



กรมชลประทาน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

คู่มือการใช้แบบมาตรฐานท่อลอดถนนทนน้ำ

ดำเนินการโดย
คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานอาคารระบบส่งน้ำและระบายน้ำ
กรกฎาคม 2550

คำนำ

เอกสารคู่มือการใช้แบบมาตรฐานท่อลอดถนนท่อน้ำ เป็นเอกสารที่ได้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือสำหรับวิศวกรและนายช่าง ที่ปฏิบัติงานในกรมชลประทานและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อจะได้นำแบบมาตรฐานชุดนี้ไปใช้ในการปฏิบัติงานให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ เป็นแนวทางเดียวกันตามวัตถุประสงค์ของกรมชลประทานที่ต้องการให้มีการกำหนดมาตรฐานในการปฏิบัติงานในด้านต่างๆขึ้น

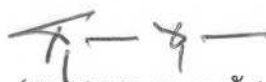
คณะทำงานขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนทำให้เอกสารชุดนี้มีความสมบูรณ์

คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐาน
อาคารในระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำ

เรียน ประธานคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐาน

ตามคำสั่งของคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐานที่ 1/2547 เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานอาคารในระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำ บัดนี้คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานอาคารในระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำได้ดำเนินการจัดทำคู่มือการใช้แบบมาตรฐานที่สอดคล้องกันจนทศน้ำ เสร็จเรียบร้อยแล้ว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาดำเนินการต่อไป



(นายสุรพล ชุนหะวัต)

ประธานคณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐาน
อาคารในระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำ

เรียน อรช.

เพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ



(นายพิรพงษ์ สุวรรณมนตรี)

รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ

ประธานคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐาน

อนุมัติ



(นายสามารถ โชคณาพิทักษ์)

อธิบดีกรมชลประทาน

สารบัญ

	หน้า
สารบัญภาพ	
สัญลักษณ์และอักษรย่อที่ใช้	
คำชี้แจง	1
รูปแบบอาคาร	1
ข้อกำหนดการใช้งาน	2
ขั้นตอนการกำหนดมิติและระดับ	2
ก. ท่อลอดถนนทนน้ำที่ใช้ท่อตรง	3
ข. ท่อลอดถนนทนน้ำที่ใช้ท่อหักตรง	4
ค. ท่อลอดถนนทนน้ำที่ใช้ท่อหักงอ	5
โปรแกรมประกอบการใช้แบบมาตรฐานท่อลอดถนนทนน้ำ	6
ตัวอย่างการออกแบบท่อลอดถนนทนน้ำ	19
- การออกแบบท่อลอดถนนทนน้ำ 1 แถว	19
- ตัวอย่างที่ 1	19
- ตัวอย่างที่ 2	25
- ตัวอย่างที่ 3	32
- ตัวอย่างที่ 4	39
- ตัวอย่างที่ 5	48
- ตัวอย่างที่ 6	57
- การออกแบบท่อลอดถนนทนน้ำ 2 แถว	
- ตัวอย่างที่ 7	66
บรรณานุกรม	74
ภาคผนวก	
- การป้องกันความเสียหายของอาคารที่เกิดจากเมื่อดินไหลลงใต้อาคาร	75

สารบัญภาพ

รายละเอียดภาพ	หน้า
รูปที่ 1 - กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากการหักงอท่อ	4
รูปที่ 2 - ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเริ่มต้นใช้โปรแกรม pipedrop0402	6
รูปที่ 3 - ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อกดปุ่มตกลงหรือปุ่ม Enter	6
รูปที่ 4 - Flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบท่อลอดถนนทดน้ำ	8
- Flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบท่อลอดถนนทดน้ำ (ต่อ)	9
- Flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบท่อลอดถนนทดน้ำ (ต่อ)	10
- Flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบท่อลอดถนนทดน้ำ (ต่อ)	11
- Flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบท่อลอดถนนทดน้ำ (ต่อ)	12
รูปที่ 8 - ท่อชนิด ก1-3-1 ท่อตรง 1 แถว Outlet transition ตรง ขนาด ϕ 0.50-0.80 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-001	13
รูปที่ 9 - ท่อชนิด ก1-3-2 ท่อตรง 1 แถว Outlet transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-003	13
รูปที่ 10 - ท่อชนิด ก1-4-2 ท่อตรง 1 แถว Outlet transition เอียง ขนาด ϕ 1.00-1.50 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-006	14
รูปที่ 11 - ท่อชนิด ก2-3-2 ท่อตรง 2 แถว Outlet transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-008	14
รูปที่ 12 - ท่อชนิด ข1-3-1 ท่อหักตรง 1 แถว Outlet transition ตรง ขนาด ϕ 0.50-0.80 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-011	15
รูปที่ 13 - ท่อชนิด ข1-3-2 ท่อหักตรง 1 แถว Outlet transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-013	15
รูปที่ 14 - ท่อชนิด ข1-4-2 ท่อหักตรง 1 แถว Outlet transition เอียง ขนาด ϕ 1.00-1.50 แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-015	16
รูปที่ 15 - ท่อชนิด ข2-3-2 ท่อหักตรง 2 แถว Outlet transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-016	16
รูปที่ 16 - ท่อชนิด ค1-3-1 ท่อหักงอ 1 แถว Outlet transition ตรง ขนาด ϕ 0.50-0.80 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-018	17
รูปที่ 17 - ท่อชนิด ค1-3-2 ท่อหักงอ 1 แถว Outlet transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-020	17

สารบัญภาพ (ต่อ)

รายละเอียดภาพ

หน้า

รูปที่ 18 - ท่อชนิด ค1-4-2 ท่อหักงอ 1 แฉก Outlet transition เอียง ขนาด ϕ 1.00-1.50 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-022	18
รูปที่ 19 - ท่อชนิด ค2-3-2 ท่อหักงอ 2 แฉก Outlet transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-024	18
รูปที่ 20 – รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 1	19
รูปที่ 21 – รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 2	25
รูปที่ 22 – รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 3	32
รูปที่ 23 – รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 4	39
รูปที่ 24 – ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเริ่มต้นใช้โปรแกรม pipedrop0402	42
รูปที่ 25 – ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อกดปุ่มตกลงหรือปุ่ม Enter	42
รูปที่ 26 – ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อป้อนข้อมูลครบถ้วนแล้วกดปุ่มคำนวณ	43
รูปที่ 27 – รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 5	48
รูปที่ 28 – ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเริ่มต้นใช้โปรแกรม pipedrop0402	51
รูปที่ 29 – ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อกดปุ่มตกลงหรือปุ่ม Enter	52
รูปที่ 30 – ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อป้อนข้อมูลครบถ้วนแล้วกดปุ่มคำนวณ	52
รูปที่ 31 – รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 6	57
รูปที่ 32 – ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเริ่มต้นใช้โปรแกรม pipedrop0402	60
รูปที่ 33 – ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อกดปุ่มตกลงหรือปุ่ม Enter	60
รูปที่ 34 – ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อป้อนข้อมูลครบถ้วนแล้วกดปุ่มคำนวณ	61
รูปที่ 35 – ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเริ่มต้นใช้โปรแกรม pipedrop0402	68
รูปที่ 36 – ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อกดปุ่มตกลงหรือปุ่ม Enter	68
รูปที่ 37 – ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อป้อนข้อมูลครบถ้วนแล้วกดปุ่มคำนวณ	69

สัญลักษณ์และอักษรย่อที่ใช้

สัญลักษณ์

หรืออักษรย่อ

ความหมาย

h_{vp}	Velocity head ของน้ำที่ไหลภายในท่อ
h_{vc}	Velocity head ของน้ำที่ไหลในคลอง
Δh_v	ความต่างของ Velocity head ระหว่างจุดสองจุดที่อ้างอิง
g	อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ใช้เท่ากับ 9.81 เมตร/วินาที/วินาที
n	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning
R	Hydraulic radius รัศมีความโค้งของแนวท่อ
	ความสูง Check Inlet จากพื้นถึงขอบกำแพงข้าง
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ
ζ	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากการหักงอท่อ
H_{LA}	Head Loss ที่กำหนดไว้ในแบบคลอง
H_L	Head Loss ทั้งหมดของอาคารที่คำนวณได้
EL_{xx*}	ราคาดระดับตามจุดต่างๆที่กำหนดไว้ในแบบมาตรฐานที่อ้างอิง
L_{xx*}	ความยาวของส่วนต่างๆ ของอาคารที่กำหนดไว้ในแบบมาตรฐานที่อ้างอิง
U/S F.S.L.	ระดับน้ำสูงสุดด้านเหนือน้ำ
D/S F.S.L.	ระดับน้ำสูงสุดด้านท้ายน้ำ
Y_2	ความสูง Outlet Transition ตรง Cutoff
a_2	ความสูง Headwall ของ Outlet Transition
L_{TU}	ความยาวในแนวราบของ Check Inlet
L_{TD}	ความยาวในแนวราบของ Outlet Transition

* xx แทนตัวเลขต่างๆ ที่ปรากฏอยู่

คู่มือการใช้แบบมาตรฐานท่อลอดถนนทดน้ำ

มฐ04 - 02

คำชี้แจง

คู่มือการใช้แบบมาตรฐานนี้ถูกจัดทำขึ้น เพื่อวัตถุประสงค์ให้ผู้ใช้งานแบบมาตรฐานท่อลอดถนนทดน้ำชุด มฐ04 - 02 - xxx สามารถเลือกใช้แบบ กำหนดระดับและมิติต่างๆในแบบได้อย่างถูกต้อง ทฤษฎีและสมการต่างๆ จึงมีอยู่เฉพาะที่จำเป็น เพื่อให้ทราบในส่วนที่เกี่ยวข้องกับแบบเท่านั้น ดังนั้นคู่มือประกอบการใช้แบบมาตรฐานนี้จึงไม่เหมาะที่จะถูกใช้เพื่อการอ้างอิงทางวิชาการ

เนื่องจากผู้ออกแบบมาตรฐานชุดนี้ ต้องการให้มีส่วนที่ผู้นำแบบไปใช้จะต้องคำนวณน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดข้อจำกัดของการใช้งานไว้ด้วยเช่นกัน ดังรายละเอียดในแต่ละแบบ ขอให้ผู้ที่จะใช้แบบมาตรฐานชุดนี้ทำความเข้าใจกับรูปแบบ ข้อจำกัด และวิธีการคำนวณที่จะต้องดำเนินการให้ดีกว่าก่อนที่จะนำไปใช้งาน

อนึ่งหากผู้ใช้งานแบบมาตรฐานชุดนี้พบข้อบกพร่องหรือความไม่สะดวกใด ๆ ในการใช้งาน กรุณาแจ้งให้ผู้จัดทำทราบเพื่อจะได้ปรับปรุงให้ดีขึ้นในโอกาสต่อไป

รูปแบบอาคาร

อาคารนี้สร้างขึ้นเพื่อนำน้ำในคลองส่งน้ำชนิดลาดคอนกรีตลอดใต้ถนน โดยให้มีคุณสมบัติเพื่อการทดน้ำด้วย และยังสามารถใช้คุณสมบัติเพื่อการทดน้ำนี้เพื่อควบคุมความเร็วของน้ำด้านเหนือน้ำได้อีกด้วย มีส่วนประกอบสำคัญคือ

1. ท่อกลม ที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดหล่อสำเร็จรูปชนิดปากกลิ้งราง ชั้นที่ 3 ตามมาตรฐาน มอก.128-2528 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.50 0.60 0.80 1.00 1.20 และ 1.50 ม. มีทั้งท่อแถวเดียวและสองแถว มีทั้งท่อตรง ท่อหักตรงและท่อหักงอ

2. Inlet Transition เป็นแบบ Check Inlet เชื่อมต่อกับคลองลาดคอนกรีต

3. Outlet Transition เป็นแบบ Broken Back Transition เชื่อมต่อกับคลองลาดคอนกรีต มีมุมผิวน้ำ 22.5°

4. พื้นของ Outlet Transition ของอาคารที่ใช้ท่อแถวเดียว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.00 1.20 และ 1.50 ม. มีทั้งแบบเอียง และแบบตรง นอกจากนั้นมีเฉพาะแบบตรง

ข้อกำหนดการใช้งาน

1. อาคารนี้ใช้เมื่อต้องการให้สามารถทนน้ำด้านเหนือน้ำของท่อลอดถนนได้ หรือเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดกับคลองด้านเหนือน้ำของอาคาร ซึ่งเกิดจากความเร็วของน้ำในคลองสูง เนื่องจากความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับท้ายน้ำมาก
2. ปริมาณน้ำสูงสุดที่ใช้ได้คือ 5.00 ม.³ / วินาที
3. อาคารได้รับการออกแบบไว้ใช้กับคลองลาดคอนกรีตที่มีลาดผิวน้ำระหว่าง 1:2,000 ถึง 1:8,000 โดยมีอัตราส่วน b:d ประมาณ 1
4. ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับท้ายน้ำของอาคารไม่ควรน้อยกว่า 0.20 ม.
5. อาคารที่แบบท่อตรง จะถูกใช้เมื่อความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับท้ายน้ำไม่เกิน 0.60 ม.
6. อาคารที่แบบท่อหักตรง จะถูกใช้เมื่อความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับท้ายน้ำไม่เกิน 0.90 ม.
7. อาคารที่แบบท่อหักงอ จะถูกใช้เมื่อความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับท้ายน้ำอยู่ระหว่าง 0.90 ม. ถึง 4.50 ม.
8. ความลาดของพื้นคลองที่เชื่อมต่อกับ Check Inlet จะต้องไม่ชันกว่า 1:4
9. ระดับพื้นคลองด้านท้ายน้ำ จะต้องไม่ต่ำกว่าระดับพื้นตรง Cutoff ของ Outlet Transition ความลาดของพื้นระหว่างทั้งสองตำแหน่งจะต้องไม่ชันกว่า 1:6

ขั้นตอนการกำหนดมิติและระดับ

ขั้นตอนหลักประกอบด้วย

1. ตรวจสอบความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับท้ายน้ำของอาคาร ว่าจะต้องใช้อาคารที่ใช้ท่อแบบใด
2. เลือกขนาดท่อตามปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคาร
3. กำหนดระยะและระดับ ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและคุณสมบัติของคลองที่เกี่ยวข้อง

แต่เนื่องจากอาคารแบบมาตรฐานท่อลอดถนนท่อนี้ มีท่ออยู่ 3 รูปแบบ คือ ท่อตรง ท่อหักตรงและท่อหักงอ รายละเอียดวิธีการดำเนินการจึงแตกต่างกันไป ดังต่อไปนี้

ก. ท่อลดถนนท่อน้ำที่ใช้ท่อตรง

1. คำนวณหา Head Loss ของอาคารดังนี้

เมื่อ D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ม.

L = ความยาวท่อ ม.

V_p = ความเร็วของน้ำในท่อ ม. / วินาที

V_c = ความเร็วของน้ำในคลอง ม. / วินาที

$$h_{vp} = V_p^2 / (2 * g) = V_p^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$h_{vc} = V_c^2 / (2 * g) = V_c^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$\Delta h_v = h_{vp} - h_{vc} \text{ ม.}$$

$$\text{Check Inlet Loss} = 0.5 * \Delta h_v \text{ ม.}$$

$$\text{Outlet Transition Loss} = 0.7 * \Delta h_v \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned} \text{Pipe Friction Loss} &= (V_p * n / R^{2/3})^2 * L \\ &= (V_p * 0.016 / (D/4)^{2/3})^2 * L \end{aligned}$$

$$\text{Head Loss (H}_L\text{)} = \text{Check Inlet Loss} + \text{Pipe Friction Loss} + \text{Outlet Transition Loss}$$

2. เปรียบเทียบ Head Loss ที่เกิดจากอาคาร กับ Head Loss ที่กำหนดไว้ในแบบคลอง หากพบว่า Head Loss ที่เกิดจากอาคารมากกว่า จะต้องไปเลือกใช้ท่อขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้ความเร็วของน้ำในท่อลดลง ซึ่งจะทำให้ Head Loss ของอาคารลดลงด้วย

3. ตรวจสอบว่าดินที่ทับหลังท่อมีความสูงที่เหมาะสมหรือไม่ตามเงื่อนไขว่า หากท่ออยู่ใต้ถนนลำเลียงในไร่นา ความสูงของดินที่ทับหลังท่อจะต้องไม่น้อยกว่า 0.60 ม. แต่ถ้าท่ออยู่ใต้ถนนสาธารณะ ความสูงของดินที่ทับหลังท่อจะต้องไม่น้อยกว่า 0.90 ม. หากพบว่าความสูงของดินที่ทับหลังท่อไม่พอ จะมีวิธีการแก้ไขได้ 2 วิธี คือ

3.1 เพิ่มความสูงของดินที่ทับหลังท่อให้สูงขึ้น แล้วทำเป็นลาดลงสู่ถนนเดิม

3.2 เลือกใช้ท่อแบบหักงอ ซึ่งทำให้ท่อช่วงกลางลดระดับลงได้ตามที่ต้องการ

วิธีการทั้ง 2 มีทั้งข้อดีและข้อเสีย คือ ตามวิธี 3.1 จะได้ท่อที่เป็นท่อตรง ทำให้ปัญหาเกี่ยวกับการตกตะกอนในท่อน้อยกว่าตามวิธี 3.2 แต่ถ้าใช้วิธี 3.2 จะมีผลให้ระดับพื้นถนนเรียบ ไม่มีส่วนที่จะต้องยกให้สูงเพื่อเพิ่มระดับดิน ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาว่าสมควรจะใช้วิธีใด

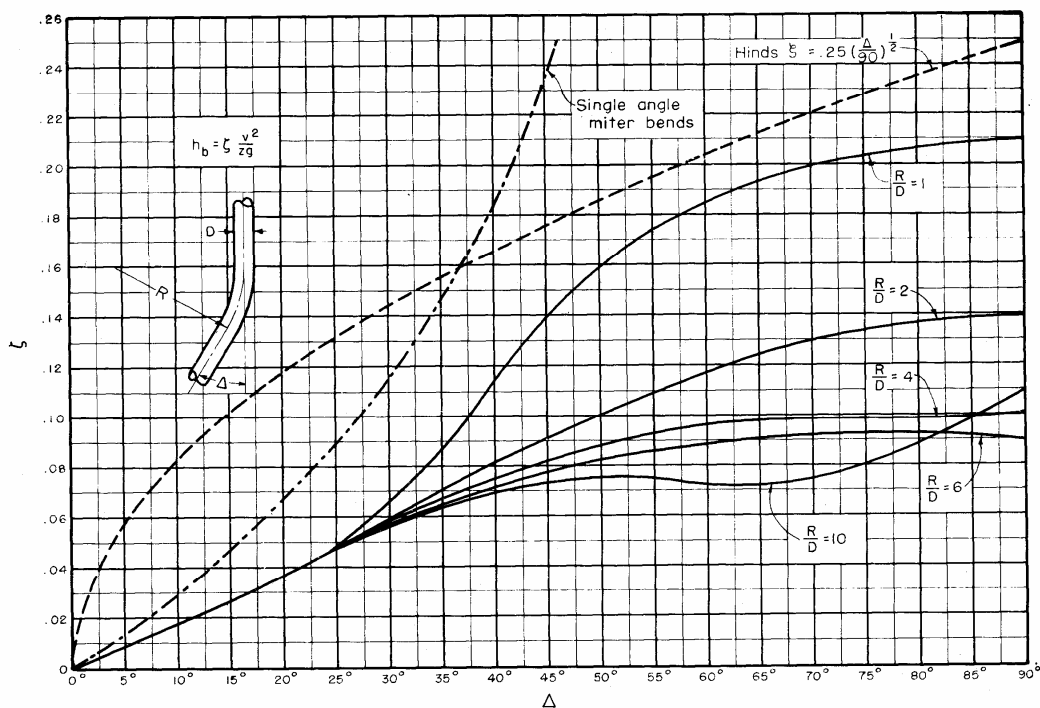
ข. ท่อลดถนนท่อน้ำที่ใช้ท่อหักตรง

เมื่อเลือกใช้ท่อแบบหักตรง ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดระดับของท่อที่ Check Inlet และ Outlet Transition ตามข้อมูลของคลองและอาคาร ท่อส่วนที่ลาดเอียงจาก Check Inlet ลงมา เชื่อมต่อกับท่อที่ต่อไปยัง Outlet Transition จะต้องไม่ชันกว่า 1:2 ผู้ออกแบบควรกำหนดให้ความยาวของท่อส่วนนี้เหมาะสมเพื่อการก่อสร้าง ซึ่งรายละเอียดจะได้แสดงไว้ในตัวอย่างที่เกี่ยวข้อง ท่อส่วนที่ต่อไปยัง Outlet Transition จะต้องมิลาดไม่น้อยกว่า 1:200 วิธีการคำนวณหา Head Loss และตรวจสอบความเหมาะสมของอาคารก็ใช้วิธีการเดียวกับข้อ ก. แต่เมื่อเลือกใช้ท่อแบบหักงอนี้ จะมีส่วนที่เกิด Head Loss เพิ่มขึ้น คือ ส่วนที่ท่อมีการหักงอจะมี Bend Loss เกิดขึ้น ซึ่งจะหาความสูญเสียได้จากสมการ

$$\text{Bend Loss} = \zeta * h_{vp}$$

$$\text{เมื่อ } \text{Hind's } \zeta = 0.25 * (\Delta / 90)^{1/2}$$

เมื่อ Δ เป็นมุมที่หักงอเป็นองศา หรืออาจหาค่า ζ ได้จากรูปนี้



รูปที่ 1 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากการหักงอท่อ

ดังนั้น สำหรับอาคารแบบนี้

$$\text{Head Loss} = \text{Check Inlet Loss} + \text{Pipe Friction Loss} + \text{Outlet Transition Loss} + \text{Bend Loss}$$

ก. ท่อลอดถนนทนน้ำที่ใช้ท่อหักงอ

สำหรับอาคารแบบนี้ ถ้าผู้ออกแบบเลือกใช้ตามเงื่อนไข ข้อกำหนดการใช้งานตามข้อ 7. คือความแตกต่างของระดับน้ำอยู่ระหว่าง 0.90 – 4.50 ม. แล้ว ปัญหาของการเกิด Head Loss ของอาคารมากกว่า Head Loss ของคลองจะไม่เกิด ดังนั้นการคำนวณหา Head Loss ของอาคารจึงไม่จำเป็นต้องทำ แต่ถ้านำมาประยุกต์ใช้กับความแตกต่างของระดับน้ำน้อย ๆ ก็ควรตรวจสอบด้วย

