



กระทรวงเกษตรและสหกรณ์



แนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบ โครงการชลประทานขนาดเล็ก ประเภทอ่างเก็บน้ำ

ดำเนินการโดย

คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานโครงการชลประทานขนาดเล็ก
ภายใต้

คณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐาน กรมชลประทาน

มิถุนายน 2555

ISBN : 978-974-403-904-0



แนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบ
โครงการชลประทานขนาดเล็ก
ประเภทอ่างเก็บน้ำ

ดำเนินการโดย
คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานโครงการชลประทานขนาดเล็ก
ภายใต้
คณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐาน กรมชลประทาน
ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555



กรมชลประทาน

แนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก ประเภทอ่างเก็บน้ำ

เรียน ประธานคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐาน

ตามคำสั่งคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐาน ที่ ๑/๒๕๕๕ ลงวันที่ ๑๕ มีนาคม ๒๕๕๕
เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐาน นั้น บัดนี้ คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานโครงการชลประทาน
ขนาดเล็ก (คณะทำงานที่ ๕) ได้ดำเนินการจัดทำเอกสารมาตรฐานแนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบโครงการ
ชลประทานขนาดเล็ก ประเภทอ่างเก็บน้ำ เสร็จเรียบร้อยแล้ว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดดำเนินการต่อไป

กษ.๖./๑/๐๕๖๕

(นายภาณุพันธุ์ อาจสาไล)

ประธานคณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐาน
โครงการชลประทานขนาดเล็ก

เรียน อธช. ผ่าน วญช.สอ.

เพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ

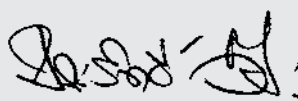


(นายชัชวาล ปัญญาวาทีนันท์)

รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ

ประธานคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐานกรมชลประทาน

ผ่าน



(นายประสิทธิ์ สีโท)

วิศวกรใหญ่ที่ปรึกษาด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านสำรวจและหรือออกแบบ)
ที่ปรึกษาคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐานกรมชลประทาน

อนุมัติ



๑๕.๓.๕๕

(นายเลิศวิโรจน์ โกวัฒนะ)

อธิบดีกรมชลประทาน

กรมชลประทาน

แนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก ประเภทอ่างเก็บน้ำ





กรมชลประทาน

แนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก ประเภทอ่างเก็บน้ำ



คำสั่งกรมชลประทาน
ที่ ข 1086 / 2554
เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐาน

ตามคำสั่งกรมชลประทาน ที่ ข 739/2553 ลงวันที่ 29 ตุลาคม 2553 ได้แต่งตั้งคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐานไว้แล้ว นั้น

เพื่อให้การดำเนินงานพิจารณาแบบมาตรฐานของกรมชลประทานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพเหมาะสมคล่องตัว และมีความต่อเนื่อง จึงให้ยกเลิกการแต่งตั้งคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐานตามคำสั่งกรมชลประทานดังกล่าว และเห็นสมควรให้มีการแต่งตั้งคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐานขึ้นใหม่ โดยมีองค์ประกอบและอำนาจหน้าที่ ดังนี้

องค์ประกอบ

- | | |
|--|---------------------|
| 1. วิศวกรใหญ่ที่ปรึกษาด้านวิศวกรรมโยธา
(ด้านสำรวจและหรือออกแบบ) | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 2. รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ | ประธานคณะกรรมการ |
| 3. ผู้อำนวยการสำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม | รองประธานคณะกรรมการ |
| 4. ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและพัฒนา | กรรมการ |
| 5. ผู้อำนวยการสำนักเครื่องจักรกล | กรรมการ |
| 6. ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านออกแบบและคำนวณ)
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม (ผชช.อบ.2) | กรรมการ |
| 7. ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านออกแบบและคำนวณ)
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม (ผชช.อบ.4) | กรรมการ |
| 8. ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านออกแบบและคำนวณ)
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม (ผชช.อบ.5) | กรรมการ |
| 9. ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านออกแบบและคำนวณ)
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม (ผชช.อบ.6) | กรรมการ |



