆ กันนับจากจุดที่น้ำสัมผัสกับตลิ่งด้านใดด้านหนึ่งจนได้ความลึกตลอดความกว้างของทางน้ำ ดังรูปที่ 10.18



รูปที่ 5-21 แสดงวิธีการหาพื้นที่หน้าตัดของน้ำในลำน้ำ

เมื่อทราบความลึกของน้ำที่จุดต่าง ๆ แล้ว พื้นที่หน้าตัดของน้ำก็จะหาได้จากผลรวมของพื้นที่ย่อยระหว่างจุดที่ทำการวัดความลึก พื้นที่ย่อยเหล่านี้จะหาได้โดยสูตรคำนวณพื้นที่สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมคางหมู กล่าวคือ

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \text{.....} + A_7$$

$$= \frac{1}{2} l d_1 + \frac{1}{2} l \frac{(d_1 + d_2)}{2} + \frac{1}{2} l \frac{(d_2 + d_3)}{2}$$

$$+ \text{.....} + \frac{1}{2} l \frac{(d_5 + d_6)}{2} + \frac{1}{2} l d_6 \qquad \text{.....(5.19)}$$

การวัดความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำทำได้หลายวิธีด้วยกัน การที่จะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับเครื่องมือเครื่องใช้ที่มีอยู่และความละเอียดถูกต้องที่ต้องการ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงสองวิธีที่ใช้กันมากที่สุดคือ การวัดโดยใช้ทุ่นลอยและการวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำ

ก. การวัดความเร็วของกระแสน้ำโดยใช้ทุ่นลอย การวัดความเร็วของกระแสน้ำโดยเทียบกับความเร็วของทุ่นลอยเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่ให้ค่าความเร็วโดยประมาณ ทุ่นลอยที่ใช้มีทั้งที่เป็นทุ่นผิวน้ำและท่อซึ่งลอยในแนวดิ่งโดยมีปลายด้านหนึ่งจมลงไปที่ระดับความลึกต่าง ๆ สำหรับทุ่นผิวน้ำนั้นความเร็วของทุ่นที่วัดได้มิใช่ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ ถ้าต้องการหาความเร็วเฉลี่ยจะต้องคูณความเร็วของทุ่นลอยด้วยสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำดังนี้คือ

ความลึกของน้ำ - เมตร	0.30	0.60	0.90	1.20	1.50	1.80	2.70	3.60	4.50	6.00 +
สัมประสิทธิ์	0.66	0.68	0.70	0.72	0.74	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80

เนื่องจากว่า ความเร็วของทุ่นผิวน้ำนั้นอาจจะอยู่ใต้อิทธิพลของลมได้ง่าย ดังนั้น จึงควรใช้ในขณะที่ลมสงบเท่านั้น

สำหรับทุ่นลอยที่เป็นท่อซึ่งมีความยาว 90 เปอร์เซ็นต์ของความลึกของน้ำ อาจถือได้ว่าลอยไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ แต่ทุ่นแบบนี้จะใช้วัดได้เฉพาะตอนกลางของทางน้ำเท่านั้น นอกจากนั้นทุ่นอาจสะดุดหรือครูดไปกับพื้นท้องน้ำได้ถ้าหากความลึกของน้ำไม่สม่ำเสมอ

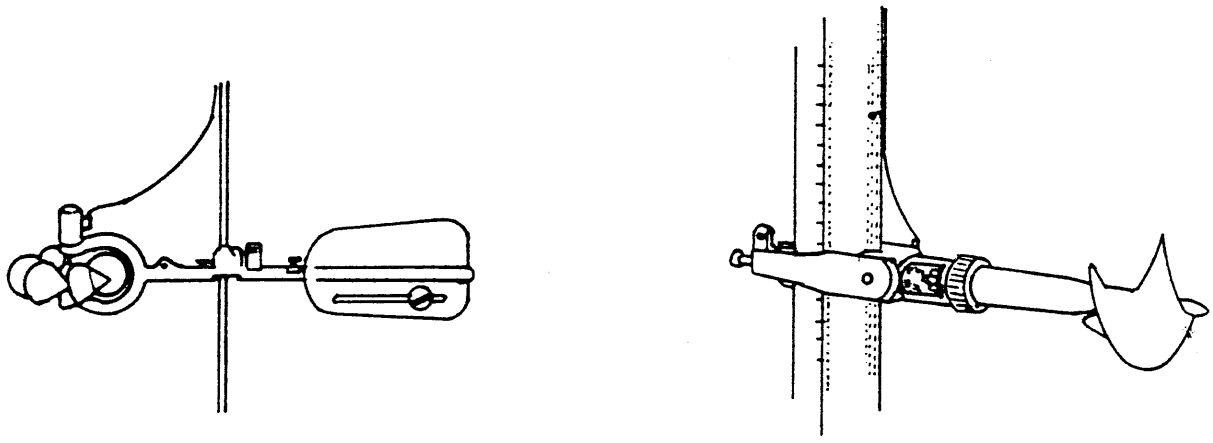
ตำแหน่งที่จะวัดความเร็วของกระแสน้ำโดยวิธีนี้ควรเป็นแนวตรง และพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอเป็นแนวยาวพอสมควร ขึงเชือกขวางกั้นตั้งฉากกับลำน้ำในช่วงนี้ 2 แนวให้อยู่ห่างกัน 20-30 เมตรหรือมากกว่า หย่อนทุ่นลอยด้านเหนือน้ำห่างจากแนวเชือกเส้นแรก 2-3 เมตร เพื่อให้ทุ่นปรับตัวเข้ากับกระแสน้ำก่อนที่จะเข้าจุดเริ่มทำการวัด จากนั้นก็จับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา คำนวณความเร็วของทุ่น และความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดให้ในตาราง

เพื่อให้ได้อัตราการไหลที่ถูกต้อง ควรแบ่งความกว้างของลำน้ำออกเป็น 3 ส่วนเป็นอย่างน้อย แล้ววัดความเร็วเฉลี่ยและพื้นที่หน้าตัดของแต่ละส่วนคูณกันออกมาเป็นอัตราการไหล ความเร็วของทุ่นลอยควรวัดซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง

ข. การวัดความเร็วของกระแสน้ำด้วยเครื่องวัด การวัดความเร็วของกระแสน้ำด้วยเครื่องวัดเพื่อนำไปใช้คำนวณหาอัตราการไหลนั้น ส่วนใหญ่จะใช้กับทางน้ำขนาดใหญ่ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้ฝายหรือรางวัดน้ำ

เครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปมีอยู่ 2 แบบคือ แบบที่วัดโดยใช้ถ้วยรูปทรงคล้ายกรวยแต่ไม่มีรู (Cup Type) และแบบวัดโดยใช้ใบพัด (Propeller Type) รูปร่างลักษณะของเครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำของทั้งสองแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 5-22

ในการใช้เครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำ ถ้าน้ำไม่ลึกนักเครื่องวัดก็จะติดตั้งอยู่บนท่อนเหล็กซึ่งใช้หยั่งความลึกของลำน้ำได้ด้วย แต่ถ้าน้ำลึกมากไม่สามารถใช้คนจับท่อนเหล็กลงไปวัดได้ เครื่องวัดก็จะแขวนไว้ด้วยลวดสลิงแล้วหย่อนลงไปในน้ำในระดับความลึกที่ต้องการวัด เมื่อถ้วยหรือใบพัดหมุนด้วยความเร็วของกระแสน้ำเครื่องวัดก็จะส่งสัญญาณมาเข้าหูฟังที่ผู้ทำการวัดสวมอยู่ จำนวนครั้งของสัญญาณในหนึ่งหน่วยเวลาที่นับได้ ก็จะนำไปเทียบเป็นความเร็วของกระแสน้ำได้โดยใช้กราฟหรือตารางที่บริษัทผู้ผลิตทำไว้ให้



รูปที่ 5-22 เครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำ (ก) แบบถ้วย (CUP TYPE) และ (ข) แบบใบพัด (PROPELLER TYPE)

การหาความเร็วเฉลี่ยของลำน้ำในส่วนต่าง ๆ อาจทำได้หลายแบบ วิธีที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปทำโดยการอ่านค่าความเร็วที่จุด 2 จุด คือที่ 0.2 และ 0.8 ของความลึกในแนวดิ่งเดียวกัน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ยสำหรับพื้นที่หน้าตัดนั้น แต่ถ้าหากน้ำตื้นมากก็อาจจะใช้ความเร็วที่ 0.6 ของความลึกเพียงค่าเดียวเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยก็ได้

การหาอัตราการไหลในทางน้ำโดยวิธีนี้ จะเริ่มโดยการแบ่งพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำออกเป็นส่วน ๆ ดังเช่นที่แสดงไว้ในรูปที่ 5-21 แล้ววัดความเร็วเฉลี่ยที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่ย่อย ๆ เหล่านั้น เช่น ถ้าเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าก็วัดความเร็วที่กึ่งกลางของพื้นที่ ถ้าเป็นสามเหลี่ยมก็วัดที่ 1/3 จากฐาน ผลรวมของผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดของน้ำกับความเร็วเฉลี่ยในส่วนนั้นครบทุกพื้นที่ย่อยก็จะเป็นอัตราการไหลในลำน้ำนั้น