ปัญหาสำคัญที่ต้องจัดการ คือการทำให้พลังงานที่เกิดจากความต่างของระดับน้ำสลายไป ไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่คลองและส่วนประกอบของอาคาร วิธีการสลายพลังงานของแบบมาตรฐานท่อลอดถนนทนน้ำชุด มฐ04 – 02 – xxx นี้ใช้วิธีบังคับให้เกิด Hydraulic Jump ขึ้นภายในท่อจนพลังงานส่วนใหญ่ถูกสลายไป เมื่อน้ำไหลออกจากทาง Outlet Transition ความเร็วของน้ำจะไม่สูงจนทำให้เกิดความเสียหายกับคลองด้านท้ายน้ำ วิธีการสลายพลังงานลักษณะนี้เรียกว่า Pipe Drop สิ่งสำคัญที่ผู้ออกแบบจะต้องเข้าใจคือ ถ้าไม่มีระดับน้ำด้านท้ายน้ำตามที่กำหนดไว้แล้ว การสลายพลังงานจะไม่เกิดตามที่ต้องการ การหักงอของท่อจะต้องไม่ทำให้ท่อส่วนที่เอียงมีลาดที่ชันกว่า 1:2

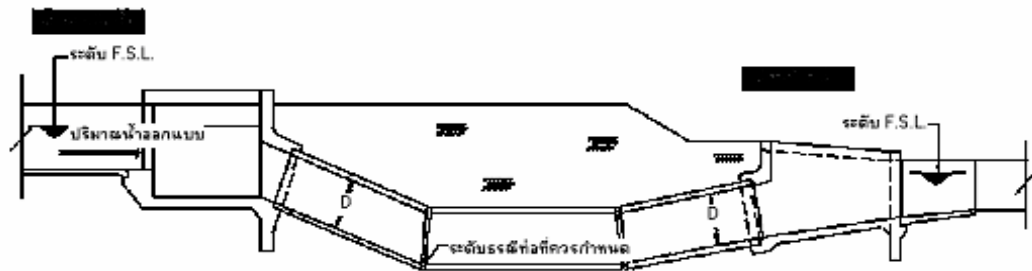
วิธีการคำนวณเพื่อให้ได้รูปแบบ Pipe Drop ตามที่ต้องการนั้น ส่วนที่สำคัญที่สุดคือระดับธรณีส่วนต่ำสุดของอาคาร ระดับนี้เป็นส่วนที่บังคับให้เกิด Hydraulic Jump ขึ้นภายในท่อจนพลังงานส่วนใหญ่ถูกสลายไป โดยความยาวของท่อส่วนนี้จะต้องไม่น้อยกว่า 5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

เนื่องจากวิธีการคำนวณอาคารแบบนี้ค่อนข้างจะยุ่งยากจึงได้จัดทำ Software ประกอบกับเอกสารนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน Software นี้ชื่อ pipedrop0402

วิธีการใช้งานก็เพียงแต่ใส่แผ่น Floppy Disc หรือ CD ที่บรรจุ Software นี้เข้าไปในเครื่องอ่านของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์แล้วเลือกไฟล์ชื่อ pipedrop0402 ก็จะได้ผลดังนี้

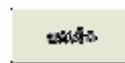
โปรแกรมประกอบการใช้แบบมาตรฐาน ท่อลอดถนนทดน้ำ

(แบบหมายเลข มข04-02-020 มข04-02-022 มข04-02-025 และ มข04-02-028)



ข้อกำหนดในการใช้งาน

1. ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารต้องไม่มากกว่า 5,000 ลบ.ม./วินาที
2. หากปริมาณน้ำที่ล้นแบบมีค่ามากกว่า 2,500 ลบ.ม./วินาที ให้ใช้อาคารชนิด 2 ท่อ และใช้ปริมาณน้ำครึ่งหนึ่งในการล้นแบบ
3. ความแตกต่างของระดับ F.S.L. ด้านเหนือน้ำ และ ระดับ F.S.L. ด้านท้ายน้ำ ต้องไม่น้อยกว่า 0.90 ม. และไม่เกินกว่า 4.50 ม.
4. รูปจำลองอาคารและผลการคำนวณที่ใช้ในการคำนวณเป็นไปตามหนังสือ DESIGN OF SMALL CANAL STRUCTURE, 1974, USBR. (หน้าที่ 68)
5. โปรแกรมนี้พัฒนามาจากโปรแกรม HYD9007.BAS ของนาย สุรพล ชุมทะวัต



รูปที่ 2 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเริ่มต้นใช้โปรแกรม pipedrop0402

เมื่อผู้ใช้งานทำความเข้าใจกับข้อกำหนดการใช้งานแล้ว กด Enter หรือเลือก ตกลง ก็จะได้ผลดังนี้

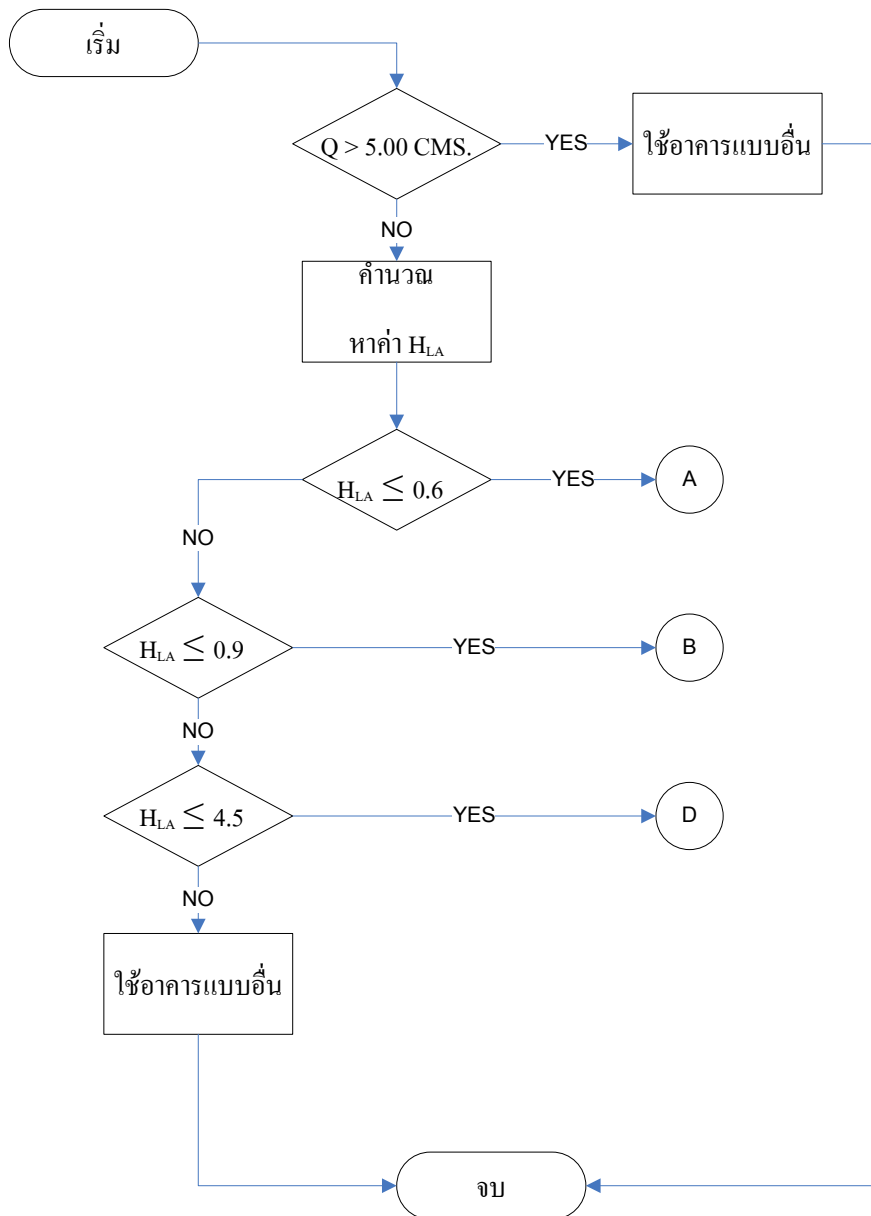
ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ		
ปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณล้นแบบ		ลบ.ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านเหนือน้ำ		ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านเหนือน้ำ		ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านท้ายน้ำ		ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านท้ายน้ำ		ม./วินาที
เลือกใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง		ม. (หากไม่ได้ค่า โปรแกรมจะกำหนดให้โดยอัตโนมัติ)
คำนวณ กลับ		
ผลการคำนวณ		
ใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	ม.	
ระดับธรณีที่ควรกำหนด	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)	
ข้อผิดพลาด		

รูปที่ 3 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อกดปุ่มตกลง หรือปุ่ม Enter

เมื่อผู้ออกแบบใส่ข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณและกดปุ่ม คำนวณ แล้ว ก็จะได้ผลที่แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อและระดับธรณีท่อที่ควรกำหนด

อนึ่ง หากผู้ออกแบบเลือกใช้ท่อขนาดใหญ่กว่าที่กำหนดไว้ในแบบมาตรฐานชุดนี้ เครื่องจะคำนวณโดยใช้ขนาดท่อที่ผู้ออกแบบกำหนด แต่หากผู้ออกแบบไม่กำหนดขนาดท่อหรือกำหนดขนาดเล็กลงไป เครื่องจะเลือกขนาดที่เหมาะสมให้เอง

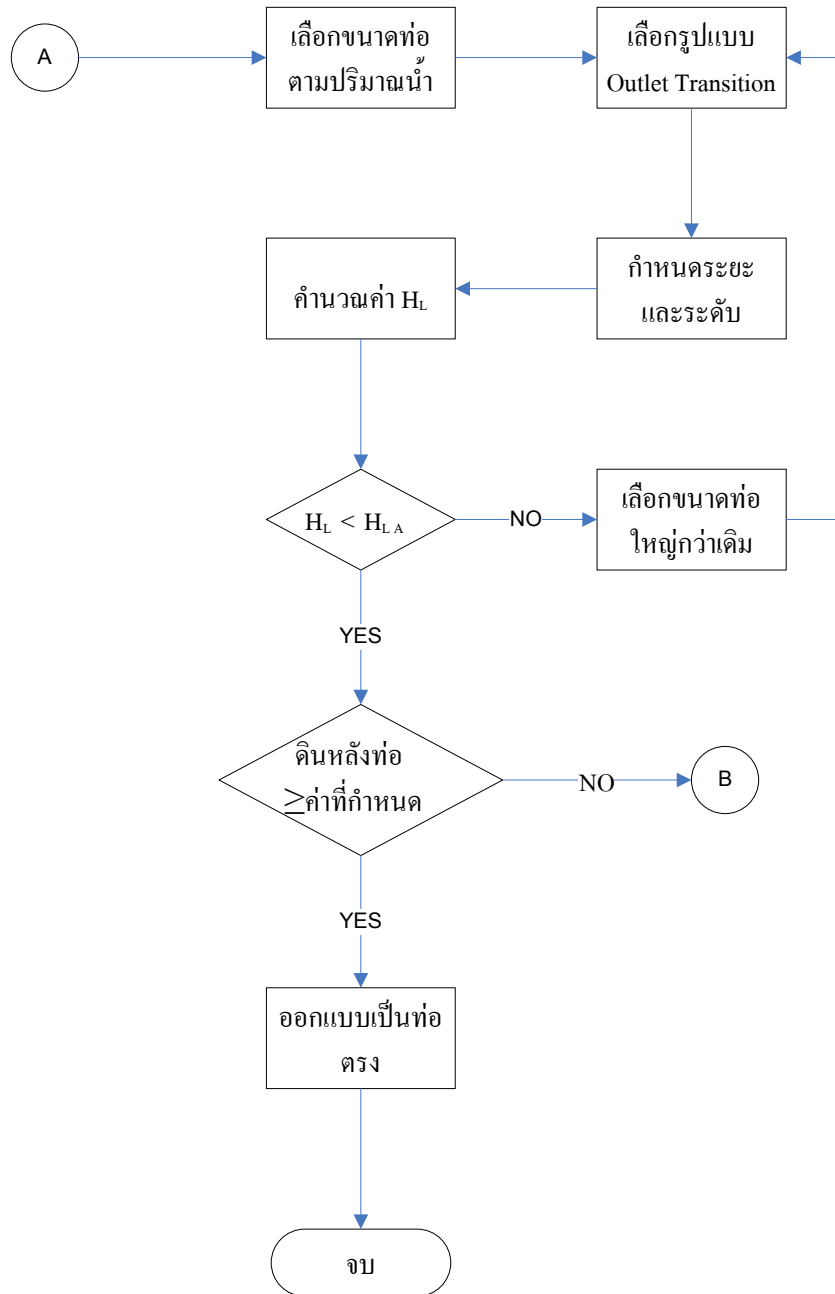
ขอเน้นว่าการออกแบบ Pipe Drop แต่ละแห่งนั้น ขนาดท่อและระดับธรณีที่ควรกำหนดเป็นส่วนที่สำคัญ การลอกเลียนจากอาคารแห่งอื่นหรือคาดเดากำหนดโดยมิได้คำนวณอย่างถูกต้อง จะทำให้ได้อาคารที่ไม่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ



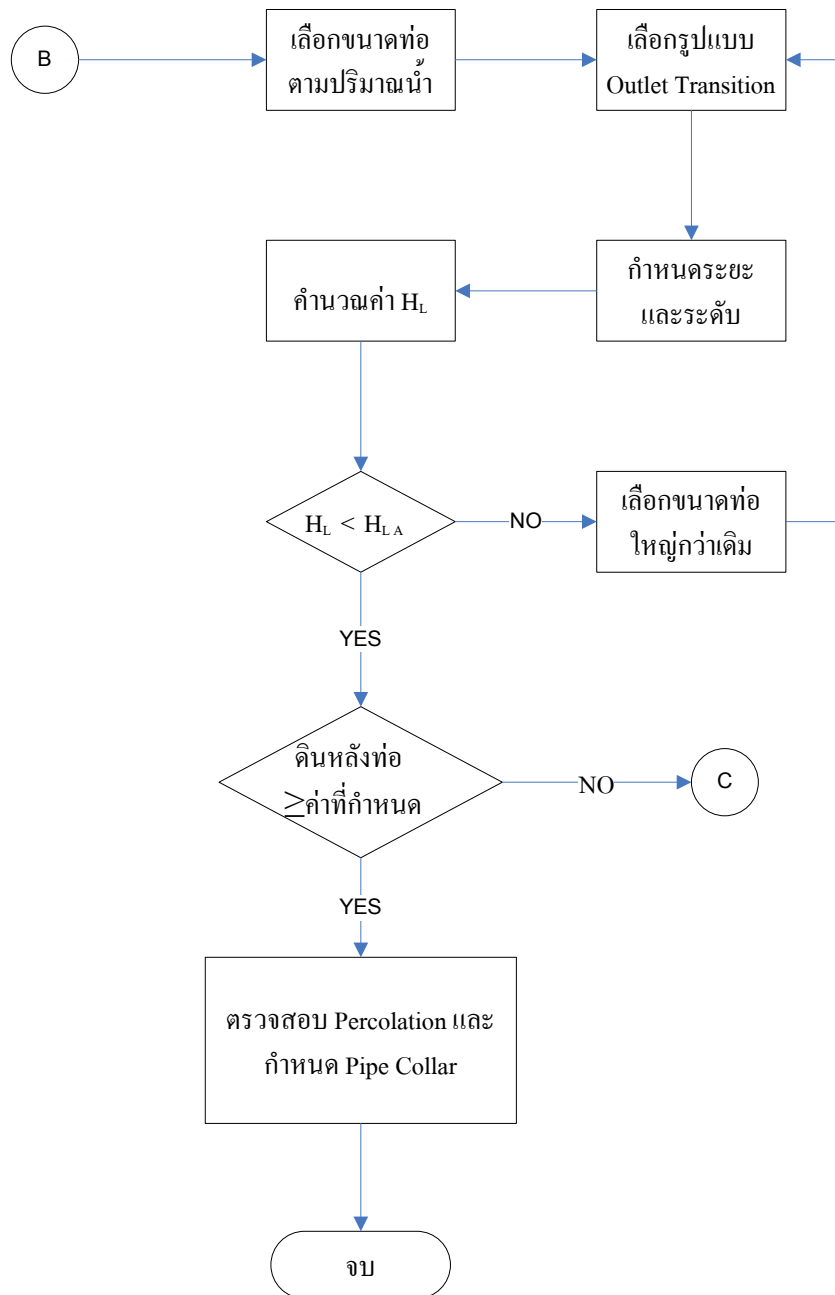
หมายเหตุ ปริมาณน้ำ (Q) มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที

Head Loss ที่กำหนดไว้ในแบบคลอง (H_{LA}) มีหน่วยเป็นเมตร

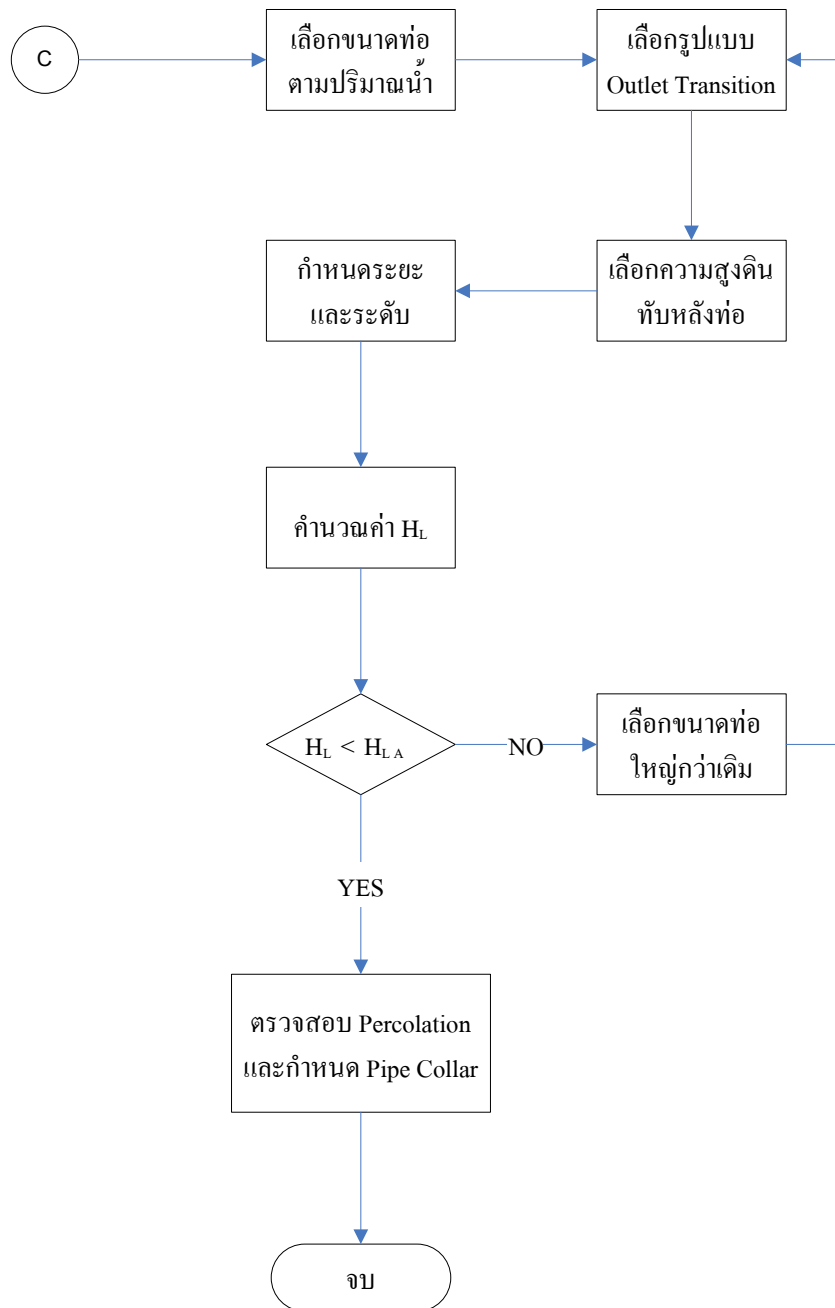
รูปที่ 4 : Flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบท่อลอดถนนหน้า



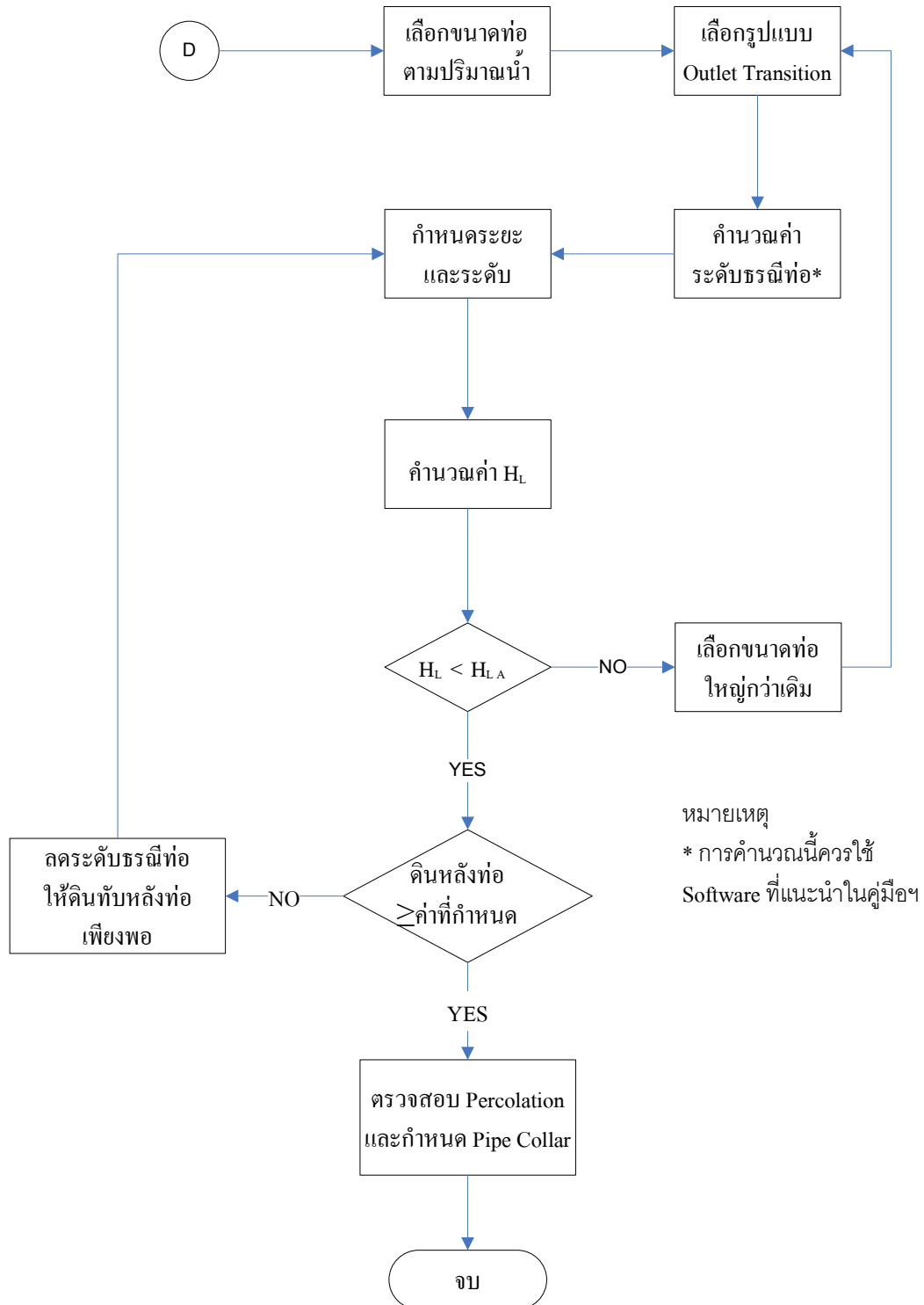
รูปที่ 4 : Flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบท่อลอดถนนหน้า (ต่อ)