- | | |
|--|----------------------------|
| 10. ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านออกแบบและคำนวณ)
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม (ผช.อบ.7) | กรรมการ |
| 11. ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านออกแบบและคำนวณ)
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม (ผช.อบ.8) | กรรมการ |
| 12. ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านออกแบบและคำนวณ)
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม (ผช.อบ.9) | กรรมการ |
| 13. ผู้เชี่ยวชาญด้านวางผังและออกแบบ
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม | กรรมการ |
| 14. ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา
(ด้านวัสดุวิศวกรรมชลประทาน) | กรรมการ |
| 15. ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมเครื่องกล
(ด้านวางแผนและโครงการ) กรมชลประทาน | กรรมการ |
| 16. หัวหน้ากลุ่มวิศวกรรม
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม | กรรมการ |
| 17. หัวหน้ากลุ่มออกแบบสถาปัตยกรรม
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม | กรรมการ |
| 18. หัวหน้ากลุ่มออกแบบโครงสร้างพิเศษ
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม | กรรมการ |
| 19. หัวหน้ากลุ่มออกแบบระบบชลประทาน
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม | กรรมการ |
| 20. หัวหน้ากลุ่มออกแบบคันคูน้ำและจัดรูปที่ดิน
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม | กรรมการ |
| 21. หัวหน้ากลุ่มออกแบบเขื่อน
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม | กรรมการ |
| 22. ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านออกแบบและคำนวณ)
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม (ผช.อบ.3) | กรรมการและเลขานุการ |
| 23. หัวหน้ากลุ่มมาตรฐานการออกแบบ
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม | กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ |
| 24. หัวหน้ากลุ่มงานมาตรฐานการออกแบบ 1
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม | กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ |
| 25. หัวหน้ากลุ่มงานมาตรฐานการออกแบบ 2
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม | กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ |



26. หัวหน้ากลุ่มงานมาตรฐานการออกแบบ 3
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

27. หัวหน้ากลุ่มงานมาตรฐานการออกแบบ 4
สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

อำนาจหน้าที่

1. พิจารณาแบบมาตรฐานในด้านต่างๆ ของกรมชลประทาน
2. พิจารณารายละเอียดหลักเกณฑ์การออกแบบ คู่มือการใช้แบบมาตรฐาน และรายละเอียด
คุณลักษณะทางวิศวกรรม
3. ปรับปรุงเอกสารมาตรฐานและแบบมาตรฐานที่ใช้ปฏิบัติงานให้สามารถนำไปใช้ได้อย่างมี
ประสิทธิภาพ
4. แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานด้านต่างๆ เพิ่มเติมตามสมควร

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป โดยให้งานดังกล่าวแล้วเสร็จภายในปีงบประมาณ 2555

สั่ง ณ วันที่ 15 ธันวาคม พ.ศ. 2554



(นายชลิต ดำรงค์ศักดิ์)

อธิบดีกรมชลประทาน



คำสั่งคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐาน
ที่ 1 / 2555
เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการจัดทำแบบมาตรฐาน

ตามคำสั่งกรมชลประทาน ที่ ข 1086 / 2554 ลงวันที่ 15 ธันวาคม 2554 ได้แต่งตั้งคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐานไว้แล้ว นั้น

เนื่องจากมีปริมาณงานในการดำเนินการจัดทำแบบมาตรฐาน เอกสารแนวทางหลักเกณฑ์การออกแบบคู่มือการใช้แบบมาตรฐานของงานต่างๆ ในหลายด้าน รวมทั้งงานติดตามประเมินผลการใช้แบบมาตรฐานที่ได้ดำเนินการเสร็จเรียบร้อยแล้ว ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 จึงแต่งตั้งคณะกรรมการจัดทำแบบมาตรฐานแบ่งตามลักษณะงาน จำนวน 11 คณะทำงาน ดังนี้

1. คณะกรรมการจัดทำมาตรฐานการออกแบบเขื่อนเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ ประกอบด้วย

1. รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ	รชว.	ที่ปรึกษาคณะกรรมการ
2. นายสมเกียรติ ตั้งจิตบุร	ผส.อบ.	ที่ปรึกษาคณะกรรมการ
3. นายจิรพงศ์ กริตประนาม	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	ประธานคณะกรรมการ
4. นายไกรฤกษ์ อินทร์ชนะนันท์	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะกรรมการ
5. นางสาวอัจฉรา ชุมวงศ์	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะกรรมการ
6. นายพิเชษฐ รัตนปราสาทกุล	วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ	คณะกรรมการ
7. นายประวิตร ปิาวัดชนพานิช	วิศวกรโยธาชำนาญการ	คณะกรรมการ
8. นายหัตเทพ เยาวพัฒน์	วิศวกรโยธาชำนาญการ	คณะกรรมการ
9. นายยิ่งยง แพร่ภิญโญ	วิศวกรโยธาชำนาญการ	คณะกรรมการ
10. นางอรุณวรรณ อ่ำสกุล	วิศวกรโยธาชำนาญการ	คณะกรรมการ
11. นายณัฐ จันทนัญญ์	วิศวกรโยธาชำนาญการ	คณะกรรมการ
12. นายนิติ ไร่บาป	วิศวกรโยธาชำนาญการ	คณะกรรมการ
13. นายศิริพงษ์ จิตรีพิทย์	วิศวกรโยธาชำนาญการ	คณะกรรมการ
14. นายชุมพล นพรัตน์	นายช่างโยธาอาวุโส	คณะกรรมการ



- | | | |
|-----------------------|--------------------|-----------------------------|
| 15. นายวิกรม เปรมะสุต | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะทำงานและเลขานุการ |
| 16. นายคารม โชติกรกุล | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ |
- เพื่อรับผิดชอบดำเนินการปรับปรุงเอกสารแนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบเขื่อนเก็บกักน้ำ และอาคารประกอบ (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ. 2554) และงานอื่นๆ ที่ได้รับมอบหมาย

2. คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานเขื่อนทดน้ำ ฝ่าย และอาคารประกอบ ประกอบด้วย

- | | | |
|----------------------------------|--------------------------|----------------------|
| 1. รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ | รธว. | ที่ปรึกษาคณะทำงาน |
| 2. นายสมเกียรติ ตั้งจิตบุร | ผส.อบ. | ที่ปรึกษาคณะทำงาน |
| 3. นายพิเชษฐ์ ศุภฤกษ์ | ผชช.อบ.8 | ที่ปรึกษาคณะทำงาน |
| 4. นายบุญสนอง สุชาติพงศ์ | ผชช.อบ.6 | ประธานคณะทำงาน |
| 5. นายสมพิตร พงศ์ชัยกร | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะทำงาน |
| 6. นางสาวอุไรรัตน์ จงก้องเกียรติ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะทำงาน |
| 7. นายศักดิ์ชาย เทพคำอ้าย | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะทำงาน |
| 8. นายชัยณรงค์ คล่องวานิชย์ | นายช่างเครื่องกลชำนาญงาน | คณะทำงาน |
| 9. นายนรุตม์ เดชศิริ | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะทำงาน |
| 10. นายอดิสร จันทร์จำเนียร | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะทำงาน |
| 11. นายภาณุพงศ์ บุญสืบชาติ | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะทำงาน |
| 12. ว่าที่ ร.ต.สำรวย สันติปาตี | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะทำงาน |
| 13. นายชัยพัชร ธรรมอาชีพ | นายช่างโยธาชำนาญการ | คณะทำงาน |
| 14. นายธีระศักดิ์ ทองศิริ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะทำงานและเลขานุการ |
- เพื่อรับผิดชอบดำเนินการจัดทำแบบมาตรฐานเขื่อนทดน้ำ ฝ่าย และอาคารประกอบ ดังนี้

1. แบบมาตรฐานสถานีสูบน้ำแบบแพสูบ (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
2. แบบมาตรฐานเสริมสันฝาย Ogee กำแพงเอียงด้วยฝายยาง (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ. 2554)
3. เอกสารแนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบสถานีสูบน้ำแบบถาวร (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
4. งานอื่นๆ ที่ได้รับมอบหมาย

3. คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานระบบส่งน้ำและระบายน้ำ ประกอบด้วย

- | | | |
|----------------------------|---------|-------------------|
| 1. รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ | รธว. | ที่ปรึกษาคณะทำงาน |
| 2. นายสมเกียรติ ตั้งจิตบุร | ผส.อบ. | ที่ปรึกษาคณะทำงาน |
| 3. นายศุภชัย รุ่งศรี | ผส.วพ. | ที่ปรึกษาคณะทำงาน |
| 4. นายกฤษฎา โภคการ | ผชช.วป. | ที่ปรึกษาคณะทำงาน |