บทที่ 6

เครื่องป้องกันเพื่อความปลอดภัย
(Safety Device)

6.1 ทั่วไป

The Bureau of Reclamation ระมัดระวังความปลอดภัยที่เป็นอันตรายอย่างมากต่อการเกิดอุบัติเหตุในทางน้ำเปิด ดังนั้นจึงมีลักษณะการป้องกันเป็นการออกแบบเพื่อความปลอดภัยควบคู่ไปด้วยกับการออกแบบระบบใหม่ และยังปรับปรุงระบบชลประทานเดิมให้มีความปลอดภัยต่อสาธารณะด้วย ในทำนองเดียวกันยังป้องกันความปลอดภัยให้กับสัตว์ต่างๆ ที่อยู่ในบริเวณนั้น

บทนี้จะนำเสนอการออกแบบและการเลือกอุปกรณ์ ความปลอดภัยทางน้ำบางแห่ง และการจัดชั้นการป้องกันความปลอดภัย และการใช้งาน

6.2 การแบ่งชั้นอุบัติภัย

การป้องกันความปลอดภัยแบบต่างๆ ที่รวมอยู่ในอาคารชลประทานขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงเป็นการยากที่จะกำหนดเป็นมาตรฐาน แต่เราพิจารณาถึงกฎของความปลอดภัยโดยทั่วไปให้เป็นประโยชน์ในการหาความต้องการของอุปกรณ์ความปลอดภัยต่างๆ สิ่งหนึ่งที่มีความสำคัญมากที่สุดที่เรานำมาพิจารณา คือคนซึ่งจะได้รับอันตรายจากอุบัติเหตุ ไม่ว่าจะเป็นการดำเนินงาน พักผ่อน หรือพักอาศัยอยู่ใกล้เคียง U.S.Bureau of Reclamation ได้แบ่งชั้นอุบัติภัยออกเป็น 6 ชั้นด้วยกัน คือ

ชั้น ก. คลองทั้งหลายที่อยู่ใกล้หรือใกล้เคียงกับโรงเรียน และพื้นที่พักผ่อน เช่น สนามเด็กเล่น ซึ่งมีเด็กมาเล่น เป็นจำนวนมาก

ชั้น ข. คลองทั้งหลายที่อยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่ชุมชนหรือทางหลวง และมีการสัญจรไปมาใกล้กับคลองนั้น

ชั้น ค. คลองทั้งหลายที่อยู่ใกล้กับฟาร์มเกษตร หรือทางหลวง ทำให้เด็กๆ ใช้พื้นที่เล่นกีฬาหรือพักผ่อน เช่น การว่ายน้ำ เป็นต้น

ชั้น ง. คลองทั้งหลายที่ไกลจากที่พักอาศัย เนื่องจากไม่ต้องการให้บุคคลมารุกล้ำ หรือใช้เป็นสถานที่ออกกำลังกาย

ชั้น จ. คลองทั้งหลายที่จะเป็นอันตรายแก่สัตว์เลี้ยง

ชั้น ฉ. คลองทั้งหลายที่จะเป็นอันตรายอย่างมากต่อการล่าสัตว์

ชนิดของการป้องกันที่ใช้หรือการป้องกันรอบๆ อาคารของคลองขึ้นอยู่กับชั้นของอุบัติภัย

6.3 อุปกรณ์ความปลอดภัย

ชนิด มีอุปกรณ์ความปลอดภัยหลายชนิดที่ใช้ในอาคารของคลอง อุปกรณ์เหล่านี้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1. เป็นอุปกรณ์ป้องกันไม่ให้บุคคลหรือสัตว์เลี้ยงบุกรุกหรือเข้าใกล้คลอง แบบมาตรฐานของรั้วชนิดต่าง ๆ อยู่ในรูป 6-1 ถึง 6-5

2. เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการหลบหลีกบุคคลไม่ให้เข้าสู่บริเวณคลอง ไม่ว่าจะเป็นการบุกรุกหรือโดยอุบัติเหตุ

รั้ว, ราวป้องกัน, ป้ายสัญญาณเตือนและอุปกรณ์ป้องกันคนเดินผ่านท่อ เป็นอุปกรณ์ความปลอดภัยซึ่งป้องกันคนและสัตว์เข้ามาในระบบคลอง ในทั้งหมดนี้ รั้วเป็นอุปกรณ์ป้องกันที่มีประสิทธิภาพที่สุด ป้ายสัญญาณเตือนใช้ได้สำหรับบุคคลบางประเภท และราวป้องกันใช้ในการป้องกันบุคคลและยานพาหนะตกลงไปในคลอง อุปกรณ์ป้องกันคนเดินผ่านท่อป้องกันคนใช้เป็นทางเดิน

ตะข่าย สายเคเบิ้ล ตะแกรง และบันได เป็นอุปกรณ์ช่วยเหลือให้คนขึ้นจากคลอง การผสมผสานระหว่างอุปกรณ์ที่กล่าวมาโดยมากจะสร้างไว้ที่ปลายด้านเหนือน้ำของอาคาร เพื่อจะช่วยคนให้รอดชีวิต ในกรณีที่คนเกิดอุบัติภัยในอาคารของคลอง

6.3.1 รั้ว รั้วเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันมาก และมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการป้องกันคนและสัตว์เข้าไปในคลองหรือบริเวณคลอง U.S.Bureau of Reclamation กำหนดแบบของรั้วที่ใช้ 6 แบบ การเลือกชนิดของรั้วขึ้นอยู่กับชั้นของอุบัติภัย รั้วเหล่านี้สร้างบนหรือใกล้กับเขตคลอง ดังแสดงในตาราง 6-1

ตาราง 6-1 การแบ่งชั้นของรั้ว

การแบ่งชั้นอุบัติภัย	ชนิดของรั้ว	ความสูงทั้งหมด (ม.)	วัสดุทำรั้ว				เสา		ราวบน
			โซ่เชื่อมสูง (ม.)	ตะแกรงลวดสูง (ม.)	ลวดถักสูง (ม.)	ลวดหนามจำนวนลวดขึง	ระยะห่าง ๕-๕ (ม.)	วัสดุ	
ก	โรงเรียน	2.10	1.80	-	-	3	3.10	เหล็ก	มี
ข	ชุมชน	1.50	1.20	-	-	3	3.10	เหล็ก	มี
ค	ชนบท	1.50	-	1.20	-	2	3.70	เหล็ก	-
	ชนบท	1.50	-	1.20	-	2	4.90	ไม้	-
ง	ไม่มี - นอกจากใช้กันเขตแนวกรรมสิทธิ์								
จ	ปศุสัตว์	1.20	-	-	-	4	4.90	ไม้	-
	ปศุสัตว์	1.20	-	-	8.10	3	4.90	ไม้	-
	ปศุสัตว์	1.20	-	-	-	4	3.70	เหล็ก	-
	ปศุสัตว์	1.20	-	-	8.10	3	3.70	เหล็ก	-
ฉ	กันสัตว์ป่า	2.40	-	2.13	-	3	4.90	ไม้	-

แบบมาตรฐานของรั้วชนิดต่าง ๆ อยู่ในรูป 6-1 ถึง 6-5

รั้วใช้ในการเชื่อมต่อกับตาข่าย หรือเคเบิ้ลรอบทางเข้าถึงไซฟอน เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.76 ม. หรือใหญ่กว่าตามชั้นของอุบัติภัย ก, ข หรือ ค รั้วจะต้องสร้างตามเกณฑ์ของการจัดชั้นอุบัติภัย โดยจะต้องสร้างตามทางเชื่อมต่อของกำแพงหน้าของท่อขยายผ่านข้างของทางเชื่อมต่อไปยังเสาสมอของตาข่ายหรือเคเบิ้ลดังที่แสดงในรูป 6-6 ในบางครั้งจะต้องทำรั้วช่วงสั้น ๆ ต่อยื่นลงมาตามลาดคันคลองลงมาถึงขอบผิวน้ำดังรูปที่ 6-7

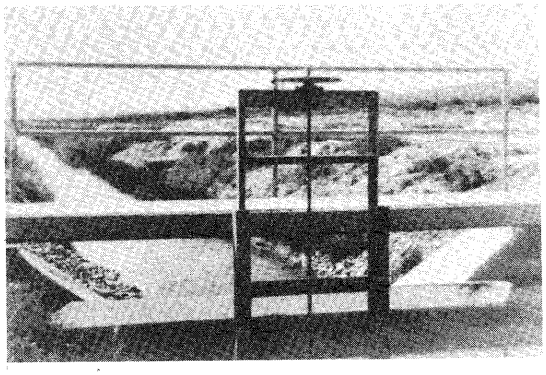
รั้วหรือราวป้องกัน สร้างไปตามความยาวแต่ละด้านของรางเท (รูป 6-8) น้ำตกสี่เหลี่ยมแบบเอียงและอ่างน้ำนิ่ง (รูป 6-9) มีความลึก 1.20 ม. หรือมากกว่านั้นในอุบัติภัยชั้น ก ข หรือ ค รั้วหรือราวป้องกันอาจจะสร้างแต่ละด้านของรางน้ำ เพื่อป้องกันคนตกลงไปเมื่อรางน้ำวางอยู่ในพื้นดิน