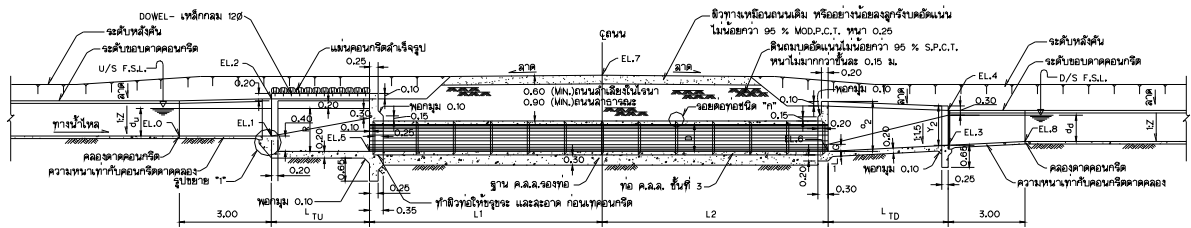
รูปที่ 4 : Flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบท่อลอดถนนทน้ำ (ต่อ)



รูปที่ 4 : Flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบท่อลอดถนนท่อน้ำ (ต่อ)



รูปที่ 4 : Flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบท่อลอดถนนทตน้ำ (ต่อ)



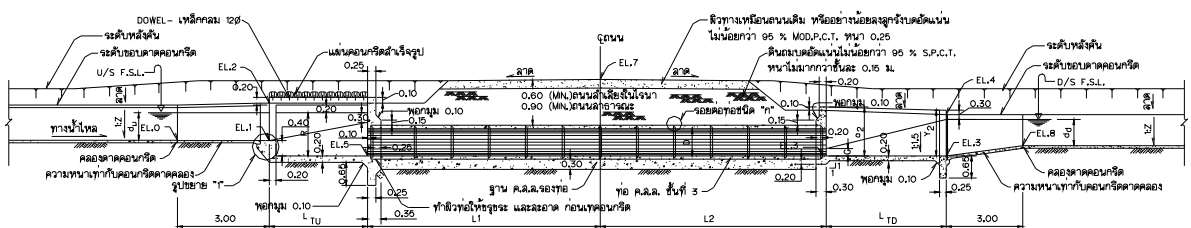
ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม. ³ /วินาที	มิติ											รายละเอียดบานระบาย			จำนวนแผ่น คอนกรีต (แผ่น)	หมายเหตุ
		D	R	o ₂	B	K	C ₂	G	L _{TU}	L _{TD}	Y ₂	L	ชนิดที่	ลำดับที่	ขนาด (กว้าง x สูง)		
4	1.00	1.00	1.20	1.60	0.30	1.20	0.50	0.23	1.50	3.00	1.30	1.20	1	1	0.90x0.80	9	EL.3-EL.6=0.10
5	1.50	1.20	1.40	1.80	0.36	1.40	0.60	0.28	1.75	3.60	1.50	1.50	2	1	1.20x1.00	11	
6	2.50	1.50	1.70	2.10	0.45	1.70	0.75	0.35	2.25	4.50	1.80	1.80	2	4	1.50x1.30	14	

ชนิด ก1-4-2

รูปที่ 7 ท่อตรง 1 แถว Outlet Transition เอียง ขนาด ϕ 1.00-1.50

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-006



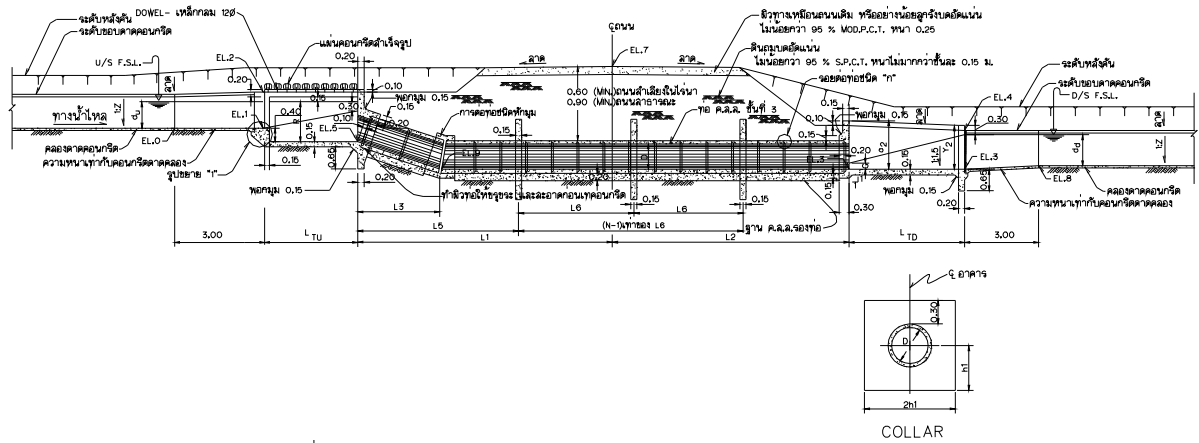
ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม. ³ /วินาที	มิติ												รายละเอียดบานระบาย			จำนวนแผ่น คอนกรีต (แผ่น)
		D	R	α_2	B	K	C_2	G	L_{TU}	L_{TD}	Y_2	C	L	ชนิดที่	ลำดับที่	ขนาด (กว้าง x ลึก)	
4	2.00	2-1.00	1.60	1.60	2.13	3.10	1.87	0.23	2.00	3.00	1.45	2.80	1.50	2	3	1.20x1.20	12
5	3.00	2-1.20	1.80	1.80	2.54	3.50	2.16	0.28	2.50	3.60	1.70	3.20	1.80	2	1	1.50x1.40	15
6	5.00	2-1.50	2.20	2.10	3.15	4.10	2.83	0.35	3.60	4.50	2.00	3.80	2.10	2	4	1.80x1.80	21

ชนิด ก2-3-2

รูปที่ 8 ท่อตรง 2 แฉก Outlet Transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-008



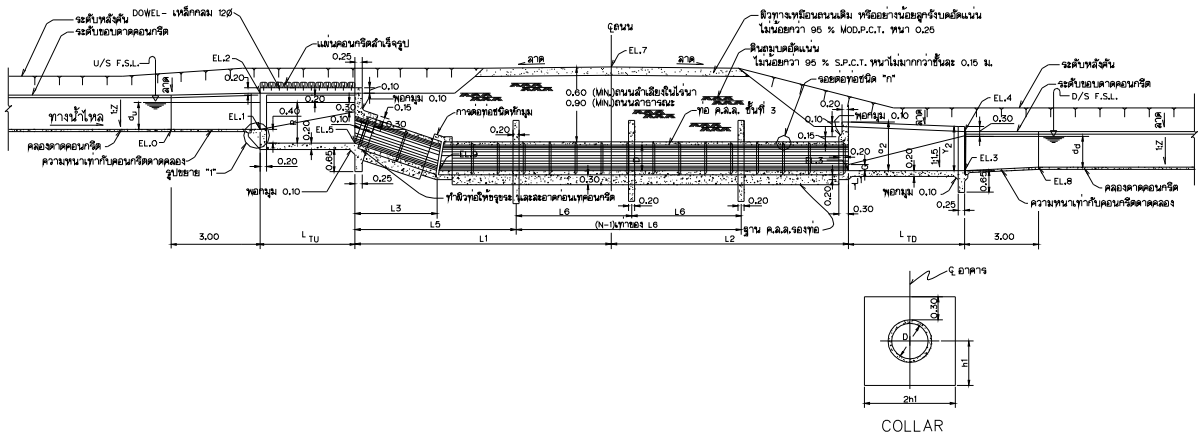
ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม.³/วินาที	มิติ												รายละเอียดบานระบาย			จำนวนแผ่น คอนกรีต (แผ่น)
		D	R	α_2	B	K	C_2	G	L_{TU}	L_{TD}	Y_2	L	h_1	ชนิดที่	ลำดับที่	ขนาด (กว้าง x ลึก)	
1	0.25	0.50	1.00	1.10	0.15	0.70	0.30	0.12	1.50	1.75	0.85	0.90	0.80	1	1	0.60x0.60	9
2	0.40	0.60	1.00	1.20	0.18	0.80	0.35	0.14	1.50	2.25	1.00	0.90	0.85	1	1	0.60x0.60	9
3	0.70	0.80	1.20	1.40	0.24	1.00	0.40	0.19	1.50	2.80	1.20	1.20	1.10	1	4	0.90x0.80	9

ชนิด ข1-3-1

รูปที่ 9 ท่อหักตรง 1 แถว Outlet Transition ตรง ขนาด ϕ 0.50-0.80

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-011



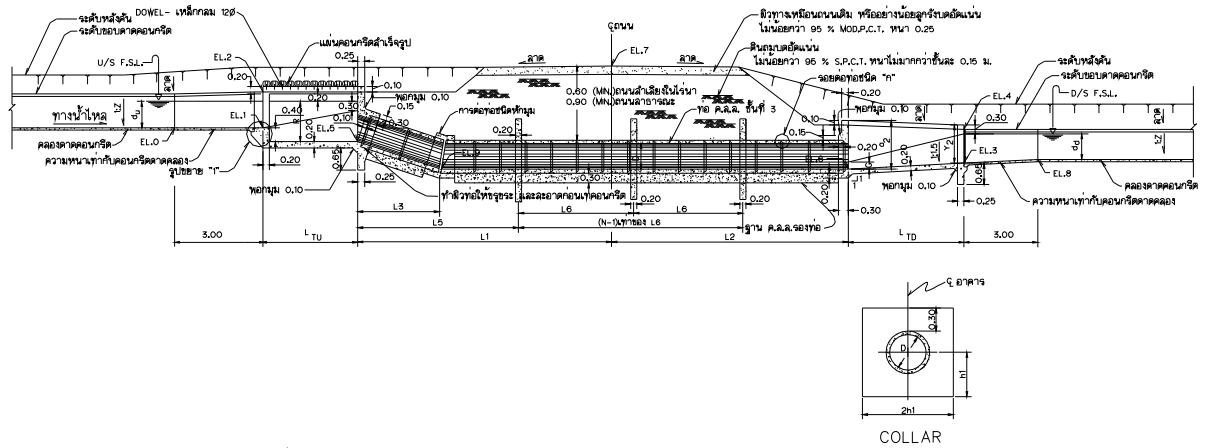
ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

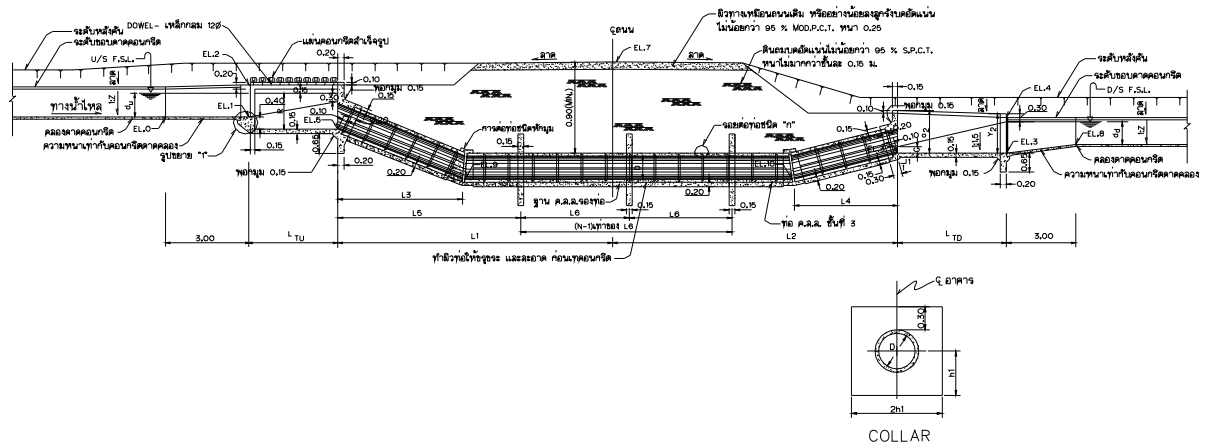
อาคาร แบบที่	MAX. Q ม.³/วินาที	มิติ												รายละเอียดบานระบาย			จำนวนแผ่น คอนกรีต (แผ่น)
		D	R	α_2	B	K	C_2	G	L_{TU}	L_{TD}	Y_2	L	h_1	ชนิดที่	ลำดับที่	ขนาด (กว้าง x ลึก)	
4	1.00	1.00	1.20	1.60	0.30	1.20	0.60	0.23	1.50	3.50	1.40	1.20	1.30	1	4	0.90x0.80	9
5	1.50	1.20	1.40	1.80	0.36	1.40	0.75	0.28	1.75	4.20	1.60	1.50	1.55	2	1	1.20x1.00	11
6	2.50	1.50	1.70	2.10	0.45	1.70	1.05	0.35	2.25	5.25	1.90	1.80	1.90	2	4	1.50x1.30	14

ชนิด ข1-3-2

รูปที่ 10 ท่อหักตรง 1 แถว Outlet Transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-013





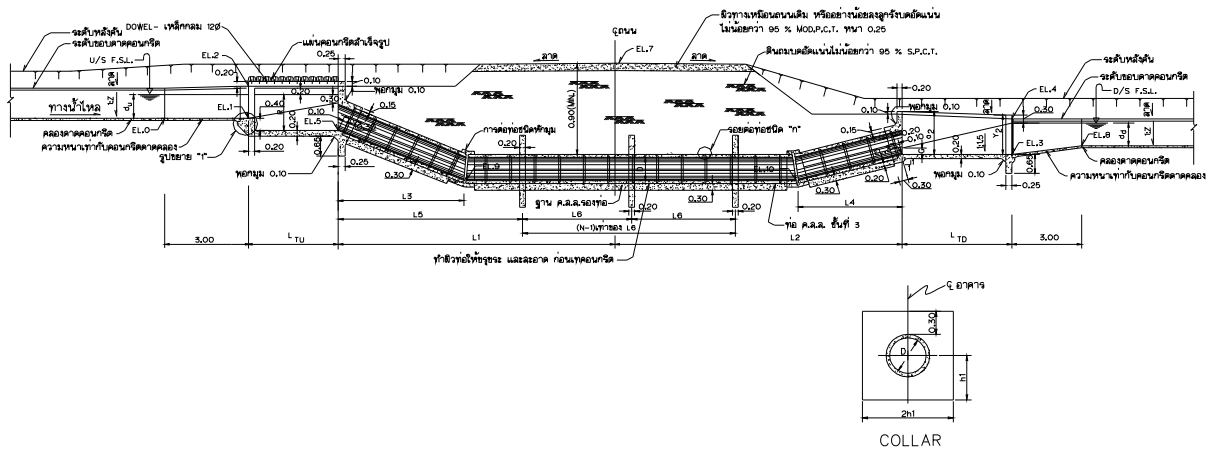
ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม ³ /วินาที	สถิติ												รายละเอียดบานจะขาย			จำนวนแผ่น คอนกรีต (แผ่น)
		D	R	a ₂	B	K	C ₂	G	L _{TU}	L _{TD}	Y ₂	L	h ₁	ชนิดที่	ลำดับที่	ขนาด (กว้าง x สูง)	
1	0.25	0.50	1.00	1.10	0.15	0.70	0.30	0.12	1.50	1.75	0.85	0.90	0.80	1	1	0.60x0.60	9
2	0.40	0.60	1.00	1.20	0.18	0.80	0.35	0.14	1.50	2.25	1.00	0.90	0.85	1	1	0.60x0.60	9
3	0.70	0.80	1.20	1.40	0.24	1.00	0.40	0.19	1.50	2.80	1.20	1.20	1.10	1	4	0.90x0.80	9

ชนิด ค1-3-1

รูปที่ 13 ท่อหักงอ 1 แฉก Outlet Transition ตรง ขนาด ϕ 0.50-0.80

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-018



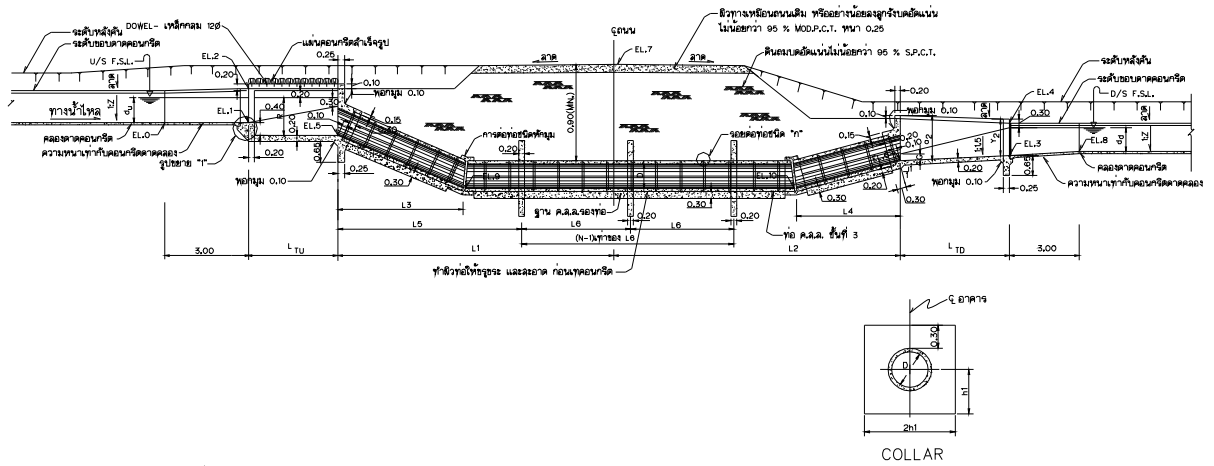
ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม. ³ /วินาที	มิติ													รายละเอียดบานระบาย			จำนวนแผ่น คอนกรีต (แผ่น)
		D	R	Q ₂	B	K	C ₂	G	L _{TU}	L _{TD}	Y ₂	L	h ₁	ชนิดที่	ลำดับที่	ขนาด (กว้าง x สูง)		
4	1.00	1.00	1.20	1.60	0.30	1.20	0.60	0.23	1.50	3.50	1.40	1.20	1.30	1	4	0.90x0.80	9	
5	1.50	1.20	1.40	1.80	0.36	1.40	0.75	0.28	1.75	4.20	1.60	1.50	1.55	2	1	1.20x1.00	11	
6	2.50	1.50	1.70	2.10	0.45	1.70	1.05	0.35	2.25	5.25	1.90	1.80	1.90	2	4	1.50x1.30	14	

ชนิด ค1-3-2

รูปที่ 14 ท่อหักงอ 1 แฉก Outlet Transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-020



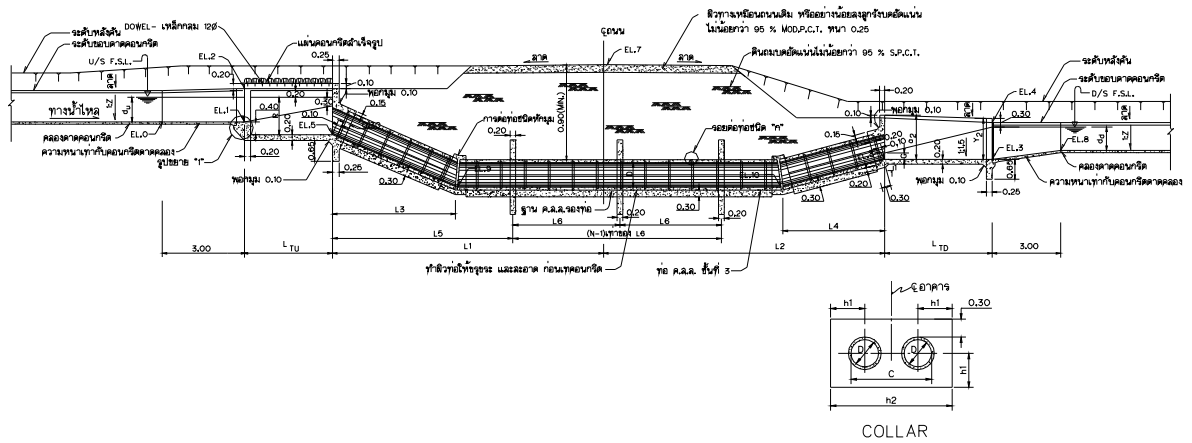
ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม. ³ /วินาที	มิติ												รายละเอียดบานระบาย			จำนวนแผ่น คอนกรีต (แผ่น)	ทราเวย์
		D	R	α_2	B	K	C_2	G	L_{TU}	L_{TD}	Y_2	L	h_1	ชนิดที่	ลำดับที่	ขนาด (กว้าง x สูง)		
4	1.00	1.00	1.20	1.60	0.30	1.20	0.50	0.23	1.50	3.00	1.30	1.20	1.30	1	1	0.90x0.80	9	EL.3-EL.6=0.10
5	1.50	1.20	1.40	1.80	0.36	1.40	0.60	0.28	1.75	3.60	1.50	1.50	1.55	2	1	1.20x1.00	11	
6	2.50	1.50	1.70	2.10	0.45	1.70	0.75	0.35	2.25	4.50	1.80	1.80	1.90	2	4	1.50x1.30	14	