- | | | |
|----------------------------------|---------------------------|------------------------|
| 5. นายวิรัตน์ นาคเรือง | ผชช.อบ.9 | ประธานคณะกรรมการ |
| 6. นางสาวอุไรรัตน์ จงก้องเกียรติ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะกรรมการ |
| 7. นายจิรศักดิ์ หล้าสาคร | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะกรรมการ |
| 8. นางสาวอัจฉรา ชุมวงศ์ | วิศวกรโยธาปฏิบัติการพิเศษ | คณะกรรมการ |
| 9. นายอิทธิ เม่นแมน | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 10. นายธวัช ธวัชศิริโรจน์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการและเลขานุการ |
- เพื่อรับผิดชอบดำเนินการจัดทำเอกสารแนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบระบบท่อส่งน้ำ

รับแรงดัน (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554) และงานอื่นๆ ที่ได้รับมอบหมาย

4. คณะกรรมการจัดทำแบบมาตรฐานอาคารในระบบส่งน้ำและระบายน้ำ ประกอบด้วย

- | | | |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1. รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ | รทว. | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 2. นายสมเกียรติ ตั้งจิตบุร | ผส.อบ. | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 3. นายพิเชษฐ์ ศุภฤกษ์ | ผชช.อบ.8 | ประธานคณะกรรมการ |
| 4. นายธีระศักดิ์ ทองศิริ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะกรรมการ |
| 5. นายสุทธิชัย พุทธิรัตน์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 6. นายธวัช ธวัชศิริโรจน์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 7. นายประวิณ จำภา | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 8. นางสาวสมบูรณ์ ช้อนทอง | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะกรรมการ |
| 9. นายนันท์วัฒน์ ครอบญาติ | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะกรรมการ |
| 10. นายไชยวัฒน์ ศิริรัตน์วรสกุล | นายช่างโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 11. นายวิทยา ปันหล้า | นายช่างโยธาปฏิบัติงาน | คณะกรรมการ |
| 12. นางลำจวน ชมประดิษฐ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการและเลขานุการ |

เพื่อรับผิดชอบดำเนินการจัดทำแบบมาตรฐานอาคารในระบบส่งน้ำและระบายน้ำ ดังนี้

1. อาคารทิ้งน้ำ (Waste Way) (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
2. สะพานคนเดินข้ามคลอง (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
3. คู่มือการใช้แบบมาตรฐานท่อลอดคลองส่งน้ำชนิดท่อกลม (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ. 2554)
4. คู่มือการใช้แบบมาตรฐานท่อปลายคลอง (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
5. งานอื่นๆ ที่ได้รับมอบหมาย

5. คณะกรรมการจัดทำแบบมาตรฐานโครงการชลประทานขนาดเล็ก ประกอบด้วย

- | | | |
|----------------------------|----------|---------------------|
| 1. รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ | รทว. | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 2. นายสมเกียรติ ตั้งจิตบุร | ผส.อบ. | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 3. นายบุญสนอง สุชาติพงศ์ | ผชช.อบ.6 | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |



- | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 4. นายภาณุพันธ์ อาจสาธิต | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | ประธานคณะกรรมการ |
| 5. นายไกรฤกษ์ อินทร์ชนะนันท์ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะกรรมการ |
| 6. นายพงศธร ศิริอ่อน | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะกรรมการ |
| 7. นายเทอดทูล คล้ายขยาย | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 8. นายสุรพันธุ์ ไชยชนะ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 9. นายปรัชญา พงษ์สิงห์จันทร์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 10. นายธีรเนตร ดวงเนตร | นายช่างโยธาชำนาญงาน | คณะกรรมการ |
| 11. นางสาวอุไรรัตน์ จงก้องเกียรติ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะกรรมการและเลขานุการ |
| 12. นางสาวพรทิพย์ ศรีสมญา | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ |
- เพื่อรับผิดชอบดำเนินการจัดทำเอกสารมาตรฐานโครงการชลประทานขนาดเล็ก ดังนี้

1. แนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก ประเภทอ่างเก็บน้ำ (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
2. คู่มือการใช้แบบมาตรฐานโครงการชลประทานขนาดเล็ก ประเภทอ่างเก็บน้ำ (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
3. งานอื่นๆ ที่ได้รับมอบหมาย

6. คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานระบบชลประทานในแปลงนา ประกอบด้วย