6.3.2 ราวป้องกัน มี 2 ชนิด

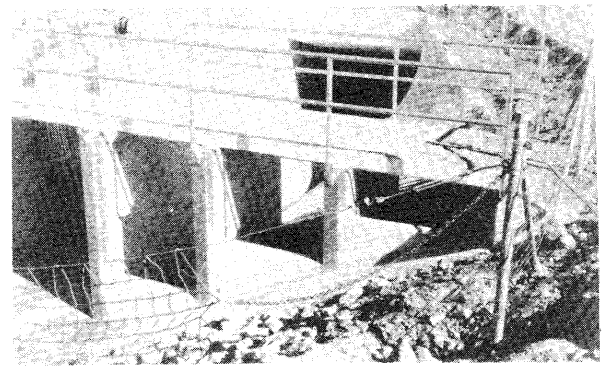
1. ใช้ป้องกันยานพาหนะที่แล่นบนคันคลองตกลงไปในคลองเมื่อมีการเลี้ยวอย่างอันตราย
2. ใช้ป้องกันคนตกลงไปในคลองตรงอาคาร แบบหลังบางทีเราเรียกว่า ท่อราวมือ ซึ่งจะอธิบาย ณ ที่นี้

ราวมือโดยปกติจะสร้างด้วยท่อโลหะ เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.04 ม. โดยผสมผสานด้วยเสาโลหะในคอนกรีตหรือยึดติดกับกำแพงตั้ง ในบางแห่งสูง 1.10 ม. และมีราว 2 หรือ 3 ราวในแนวนอน ขึ้นอยู่กับชั้นอุบัติภัย ราวมือชนิด 2 ราว (รูป 6-10) จะเพียงพอกับอุบัติภัยที่เกิดขึ้นในอาคารของคลองชั้น ค และ ง ส่วนชั้น ก และ ข ใช้ราวมือชนิด 3 ราว (รูป 6-11) ในบางกรณี โซ่โยงรั้วใช้เชื่อมกับราวมือชนิด 3 ราว เพื่อป้องกันเด็กคลานหรือลื่นไถลระหว่างราวและตกลงไปในอาคาร

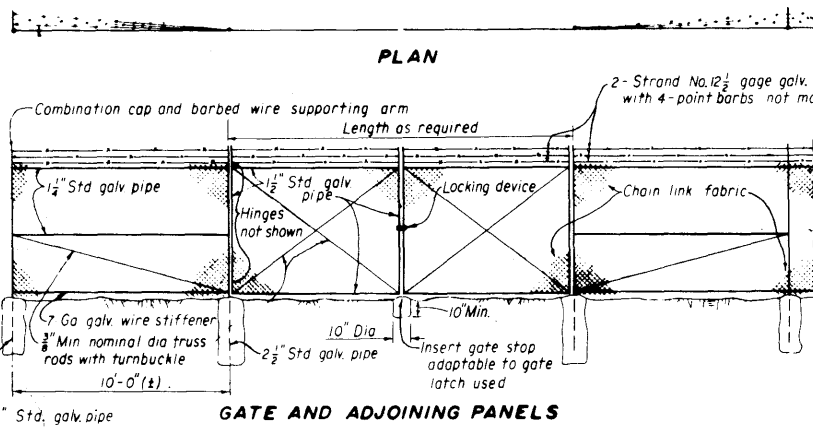
ท่อราวมือมักใช้เชื่อมกับตะแกรงรอบอาคารทางเข้าของไซฟอน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.76 ม. หรือใหญ่กว่าตามชั้นของอุบัติภัยชั้น ก, ข และ ค ถ้าไม่มีรั้ว ตะข่าย หรือเคเบิ้ล ดังที่อธิบายมาแล้ว ท่อราวมือยังนำมาใช้ที่อาคารทางออกของไซฟอน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.76 ม. หรือใหญ่กว่าในอุบัติภัยชั้น ก ข หรือ ค หรือรอบอาคารทางเข้าในอุบัติภัยชั้น ง ราวมือเหล่านี้สร้างผ่านทางเชื่อมต่อกับกำแพงหน้า และขยายไปตามความยาวทางเชื่อมต่อของทั้งสองด้านของคลอง ท่อราวมือยังนำมาใช้กับชานชลาสำหรับดำเนินงานหรือทางเดินของอาคารชลประทานต่าง ๆ โดยทั่วไปแล้วราวมือจะต้องใช้ตรงจุดสูงของทางเดิน หรือชานชลาที่สูงกว่า 1.10 ม. เหนือพื้นท้ายน้ำของอาคาร ราวมือด้านท้ายน้ำจะต้องมีเมื่อพื้นโครงยกสูงกว่าพื้นท้ายน้ำ 1.10 ถึง 1.50 ม. (รูป 6-12) ราวมือใช้กับทั้งสองข้างของทางเดิน ถ้าทางเดินอยู่สูง 1.50 ม. หรือมากกว่าเหนือพื้น (รูป 6-13)

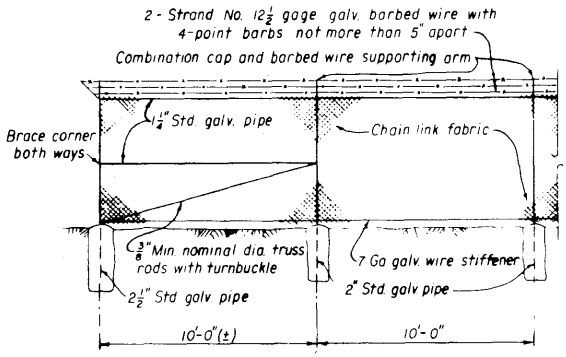


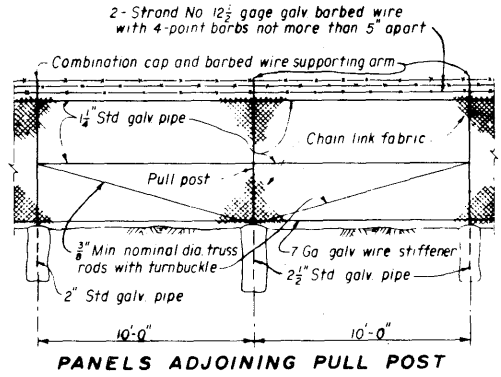
รูป 6-12 แสดงพื้นโครงยกและราวมือ

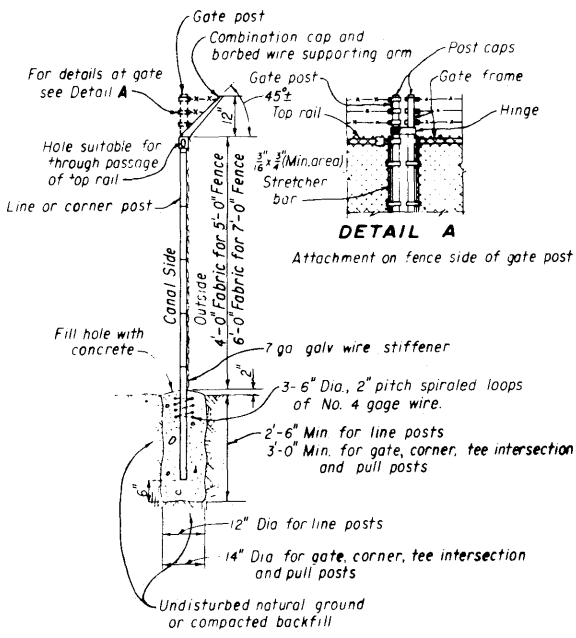


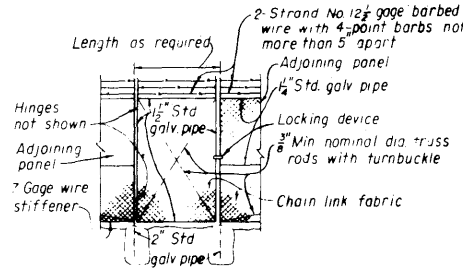
รูป 6-13 ทางเข้าอาคารอัดน้ำโดยมีรั้ว, ตาข่าย และราวมือทั้งสองข้างของทางเดิน











NOTES

All pipe diameters shown are iron pipe sizes, standard weight

Maximum interval between pull posts 200 feet.