ชนิด ค1-4-2

รูปที่ 15 ท่อหักงอ 1 แฉว Outlet Transition เอียง ขนาด ϕ 1.00-1.50

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-022



ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม. ³ /วินาที	มิติ														รายละเอียดบานระบาย			จำนวนแผ่น คอนกรีต (แผ่น)
		D	R	α ₂	B	K	C ₂	G	L _{TU}	L _{TD}	Y ₂	C	L	h ₁	h ₂	ชนิดที่	ลำดับที่	ขนาด (กว้าง x สูง)	
4	2.00	2-1.00	1.60	1.60	2.13	3.10	1.87	0.23	2.00	3.00	1.45	2.80	1.50	1.30	4.40	2	3	1.20x1.20	12
5	3.00	2-1.20	1.80	1.80	2.54	3.50	2.16	0.28	2.50	3.60	1.70	3.20	1.80	1.55	5.10	2	1	1.50x1.40	15
6	5.00	2-1.50	2.20	2.10	3.15	4.10	2.83	0.35	3.60	4.50	2.00	3.80	2.10	1.90	6.10	2	4	1.80x1.80	21

ชนิด ค2-3-2

รูปที่ 16 ท่อหักงอ 2 แฉว Outlet Transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-02-024

ตัวอย่างการออกแบบท่อลอดถนนหน้า

ท่อลอดถนนหน้า 1 แฉก

ตัวอย่างที่ 1

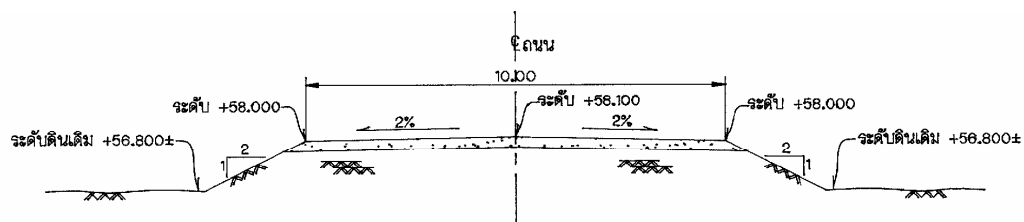
ข้อมูลคลอง

	ด้านเหนือน้ำ	ด้านท้ายน้ำ
ปริมาณน้ำ (ม. ³ /วินาที)	1.117	0.941
ความเร็ว (ม./วินาที)	0.590	0.402
ลาดตลิ่ง	1:1.5	1:1.5
ความกว้างก้นคลอง (ม.)	1.40	1.25
ความลึก (ม.)	0.75	0.90
Freeboard ขอบคาคอนกรีต (ม.)	0.20	0.15
Freeboard ก้นคลอง (ม.)	0.60	0.50
ความกว้างหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	2.00	2.00
ความกว้างหลังคันฝั่งขวา (ม.)	3.00	3.00
ระดับดินเดิม (ม.)	+56.800±	+56.800±
ระดับหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	+57.700	+57.400
ระดับหลังคันฝั่งขวา (ม.)	+57.700	+57.400
ระดับน้ำสูงสุด (ม.)	+57.100	+56.900
ระดับก้นคลอง (ม.)	+56.350	+56.000

ข้อมูลของถนนสาธารณะ

ระดับหลังถนน +58.100 ความกว้างถนน 10.00 เมตร ลาดด้านข้างถนน 1:2

ระดับดินเดิม +56.800± คลองและถนนตัดกันเป็นมุมฉาก



รูปที่ 17 รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 1

วิธีทำ

1. ปริมาณน้ำ = $0.941 \text{ ม.}^3 / \text{วินาที}$

2. ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับด้านท้ายน้ำ = $57.100 - 56.900 \text{ ม.}$
 $= 0.20 \text{ ม.}$

3. เลือกใช้ท่อตรง 1 แถว เพื่อความประหยัดจึงเลือกใช้ Outlet Transition แบบเอียงก่อน ทำให้ได้ผลการเลือกเป็นแบบที่ 4 ของท่อลอดถนนท่อน้ำชนิด ก1-4-2 หมายเลข มฐ04-02-006

$$EL.3 = D/S \text{ F.S.L.} - (Y_2 - 0.30) = 56.900 - (1.30 - 0.30)$$

$$= 55.900$$

EL.8 สูงกว่า EL.3 = $56.000 - 55.900 = 0.10 \text{ ม.}$ ลาดคลองด้าน Outlet Transition ไม่ชันกว่า 1:6

ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

ขออธิบายเพิ่มเติมว่า ระดับ EL.3 จะต้องไม่สูงกว่า EL.8 หากระดับ EL.3 สูงกว่า EL.8 จะต้องเปลี่ยนไปใช้ Outlet Transition แบบตรง ถ้ายังพบปัญหาเช่นเดิมอีก อาจแก้ไขได้โดยการเลือกใช้แบบที่ท่อขนาดใหญ่ขึ้นถัดไปหรือออกแบบขึ้น โดยเฉพาะ

กำหนดให้ระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่ระดับสันช่องน้ำล้นของ Check Inlet

$$EL.1 = U/S \text{ F.S.L.} - (R - 0.40) = 57.100 - (1.20 - 0.40)$$

$$= 56.300$$

$$EL.2 = U/S \text{ F.S.L.} + 0.30 = 57.100 + 0.30$$

$$= 57.400$$

$$EL.4 = D/S \text{ F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบคาคอนกรีต} = 56.900 + 0.15$$

$$= 57.050$$

$$EL.5 = U/S \text{ F.S.L.} - R = 57.100 - 1.20$$

$$= 55.900$$

$$EL.6 = EL.3 - 0.10 = 55.900 - 0.10 = 55.800$$

$$EL.0 \text{ สูงกว่า } EL.1 = 56.350 - 56.300 = 0.05 \text{ ม.}$$

ลาดคลองด้าน Check Inlet ไม่ชันกว่า 1:4

ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนนด้าน Check Inlet

$$= 10.00 / 2 + (58.000 - 57.400) * 2 \text{ ม.}$$

$$= 6.20 \text{ ม.}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L1 = 6.20 + 1.00 = 7.20 \text{ ม.}$$

ระดับหลัง Headwall ของ Outlet Transition = EL.6 + a₂

$$= 55.800 + 1.60$$

$$= 57.400$$

ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Outlet Transition = 57.400 - 0.10 = 57.300

ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนนด้าน Outlet Transition

$$= 10.00 / 2 + (58.000 - 57.300) * 2 \text{ ม.}$$

$$= 6.40 \text{ ม.}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L2 = 6.40 + 1.00 = 7.40 \text{ ม.}$$

ความยาวทั้งหมดของท่อ = L1 + L2

$$= 7.20 + 7.40 \text{ ม.}$$

$$= 14.60 \text{ ม.}$$

การออกแบบควรให้เป็นจำนวนเต็มรวมกับอีก 0.20 ม. เพื่อให้ใช้ท่อได้โดยไม่ต้องตัดในเวลาก่อสร้าง จึงเลือกใช้ความยาว L1 และ L2 รวมกัน 15.20 ม. และเพื่อให้ระยะราบหลัง Headwall ของทั้ง Check Inlet และ Outlet Transition ใกล้เคียงกัน จึงนำความยาวที่เพิ่มขึ้นมาเฉลี่ยให้เท่ากันทั้งสองข้าง

$$\text{ความยาวแต่ละด้านที่เพิ่มขึ้น} = (15.20 - 14.60) / 2 = 0.30 \text{ ม.}$$

นำค่าที่ได้มาปรับปรุงความยาวท่อได้เป็น

$$L1 = 7.50 \text{ ม. และ}$$

$$L2 = 7.70 \text{ ม.}$$

4. คำนวณหา Head Loss ของอาคาร

ความเร็วน้ำในท่อ (V_p) = $Q/A_p = 0.941 / (\pi * 1.00 * 1.00 / 4)$ ม. / วินาที

$$V_p = 1.198 \text{ ม. / วินาที}$$

$$h_{Vp} = (1.198)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$h_{Vp} = 0.073 \text{ ม.}$$

ด้านเหนือน้ำ

ความเร็วน้ำในคลอง (V_c) = 0.590 ม. / วินาที

$$h_{Vc} = (0.590)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$= 0.01774 \text{ ม.}$$

$$\text{ใช้ } h_{Vc} = 0.018 \text{ ม.}$$

ด้านท้ายน้ำ

ความเร็วน้ำในคลอง (V_c) = 0.402 ม. / วินาที

$$h_{Vc} = (0.402)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$= 0.00824 \text{ ม.}$$

$$\text{ใช้ } h_{Vc} = 0.008 \text{ ม.}$$

$$\text{Check Inlet Loss} = 0.5 * (h_{Vp} - h_{Vc})$$

$$= 0.5 * (0.073 - 0.018) \text{ ม.}$$

$$= 0.028 \text{ ม.}$$

$$\text{Outlet Transition Loss} = 0.7 * (h_{Vp} - h_{Vc})$$

$$= 0.7 * (0.073 - 0.008) \text{ ม.}$$

$$= 0.046 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Friction Loss ในท่อ} &= (V_p * n / (R)^{2/3})^2 * L \\
 &= (V_p * n / (D/4)^{2/3})^2 * L \quad (\text{สำหรับท่อกลม } R = D/4) \\
 &= (1.198 * 0.016 / (1/4)^{2/3})^2 * 15.20 \text{ ม.} \\
 &= (1.198 * 0.016 / (0.25)^{2/3})^2 * 15.20 \text{ ม.} \\
 &= 0.035 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Head Loss รวม} &= 0.028 + 0.035 + 0.046 \text{ ม.} \\
 &= 0.109 \text{ ม.} < 0.20 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น Head Loss ที่เกิดจากอาคารน้อยกว่าที่กำหนดไว้สำหรับคลองเล็กน้อย การเลือกอาคารแบบนี้ เหมาะสมแล้ว

5. ตรวจสอบความสูงดินทับหลังท่อ

$$\begin{aligned}
 \text{ระดับธรณีท่อที่ Headwall ของ Check Inlet} &= \text{EL.5} = 55.900 \quad \text{ท่อหนา 0.11 ม.} \\
 \text{ระดับสูงสุดของท่อจะอยู่ที่} &= 55.900 + 1.00 + 0.11 \\
 &= 57.010
 \end{aligned}$$

$$\text{ดินที่ทับหลังท่อมีความสูง} = 58.000 - 57.010 \text{ ม.} = 0.99 \text{ ม.} > 0.90 \text{ ม.}$$

เนื่องจากความต่างของระดับน้ำที่ปลายทั้งสองของอาคารน้อย จึงไม่จำเป็นที่จะตรวจสอบความปลอดภัยจากการไหลของเม็ดดินลอดใต้อาคาร (Percolation)

ดังนั้น การออกแบบอาคารนี้เหมาะสมแล้ว

เมื่อนำผลของระดับและมิติต่าง ๆ ที่คำนวณได้ไปใส่ลงในตารางเพื่อใช้ประกอบกับแบบเพื่อการก่อสร้าง จะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

กม.อาคาร	คลอง	ชนิด	อาคารแบบที่	Q (ม. ³ /วินาที)	ค่ามุม α	z	ระดับดินเดิม
*	*	ก1-4-2	4	0.941	90°	1.5	+56.800±

ระดับ												
U/S F.S.L.	D/S F.S.L.	EL.0	EL.1	EL.2	EL.3	EL.4	EL.5	EL.6	EL.7	EL.8	EL.9	EL.10
+57.100	+56.900	+56.350	+56.300	+57.400	+55.900	+57.050	+55.900	+55.800	+58.100	+56.000		

มิติ																จำนวน Collar
L1	L2	L3	L4	L5	L6	b _u	d _u	b _d	d _d	W	T _R	T _L	B _R	B _L	W _C	N
7.50	7.70					1.40	0.75	1.25	0.90	10.00	3.00	2.00	*	*	*	-

หมายเหตุ * คือข้อมูลที่จะมีรายละเอียดอยู่ในแบบคลองที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ออกแบบ

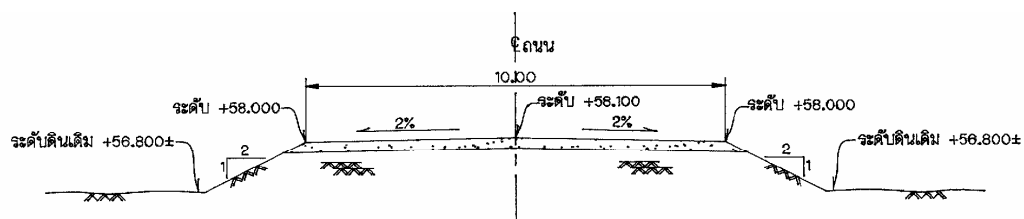
ตัวอย่างที่ 2

ข้อมูลคลอง

	ด้านเหนือ	ด้านท้ายน้ำ
ปริมาณน้ำ (ม. ³ /วินาที)	1.117	0.941
ความเร็ว (ม./วินาที)	0.590	0.402
ลาดตลิ่ง	1:1.5	1:1.5
ความกว้างกันคลอง (ม.)	1.40	1.25
ความลึก (ม.)	0.75	0.90
Freeboard ขอบตาดคอนกรีต (ม.)	0.20	0.15
Freeboard กันคลอง (ม.)	0.60	0.50
ความกว้างหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	2.00	2.00
ความกว้างหลังคันฝั่งขวา (ม.)	3.00	3.00
ระดับดินเดิม (ม.)	+56.800±	+56.800±
ระดับหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	+57.700	+56.900
ระดับหลังคันฝั่งขวา (ม.)	+57.700	+56.900
ระดับน้ำสูงสุด (ม.)	+57.100	+56.400
ระดับกันคลอง (ม.)	+56.350	+55.500

ข้อมูลของถนนสาธารณะ

ระดับหลังถนน +58.100 ความกว้างถนน 10.00 เมตร ลาดด้านข้างถนน 1:2
 ระดับดินเดิม +56.800± คลองและถนนตัดกันเป็นมุมฉาก



รูปที่ 18 รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 2

วิธีทำ

1. ปริมาณน้ำ = $0.941 \text{ ม.}^3 / \text{วินาที}$

2. ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับด้านท้ายน้ำ = $57.100 - 56.400 = 0.70 \text{ ม.}$

3. ความต่างของระดับน้ำเกิน 0.60 ม. จะต้องเลือกเป็นแบบท่อหักตรงหรือท่อหักงอ ในตัวอย่างนี้จะลองเลือกใช้ท่อหักตรง 1 แฉก เพื่อความประหยัดจึงเลือกใช้ Outlet Transition แบบเอียงก่อน ทำให้ได้ผลการเลือกเป็นแบบที่ 4 ของท่อลอดถนนทนน้ำชนิด ข1-4-2 หมายเลข มฐ04-02-015

$$EL.3 = D/S \text{ F.S.L.} - (Y_2 - 0.30) = 56.400 - (1.30 - 0.30) = 55.400$$

EL.8 สูงกว่า EL.3 = $55.500 - 55.400 = 0.10 \text{ ม.}$ ลาดคลองด้าน Outlet Transition ไม่ชันกว่า 1:6

ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว แต่เพื่อให้ตัวอย่างประกอบการใช้คู่มือนี้มีการใช้ Outlet Transition ทั้งสองแบบ จึงจะไปเลือกใช้ Outlet Transition แบบตรง ซึ่งจะมีผลให้ไม่ประหยัดเท่าแบบเอียง แต่ก็มีผลดีที่ก่อสร้างได้ง่ายกว่า

เลือกเป็นแบบที่ 4 ของท่อลอดถนนทนน้ำชนิด ข1-3-2 หมายเลข มฐ04-02-013

$$EL.3 = D/S \text{ F.S.L.} - (Y_2 - 0.30) = 56.400 - (1.40 - 0.30) = 55.300$$

EL.8 สูงกว่า EL.3 = $55.500 - 55.300 = 0.20 \text{ ม.}$ ลาดคลองด้าน Outlet Transition ไม่ชันกว่า 1:6

จะเห็นได้ว่าการเลือกใช้ Outlet Transition แบบตรงเช่นนี้ก็ใช้ได้เช่นเดียวกัน

ขออธิบายเพิ่มเติมว่า ระดับ EL.3 จะต้องไม่สูงกว่า EL.8 หากระดับ EL.3 สูงกว่า EL.8 จะต้องแก้ไขโดยการเลือกใช้แบบที่ท่อขนาดใหญ่ขึ้นถัดไปหรือออกแบบขึ้นโดยเฉพาะ

กำหนดให้ระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่ระดับสันช่องน้ำล้นของ Check Inlet

$$\begin{aligned} EL.1 &= U/S \text{ F.S.L.} - (R - 0.40) = 57.100 - (1.20 - 0.40) \\ &= 56.300 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EL.2 &= U/S \text{ F.S.L.} + 0.30 = 57.100 + 0.30 \\ &= 57.400 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EL.4 &= D/S \text{ F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบคาคอนกรีต} = 56.400 + 0.15 \\ &= 56.550 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EL.5 &= U/S \text{ F.S.L.} - R = 57.100 - 1.20 \\ &= 55.900 \end{aligned}$$

EL.0 สูงกว่า EL.1 = $56.350 - 56.300 = 0.05$ ม. ลาดคลองด้าน Check Inlet ไม่ชันกว่า 1: 4

ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

$$\begin{aligned} &\text{ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนนด้าน Check Inlet} \\ &= 10.00 / 2 + (58.000 - 57.400) * 2 \text{ ม.} \\ &= 6.20 \text{ ม.} \end{aligned}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L1 = 6.20 + 1.00 = 7.20 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned} \text{ระดับหลัง Headwall ของ Outlet Transition} &= EL.3 + a_2 \\ &= 55.300 + 1.60 \\ &= 56.900 \end{aligned}$$

$$\text{ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Outlet Transition} = 56.900 - 0.10 = 56.800$$

$$\begin{aligned} &\text{ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนนด้าน Outlet Transition} \\ &= 10.00 / 2 + (58.000 - 56.800) * 2 \text{ ม.} \\ &= 7.40 \text{ ม.} \end{aligned}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L2 = 7.40 + 1.00 = 8.40 \text{ ม.}$$

กำหนดให้ระดับ EL.9 อยู่สูงกว่า EL.3 อยู่ 0.10 ม.

$$EL.9 = 55.300 + 0.10 = 55.400$$

ลาดของท่อจาก Check Inlet ลงสู่ EL.9 จะชันกว่า 1:2 ไม่ได้

$$\text{ดังนั้น ความยาว } L3 \text{ จะต้องไม่น้อยกว่า } (EL.5 - EL.9) * 2 = (55.900 - 55.400) * 2 = 1.00 \text{ ม.}$$

โดยที่ท่อเป็นท่อเอียง จึงต้องใช้ท่อจริงยาวกว่าความยาว L_3 รวมทั้งยังต้องมีการทาบออกบางส่วนเพื่อเชื่อมต่อกับท่อช่วงราบกับมีส่วนของ Check Inlet ที่ต่อกับท่ออยู่ 0.10 ม. จึงควรกำหนดให้

$$L_3 = 1.80 \text{ ม.}$$

$$\text{มุมเอียงของท่อ} = \tan^{-1} (0.50 / 1.80) = 15.52^\circ$$

$$\text{ความยาวจริงของท่อเอียง} = 1.80 / \cos 15.52^\circ = 1.86 \text{ ม.}$$

4. คำนวณหา Head Loss ของอาคาร

$$\text{ความเร็วน้ำในท่อ } (V_p) = Q/A_p = 0.941 / (\pi * 1.00 * 1.00 / 4) \text{ ม. / วินาที}$$

$$V_p = 1.198 \text{ ม. / วินาที}$$

$$h_{Vp} = (1.198)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$h_{Vp} = 0.073 \text{ ม.}$$

ด้านเหนือน้ำ

$$\text{ความเร็วน้ำในคลอง } (V_c) = 0.590 \text{ ม. / วินาที}$$

$$h_{Vc} = (0.590)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$= 0.01774 \text{ ม.}$$

$$\text{ใช้ } h_{Vc} = 0.018 \text{ ม.}$$

ด้านท้ายน้ำ

$$\text{ความเร็วน้ำในคลอง } (V_c) = 0.402 \text{ ม. / วินาที}$$

$$h_{Vc} = (0.402)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$= 0.00824 \text{ ม.} \quad \text{ใช้ } h_{Vc} = 0.008 \text{ ม.}$$

$$\text{Check Inlet Loss} = 0.5 * (h_{Vp} - h_{Vc})$$

$$= 0.5 * (0.073 - 0.018) \text{ ม.}$$

$$= 0.028 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Outlet Transition Loss} &= 0.7 * (h_{Vp} - h_{Vc}) \\
 &= 0.7 * (0.073 - 0.008) \text{ ม.} \\
 &= 0.046 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bend Loss} &= 0.25 * (\Delta / 90)^{1/2} * h_{Vp} \\
 &= 0.25 * (15.52 / 90)^{1/2} * 0.073 \\
 &= 0.103 * 0.073 \text{ ม.} \\
 &= 0.007 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาวท่อช่วงราบ} &= L1 + L2 - L3 \\
 &= 7.20 + 8.40 - 1.80 = 13.80 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

$$\text{ความยาวจริงของท่อเอียง} = 1.86 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาวท่อทั้งหมด} &= 13.80 + 1.86 \text{ ม.} \\
 &= 15.66 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Friction Loss ในท่อ} &= (V_p * n / (R)^{2/3})^2 * L \\
 &= (V_p * n / (D / 4)^{2/3})^2 * L \quad (\text{สำหรับท่อกลม } R = D / 4) \\
 &= (1.198 * 0.016 / (1 / 4)^{2/3})^2 * 15.66 \text{ ม.} \\
 &= (1.198 * 0.016 / (0.25)^{2/3})^2 * 15.66 \text{ ม.} \\
 &= 0.036 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Head Loss รวม} &= 0.028 + 0.036 + 0.046 + 0.007 \text{ ม.} \\
 &= 0.117 \text{ ม.} < 0.70 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น Head Loss ที่เกิดจากอาคารน้อยกว่าที่กำหนดไว้สำหรับคลอง การเลือก
อาคารแบบนี้เหมาะสมแล้ว

5. ตรวจสอบความสูงดินทับหลังท่อ

$$EL.9 = 55.400 \quad \text{ท่อหนา 0.11 ม.}$$

$$\begin{aligned} \text{ระดับสูงสุดของท่อจะอยู่ที่} &= 55.400 + 1.00 + 0.11 \\ &= 56.510 \end{aligned}$$

$$\text{ดินที่ทับหลังท่อมีความสูง} = 58.000 - 56.510 \text{ ม.} = 1.49 \text{ ม.} > 0.90 \text{ ม.}$$

ดังนั้น การออกแบบอาคารนี้เหมาะสมแล้ว

6. ตรวจสอบความปลอดภัยจากการไหลของเม็ดดินลอดใต้อาคาร (Percolation)

$$\text{ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับท้ายน้ำ} = 0.70 \text{ ม.}$$

ดินเดิมเป็นชนิด Medium Sand

ค่า Weighted – Creep Ratio (Percolation Factor) ตามวิธีการตรวจสอบของ Lane มีค่า 6 : 1

$$\text{Percolation Factor} = \text{ความยาว Weighted – Creep} / \text{ความต่างของระดับน้ำ}$$

$$6 = \text{ความยาว Weighted – Creep} / 0.70$$

$$\text{ความยาว Weighted – Creep ที่ต้องการ} = 6 * 0.70 = 4.20 \text{ ม.}$$

$$\text{ระยะทางการไหลแนวราบ} = L_{TU} + L1 + L2 + L_{TD}$$

$$= 1.50 + 7.20 + 8.40 + 3.50 \text{ ม.}$$

$$= 20.60 \text{ ม.}$$

$$\text{ความยาว Weighted–Creep ของอาคาร} = \text{ระยะทางการไหลแนวราบ} / 3 + \text{ระยะทางการไหลแนวตั้ง}$$

$$= 20.60 / 3 + 0.60 + 0.65 + 0.25 + 0.45 + 0.65 \text{ ม.}$$

$$= 9.47 \text{ ม.} > 4.20 \text{ ม.}$$

ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใส่ Pipe Collar กับอาคารนี้

เมื่อนำผลของระดับและมิติต่าง ๆ ที่คำนวณได้ไปใส่ลงในตารางเพื่อใช้ประกอบกับแบบเพื่อการก่อสร้าง จะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

กม.อาคาร	คลอง	ชนิด	อาคารแบบที่	Q (ม. ³ /วินาที)	ค่ามุม α	z	ระดับดินเดิม
*	*	ข1-3-1	4	0.941	90°	1.5	+56.800±

ระดับ												
U/S F.S.L.	D/S F.S.L.	EL.0	EL.1	EL.2	EL.3	EL.4	EL.5	EL.6	EL.7	EL.8	EL.9	EL.10
+57.100	+56.400	+56.350	+56.300	+57.400	+55.300	+56.550	+55.900		+58.100	+55.500		

มิติ																จำนวน Collar
L1	L2	L3	L4	L5	L6	b _u	d _u	b _d	d _d	W	T _R	T _L	B _R	B _L	W _C	N
7.20	8.40	1.80				1.40	0.75	1.25	0.90	10.00	3.00	2.00	*	*	*	-

หมายเหตุ * คือข้อมูลที่จะมีรายละเอียดอยู่ในแบบคลองที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ออกแบบ

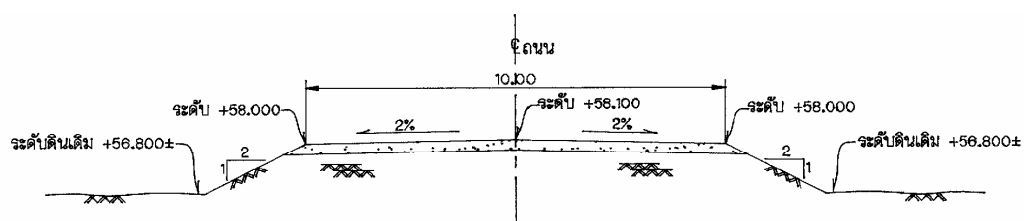
ตัวอย่างที่ 3

ข้อมูลคลอง

	ด้านเหนือ	ด้านท้ายน้ำ
ปริมาณน้ำ (ม. ³ /วินาที)	3.199	2.946
ความเร็ว (ม./วินาที)	0.713	0.690
ลาดตลิ่ง	1:1.5	1:1.5
ความกว้างกันคลอง (ม.)	1.50	1.50
ความลึก (ม.)	1.30	1.25
Freeboard ขอบตาดคอนกรีต (ม.)	0.25	0.25
Freeboard กันคลอง (ม.)	0.70	0.70
ความกว้างหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	2.00	2.00
ความกว้างหลังคันฝั่งขวา (ม.)	3.00	3.00
ระดับดินเดิม (ม.)	+56.800±	+56.800±
ระดับหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	+57.800	+57.100
ระดับหลังคันฝั่งขวา (ม.)	+57.800	+57.100
ระดับน้ำสูงสุด (ม.)	+57.100	+56.400
ระดับกันคลอง (ม.)	+55.800	+55.150

ข้อมูลของถนนสาธารณะ

ระดับหลังถนน +58.100 ความกว้างถนน 10.00 เมตร ลาดด้านข้างถนน 1:2
 ระดับดินเดิม +56.800± คลองและถนนตัดกันเป็นมุมฉาก



รูปที่ 19 รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 3

วิธีทำ

1. ปริมาณน้ำ = $2.946 \text{ ม.}^3 / \text{วินาที}$

2. ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับด้านท้ายน้ำ = $57.100 - 56.400 = 0.70 \text{ ม.}$

3. ความต่างของระดับน้ำเกิน 0.60 ม. จะต้องเลือกเป็นแบบท่อหักตรงหรือท่อหักงอ ปริมาณน้ำในตัวอย่างนี้มากเกินไปที่จะใช้ท่อ 1 แฉกได้ จึงเลือกใช้ท่อหักตรง 2 แฉก ทำให้ได้ผลการเลือกเป็นแบบที่ 5 ของท่อลอดถนนชนิดน้ำชนิด ข2-3-2 หมายเลข มฐ04-02-016

$$EL.3 = D/S \text{ F.S.L.} - (Y_2 - 0.30) = 56.400 - (1.70 - 0.30) = 55.000$$

EL.8 สูงกว่า EL.3 = $55.150 - 55.000 = 0.15 \text{ ม.}$ ลาดคลองด้าน Outlet Transition ไม่ชันกว่า 1:6

ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

กำหนดให้ระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่ระดับสันช่องน้ำล้นของ Check Inlet

$$EL.1 = U/S \text{ F.S.L.} - (R - 0.40) = 57.100 - (1.80 - 0.40) \\ = 55.700$$

$$EL.2 = U/S \text{ F.S.L.} + 0.30 = 57.100 + 0.30 \\ = 57.400$$

$$EL.4 = D/S \text{ F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบคาคอนกรีต} = 56.400 + 0.25 \\ = 56.650$$

$$EL.5 = U/S \text{ F.S.L.} - R = 57.100 - 1.80 \\ = 55.300$$

EL.0 สูงกว่า EL.1 = $55.800 - 55.700 = 0.10 \text{ ม.}$ ลาดคลองด้าน Check Inlet ไม่ชันกว่า 1:4

ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนนด้าน Check Inlet

$$= 10.00 / 2 + (58.000 - 57.400) * 2 \text{ ม.} \\ = 6.20 \text{ ม.}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L1 = 6.20 + 1.00 = 7.20 \text{ ม.}$$

ระดับหลัง Headwall ของ Outlet Transition = EL.3 + a_2

$$= 55.000 + 1.80$$

$$= 56.800$$

ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Outlet Transition = $56.800 - 0.10 = 56.700$

ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนนด้าน Outlet Transition

$$= 10.00 / 2 + (58.000 - 56.700) * 2 \text{ ม.}$$

$$= 7.60 \text{ ม.}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L2 = 7.40 + 1.00 = 8.60 \text{ ม.}$$

กำหนดให้ระดับ EL.9 อยู่สูงกว่า EL.3 อยู่ 0.10 ม.

$$EL.9 = 55.000 + 0.10 = 55.100$$

ลาดของท่อจาก Check Inlet ลงสู่ EL.9 จะชันกว่า 1:2 ไม่ได้

ดังนั้น ความยาว L3 จะต้องไม่น้อยกว่า $(EL.5 - EL.9) * 2 = (55.300 - 55.100) * 2 = 0.40 \text{ ม.}$

โดยที่ท่อเป็นท่อเอียง จึงต้องใช้ท่อจริงยาวกว่าความยาว L3 รวมทั้งยังต้องมีการทาบออกบางส่วนเพื่อเชื่อมต่อกับท่อช่วงราบกับมีส่วนของ Check Inlet ที่ต่อกับท่ออยู่ 0.10 ม. จึงควรกำหนดให้

$$L3 = 1.80 \text{ ม.}$$

$$\text{มุมเอียงของท่อ} = \tan^{-1} (0.20 / 1.80) = 6.34^\circ$$

$$\text{ความยาวจริงของท่อเอียง} = 1.80 / \cos 6.34^\circ = 1.81 \text{ ม.}$$

4. คำนวณหา Head Loss ของอาคาร

เนื่องจากอาคารแบบนี้ใช้ท่อกลม 2 แถววางขนานกัน แต่ละท่อก็จะลำเลียงน้ำปริมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคาร ดังนั้นความเร็วของน้ำในแต่ละท่อจึงเท่ากัน ความเร็วของน้ำที่ Headwall ของอาคารก็เท่ากับความเร็วของน้ำในแต่ละท่อ ที่เป็นส่วนประกอบกับ Headwall นั้น

$$\text{ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อ 1 แถว} = 2.946 / 2 = 1.473 \text{ ม.}^3 / \text{วินาที}$$

$$\text{ความเร็วน้ำในท่อ (} V_p \text{)} = Q/A_p = 1.473 / (\pi * 1.20 * 1.20 / 4) \text{ ม. / วินาที}$$

$$V_p = 1.131 \text{ ม. / วินาที}$$

$$h_{vp} = (1.131)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$h_{vp} = 0.065 \text{ ม.}$$

ด้านเหนือน้ำ

$$\text{ความเร็วน้ำในคลอง (} V_c \text{)} = 0.713 \text{ ม. / วินาที}$$

$$h_{vc} = (0.713)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$= 0.0259 \text{ ม.}$$

$$\text{ใช้ } h_{vc} = 0.026 \text{ ม.}$$

ด้านท้ายน้ำ

$$\text{ความเร็วน้ำในคลอง (} V_c \text{)} = 0.690 \text{ ม. / วินาที}$$

$$h_{vc} = (0.690)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$= 0.0242 \text{ ม.} \quad \text{ใช้ } h_{vc} = 0.024 \text{ ม.}$$

$$\text{Check Inlet Loss} = 0.5 * (h_{vp} - h_{vc})$$

$$= 0.5 * (0.065 - 0.026) \text{ ม.}$$

$$= 0.019 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Outlet Transition Loss} &= 0.7 * (h_{vp} - h_{vc}) \\
 &= 0.7 * (0.065 - 0.024) \text{ ม.} \\
 &= 0.029 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bend Loss} &= 0.25 * (\Delta / 90)^{1/2} * h_{vp} \\
 &= 0.25 * (6.34 / 90)^{1/2} * 0.065 \\
 &= 0.066 * 0.065 \text{ ม.} \\
 &= 0.004 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาวท่อช่วงราบ} &= L1 + L2 - L3 \\
 &= 7.20 + 8.60 - 1.80 = 14.00 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

$$\text{ความยาวจริงของท่อเอียง} = 1.81 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาวท่อทั้งหมด} &= 14.00 + 1.81 \text{ ม.} \\
 &= 15.81 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Friction Loss ในท่อ} &= (V_p * n / (R)^{2/3})^2 * L \\
 &= (V_p * n / (D / 4)^{2/3})^2 * L \quad (\text{สำหรับท่อกลม } R = D / 4) \\
 &= (1.131 * 0.016 / (1.20 / 4)^{2/3})^2 * 15.81 \text{ ม.} \\
 &= (1.131 * 0.016 / (0.30)^{2/3})^2 * 15.81 \text{ ม.} \\
 &= 0.026 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Head Loss รวม} &= 0.019 + 0.026 + 0.029 + 0.004 \text{ ม.} \\
 &= 0.078 \text{ ม.} < 0.70 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น Head Loss ที่เกิดจากอาคารน้อยกว่าที่กำหนดไว้สำหรับคลอง การเลือก
อาคารแบบนี้ เหมาะสมแล้ว

5. ตรวจสอบความสูงดินทับหลังท่อ

$$EL.9 = 55.100 \quad \text{ท่อหนา 0.125 ม.}$$

$$\begin{aligned} \text{ระดับสูงสุดของท่อจะอยู่ที่} &= 55.100 + 1.20 + 0.125 \\ &= 56.425 \end{aligned}$$

$$\text{ดินที่ทับหลังท่อมีความสูง} = 58.000 - 56.425 \text{ ม.} = 1.57 \text{ ม.} > 0.90 \text{ ม.}$$

ดังนั้น การออกแบบอาคารนี้เหมาะสมแล้ว

6. ตรวจสอบความปลอดภัยจากการไหลของเม็ดดินลอดใต้อาคาร (Percolation)

$$\text{ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับท้ายน้ำ} = 0.70 \text{ ม.}$$

ดินเดิมเป็นชนิด Medium Sand

ค่า Weighted – Creep Ratio (Percolation Factor) ตามวิธีการตรวจสอบของ Lane มีค่า 6 : 1

$$\text{Percolation Factor} = \text{ความยาว Weighted – Creep} / \text{ความต่างของระดับน้ำ}$$

$$6 = \text{ความยาว Weighted – Creep} / 0.70$$

$$\text{ความยาว Weighted – Creep ที่ต้องการ} = 6 * 0.70 = 4.20 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะทางการไหลแนวราบ} &= L_{TU} + L_1 + L_2 + L_{TD} \\ &= 2.50 + 7.20 + 8.60 + 3.60 \text{ ม.} \\ &= 21.90 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความยาว Weighted–Creep ของอาคาร} &= \text{ระยะทางการไหลแนวราบ} / 3 + \text{ระยะทางการไหลแนวตั้ง} \\ &= 21.90 / 3 + 0.60 + 0.65 + 0.25 + 0.45 + 0.65 \text{ ม.} \\ &= 9.90 \text{ ม.} > 4.20 \text{ ม.} \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใส่ Pipe Collar กับอาคารนี้

เมื่อนำผลของระดับและมิติต่าง ๆ ที่คำนวณได้ไปใส่ลงในตารางเพื่อใช้ประกอบกับแบบเพื่อการก่อสร้าง จะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

กม.อาคาร	คลอง	ชนิด	อาคารแบบที่	Q (ม. ³ /วินาที)	ค่ามุม α	z	ระดับดินเดิม
*	*	ข2-3-2	5	2.946	90°	1.5	+56.800±

ระดับ												
U/S F.S.L.	D/S F.S.L.	EL.0	EL.1	EL.2	EL.3	EL.4	EL.5	EL.6	EL.7	EL.8	EL.9	EL.10
+57.100	+56.400	+55.800	+55.700	+57.400	+55.000	+56.650	+55.300		+58.100	+55.150		

มิติ																จำนวน Collar
L1	L2	L3	L4	L5	L6	b _u	d _u	b _d	d _d	W	T _R	T _L	B _R	B _L	W _C	N
7.20	8.60	1.80				1.50	1.30	1.50	1.25	10.00	3.00	2.00	*	*	*	-

หมายเหตุ * คือข้อมูลที่จะมีรายละเอียดอยู่ในแบบคลองที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ออกแบบ

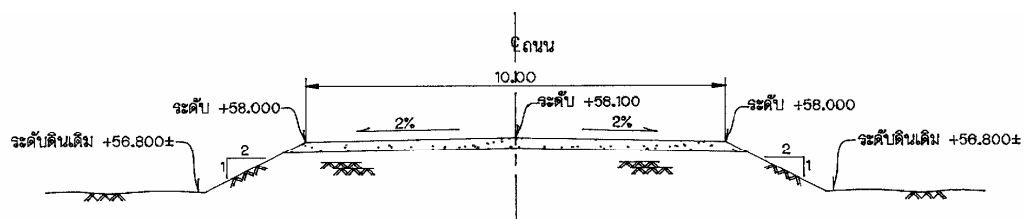
ตัวอย่างที่ 4

ข้อมูลคลอง

	ด้านเหนือ	ด้านท้ายน้ำ
ปริมาณน้ำ (ม. ³ /วินาที)	1.117	0.941
ความเร็ว (ม./วินาที)	0.590	0.402
ลาดตลิ่ง	1:1.5	1:1.5
ความกว้างกันคลอง (ม.)	1.40	1.25
ความลึก (ม.)	0.75	0.90
Freeboard ขอบตาดคอนกรีต (ม.)	0.20	0.15
Freeboard กันคลอง (ม.)	0.60	0.50
ความกว้างหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	2.00	2.00
ความกว้างหลังคันฝั่งขวา (ม.)	3.00	3.00
ระดับดินเดิม (ม.)	+56.800±	+56.800±
ระดับหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	+57.700	+55.500
ระดับหลังคันฝั่งขวา (ม.)	+57.700	+55.500
ระดับน้ำสูงสุด (ม.)	+57.100	+55.000
ระดับกันคลอง (ม.)	+56.350	+54.100

ข้อมูลของถนนสาธารณะ

ระดับหลังถนน +58.100 ความกว้างถนน 10.00 เมตร ลาดด้านข้างถนน 1:2
 ระดับดินเดิม +56.800± คลองและถนนตัดกันเป็นมุมฉาก



รูปที่ 20 รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 4

วิธีทำ

1. ปริมาณน้ำ = $0.941 \text{ ม.}^3 / \text{วินาที}$

2. ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับด้านท้ายน้ำ = $57.100 - 55.000 \text{ ม.}$
 $= 2.10 \text{ ม.}$

3. ความต่างของระดับน้ำเกิน 0.90 ม. จะต้องเลือกเป็นแบบท่อหักงอ

4. ในตัวอย่างนี้จะลองเลือกใช้ท่อหักงอ 1 แถว เพื่อความประหยัดจึงเลือกใช้ Outlet Transition แบบเอียงก่อน ทำให้ได้ผลการเลือกเป็นแบบที่ 4 ของท่อลดถนนทดน้ำชนิด ค1-4-2 หมายเลข มฐ04-02-022

$$EL.3 = D/S \text{ F.S.L.} - (Y_2 - 0.30) = 55.000 - (1.30 - 0.30) = 54.000$$

$$EL.8 \text{ สูงกว่า } EL.3 = 54.100 - 54.000 = 0.10 \text{ ม.}$$

ลาดคลองด้าน Outlet Transition ไม่ชันกว่า 1: 6 ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

กำหนดให้ระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่ระดับสันช่องน้ำล้นของ Check Inlet

$$EL.1 = U/S \text{ F.S.L.} - (R - 0.40) = 57.100 - (1.20 - 0.40) \\ = 56.300$$

$$EL.2 = U/S \text{ F.S.L.} + 0.30 \\ = 57.400$$

$$EL.4 = D/S \text{ F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบคาคอนกรีต} = 55.000 + 0.15 \\ = 55.150$$

$$EL.5 = U/S \text{ F.S.L.} - R = 57.100 - 1.20 \\ = 55.900$$

$$EL.6 = EL.3 - 0.10 \\ = 54.000 - 0.10 = 53.900$$

$$EL.0 \text{ สูงกว่า } EL.1 = 56.350 - 56.300 = 0.05 \text{ ม.} \quad \text{ลาดคลองด้าน Check Inlet ไม่ชันกว่า 1: 4}$$

ดังนั้นรูปแบบของอาคารที่เลือกใช้เหมาะสมแล้ว จึงคำนวณส่วนอื่นต่อไป

ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนนด้าน Check Inlet

$$= 10.00 / 2 + (58.000 - 57.400) * 2 \text{ ม.}$$

$$= 6.20 \text{ ม.}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L1 = 6.20 + 1.00 = 7.20 \text{ ม.}$$

ระดับหลัง Headwall ของ Outlet Transition = EL.6 + a_2 = EL.3 - 0.10 + a_2

$$= 54.000 - 0.10 + 1.60$$

$$= 55.500$$

ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Outlet Transition = 55.500 - 0.10 = 55.400

ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนนด้าน Outlet Transition

$$= 10.00 / 2 + (58.000 - 55.400) * 2 \text{ ม.}$$

$$= 10.20 \text{ ม.}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

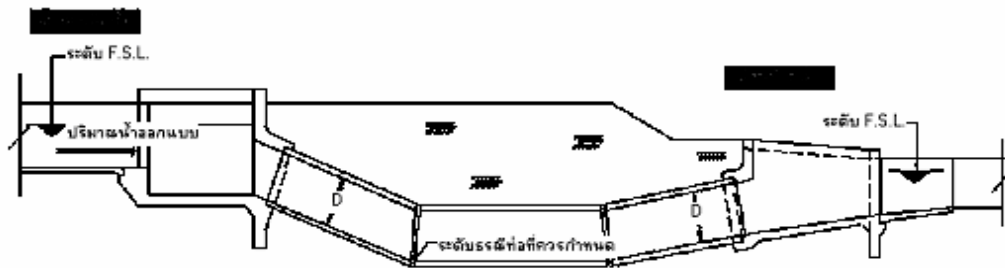
$$L2 = 10.20 + 1.00 = 11.20 \text{ ม.}$$

วิธีการคำนวณเพื่อให้ได้รูปแบบ Pipe Drop ตามที่ต้องการนั้น ส่วนที่สำคัญที่สุดคือระดับธรณีสันต่ำสุดของอาคาร ระดับนี้เป็นส่วนที่บังคับให้เกิด Hydraulic Jump ขึ้นภายในท่อจนพลังงานส่วนใหญ่ถูกสลายไป โดยความยาวของท่อส่วนนี้จะต้องไม่น้อยกว่า 5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

เนื่องจากวิธีการคำนวณอาคารแบบนี้ค่อนข้างจะยุ่งยาก จึงได้จัดทำ Software ประกอบกับเอกสารนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน Software นี้ชื่อ pipedrop0402 วิธีการใช้งานก็เพียงแต่ใส่แผ่น Floppy Disc หรือ CD ที่บรรจุ Software นี้ เข้าไปในเครื่องอ่านของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ แล้วเลือกไฟล์ชื่อ pipedrop0402 ก็จะได้ผลดังนี้

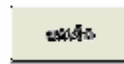
โปรแกรมประกอบการใช้แบบมาตรฐาน ท่อลอดถนนทดน้ำ

(แบบหมายเลข มข04-02-020 มข04-02-022 มข04-02-025 และ มข04-02-028)



ข้อกำหนดในการใช้งาน

1. ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารต้องไม่มากกว่า 5,000 ลบ.ม./วินาที
2. หากปริมาณน้ำที่ล้นแบบมีค่ามากกว่า 2,500 ลบ.ม./วินาที ให้ใช้อาคารชนิด 2 ท่อ และใช้ปริมาณน้ำครึ่งหนึ่งในการล้นแบบ
3. ความแตกต่างของระดับ F.S.L. ด้านเหนือน้ำ และ ระดับ F.S.L. ด้านท้ายน้ำ ต้องไม่น้อยกว่า 0.90 ม. และไม่เกินกว่า 4.50 ม.
4. รูปจำลองอาคารและผลการต่างๆที่ใช้ในการคำนวณเป็นไปตามหนังสือ DESIGN OF SMALL CANAL STRUCTURE, 1974, USBR. (หน้าที่ 68)
5. โปรแกรมนี้พัฒนามาจากโปรแกรม HYD9007.BAS ของนาย สุรพล ชูชนะวัด



รูปที่ 21 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเริ่มต้นใช้โปรแกรม pipedrop0402

เมื่อทำความเข้าใจกับข้อกำหนดการใช้งานแล้ว กด Enter หรือเลือก ตกลง ก็จะได้ผลดังนี้

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ		
ปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณล้นแบบ		ลบ.ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านเหนือน้ำ		ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านเหนือน้ำ		ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านท้ายน้ำ		ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านท้ายน้ำ		ม./วินาที
เลือกใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง		ม. (หากไม่ได้ค่า โปรแกรมจะกำหนดให้โดยอัตโนมัติ)
คำนวณ กลับ		
ผลการคำนวณ		
ใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	ม.	
ระดับธรณีที่ควรกำหนด	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)	
ข้อผิดพลาด		

รูปที่ 22 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อกดปุ่มตกลง หรือปุ่ม Enter

เมื่อป้อนข้อมูลทั้งหมดแล้ว กด Enter หรือ เลือกที่ คำนวณ ก็จะได้ผลการคำนวณตามรูปต่อไป

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ		
ปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณออกแบบ	0.941	ลบ.ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านเหนือหน้า	57.100	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านเหนือหน้า	0.420	ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านท้ายหน้า	55.000	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านท้ายหน้า	0.402	ม./วินาที
เลือกใช้ที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	1.00	ม. (หากไม่ใช่ค่า โปรแกรมจะกำหนดให้โดยอัตโนมัติ)
คำนวณ กลับ		

ผลการคำนวณ		
ใช้ที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	1.00	ม.
ระดับธรณีที่ควรกำหนด	53.456	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ข้อผิดพลาด		

รูปที่ 23 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อป้อนข้อมูลครบถ้วนแล้วกดปุ่มคำนวณ

ซึ่งได้ผลมาว่าระดับธรณีที่ควรกำหนดคือ 53.456

กำหนดให้ระดับ EL.9 = 53.400 และระดับ EL.10 = 53.300

ลาดของท่อจาก Check Inlet ลงสู่ EL.9 และลาดของท่อจาก Outlet Transition ลงสู่ EL.10 จะชันกว่า 1:2 ไม่ได้

ดังนั้น ความยาว L3 จะต้องไม่น้อยกว่า $(EL.5 - EL.9) * 2 = (55.900 - 53.400) * 2 = 5.00$ ม.