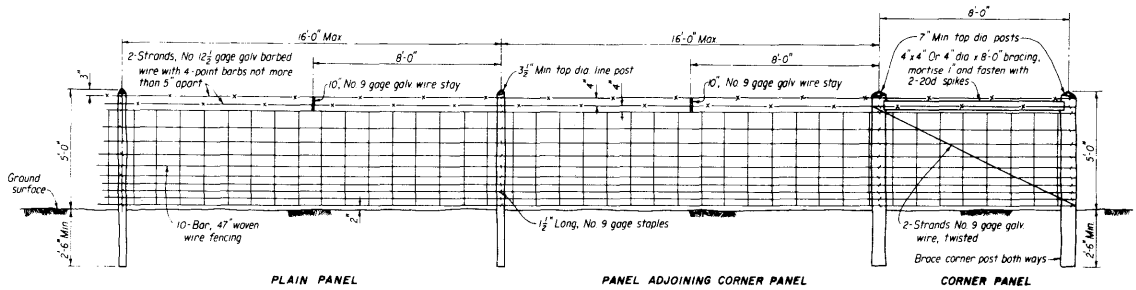
Barbed wire guard to be mounted vertically on all gate posts.

Chain link fabric shall be attached to fence framework in accordance with the manufacturer's standard instructions

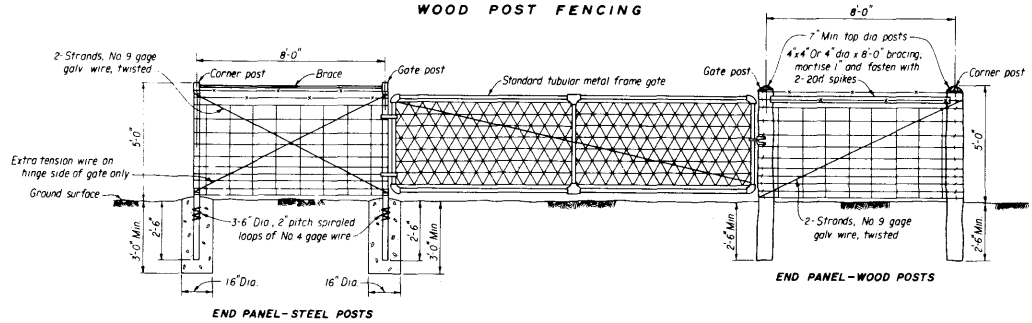
Barbed wire supporting arms shall conform with manufacturer's standards or shall be fabricated from 1½ inch pipe. They shall be welded in place or otherwise secured to prevent rotation.

School safety fence 7'-0" high.

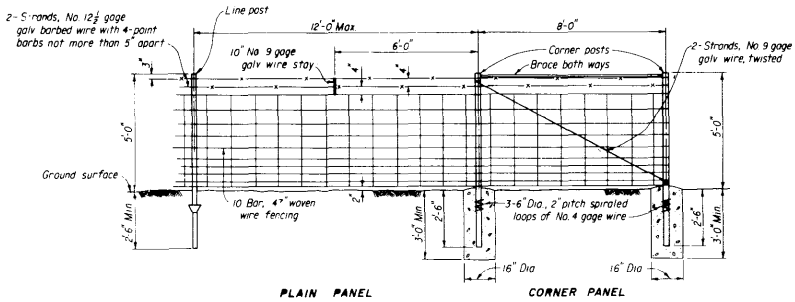
Urban safety fence 5'-0" high.



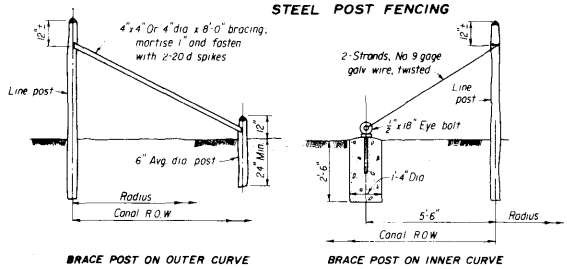
WOOD POST FENCING



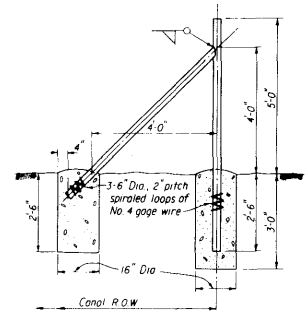
TUBULAR METAL FRAME GATE AND ADJOINING PANELS



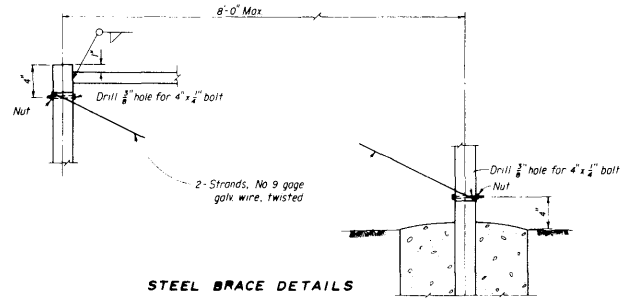
STEEL POST FENCING



CURVE BRACES-WOOD POSTS



CURVE BRACE STEEL POST



STEEL BRACE DETAILS

NOTES

Maximum length of fence without a corner post, end post, gate post, or brace post shall be 1,000 ft. Additional end panel shall be placed where directed by the contracting officer.

Fence on curve shall have brace posts spaced as follows:
Curve radius less than 500 ft., every 2nd post.
Curve radius 500-1,000 ft., every 5 th post.
Curve radius over 1,000 ft., every 7 th post.

All steel corner posts and brace posts shall be 2½-inch dia standard weight pipe.

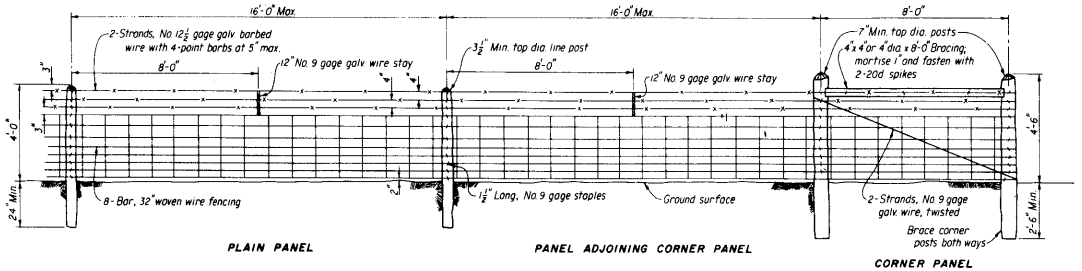
All steel braces shall be 1½-inch dia standard weight pipe.

For steel gate post size for tubular metal frame gate, see specifications paragraphs.

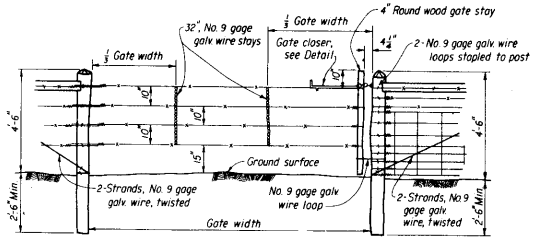
All wood posts to be placed with butt end down in undisturbed natural ground or compacted fill.

Woven wire fencing shall have No 10 gage top and bottom wires with No 12½ gage intermediate and stay wires, spacing of stays to be 12".