เนื่องจากท่อเป็นท่อเอียง ความยาวจริงของท่อจะต้องมากกว่าความยาว L3 ที่คำนวณได้ รวมทั้งยังต้องมีการหุบออกบางส่วนเพื่อเชื่อมต่อกับท่อช่วงราบกับมีส่วนของ Check Inlet ที่ต่อกับท่ออยู่ 0.10 ม. จึงควรกำหนดให้

$$L3 = 5.40 \text{ ม.}$$

ความยาว L4 จะต้องไม่น้อยกว่า $(EL.6 - EL.10) * 2 = (53.900 - 53.400) * 2 = 1.00$ ม.

เนื่องจากท่อเป็นท่อเอียง ความยาวจริงของท่อจะต้องมากกว่าความยาว L4 ที่คำนวณได้ รวมทั้งยังต้องมีการทาบออกบางส่วนเพื่อเชื่อมต่อกับท่อช่วงราบกับมีส่วนของ Outlet Transition ที่ต่อกับท่ออยู่ 0.10 ม. จึงควรกำหนดให้

$$L4 = 1.80 \text{ ม.}$$

$$\text{มุมเอียงของท่อด้านเหนือ} = \tan^{-1} (2.50 / 5.40) = 24.84^\circ$$

$$\text{ความยาวจริงของท่อเอียงด้านเหนือ} = 5.40 / \cos (24.84^\circ) = 5.95 \text{ ม.}$$

$$\text{มุมเอียงของท่อด้านท้าย} = \tan^{-1} (0.50 / 1.80) = 15.52^\circ$$

$$\text{ความยาวจริงของท่อเอียงด้านท้าย} = 1.80 / \cos (15.52^\circ) = 1.87 \text{ ม.}$$

$$\text{ความยาวท่อช่วงระหว่าง EL.9 กับ EL.10} = L1 + L2 - L3 - L4$$

$$= 7.20 + 11.20 - 5.40 - 1.80$$

$$= 11.20 \text{ ม.} > 5 * D$$

ซึ่งตรงตามข้อกำหนดของการออกแบบอาคาร Pipe Drop

5. คำนวณหา Head Loss ของอาคาร

สำหรับอาคารตามตัวอย่างนี้ ความต่างของระดับน้ำมากจนไม่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบ

6. ตรวจสอบความสูงดินทับหลังท่อ

$$EL.9 = 53.400 \quad \text{ท่อหนา 0.11 ม.}$$

$$\text{ระดับสูงสุดของท่อจะอยู่ที่} = 53.400 + 1.00 + 0.11$$

$$= 54.510$$

$$\text{ดินที่ทับหลังท่อมีความสูง} = 58.000 - 54.510 \text{ ม.} = 3.49 \text{ ม.} > 0.90 \text{ ม.}$$

ดังนั้น การออกแบบอาคารนี้เหมาะสมแล้ว

7. ตรวจสอบความปลอดภัยจากการไหลของเม็ดดินลอดใต้อาคาร (Percolation)

ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับท้ายน้ำ = 2.10 ม.

ดินเดิมเป็นชนิด Medium Sand

ค่า Weighted-Creep Ratio (Percolation Factor) ตามวิธีการตรวจสอบของ Lane มีค่า 6 : 1

Percolation Factor = ความยาว Weighted – Creep / ความต่างของระดับน้ำ

$$6 = \text{ความยาว Weighted – Creep} / 2.10$$

ความยาว Weighted – Creep ที่ต้องการ = $6 * 2.10 = 12.60$ ม.

$$\begin{aligned} \text{ระยะทางการไหลแนวราบ} &= L_{TU} + L_1 + L_2 + L_{TD} \\ &= 1.50 + 7.20 + 11.20 + 3.00 \text{ ม.} \\ &= 22.90 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความยาว Weighted-Creep ของอาคาร} &= \text{ระยะทางการไหลแนวราบ} / 3 + \text{ระยะทางการไหลแนวตั้ง} \\ &= 22.90 / 3 + 0.60 + 0.65 + 0.25 + 0.45 + 0.65 \text{ ม.} \\ &= 10.23 \text{ ม.} < 12.60 \text{ ม.} \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใส่ Pipe Collar กับอาคารนี้

$$\text{ส่วนที่ยังขาดอยู่} = 12.60 - 10.23 = 2.37 \text{ ม.}$$

ความหนาของท่อตามแบบนี้คือ 0.11 ม.

กำหนดให้ใช้ Collar จำนวน 2 ชั้น แต่ละชั้นมีระยะ $h_1 = 1.30$ ม.

ดังนั้นความยาว Weighted – Creep ของอาคาร ที่ได้เพิ่มสำหรับอาคารนี้จะเท่ากับ

$$4 * (1.30 - 0.50 - 0.11) = 2.76 \text{ ม.} > 2.37 \text{ ม.}$$

ความห่างระหว่าง Collar ทั้งสองจะต้องไม่น้อยกว่า 1.2 เท่าของระยะการในแนวดิ่ง
ด้านหนึ่งของ Collar

ระยะห่างระหว่าง Collar ทั้งสองจะต้องไม่น้อยกว่า $1.2 * (1.30 - 0.50 - 0.11) = 0.83$ ม

ความยาวท่อช่วงระหว่าง EL.9 กับ EL.10 เท่ากับ 11.10 ม. ควรกำหนดให้ Collar ทั้ง
2 อยู่ห่างจากปลายทั้งสองพอสมควร ในตัวอย่างนี้จะใช้ระยะข้างละ 2.00 ม.

$$L5 = L3 + 2.00 = 5.40 + 2.00 = 7.40 \text{ ม.}$$

$$L6 = L1 + L2 - L4 - L5 - 2.00 = 7.20 + 11.20 - 1.80 - 7.40 - 2.00 = 7.20 \text{ ม.}$$

เมื่อนำผลของระดับและมิติต่าง ๆ ที่คำนวณได้ไปใส่ลงในตารางเพื่อใช้ประกอบกับ
แบบเพื่อการก่อสร้าง จะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

อาคาร	คลอง	ชนิด	อาคารแบบที่	Q (ม. ³ /วินาที)	ค่ามุม α	z	ระดับดินเดิม
*	*	ค1-4-2	4	0.941	90°	1.5	+56.800±

ระดับ												
U/S F.S.L.	D/S F.S.L.	EL.0	EL.1	EL.2	EL.3	EL.4	EL.5	EL.6	EL.7	EL.8	EL.9	EL.10
+57.100	+55.000	+56.350	+56.300	+57.400	+54.000	+55.150	+55.900	+53.900	+58.100	+54.100	+53.400	+53.300

มิติ																จำนวน Collar
L1	L2	L3	L4	L5	L6	b _u	d _u	b _d	d _d	W	T _R	T _L	B _R	B _L	W _C	N
7.20	11.20	5.40	1.80	7.40	7.20	1.40	0.75	1.25	0.90	10.00	3.00	2.00	*	*	*	2

หมายเหตุ * คือข้อมูลที่จะมีรายละเอียดอยู่ในแบบคลองที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ออกแบบ

ตัวอย่างที่ 5

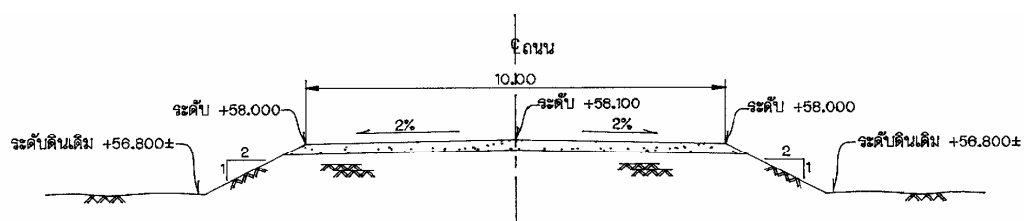
ข้อมูลคลอง

	ด้านเหนือ	ด้านท้ายน้ำ
ปริมาณน้ำ (ม. ³ /วินาที)	1.127	0.941
ความเร็ว (ม./วินาที)	0.420	0.402
ลาดตลิ่ง	1:1.5	1:1.5
ความกว้างกันคลอง (ม.)	1.40	1.25
ความลึก (ม.)	0.95	0.90
Freeboard ขอบาดคอนกรีต (ม.)	0.20	0.15
Freeboard กันคลอง (ม.)	0.60	0.50
ความกว้างหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	2.00	2.00
ความกว้างหลังคันฝั่งขวา (ม.)	3.00	3.00
ระดับดินเดิม (ม.)	+56.800±	+56.800±
ระดับหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	+57.700	+55.500
ระดับหลังคันฝั่งขวา (ม.)	+57.700	+55.500
ระดับน้ำสูงสุด (ม.)	+57.100	+55.000
ระดับกันคลอง (ม.)	+56.150	+54.100

ข้อมูลของถนนสาธารณะ

ระดับหลังถนน +58.100 ความกว้างถนน 10.00 เมตร ลาดด้านข้างถนน 1:2

ระดับดินเดิม +56.800± คลองและถนนตัดกันเป็นมุมฉาก



รูปที่ 24 รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 5

วิธีทำ

1. ปริมาณน้ำ = $0.941 \text{ ม.}^3 / \text{วินาที}$

2. ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับด้านท้ายน้ำ = $57.100 - 55.000 \text{ ม.}$
 $= 2.10 \text{ ม.}$

3. ความต่างของระดับน้ำเกิน 0.90 ม. จะต้องเลือกเป็นแบบท่อหักงอ

4. ในตัวอย่างนี้จะลองเลือกใช้ท่อหักงอ 1 แกว เพื่อความประหยัดจึงเลือกใช้ Outlet Transition แบบเอียงก่อน ทำให้ได้ผลการเลือกเป็นแบบที่ 4 ของท่อลอดถนนท่อน้ำชนิด ก1-4-2 หมายเลข มฐ04-02-022

$$EL.3 = D/S \text{ F.S.L.} - (Y_2 - 0.30) = 55.000 - (1.30 - 0.30) = 54.000$$

$$EL.8 \text{ สูงกว่า } EL.3 = 54.100 - 54.000 = 0.10 \text{ ม.}$$

ลาดคลองด้าน Outlet Transition ไม่ชันกว่า 1: 6 ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

กำหนดให้ระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่ระดับสันช่องน้ำล้นของ Check Inlet

$$EL.1 = U/S \text{ F.S.L.} - (R - 0.40) = 57.100 - (1.20 - 0.40) \\ = 56.300$$

$$EL.1 \text{ อยู่สูงกว่า } EL.0 = 56.300 - 56.150 = 0.15 \text{ ม.}$$

การที่ระดับธรณีอาคารสูงกว่าระดับกันคลองด้านเหนือน้ำเช่นนี้ ทำให้อาคารนี้เป็นสาเหตุให้ระดับน้ำที่หน้าอาคารต้องสูงกว่าที่กำหนดไว้ในแบบคลอง ในเวลาที่น้ำไหลมาด้วยปริมาณเต็มตามที่ได้ออกแบบไว้ นอกจากนั้นอาคารนี้ยังเป็นสาเหตุให้ไม่สามารถระบายน้ำให้หมดทั้งคลองได้ในเวลาที่ต้องการ จำเป็นต้องเปลี่ยนแบบอาคารใหม่ จึงเลือกแบบที่ 5 ของท่อลอดถนนท่อน้ำชนิด ก1-4-2 หมายเลข มฐ04-02-022

$$EL.3 = D/S \text{ F.S.L.} - (Y_2 - 0.30) = 55.000 - (1.50 - 0.30) \\ = 53.800$$

$$EL.8 \text{ สูงกว่า } EL.3 = 54.100 - 53.800 = 0.30 \text{ ม.}$$

ลาดคลองด้าน Outlet Transition ไม่ชันกว่า 1: 6 ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

กำหนดให้ระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่ระดับสันช่องน้ำล้นของ Check Inlet

$$EL.1 = U/S \text{ F.S.L.} - (R - 0.40) = 57.100 - (1.40 - 0.40) \\ = 56.100$$

$$EL.2 = U/S \text{ F.S.L.} + 0.30 = 57.100 + 0.30 \\ = 57.400$$

$$EL.4 = D/S \text{ F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบคาคอนกรีต} = 55.000 + 0.15 \\ = 55.150$$

$$EL.5 = U/S \text{ F.S.L.} - R = 57.100 - 1.40 \\ = 55.700$$

$$EL.0 \text{ สูงกว่า } EL.1 = 56.150 - 56.100 = 0.05 \text{ ม.} \quad \text{ลาดคลองด้าน Inlet ไม่ชันกว่า 1: 4}$$

ดังนั้นการเลือกแบบที่ 5 ของท่อลอดถนนทคน้ำชนิด ก1-4-2 หมายเลข มฐ04-02-022 เหมาะสมแล้ว จึงคำนวณส่วนอื่น ๆ ต่อไป

ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนนด้าน Check Inlet

$$= 10.00 / 2 + (58.000 - 57.400) * 2 \text{ ม.} \\ = 6.20 \text{ ม.}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L1 = 6.20 + 1.00 = 7.20 \text{ ม.}$$

$$\text{ระดับหลัง Headwall ของ Outlet Transition} = EL.6 + a_2 = EL.3 - 0.10 + a_2 \\ = 53.800 - 0.10 + 1.80 \\ = 55.500$$

ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Outlet Transition = $55.500 - 0.10 = 55.400$

ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนนด้าน Outlet Transition

$$= 10.00 / 2 + (58.000 - 55.400) * 2 \text{ ม.}$$

$$= 10.20 \text{ ม.}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

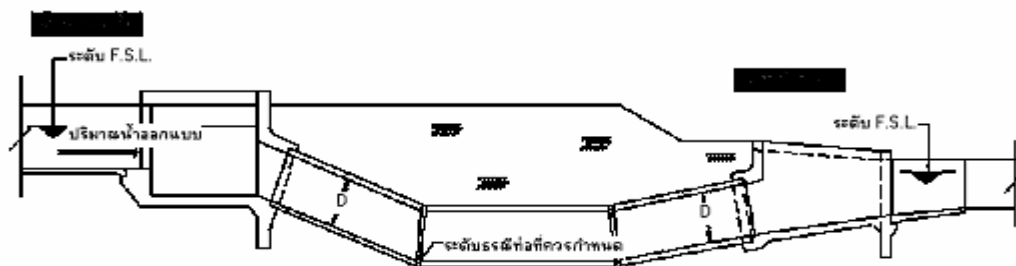
$$L2 = 10.20 + 1.00 = 11.20 \text{ ม.}$$

วิธีการคำนวณเพื่อให้ได้รูปแบบ Pipe Drop ตามที่ต้องการนั้น ส่วนที่สำคัญที่สุดคือ ระดับธรณีส่วนต่ำสุดของอาคาร ระดับนี้เป็นส่วนที่บังคับให้เกิด Hydraulic Jump ขึ้นภายในท่อจนพลังงานส่วนใหญ่ถูกสลายไป โดยความยาวของท่อส่วนนี้จะต้องไม่น้อยกว่า 5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

เนื่องจากวิธีการคำนวณอาคารแบบนี้ค่อนข้างจะยุ่งยาก จึงได้จัดทำ Software ประกอบกับเอกสารนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน Software นี้ชื่อ pipedrop0402 วิธีการใช้งานก็เพียงแต่ใส่แผ่น Floppy Disc หรือ CD ที่บรรจุ Software นี้เข้าไปในเครื่องอ่านของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ แล้วเลือกไฟล์ชื่อ pipedrop0402 ก็จะได้ผลดังนี้

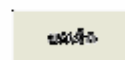
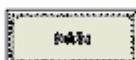
โปรแกรมประกอบการใช้แบบมาตรฐาน ท่อลอดถนนหน้า

(แบบหมายเลข มข04-02-020 มข04-02-022 มข04-02-025 และ มข04-02-028)



ข้อกำหนดในการใช้งาน

1. ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารต้องไม่มากกว่า 5,000 ลบ.ม./วินาที
2. ท่อปริมาณน้ำที่ออกแบบมีค่ามากกว่า 2,500 ลบ.ม./วินาที ให้ใช้อาคารชนิด 2 ท่อ และใช้ปริมาณน้ำครึ่งหนึ่งในการออกแบบ
3. ความแตกต่างของระดับ F.S.L. ด้านเหนือน้ำ และ ระดับ F.S.L. ด้านท้ายน้ำ ต้องไม่น้อยกว่า 0.90 ม. และไม่มากกว่า 4.50 ม.
4. รูปจำลองอาคารและสมการต่างๆที่ใช้ในการคำนวณเป็นไปตามหนังสือ DESIGN OF SMALL CANAL STRUCTURE, 1974, USBR. (หน้า 68)
5. โปรแกรมนี้พัฒนาจากโปรแกรม HYD9007.BAS ของนาย สุรพล ชุมทะวีต



รูปที่ 25 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเริ่มต้นใช้โปรแกรม pipedrop0402

เมื่อทำความเข้าใจกับข้อกำหนดการใช้งานแล้ว กด Enter หรือเลือก ตกลง ก็จะ
ได้ผลดังนี้

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ		
ปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณออกแบบ		ลบ.ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านเหนือน้ำ		ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านเหนือน้ำ		ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านท้ายน้ำ		ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านท้ายน้ำ		ม./วินาที
เลือกใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง		ม. (หากไม่ได้ค่า โปรแกรมจะกำหนดให้โดยอัตโนมัติ)
คำนวณ กลับ		

ผลการคำนวณ		
ใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง		ม.
ระดับธรรมที่อยู่ที่ควรกำหนด		ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ข้อผิดพลาด 		

รูปที่ 26 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อกดปุ่มตกลง หรือปุ่ม Enter
เมื่อป้อนข้อมูลทั้งหมดแล้ว กด Enter หรือ เลือกที่ คำนวณ ก็จะได้ผลการคำนวณตาม
รูปต่อไป

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ		
ปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณออกแบบ	0.941	ลบ.ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านเหนือน้ำ	57.100	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านเหนือน้ำ	0.420	ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านท้ายน้ำ	55.000	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านท้ายน้ำ	0.402	ม./วินาที
เลือกใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	1.2	ม. (หากไม่ได้ค่า โปรแกรมจะกำหนดให้โดยอัตโนมัติ)
คำนวณ กลับ		

ผลการคำนวณ		
ใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	1.20	ม.
ระดับธรรมที่อยู่ที่ควรกำหนด	53.652	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ข้อผิดพลาด 		

รูปที่ 27 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อป้อนข้อมูลครบถ้วนแล้วกดปุ่มคำนวณ

ซึ่งได้ผลมาว่าระดับธรณีสู่ท่อที่ควรกำหนดคือ 53.652

กำหนดให้ระดับ EL.9 = 53.600 และระดับ EL.10 = 53.500

ลาดของท่อจาก Check Inlet และลาดของท่อจาก Outlet Transition ลงสู่ท่อส่วนราบจะชันกว่า 1:2 ไม่ได้

ดังนั้น ความยาว L3 จะต้องไม่น้อยกว่า $(EL.5 - EL.9) * 2 = (55.700 - 53.600) * 2 = 4.20$ ม.

$$L3 = 4.20 \text{ ม.}$$

เนื่องจากท่อเป็นท่อเอียง ความยาวจริงของท่อจะต้องมากกว่าความยาว L3 ที่คำนวณได้ รวมทั้งยังต้องมีการทาบออกบางส่วนเพื่อเชื่อมต่อกับท่อช่วงราบกับมีส่วนของ Check Inlet ที่ต่อกับท่ออยู่ 0.10 ม. จึงควรกำหนดให้

$$L3 = 4.40 \text{ ม.}$$

ความยาว L4 จะต้องไม่น้อยกว่า $(EL.6 - EL.10) * 2 = (53.700 - 53.500) * 2 = 0.40$ ม.