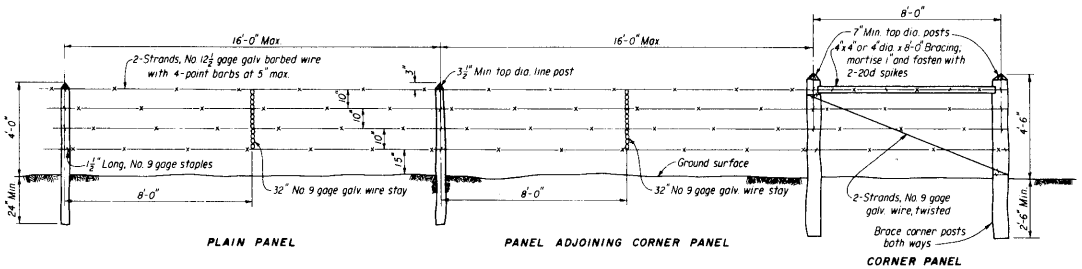
รูป 6 - 2 รั้วในเซลชนบท



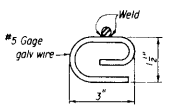
WOVEN WIRE FENCE



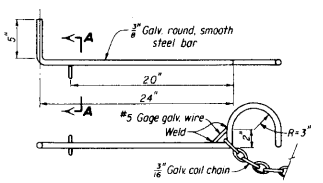
BARBED WIRE GATE



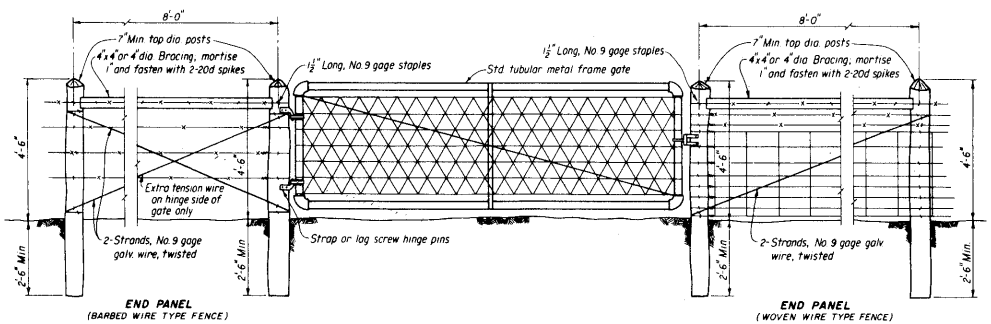
BARBED WIRE FENCE



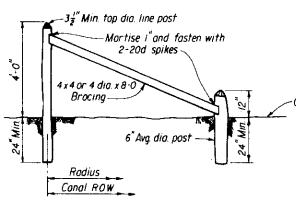
SECTION A-A



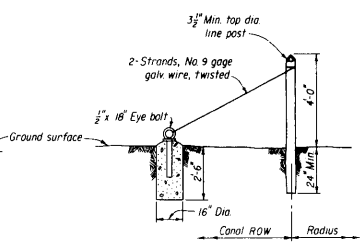
DETAIL OF GATE CLOSER



TUBULAR METAL FRAME GATE AND ADJOINING PANELS



BRACE POST ON OUTER CURVE



BRACE POST ON INNER CURVE

NOTES

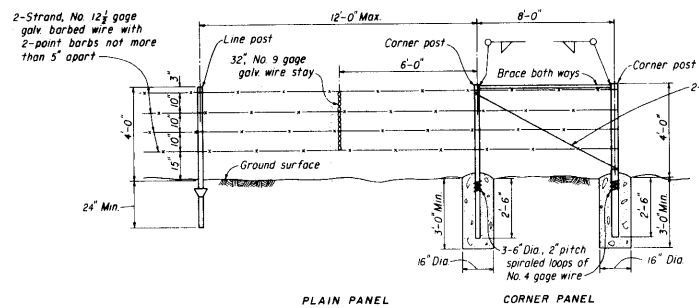
Maximum length of fence without a corner, end, gate, or brace post shall be 1,000 ft. Additional brace posts shall be placed where directed by the contracting officer.

Fence on curve shall have brace posts spaced as follows:
Curve radius less than 500 ft., every 2nd post.
Curve radius 500-1,000 ft., every 5th post.
Curve radius over 1,000 ft. every 7th post.

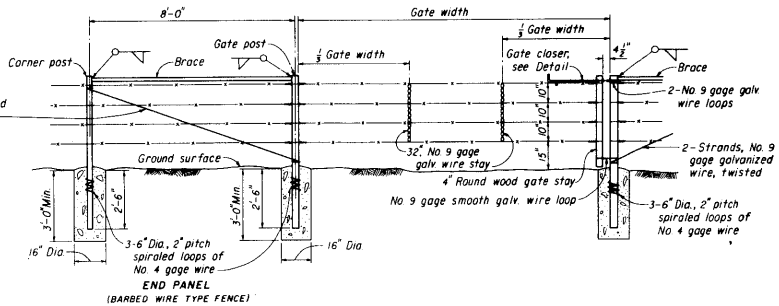
All wood posts to be placed with butt end down in undisturbed natural ground or compacted fill.

Woven wire fencing shall have No. 10 gage top and bottom wires with No. 12½ gage intermediate and stay wires, spacing of stay wires to be 12".

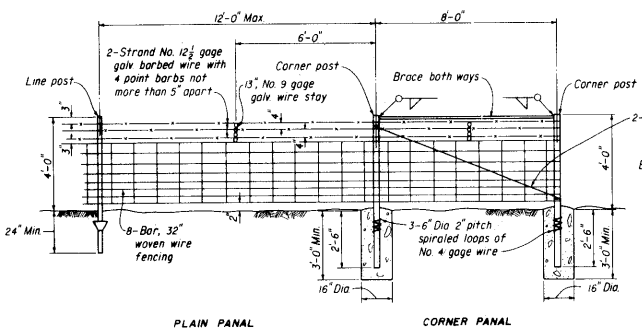
รูป 6-3 รั้วปศุสัตว์ชนิดเล่าไม้



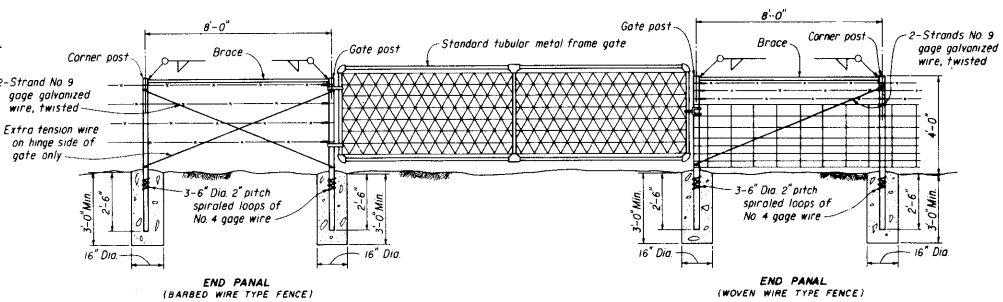
BARBED WIRE TYPE FENCE



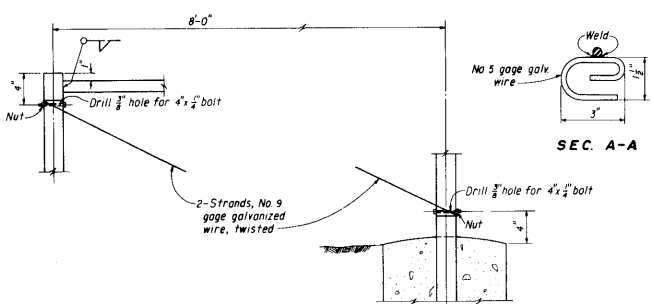
BARBED WIRE GATE AND ADJOINING PANELS



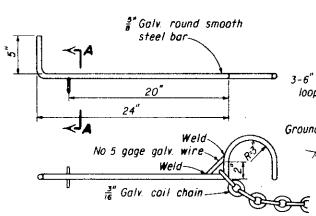
WOVEN WIRE TYPE FENCE



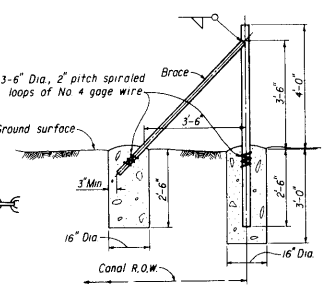
TUBULAR METAL FRAME GATE AND ADJOINING PANALS



BRACE DETAILS



DETAIL OF GATE CLOSER



CURVE BRACE POST

NOTES

Maximum length of fence without a corner post, end post, gate post, or brace post shall be 1000 ft. Additional end panal shall be placed where directed by the contracting officer.

Fence on curve shall have brace posts spaced as follows:
Curve radius less than 500 ft., every 2nd post.
Curve radius 500-1000 ft., every 5th post
Curve radius over 1000 ft., every 7th post

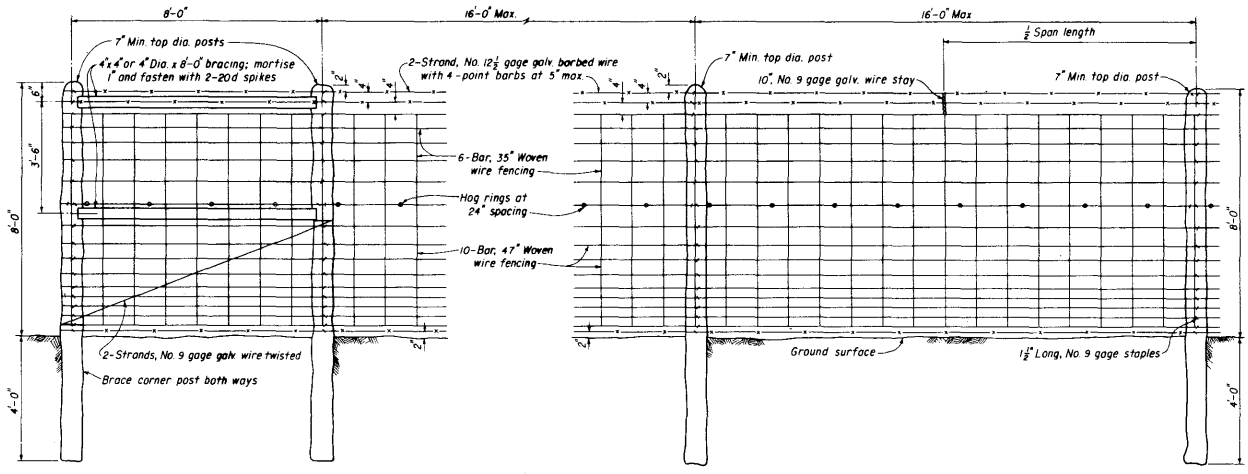
All corner posts, brace posts, and gate post for barbed wire gate shall be 2½-inch dia standard weight pipe.