เนื่องจากท่อเป็นท่อเอียง ความยาวจริงของท่อจะต้องมากกว่าความยาว L4 ที่คำนวณได้ รวมทั้งยังต้องมีการทาบออกบางส่วนเพื่อเชื่อมต่อกับท่อช่วงราบกับมีส่วนของ Outlet Transition ที่ต่อกับท่ออยู่ 0.10 ม. จึงควรกำหนดให้

$$L4 = 1.40 \text{ ม.}$$

$$\text{มุมเอียงของท่อด้านเหนือ} = \tan^{-1} (2.10 / 4.40) = 25.51^\circ$$

$$\text{ความยาวจริงของท่อเอียงด้านเหนือ} = 4.40 / \cos (25.51^\circ) = 4.87 \text{ ม.}$$

$$\text{มุมเอียงของท่อด้านท้ายน้ำ} = \tan^{-1} (0.20 / 1.40) = 8.13^\circ$$

$$\text{ความยาวจริงของท่อเอียงด้านท้ายน้ำ} = 1.40 / \cos (8.13^\circ) = 1.41 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาวท่อช่วงระหว่าง EL.9 กับ EL.10} &= L1 + L2 - L3 - L4 \\
 &= 7.20 + 11.20 - 4.40 - 1.40 \\
 &= 12.60 \text{ ม.} > 5 * D
 \end{aligned}$$

ซึ่งตรงตามข้อกำหนดของการออกแบบอาคาร Pipe Drop

5. คำนวณหา Head Loss ของอาคาร

สำหรับอาคารตามตัวอย่างนี้ ความต่างของระดับน้ำมากจนไม่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบ

6. ตรวจสอบความสูงดินทับหลังท่อ

สำหรับอาคารตามตัวอย่างนี้ ความสูงดินทับหลังท่อมักจะไม่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบ

7. ตรวจสอบความปลอดภัยจากการไหลของเม็ดดินลอดใต้อาคาร (Percolation)

ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับท้ายน้ำ = 2.10 ม.

ดินเดิมเป็นชนิด Medium Sand

ค่า Weighted-Creep Ratio (Percolation Factor) ตามวิธีการตรวจสอบของ Lane มีค่า 6 : 1

Percolation Factor = ความยาว Weighted – Creep / ความต่างของระดับน้ำ

$$6 = \text{ความยาว Weighted – Creep} / 2.10$$

ความยาว Weighted – Creep ที่ต้องการ = $6 * 2.10 = 12.60$ ม.

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะทางการไหลแนวราบ} &= L_{TU} + L1 + L2 + L_{TD} \\
 &= 1.75 + 7.20 + 11.20 + 3.60 \text{ ม.} \\
 &= 23.75 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาว Weighted-Creep ของอาคาร} &= \text{ระยะทางการไหลแนวราบ} / 3 + \text{ระยะทางการไหลแนวดิ่ง} \\
 &= 23.75 / 3 + 0.60 + 0.65 + 0.25 + 0.45 + 0.65 \text{ ม.} \\
 &= 10.51 \text{ ม.} < 12.60 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใส่ Pipe Collar กับอาคารนี้

$$\text{ส่วนที่ยังขาดอยู่} = 12.60 - 10.51 = 2.09 \text{ ม.}$$

ความหนาของท่อตามแบบนี้คือ 0.125 ม.

กำหนดให้ใช้ Collar จำนวน 2 ชั้น แต่ละชั้นมีระยะ $h_1 = 1.55$ ม.

ดังนั้นความยาว Weighted – Creep ของอาคาร ที่ได้เพิ่มสำหรับอาคารนี้จะเท่ากับ

$$4 * (1.55 - 0.60 - 0.125) = 3.30 \text{ ม.} > 2.09 \text{ ม.}$$

ความห่างระหว่าง Collar ทั้งสองจะต้องไม่น้อยกว่า 1.2 เท่าของระยะการไหลแนวดิ่ง
ด้านหนึ่งของ Collar

$$\text{ระยะห่างระหว่าง Collar ทั้งสองจะต้องไม่น้อยกว่า } 1.2 * (1.55 - 0.60 - 0.125) = 0.99 \text{ ม.}$$

ความยาวท่อช่วงระหว่าง EL.9 กับ EL.10 เท่ากับ 12.60 ม. ควรกำหนดให้ Collar ทั้ง
2 อยู่ห่างจากปลายทั้งสองพอสมควร ในตัวอย่างนี้จะใช้ระยะข้างละ 2.00 ม.

$$L5 = L3 + 2.00 = 4.40 + 2.00 = 6.40 \text{ ม.}$$

$$L6 = L1 + L2 - L4 - L5 - 2.00 = 7.20 + 11.20 - 1.40 - 6.40 - 2.00 = 8.60 \text{ ม.}$$

เมื่อนำผลของระดับและมิติต่าง ๆ ที่คำนวณได้ไปใส่ลงในตารางเพื่อใช้ประกอบกับ
แบบเพื่อการก่อสร้าง จะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

กม.อาคาร	คลอง	ชนิด	อาคารแบบที่	Q (ม. ³ /วินาที)	ค่ามุม α	z	ระดับดินเดิม
*	*	ค1-4-2	5	0.941	90°	1.5	+56.800±

ระดับ												
U/S F.S.L.	D/S F.S.L.	EL.0	EL.1	EL.2	EL.3	EL.4	EL.5	EL.6	EL.7	EL.8	EL.9	EL.10
+57.100	+55.000	+56.150	+56.100	+57.400	+53.800	+55.150	+55.700	+53.700	+58.100	+54.100	+53.600	+53.500

มิติ																จำนวน Collar
L1	L2	L3	L4	L5	L6	b _u	d _u	b _d	d _d	W	T _R	T _L	B _R	B _L	W _C	N
7.20	11.20	4.40	1.40	6.40	8.60	1.40	0.95	1.25	0.90	10.00	3.00	2.00	*	*	*	2

หมายเหตุ * คือข้อมูลที่จะมีรายละเอียดอยู่ในแบบคลองที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ออกแบบ

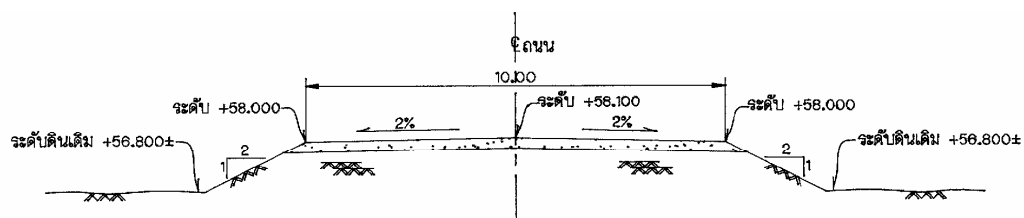
ตัวอย่างที่ 6

ข้อมูลคลอง

	ด้านเหนือ	ด้านท้ายน้ำ
ปริมาณน้ำ (ม. ³ /วินาที)	2.306	1.900
ความเร็ว (ม./วินาที)	0.655	0.623
ลาดตลิ่ง	1:1.5	1:1.5
ความกว้างกันคลอง (ม.)	1.55	1.55
ความลึก (ม.)	1.10	1.00
Freeboard ขอบาดคอนกรีต (ม.)	0.20	0.20
Freeboard กันคลอง (ม.)	0.60	0.60
ความกว้างหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	2.00	2.00
ความกว้างหลังคันฝั่งขวา (ม.)	3.00	3.00
ระดับดินเดิม (ม.)	+56.800±	+56.800±
ระดับหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	+57.700	+55.600
ระดับหลังคันฝั่งขวา (ม.)	+57.700	+55.600
ระดับน้ำสูงสุด (ม.)	+57.100	+55.000
ระดับกันคลอง (ม.)	+56.000	+54.000

ข้อมูลของถนนสาธารณะ

ระดับหลังถนน +58.100 ความกว้างถนน 10.00 เมตร ลาดด้านข้างถนน 1:2
 ระดับดินเดิม +56.800± คลองและถนนตัดกันเป็นมุมฉาก



รูปที่ 28 รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 6

วิธีทำ

1. ปริมาณน้ำ = $1.900 \text{ ม.}^3 / \text{วินาที}$

2. ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับด้านท้ายน้ำ = $57.100 - 55.000 \text{ ม.}$
 $= 2.10 \text{ ม.}$

3. ความต่างของระดับน้ำเกิน 0.90 ม. จะต้องเลือกเป็นแบบท่อหักงอ

4. ในตัวอย่างนี้จะลองเลือกใช้ท่อหักงอ 1 แถว เพื่อความประหยัดจึงเลือกใช้ Outlet Transition แบบเอียงก่อน ทำให้ได้ผลการเลือกเป็นแบบที่ 6 ของท่อลดถนนทดน้ำชนิด ค1-4-2 หมายเลข มฐ04-02-022

$$EL.3 = D/S \text{ F.S.L.} - (Y_2 - 0.30) = 55.000 - (1.80 - 0.30) = 53.500$$

$$EL.8 \text{ สูงกว่า } EL.3 = 54.000 - 53.500 = 0.50 \text{ ม.}$$

ลาดคลองด้าน Outlet Transition ไม่ชันกว่า 1: 6 ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

กำหนดให้ระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่ระดับสันช่องน้ำล้นของ Check Inlet

$$EL.1 = U/S \text{ F.S.L.} - (R - 0.40) = 57.100 - (1.70 - 0.40) \\ = 55.800$$

$$EL.0 \text{ อยู่สูงกว่า } EL.1 = 56.000 - 55.800 = 0.20 \text{ ม. ลาดคลองด้าน Inlet ไม่ชันกว่า 1: 4}$$

ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

$$EL.2 = U/S \text{ F.S.L.} + 0.30 = 57.100 + 0.30 \\ = 57.400$$

$$EL.4 = D/S \text{ F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบาดคอนกรีต} = 55.000 + 0.20 \\ = 55.200$$

$$EL.5 = U/S \text{ F.S.L.} - R = 57.100 - 1.70 \\ = 55.400$$

ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนนด้าน Check Inlet

$$= 10.00 / 2 + (58.000 - 57.400) * 2 \text{ ม.}$$

$$= 6.20 \text{ ม.}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L1 = 6.20 + 1.00 = 7.20 \text{ ม.}$$

ระดับหลัง Headwall ของ Outlet Transition = EL.6 + a_2 = EL.3 – 0.10 + a_2

$$= 53.500 - 0.10 + 2.10$$

$$= 55.500$$

ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Outlet Transition = 55.500 - 0.10 = 55.400

ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนนด้าน Outlet Transition

$$= 10.00 / 2 + (58.000 - 55.400) * 2 \text{ ม.}$$

$$= 10.20 \text{ ม.}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

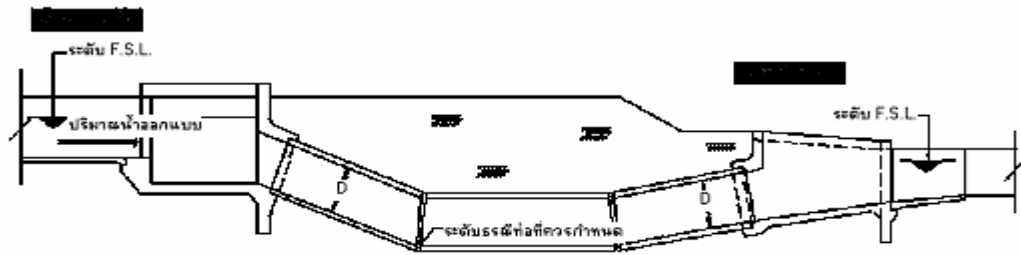
$$L2 = 10.20 + 1.00 = 11.20 \text{ ม.}$$

วิธีการคำนวณเพื่อให้ได้รูปแบบ Pipe Drop ตามที่ต้องการนั้น ส่วนที่สำคัญที่สุดคือ ระดับธรณีสันต่ำสุดของอาคาร ระดับนี้เป็นส่วนที่บังคับให้เกิด Hydraulic Jump ขึ้นภายในท่อจนพลังงานส่วนใหญ่ถูกสลายไป โดยความยาวของท่อส่วนนี้จะต้องไม่น้อยกว่า 5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

เนื่องจากวิธีการคำนวณอาคารแบบนี้ค่อนข้างจะยุ่งยาก จึงได้จัดทำ Software ประกอบกับเอกสารนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน Software นี้ชื่อ pipedrop0402 วิธีการใช้งานก็เพียงแต่ใส่แผ่น Floppy Disc หรือ CD ที่บรรจุ Software นี้เข้าไปในเครื่องอ่านของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ แล้วเลือกไฟล์ชื่อ pipedrop0402 ก็จะได้ผลดังนี้

โปรแกรมประกอบการใช้แบบมาตรฐาน ท่อลอดถนนหน้า

(แบบหมายเลข มฐ04-02-020 มฐ04-02-022 มฐ04-02-025 และ มฐ04-02-028)



ข้อกำหนดในการใช้งาน

1. ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารต้องไม่มากกว่า 5,000 ลบ.ม./วินาที
2. หากปริมาณน้ำที่ออกแบบมีค่ามากกว่า 2,500 ลบ.ม./วินาที ให้ใช้อาคารชนิด 2 ท่อ และใช้ปริมาณน้ำครึ่งหนึ่งในการออกแบบ
3. ความแตกต่างของระดับ F.S.L. ด้านเหนือน้ำ และ ระดับ F.S.L. ด้านท้ายน้ำ ต้องไม่น้อยกว่า 0.90 ม. และไม่มากกว่า 4.50 ม.
4. รูปจำลองอาคารและสมการต่างๆที่ใช้ในการคำนวณเป็นไปตามหนังสือ DESIGN OF SMALL CANAL STRUCTURE, 1974, USBR. (หน้าที 68)
5. โปรแกรมนี้พัฒนามาจากโปรแกรม HYD9007.BAS ของนาย สุรพล ชุมทะวีต

ติดตั้ง

ฉบับแก้ไข

รูปที่ 29 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเริ่มต้นใช้โปรแกรม pipedrop0402

เมื่อทำความเข้าใจกับข้อกำหนดการใช้งานแล้ว กด Enter หรือเลือก ตกลง ก็จะได้ผลดังนี้

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ		
ปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณออกแบบ		ลบ.ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านเหนือน้ำ		ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านเหนือน้ำ		ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านท้ายน้ำ		ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านท้ายน้ำ		ม./วินาที
เลือกใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง		ม. (หากไม่ได้ใส่ค่า โปรแกรมจะกำหนดให้โดยอัตโนมัติ)
คำนวณ กลับ		

ผลการคำนวณ	
ใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	ม.
ระดับธรณีที่ควรกำหนด	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ข้อผิดพลาด	

รูปที่ 30 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อกดปุ่มตกลง หรือปุ่ม Enter

เมื่อป้อนข้อมูลทั้งหมดแล้ว กด Enter หรือ เลือกที่ **คำนวณ** ก็จะได้ผลการคำนวณตามรูปต่อไป

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ		
ปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณลอกแบบ	1.900	ลบ.ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านเหนือ	57.100	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านเหนือ	0.665	ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านท้าย	55.000	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านท้าย	0.623	ม./วินาที
เลือกใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	1.5	ม. (หากไม่ใช่ค่า โปรแกรมจะกำหนดให้โดยอัตโนมัติ)
คำนวณ กลับ		

ผลการคำนวณ		
ใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	1.50	ม.
ระดับธรณีที่ล้นที่ควรกำหนด	53.264	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ข้อผิดพลาด		

รูปที่ 31 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อป้อนข้อมูลครบถ้วนแล้วกดปุ่มคำนวณ

ซึ่งได้ผลมาว่าระดับธรณีที่ควรกำหนดคือ 53.264

กำหนดให้ระดับ EL.9 = 53.250 และระดับ EL.10 = 53.150

ลาดของท่อจาก Check Inlet และลาดของท่อจาก Outlet Transition ลงสู่ท่อส่วนราบจะชันกว่า 1:2 ไม่ได้

ดังนั้น ความยาว L3 จะต้องไม่น้อยกว่า $(EL.5 - EL.9) * 2 = (55.400 - 53.250) * 2 = 4.30$ ม.

$$L3 = 4.30 \text{ ม.}$$

เนื่องจากท่อเป็นท่อเอียง ความยาวจริงของท่อจะต้องมากกว่าความยาว L3 ที่คำนวณได้ รวมทั้งยังต้องมีการทาบออกบางส่วนเพื่อเชื่อมต่อกับท่อช่วงราบกับมีส่วนของ Check Inlet ที่ต่อกับท่ออยู่ 0.10 ม. จึงควรกำหนดให้

$$L3 = 4.40 \text{ ม.}$$

ความยาว L4 จะต้องไม่น้อยกว่า $(EL.6 - EL.10) * 2 = (53.400 - 53.150) * 2 = 0.50$ ม.

เนื่องจากท่อเป็นท่อเอียง ความยาวจริงของท่อจะต้องมากกว่าความยาว L4 ที่คำนวณได้ รวมทั้งยังต้องมีการทาบออกบางส่วนเพื่อเชื่อมต่อกับท่อช่วงราบกับมีส่วนของ Outlet Transition ที่ต่อกับท่ออยู่ 0.10 ม. จึงควรกำหนดให้

$$L4 = 1.40 \text{ ม.}$$

$$\text{มุมเอียงของท่อด้านเหนือ} = \tan^{-1} (2.15 / 4.40) = 26.04^\circ$$

$$\text{ความยาวจริงของท่อเอียงด้านเหนือ} = 4.40 / \cos (26.04^\circ) = 4.90 \text{ ม.}$$

$$\text{มุมเอียงของท่อด้านท้าย} = \tan^{-1} (0.25 / 1.40) = 10.12^\circ$$

$$\text{ความยาวจริงของท่อเอียงด้านท้าย} = 1.40 / \cos (10.12^\circ) = 1.42 \text{ ม.}$$

$$\text{ความยาวท่อช่วงระหว่าง EL.9 กับ EL.10} = L1 + L2 - L3 - L4$$

$$= 7.20 + 11.20 - 4.40 - 1.40$$

$$= 12.60 \text{ ม.} > 5 * D$$

ซึ่งตรงตามข้อกำหนดของการออกแบบอาคาร Pipe Drop

5. คำนวณหา Head Loss ของอาคาร

สำหรับอาคารตามตัวอย่างนี้ ความต่างของระดับน้ำมากจนไม่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบ

6. ตรวจสอบความสูงดินทับหลังท่อ

สำหรับอาคารตามตัวอย่างนี้ ความสูงดินทับหลังท่อมักจะไม่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบ

7. ตรวจสอบความปลอดภัยจากการไหลของเม็ดดินลอดใต้อาคาร (Percolation)

ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือกับท้าย = 2.10 ม.

ดินเดิมเป็นชนิด Medium Sand

ค่า Weighted–Creep Ratio (Percolation Factor) ตามวิธีการตรวจสอบของ Lane มีค่า 6 : 1

Percolation Factor = ความยาว Weighted – Creep / ความต่างของระดับน้ำ

$$6 = \text{ความยาว Weighted – Creep} / 2.10$$

ความยาว Weighted – Creep ที่ต้องการ = $6 * 2.10 = 12.60$ ม.

$$\begin{aligned} \text{ระยะทางการไหลแนวราบ} &= L_{TU} + L_1 + L_2 + L_{TD} \\ &= 2.25 + 7.20 + 11.20 + 4.50 \text{ ม.} \\ &= 25.15 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความยาว Weighted–Creep ของอาคาร} &= \text{ระยะทางการไหลแนวราบ} / 3 + \text{ระยะทางการไหลแนวตั้ง} \\ &= 25.15 / 3 + 0.60 + 0.65 + 0.25 + 0.45 + 0.65 \text{ ม.} \\ &= 10.98 \text{ ม.} < 12.60 \text{ ม.} \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใส่ Pipe Collar กับอาคารนี้

$$\text{ส่วนที่ยังขาดอยู่} = 12.60 - 10.98 = 1.62 \text{ ม.}$$

ความหนาของท่อตามแบบนี้คือ 0.15 ม.

กำหนดให้ใช้ Collar จำนวน 1 ชิ้น มีระยะ $h_1 = 1.80$ ม.

ดังนั้นความยาว Weighted – Creep ของอาคาร ที่ได้เพิ่มสำหรับอาคารนี้จะเท่ากับ

$$2 * (1.80 - 0.75 - 0.15) = 1.80 \text{ ม.} > 1.62 \text{ ม.}$$

กำหนดให้ Collar อยู่กึ่งกลางระหว่าง EL.9 กับ EL.10

$$L_5 = L_3 + 12.60 / 2 = 4.40 + 6.30 = 10.70 \text{ ม.}$$

เมื่อนำผลของระดับและมิติต่าง ๆ ที่คำนวณได้ไปใส่ลงในตารางเพื่อใช้ประกอบกับแบบเพื่อการก่อสร้าง จะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

กม.อาคาร	คลอง	ชนิด	อาคารแบบที่	Q (ม. ³ /วินาที)	ค่ามุม α	z	ระดับดินเดิม
*	*	ค1-4-2	6	1.900	90°	1.5	+56.800±

ระดับ												
U/S F.S.L.	D/S F.S.L.	EL.0	EL.1	EL.2	EL.3	EL.4	EL.5	EL.6	EL.7	EL.8	EL.9	EL.10
+57.100	+55.000	+56.000	+55.800	+57.400	+53.500	+55.200	+55.400	+53.400	+58.100	+54.000	+53.250	+53.150

มิติ																จำนวน Collar
L1	L2	L3	L4	L5	L6	b _u	d _u	b _d	d _d	W	T _R	T _L	B _R	B _L	W _C	N
7.20	11.20	4.40	1.40	10.70	--	1.55	1.10	1.55	1.00	10.00	3.00	2.00	*	*	*	1

หมายเหตุ * คือข้อมูลที่จะมีรายละเอียดอยู่ในแบบคลองที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ออกแบบ

ท่อลอดถนนทดน้ำ 2 แฉว

ตัวอย่างที่ 7

จากตัวอย่างที่ 6 เป็นการเลือกใช้อาคารที่มีส่วนประกอบเป็นท่อกลม 1 แฉว แต่ด้วยปริมาณน้ำ 1.900 ม.³ / วินาที เช่นนี้ ผู้ออกแบบอาจเลือกใช้อาคารที่มีส่วนประกอบเป็นท่อกลม 2 แฉวก็ได้ ซึ่งมีวิธีการออกแบบดังต่อไปนี้

1. ปริมาณน้ำ = 1.900 ม.³ / วินาที

2. ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับด้านท้ายน้ำ = 57.100 - 55.000 ม.
= 2.10 ม.