All braces shall be 1½-inch dia standard weight pipe.

For gate post size for tubular metal frame gate, see specifications paragraphs.

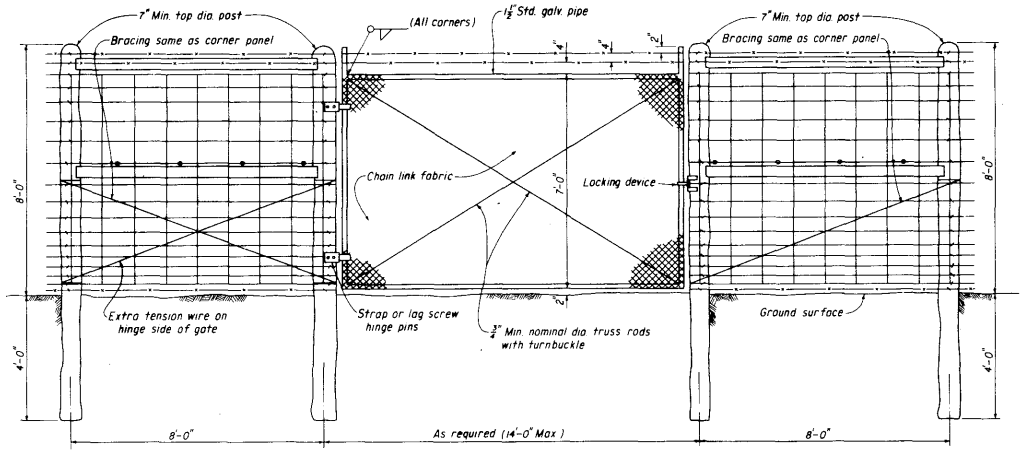
Woven wire fencing shall have No. 10 gage top and bottom wires with No. 12½ gage intermediate and stay wires, - spacing of stay wires to be 12 inch.

รูป6-4 รั้วปศุสัตว์ชนิดเส้าเหล็ก

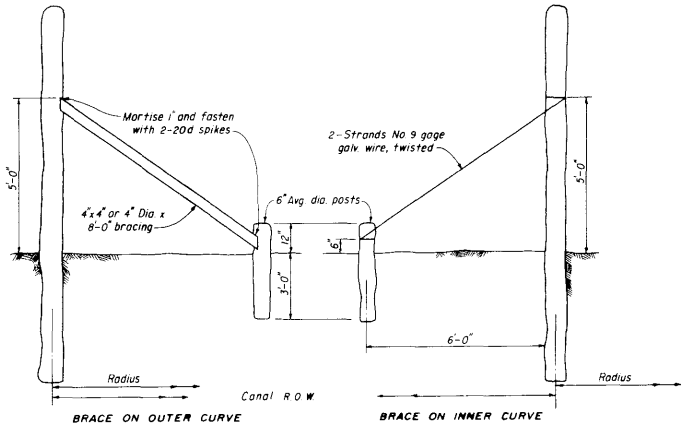


CORNER PANEL — PANEL ADJOINING CORNER PANEL — PLAIN PANEL

DEERPROOF FENCING



GATE AND ADJOINING PANELS



BRACE ON OUTER CURVE — BRACE ON INNER CURVE

BRACE POSTS ON CURVE

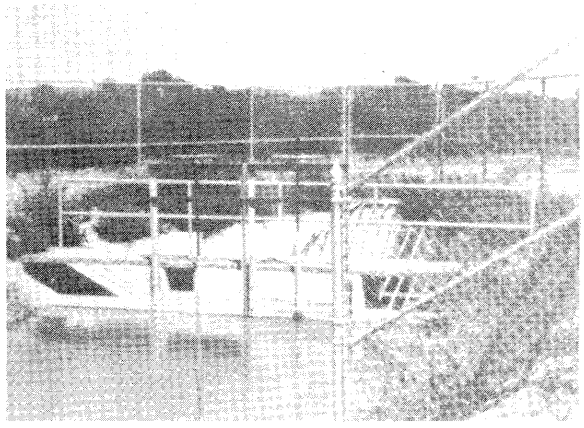
NOTES

Maximum length of fence without a corner, end, gate, or brace post shall be 1000 ft. Additional brace posts shall be placed where directed by the contracting officer.
Fence on curve shall have brace posts spaced as follows:
Curve radius less than 500 ft., every 2nd post.
Curve radius 500-1000 ft., every 5th post.
Curve radius over 1000 ft., every 7th post.
All wood posts to be placed with butt end down.
All wood posts to be placed in undisturbed natural ground or compacted fill.
Woven wire fencing shall have No. 10 gage top and bottom wires with No. 12½ gage intermediate and stay wires, spacing of stays shall be 12".
Chain link fabric shall be attached to gate framework in accordance with the manufacture's standard instructions.

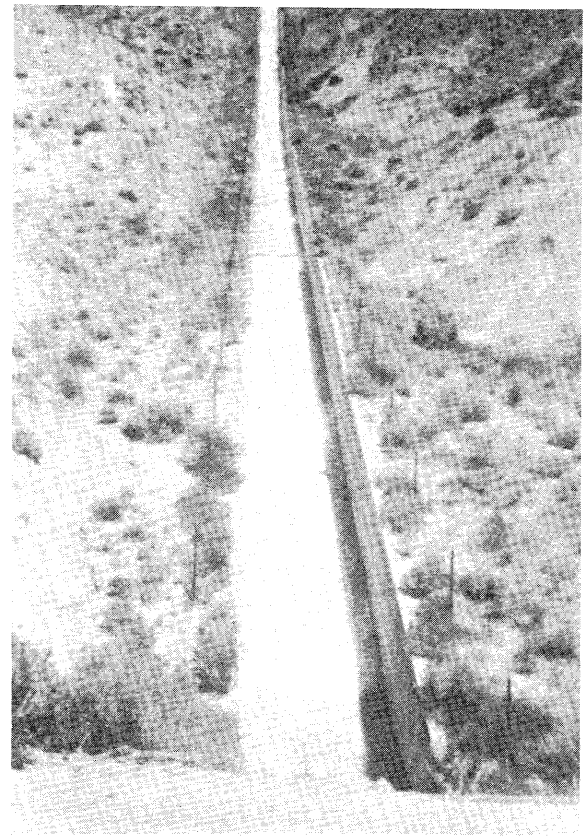
รูป 6 - 5 รั้วกันสัตว์ป่า



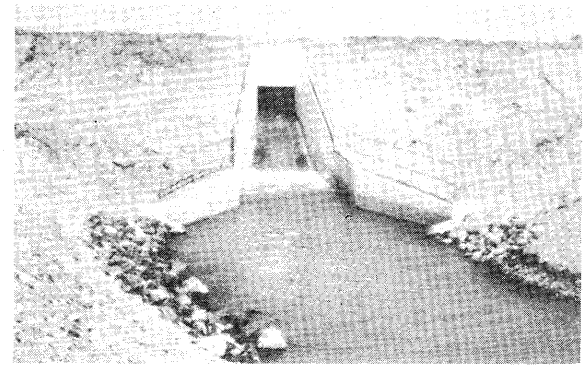
รูป6-6 ป้ายสัญญาณเตือน เครื่องสูบและรั้ว
ตรงปากทางเข้าไซฟอน



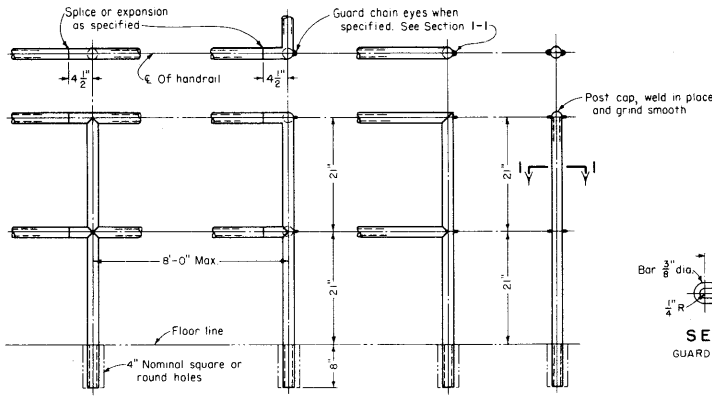
รูป 6-7 รั้วและท่อราวมือตรง
ปากทางเข้าไซฟอน

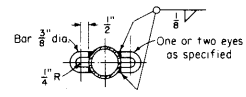


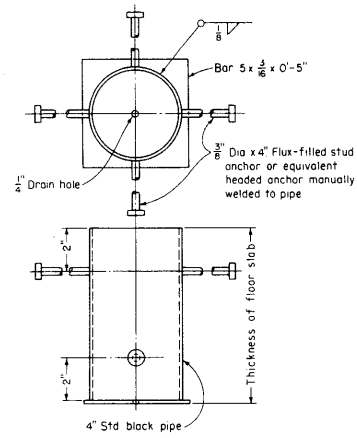
รูป 6-8 รั้วตามแนวรางเท

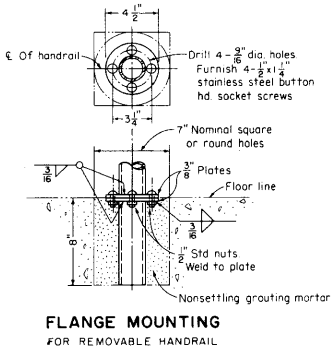


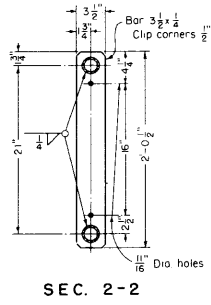
รูป 6-9 ท่อราวมือทั้งสองด้านของ
น้ำตกเฮียงและอ่างน้ำนิ่ง

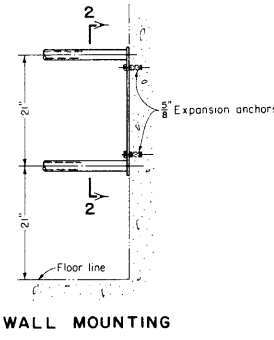


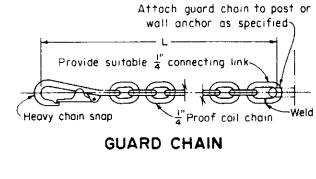


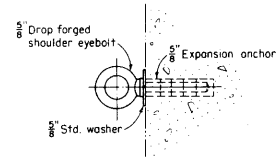


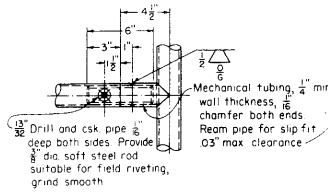


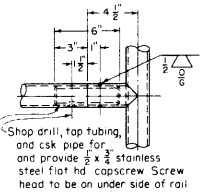


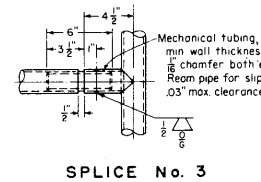


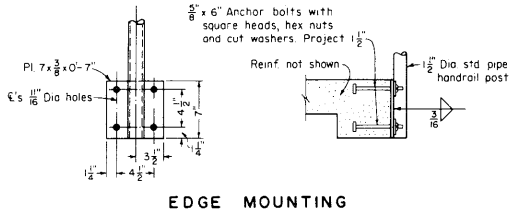








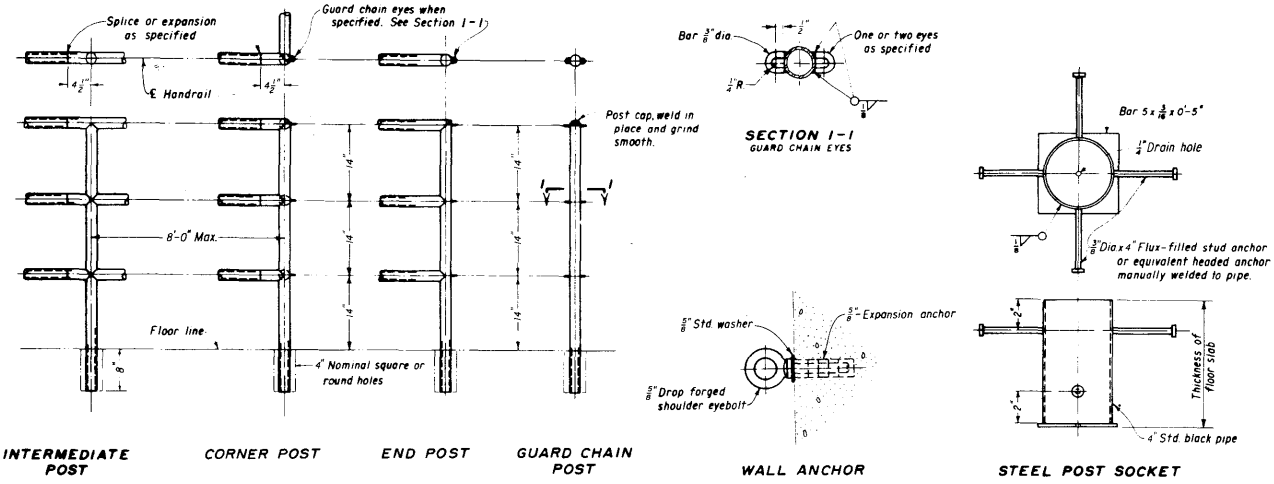


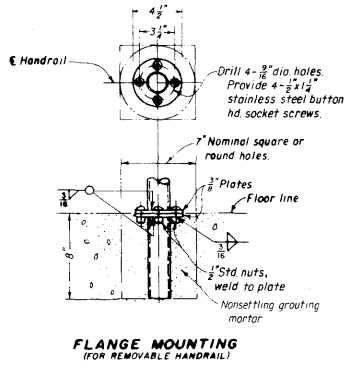


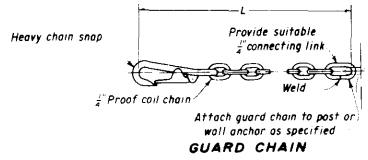
NOTES

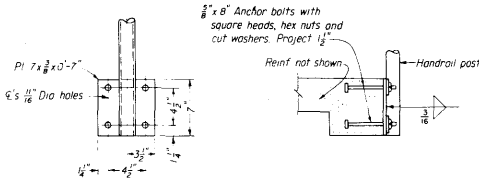
Welding symbols apply to the joints of all members of similar identification.
Weld all pipe joints with reinforced welds and dress smooth.
All handrail shall be fabricated with new standard weight black pipe or tubing.
All handrail shall be fixed unless specified to be removable.
See installation drawing for variable dimensions, splices and requirements.
Corners and edges of all plates, bars and pipe ends shall be free of burrs.
All expansion anchors, screws, riveting material, and bolts shall be provided as required for complete installation.
Expansion anchors shall conform to FF-S-325.
Embed all posts in nonsettling grouting mortar.

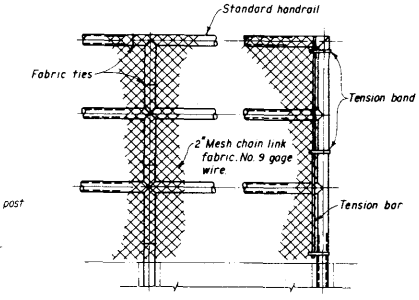
รูป 6 - 10 ราวมือชนิด 2 ราว สูง 1.10 ม.

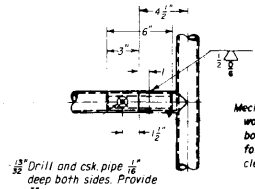


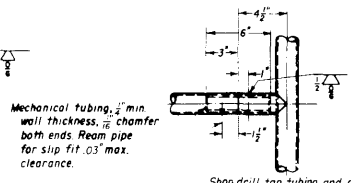


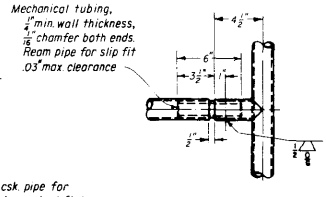


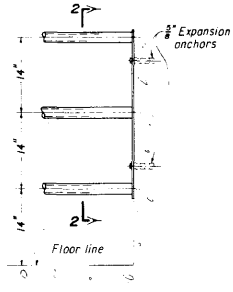


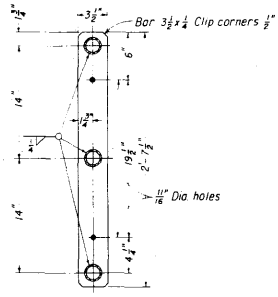












NOTES

Welding symbols apply to the joints of all members of similar identification.
Weld all pipe joints with 1/8" reinforced welds and dress smooth.
All handrail shall be fabricated with new 1 1/2" diameter standard weight black pipe or tubing.
All handrail shall be fixed unless specified to be removable.
See installation drawing for variable dimensions, splices and requirements.
Corners and edges of all plates, bars and pipe ends shall be free of burrs.
All expansion anchors, screws, riveting material, and bolts shall be provided as required for complete installation.
Maximum fabric tie spacing horizontal rails 24 inches, posts 14 inches.
Expansion anchors shall conform to FF-S-325.
Embed all posts in nonsetting grouting mortar.

รูป 6 - 11 ราวมือชนิด 3 ราว สูง 1.10 ม.