3. ความต่างของระดับน้ำเกิน 0.90 ม. จะต้องเลือกเป็นแบบท่อหักงอ

4. ในตัวอย่างนี้จะลองเลือกใช้ท่อหักงอ 2 แฉว ซึ่งมีแต่ Outlet Transition แบบตรง ทำให้ได้ผลการเลือกเป็นแบบที่ 4 ของท่อลอดถนนทดน้ำชนิด ค2-3-2 หมายเลข มฐ04-02-024

$$EL.3 = D/S \text{ F.S.L.} - (Y_2 - 0.30) = 55.000 - (1.45 - 0.30) = 53.850$$

$$EL.8 \text{ สูงกว่า } EL.3 = 54.000 - 53.850 = 0.15 \text{ ม.}$$

ลาดคลองด้าน Outlet Transition ไม่ชันกว่า 1: 6 ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

กำหนดให้ระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่ระดับสันช่องน้ำล้นของ Check Inlet

$$EL.1 = U/S \text{ F.S.L.} - (R - 0.40) = 57.100 - (1.60 - 0.40) \\ = 55.900$$

$$EL.0 \text{ อยู่สูงกว่า } EL.1 = 56.000 - 55.900 = 0.10 \text{ ม. ลาดคลองด้าน Inlet ไม่ชันกว่า 1: 4}$$

$$EL.2 = U/S \text{ F.S.L.} + 0.30 = 57.100 + 0.30 \\ = 57.400$$

$$EL.4 = D/S \text{ F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบคาคอนกรีต} = 55.000 + 0.20 \\ = 55.200$$

$$EL.5 = U/S \text{ F.S.L.} - R = 57.100 - 1.60 \\ = 55.500$$

ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนนด้าน Check Inlet

$$= 10.00 / 2 + (58.000 - 57.400) * 2 \text{ ม.}$$

$$= 6.20 \text{ ม.}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L1 = 6.20 + 1.00 = 7.20 \text{ ม.}$$

ระดับหลัง Headwall ของ Outlet Transition = EL.3 + a₂

$$= 53.850 + 1.60$$

$$= 55.450$$

ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Outlet Transition = 55.450 - 0.10 = 55.350

ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนนด้าน Outlet Transition

$$= 10.00 / 2 + (58.000 - 55.350) * 2 \text{ ม.}$$

$$= 10.30 \text{ ม.}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

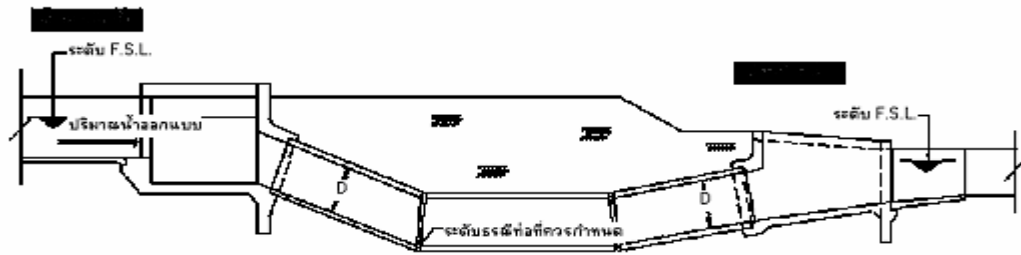
$$L2 = 10.30 + 1.00 = 11.30 \text{ ม.}$$

วิธีการคำนวณเพื่อให้ได้รูปแบบ Pipe Drop ตามที่ต้องการนั้น ส่วนที่สำคัญที่สุดคือ ระดับธรณีส่วนต่ำสุดของอาคาร ระดับนี้เป็นส่วนที่บังคับให้เกิด Hydraulic Jump ขึ้นภายในท่อจนพลังงานส่วนใหญ่ถูกสลายไป โดยความยาวของท่อส่วนนี้จะต้องไม่น้อยกว่า 5 เท่าของ เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

เนื่องจากวิธีการคำนวณอาคารแบบนี้ค่อนข้างจะยุ่งยาก จึงได้จัดทำ Software ประกอบกับเอกสารนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน Software นี้ชื่อ pipedrop0402 วิธีการใช้งานก็เพียงแค่ใส่แผ่น Floppy Disc หรือ CD ที่บรรจุ Software นี้เข้าไปในเครื่องอ่านของ คอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ แล้วเลือกไฟล์ชื่อ pipedrop0402 ก็จะได้ผลดังนี้

โปรแกรมประกอบการใช้แบบมาตรฐาน ท่อลอดถนนทดน้ำ

(แบบหมายเลข มฐ04-02-020 มฐ04-02-022 มฐ04-02-025 และ มฐ04-02-028)



ข้อกำหนดในการใช้งาน

1. ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารต้องไม่มากกว่า 5,000 ลบ.ม./วินาที
2. หากปริมาณน้ำที่ออกแบบมีค่ามากกว่า 2,500 ลบ.ม./วินาที ให้ใช้อาคารชนิด 2 ท่อ และใช้ปริมาณน้ำจริงหนึ่งในการออกแบบ
3. ความแตกต่างของระดับ F.S.L. ด้านเหนือน้ำ และ ระดับ F.S.L. ด้านท้ายน้ำ ต้องไม่น้อยกว่า 0.90 ม. และไม่เกินกว่า 4.50 ม.
4. รูปจำลองอาคารและผลการต่างๆที่ใช้ในการคำนวณเป็นไปตามหนังสือ DESIGN OF SMALL CANAL STRUCTURE, 1974, USBR. (หน้าที 68)
5. โปรแกรมนี้พัฒนามาจากโปรแกรม HYD9007.BAS ของนาย สุรพล ชุมชะวัด

ติดตั้ง

ฉบับแก้ไข

รูปที่ 32 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อเริ่มต้นใช้โปรแกรม pipedrop0402

เมื่อทำความเข้าใจกับข้อกำหนดการใช้งานแล้ว กด Enter หรือเลือก ตกลง ก็จะได้ผลดังนี้

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ		
ปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณออกแบบ		ลบ.ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านเหนือน้ำ		ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านเหนือน้ำ		ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านท้ายน้ำ		ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านท้ายน้ำ		ม./วินาที
เลือกใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง		ม. (หากไม่ได้ค่า โปรแกรมจะกำหนดให้โดยอัตโนมัติ)
คำนวณ กลับ		
ผลการคำนวณ		
ใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	ม.	
ระดับธรณีที่ควรกำหนด	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)	
ข้อผิดพลาด		

รูปที่ 33 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อกดปุ่มตกลง หรือปุ่ม Enter

ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อ 1 แฉวจะเท่ากับ $0.95 \text{ ม.}^3 / \text{วินาที}$

เมื่อป้อนข้อมูลทั้งหมดแล้ว กด Enter หรือ เลือกที่ **คำนวณ** ก็จะได้ผลการคำนวณตาม

รูปต่อไป

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ		
ปริมาณน้ำที่ใช้คำนวณออกแบบ	0.950	ลบ.ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านเหนือ	57.100	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านเหนือ	0.655	ม./วินาที
ระดับน้ำ F.S.L. ด้านท้าย	55.000	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลองด้านท้าย	0.623	ม./วินาที
เลือกใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	1.00	ม. (หากไม่ใช่ค่า โปรแกรมจะกำหนดให้โดยอัตโนมัติ)
คำนวณ กลับ		

ผลการคำนวณ		
ใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	1.00	ม.
ระดับธรณีที่ควรกำหนด	53.456	ม.(ร.ท.ก./ร.ส.ม.)
ข้อผิดพลาด		

รูปที่ 34 ภาพแสดงหน้าจอคอมพิวเตอร์เมื่อป้อนข้อมูลครบถ้วนแล้วกดปุ่มคำนวณ

ซึ่งได้ผลมาว่าระดับธรณีที่ควรกำหนดคือ 53.456

กำหนดให้ระดับ EL.9 = 53.400 และระดับ EL.10 = 53.300

ลาดของท่อจาก Check Inlet และลาดของท่อจาก Outlet Transition ลงสู่ท่อส่วนราบจะชันกว่า 1:2 ไม่ได้

ดังนั้น ความยาว L3 จะต้องไม่น้อยกว่า $(EL.5 - EL.9) * 2 = (55.500 - 53.400) * 2 = 4.20 \text{ ม.}$

$L3 = 4.20 \text{ ม.}$

เนื่องจากท่อเป็นท่อเอียง ความยาวจริงของท่อจะต้องมากกว่าความยาว L3 ที่คำนวณได้ รวมทั้งยังต้องมีการทาบออกบางส่วนเพื่อเชื่อมต่อกับท่อช่วงราบกับมีส่วนของ Check Inlet ที่ต่อกับท่ออยู่ 0.10 ม. จึงควรกำหนดให้

$$L3 = 4.40 \text{ ม.}$$

$$\text{ความยาว L4 จะต้องไม่น้อยกว่า } (EL.3 - EL.10) * 2 = (53.850 - 53.300) * 2 = 1.10 \text{ ม.}$$

เนื่องจากท่อเป็นท่อเอียง ความยาวจริงของท่อจะต้องมากกว่าความยาว L4 ที่คำนวณได้ รวมทั้งยังต้องมีการทาบออกบางส่วนเพื่อเชื่อมต่อกับท่อช่วงราบกับมีส่วนของ Outlet Transition ที่ต่อกับท่ออยู่ 0.10 ม. จึงควรกำหนดให้

$$L4 = 1.40 \text{ ม.}$$

$$\text{มุมเอียงของท่อด้านเหนือ} = \tan^{-1} (2.10 / 4.40) = 25.51^\circ$$

$$\text{ความยาวจริงของท่อเอียงด้านเหนือ} = 4.40 / \cos (25.51^\circ) = 4.87 \text{ ม.}$$

$$\text{มุมเอียงของท่อด้านท้ายน้ำ} = \tan^{-1} (0.55 / 1.40) = 21.45^\circ$$

$$\text{ความยาวจริงของท่อเอียงด้านท้ายน้ำ} = 1.40 / \cos (21.45^\circ) = 1.50 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned} \text{ความยาวท่อช่วงระหว่าง EL.9 กับ EL.10} &= L1 + L2 - L3 - L4 \\ &= 7.20 + 11.30 - 4.40 - 1.40 \\ &= 12.70 \text{ ม.} > 5 * D \end{aligned}$$

ซึ่งตรงตามข้อกำหนดของการออกแบบอาคาร Pipe Drop

5. คำนวณหา Head Loss ของอาคาร

สำหรับอาคารตามตัวอย่างนี้ ความต่างของระดับน้ำมากจนไม่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบ

6. ตรวจสอบความสูงดินทับหลังท่อ

สำหรับอาคารตามตัวอย่างนี้ ความสูงดินทับหลังท่อมากจนไม่จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบ

7. ตรวจสอบความปลอดภัยจากการไหลของเม็ดดินลอดใต้อาคาร (Percolation)

ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับท้ายน้ำ = 2.10 ม.

ดินเดิมเป็นชนิด Medium Sand

ค่า Weighted–Creep Ratio (Percolation Factor) ตามวิธีการตรวจสอบของ Lane มีค่า 6 : 1

Percolation Factor = ความยาว Weighted – Creep / ความต่างของระดับน้ำ

$$6 = \text{ความยาว Weighted – Creep} / 2.10$$

ความยาว Weighted – Creep ที่ต้องการ = $6 * 2.10 = 12.60$ ม.

$$\begin{aligned} \text{ระยะทางการไหลแนวราบ} &= L_{TU} + L1 + L2 + L_{TD} \\ &= 2.00 + 7.20 + 11.30 + 3.00 \text{ ม.} \\ &= 23.50 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความยาว Weighted–Creep ของอาคาร} &= \text{ระยะทางการไหลแนวราบ} / 3 + \text{ระยะทางการไหลแนวตั้ง} \\ &= 23.50 / 3 + 0.60 + 0.65 + 0.25 + 0.45 + 0.65 \text{ ม.} \\ &= 10.38 \text{ ม.} < 12.60 \text{ ม.} \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใส่ Pipe Collar กับอาคารนี้

$$\text{ส่วนที่ยังขาดอยู่} = 12.60 - 10.38 = 2.22 \text{ ม.}$$

ความหนาของท่อตามแบบนี้คือ 0.11 ม.

กำหนดให้ใช้ Collar จำนวน 2 ชั้น แต่ละชั้นมีระยะ $h_1 = 1.30$ ม.

ดังนั้นความยาว Weighted – Creep ของอาคาร ที่ได้เพิ่มสำหรับอาคารนี้จะเท่ากับ

$$4 * (1.30 - 0.50 - 0.11) = 2.76 \text{ ม.} > 2.09 \text{ ม.}$$

ความห่างระหว่าง Collar ทั้งสองจะต้องไม่น้อยกว่า 1.2 เท่าของระยะการในแนวดิ่ง
ด้านหนึ่งของ Collar

$$\text{ระยะห่างระหว่าง Collar ทั้งสองจะต้องไม่น้อยกว่า } 1.2 * (1.30 - 0.50 - 0.11) = 0.83 \text{ ม.}$$

ความยาวต่อช่วงระหว่าง EL.9 กับ EL.10 เท่ากับ 12.60 ม. ควรกำหนดให้ Collar ทั้ง
2 อยู่ห่างจากปลายทั้งสองพอสมควร ในตัวอย่างนี้จะใช้ระยะข้างละ 2.00 ม.

$$L5 = L3 + 2.00 = 4.40 + 2.00 = 6.40 \text{ ม.}$$

$$L6 = L1 + L2 - L4 - L5 - 2.00 = 7.20 + 11.30 - 1.40 - 6.40 - 2.00 = 8.70 \text{ ม.}$$

เมื่อนำผลของระดับและมิติต่าง ๆ ที่คำนวณได้ไปใส่ลงในตารางเพื่อใช้ประกอบกับ
แบบเพื่อการก่อสร้าง จะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

กม.อาคาร	คลอง	ชนิด	อาคารแบบที่	Q (ม. ³ /วินาที)	ค่ามุม α	z	ระดับดินเดิม
*	*	ค2-3-2	4	1.900	90°	1.5	+56.800±

ระดับ												
U/S F.S.L.	D/S F.S.L.	EL.0	EL.1	EL.2	EL.3	EL.4	EL.5	EL.6	EL.7	EL.8	EL.9	EL.10
+57.100	+55.000	+56.000	+55.900	+57.400	+53.850	+55.200	+55.500	+53.700	+58.100	+54.000	+53.400	+53.300

มิติ																จำนวน Collar
L1	L2	L3	L4	L5	L6	b _u	d _u	b _d	d _d	W	T _R	T _L	B _R	B _L	W _C	N
7.20	11.30	4.40	1.40	6.40	8.70	1.55	1.10	1.55	1.00	10.00	3.00	2.00	*	*	*	2

หมายเหตุ * คือข้อมูลที่จะมีรายละเอียดอยู่ในแบบคลองที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ออกแบบ

บรรณานุกรม

1. จรูญ กมลรัตน์และ คณะ “มาตรฐานและคู่มือการออกแบบอาคารชลประทานในระบบส่งน้ำ และระบายน้ำ” กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2538
2. ปฏิภาณ อมาตยกุล “การออกแบบอาคารส่งน้ำชลประทาน” คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 2538
3. กำจร ศาสวัต “มาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีต” กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2535
4. The Bureau of Reclamation of the U.S.Department of the Interior “Design of Small Canal Structures” Denver Colorado ,1974
5. Volume IV “Recommended Practice for The Design of Canal Systems” Royal Irrigation Department of The Kingdom of Thailand ,1952
6. คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำ “คู่มือการออกแบบระบบส่งน้ำและระบายน้ำ” กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2547
7. นิพนธ์ สายหอม “ข้อแนะนำในการออกแบบและเขียนแบบ” กองออกแบบ กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2527
8. สุรพล ชุมหวะวัต “การออกแบบอาคารชลประทาน ตอนที่ 3” หน้า 52-76 วารสาร วิศว.มก.60 ฉบับที่สาม 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2530

ภาคผนวก

การป้องกันความเสียหายของอาคารที่เกิดจากเมื่อดินไหลลงใต้อาคาร

ในการออกแบบอาคารซึ่งทำให้เกิดการกีดขวางทางน้ำนั้น โดยทั่วไปจะก่อให้เกิดความแตกต่างของระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ ซึ่งจะมากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับชนิด รูปแบบ รวมทั้งวัตถุประสงค์ของการใช้งานอาคารนั้นๆ ดังนั้น เรื่องหนึ่งที่จะต้องพิจารณาได้แก่ การไหลซึมของน้ำผ่านช่องว่างระหว่างเมื่อดินกับเมื่อดิน หรือช่องว่างระหว่างเมื่อดินกับอาคาร จากด้านเหนือน้ำไปยังด้านท้ายน้ำ เพราะหากความเร็วของน้ำที่ไหลซึมนี้มากพอ ก็จะพาเอาเมื่อดินบางส่วนตามน้ำไปออกตามจุดออกต่างๆ หรือที่เรียกว่า Piping ทำให้ช่องว่างเหล่านั้นขยายใหญ่ขึ้น จนก่อให้เกิดอันตรายกับอาคารนั้นๆ ได้ เช่น หากเมื่อดินที่อยู่ใต้อาคารถูกพัดหายไป จะทำให้อาคารทรุดตัวลง เป็นต้น

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในเรื่องนี้ชัดเจนขึ้น ขอให้มองช่องว่างระหว่างผิวด้านนอกของอาคารกับดินที่อยู่ติดกันนั้นว่าเหมือนกับท่อเล็กๆ ความต่างของระดับน้ำที่ด้านเหนือน้ำของอาคารกับจุดที่น้ำไหลออกไปเป็นต้นเหตุที่น้ำไหล ถ้าความต่างของระดับน้ำที่ว่ามีมาก น้ำที่ไหลในท่อก็จะเกิดความเร็วสูง ถ้าความเร็วสูงพอถึงระดับหนึ่ง ก็จะพัดเมื่อดินที่น้ำไหลผ่านนั้นหลุดไหลไปตามน้ำได้ แต่ถ้าหากเมื่อดินบริเวณนั้นมีน้ำหนักมากหรือมีแรงยึดเกาะระหว่างกันดี ก็จะทนต่อความเร็วของน้ำได้โดยไม่ไหลตามน้ำออกไป จะเห็นได้ว่ามีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกันอยู่ 2 ส่วนคือ ความเร็วน้ำ และคุณสมบัติของเมื่อดิน ความเร็วหน้านั้น ขึ้นอยู่กับความต่างของระดับน้ำและระยะทางของการไหล ส่วนเมื่อดินก็จะมี ความทนทานต่อการไหลตามแต่ชนิดของดิน เช่น ทรายละเอียดก็จะไหลไปได้ง่ายกว่าทรายหยาบ ดินเหนียวก็จะทนทานกว่าดินตะกอนทราย เป็นต้น

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า องค์ประกอบหนึ่งที่ทำให้เกิดการกัดเซาะเมื่อดิน คือ ความเร็วของน้ำที่ไหลซึมมา ดังนั้นหากลดความเร็วของน้ำที่ไหลซึมลง ก็จะลดปัญหาการกัดเซาะเมื่อดินลงได้ สำหรับวิธีการลดความเร็วของน้ำนั้นมีหลายวิธี เช่น การยืดระยะทางของการไหลของน้ำ โดยที่ความต่างของระดับน้ำยังคงเดิม ก็จะทำให้ความเร็วของการไหลซึมของน้ำลดลง โดยเปรียบเทียบกับ การพยายามทำให้ท่อยาวขึ้น ไหลคดเคี้ยว หรือไหลต้านกับแรงดึงดูดของโลก สำหรับอาคารที่มีท่อเป็นส่วนประกอบนั้น วิธีการหนึ่งที่นิยมใช้คือการสร้างกำแพงขวางกับการไหลที่เรียกว่า Collar ติดกับท่อ เมื่อน้ำไหลมาถึง Collar แล้วก็ต้องไหลลัดเลาะไปตาม Collar ทำให้ความเร็วลดลง อย่างไรก็ดี สิ่งที่ต้องระวังคือหากใช้มากกว่า 1 Collar และอยู่ใกล้กันเกินไป น้ำอาจไม่ไหลลัดเลาะไปตาม Collar ตามที่ต้องการ แต่จะไหลข้าม Collar ไปเลย ทำให้ความเร็วไม่ได้ลดลงอย่างที่ผู้ออกแบบต้องการ

วิธีการคำนวณเพื่อหาความปลอดภัยเรื่องนี้ มีหลายวิธี แต่ในเอกสารนี้จะใช้วิธีการของ Lane ซึ่งกำหนดไว้ว่าดินแต่ละประเภท จะมีค่าที่เรียกว่า Weighted-Creep Ratio ที่เหมาะสมดังนี้

ลักษณะดิน	อัตราส่วน (Weighted-Creep Ratio)
ทรายละเอียดมากหรือดินตะกอน (Very fine sand or silt)	8.5 : 1
ทรายละเอียด (Fine sand)	7.0 : 1
ทรายขนาดปานกลาง (Medium sand)	6.0 : 1
ทรายหยาบ (Coarse sand)	5.0 : 1
กรวดละเอียด (Fine gravel)	4.0 : 1
กรวดขนาดปานกลาง (Medium gravel)	3.5 : 1
กรวดหยาบผสมหินเล็ก (Coarse gravel including cobbles)	3.0 : 1
หินใหญ่ผสมหินเล็กและกรวด (Boulders with some cobbles and gravel)	2.5 : 1
ดินเหนียวอ่อน (Soft clay)	3.0 : 1
ดินเหนียวแน่นปานกลาง (Medium clay)	2.0 : 1
ดินเหนียวแน่น (Hard clay)	1.8 : 1
ดินเหนียวแน่นมาก หรือดินดาน (Very hard clay or hardpan)	1.6 : 1

โดย $\text{Weighted-Creep Ratio} = \frac{\text{ความยาว Weighted-Creep}}{\text{ความต่างของระดับน้ำ}}$

ความยาว Weighted-Creep คือผลรวมของระยะทางจากปลายอาคารที่ตำแหน่งน้ำไหลเข้า จนถึงปลายที่น้ำไหลออก โดยจะต้องพิจารณาว่า ความยาวของน้ำที่ไหลตามแนวราบจะต้องหารด้วย 3 แต่ ความยาวในแนวดิ่งจะนำมาใช้ได้เลย การแบ่งว่าการไหลเป็นแนวราบหรือแนวดิ่ง ให้ถือว่าน้ำไหลด้วยมุมไม่ถึง 45 องศาเป็นการไหลในแนวราบ ถ้าชันกว่านั้นเป็นแนวดิ่ง

เมื่อนำค่าความยาว Weighted-Creep มาหารด้วยความต่างของระดับน้ำแล้ว ถ้าได้ค่า Weighted-Creep Ratio เกินกว่าค่าที่กำหนดสำหรับดินที่อาคารนั้นตั้งอยู่ ก็หมายความว่าอาคารนั้นปลอดภัยจากการที่เมื่อดินไหลลอดอาคาร หากอัตราส่วนที่ได้้น้อยกว่าค่าที่กำหนด จะต้องเพิ่มความยาว Weighted-Creep โดยการใส่ Collar เพิ่มขึ้นในอาคาร จนกว่าอัตราส่วนที่ได้จะเท่ากับหรือเกินกว่าค่าที่กำหนด