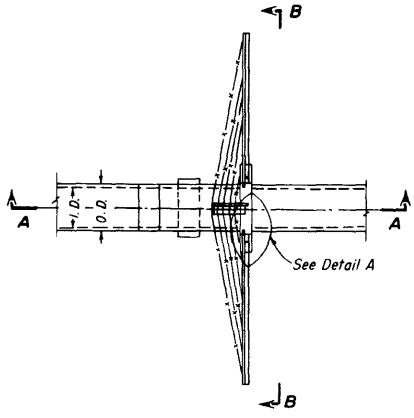
ถ้าอาคารอัดน้ำสร้างอย่างถาวรด้านเหนือน้ำของทางเข้าไซฟอนเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.90 ม. หรือใหญ่กว่านั้นหรืออาคารที่เป็นรางเทชันขนาดเดียวกัน ราวมือจะต้องสร้างทั้งทางชานชลาเหนือน้ำและท้ายน้ำ (รูปที่ 6-13)

ในกรณีที่ราวมือที่ติดตั้งในอาคารไปขัดขวางการดำเนินงาน เช่น การยกประตูอัดน้ำ หรือขจัดขยะจากตะแกรงขยะ ในกรณีนี้เราจะใช้ราวท่อหรือโซ่ป้องกันที่ถอดได้มาใช้แทนดังที่แสดงในรูป 6-10 และ 6-11

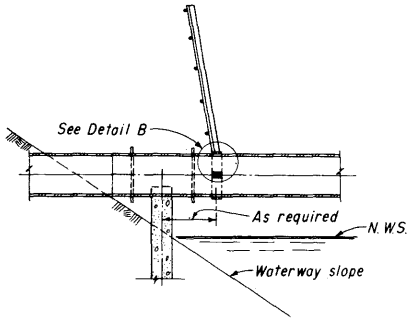
6.3.3 ป้ายสัญญาณเตือน โดยมากแล้วเรามักไม่ระมัดระวังอันตรายที่เกี่ยวข้องกับอาคารในระบบคลอง ดังนั้นในการเตือนภัย ป้ายสัญญาณเตือนภัยที่มีคำพูดอย่างดี เตือนถึงภยันตรายเฉพาะ จะต้องติดตั้งใกล้กับอาคารในที่ซึ่งแสดงไว้ในรูป 6-6 สัญญาณห้ามบุกรุกจะมีประโยชน์มาก และสัญญาณเตือนภัยในอันตรายเฉพาะอย่างจะเป็นประโยชน์เช่นกัน ในพื้นที่ ๆ ประชากรพูดต่างภาษากัน ป้ายสัญญาณเตือนภัยควรมีสองภาษา หรือเป็นรูปสากลที่เข้าใจง่าย

6.3.4 อุปกรณ์ป้องกันคนเดินผ่านท่อ แสดงอยู่ในรูป 6-14 ที่ผ่านมา ส่วนมากจะติดตั้งบนท่อที่ผ่านลำน้ำ เพื่อจุดประสงค์ที่ไม่ให้คนเดินผ่านท่อ และอาจเกิดอุบัติเหตุตกไปในคลองได้

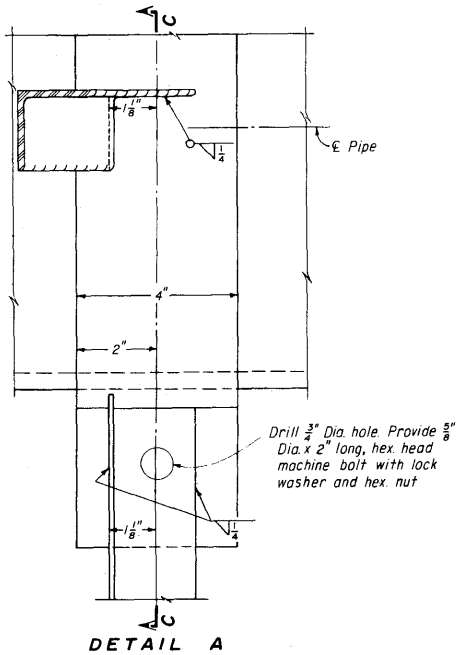
ส่วนมากจะสร้างไว้บนท่อที่ข้ามลำน้ำ หรือคลองทุกแห่ง ยกเว้นคลองนั้นอยู่ในบริเวณที่มีรั้ว



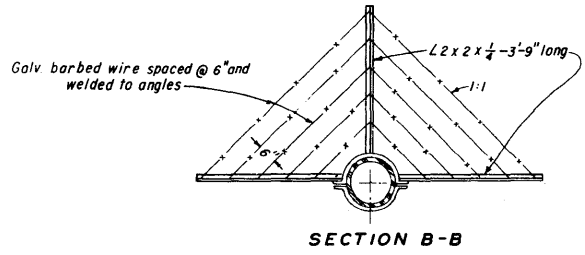
PLAN OF PIPE SAFETY BARRIER



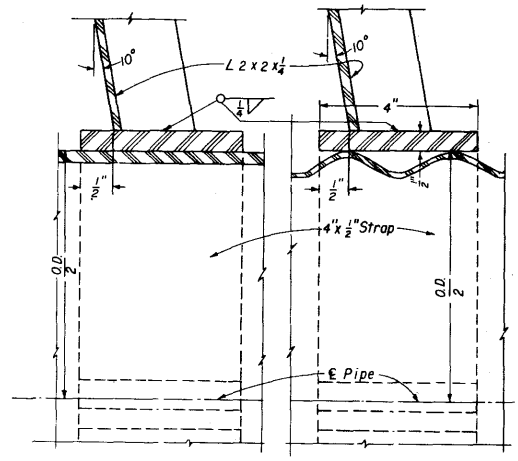
SECTION A-A



DETAIL A

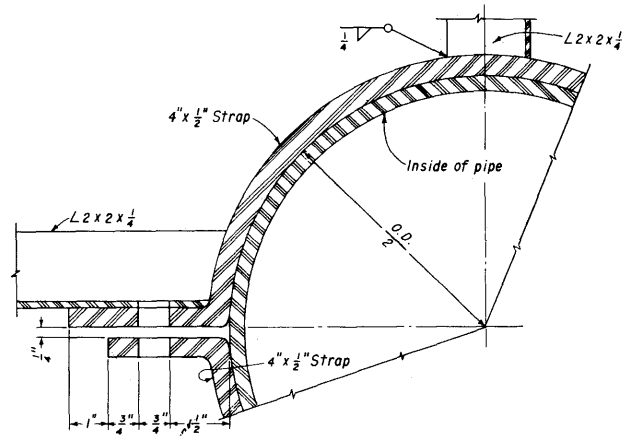


SECTION B-B



STEEL PIPE C.M.P.

DETAIL B



SECTION C-C

NOTE

Two Pipe Safety Barriers required at each pipe crossing

รูปที่ 6-14 อุปกรณ์ป้องกันคนเดินผ่านท่อ

บรรณานุกรม

Chow, Ven Te. Open - Channel Hydraulics. New York McGraw - Hill Book Company Inc. 1959

Henderson, F.M. "Open channel Flow" Macmillan, New York, 1966

UTAH WATER RESEARCH LABORATORY (1967). Design and Calibration of Submerged Open Channel Flow Measurement Structure : Part 1 - Submerged Flow, Part 2 - Parshall Flumes, Part 3 - Cutthroat Flumes, Part 4 - Weirs, College of Engineering, Utah State University, Logan, Utah.

The Bureau of Reclamation of the U.S. Department of the Interior, Design of Small Canal Structures, United State Government Printing office, Denver, Colorado : 1978

Brater Ernest F. and King Horace Williams. Hand Book of Hydraulic McGraw - Hill Book Company Inc. 1982

Shames, Irving H. Mechanics of Fluids, McGraw - hill Internation Book Company 1983

Streeter Victor L. and Wylie E. Benjamin, Fluid Mechanics McGraw - Hill, Inc. 1983

Davis Calvin Victor & Sorensen Kenneth E., Handbook of Applied Hydraulics, Mcgraw - Hill Book Company 1984

Sub-Directorate Planning and Design, Directorate of Irrigation I, Directorate General of Water Resources Development, Ministry of Public Works with assistance of DHV Consulting Engineers in association with PT Indah Karya, "Irrigation Design Standards Design Criteria Volume KP-01 to volume Kp-07 December 1986 (English Version)

The Bureau of Reclamation of the U.S. Department of the Interior, Design of Small Dams, United State Government Printing Office, Denver, Colorado : 1987

สุเทพ ติงศภัทิย์, เคนซากุ ทาเคดะ คู่มืออุทกวิทยาสำหรับงานชลประทาน กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2521

รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ บุญยธโรกุล หลักการชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2526
รองศาสตราจารย์ อรุณ คุณวาสี ไฮดรอลิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2529

สมชาย จันทร์ศรี (2522) การวัดปริมาณน้ำและการตรวจสภาพน้ำในแปลงนา เอกสารประกอบคำบรรยายการอบรมพนักงานส่งน้ำ และนายตรวจชลประทาน

อาจารย์อรุณ อินทรปาลิต การวางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำชลประทาน ชลกรณ์บับพิเศษ 72 ปี อาจารย์อรุณ อินทรปาลิต 17 สิงหาคม 2534

กลุ่มออกแบบระบบชลประทาน
สำนักออกแบบวิศวกรรมฯ
รับที่.....ส่งที่.....
วันที่.....เวลา.....