- | | | |
|--|----------------------|------------------------|
| 1. รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ | รธว. | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 2. นายสมเกียรติ ตั้งจิตบุร | ผส.อบ. | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 3. นายบุญสนอง สุชาติพงศ์ | ผชช.อบ.6 | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 4. หัวหน้ากลุ่มออกแบบคันคูน้ำและจัดรูปที่ดิน | | ประธานคณะกรรมการ |
| 5. นายเศรษฐสุต กฤดากร ณ อยุธยา | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 6. นายวีระศักดิ์ ต้นชูวงศ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 7. นายสุธรรม ขุนเจริญ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 8. นายยุทธนา จิตวรานนท์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 9. นายรังสรรค์ ศรีสุขวงศ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 10. นายพูนศักดิ์ เล่าสกุล | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะกรรมการ |
| 11. นายภานุกร ช่วยคำชู | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะกรรมการ |
| 12. นายธรรณิศ ศรีนุ่น | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะกรรมการ |
| 13. นายวัฒนาเกียรติ ชมสวน | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะกรรมการ |
| 14. นายวัฒนา จันทร์ทอง | วิศวกรโยธาปฏิบัติงาน | คณะกรรมการ |
| 15. นายทวีศักดิ์ เดชานุวัติ | นายช่างโยธาชำนาญงาน | คณะกรรมการ |
| 16. นายโสภณ ปานพฤษา | นายช่างโยธาชำนาญงาน | คณะกรรมการ |
| 17. นายสุทธิชัย พุทธิรัตน์ | วิศวกรโยธาชำนาญงาน | คณะกรรมการและเลขานุการ |

เพื่อรับผิดชอบดำเนินการจัดทำคู่มือการใช้แบบมาตรฐานระบบชลประทานในแปลงนา ดังนี้

1. คู่มือการใช้แบบมาตรฐานท่อปากคูซอยแบบที่ 5
2. คู่มือการใช้แบบมาตรฐานอาคารทิ้งน้ำ
3. งานอื่นๆ ที่ได้รับมอบหมาย

7. คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานงานสถาปัตยกรรม ประกอบด้วย

1. รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ	รธว.	ที่ปรึกษาคณะทำงาน
2. นายสมเกียรติ ตั้งจิตพร	ผส.อบ.	ที่ปรึกษาคณะทำงาน
3. นายสุเทพ สมเจริญ	ผชช.วอ.	ประธานคณะทำงาน
4. นางสาวมนสิการ ปานนิสวัสดี	สถาปนิกชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
5. นายสุรชัย วีระจิตรเสริมชัย	สถาปนิกชำนาญการพิเศษ	คณะทำงาน
6. นายทวีศักดิ์ เอื้อเฟื้อ	สถาปนิกชำนาญการ	คณะทำงาน
7. นายโอภาส โภคการ	สถาปนิกชำนาญการ	คณะทำงาน
8. นายภักพงศ์ อัครเศรษฐ์	สถาปนิกชำนาญการ	คณะทำงาน
9. นายสิทธิศักดิ์ ประสานทอง	สถาปนิกชำนาญการ	คณะทำงาน
10. นายสุรัตน์ นมะหุต	สถาปนิกปฏิบัติการ	คณะทำงาน
11. นางสาวโสภิต ลีนะเสน	มัณฑนากรปฏิบัติการ	คณะทำงาน
12. นางสาวงามฤทัย แก้วภูมิแห่	สถาปนิกปฏิบัติการ	คณะทำงาน
13. นายสุนทร สุนทรศิริ	สถาปนิกปฏิบัติการ	คณะทำงาน
14. นางสาวจิตรลดา เพียรภักขณวิช	สถาปนิกปฏิบัติการ	คณะทำงาน
15. นายปรกรณ์ ภูมิอาจ	สถาปนิกปฏิบัติการ	คณะทำงาน
16. นายไพโรจน์ ชมเดช	นายช่างโยธาชำนาญงาน	คณะทำงาน
17. นายสัณชัย บัวทรง	นายช่างศิลป์ชำนาญงาน	คณะทำงาน
18. นายอนิรุทธ์ ไชยชมพู	นายช่างศิลป์ชำนาญงาน	คณะทำงาน
19. นายสิปปภาส คำสิทธิบรรณ	นายช่างศิลป์ปฏิบัติงาน	คณะทำงาน
20. นายทิฆายุ เพิ่มสิน	สถาปนิกปฏิบัติการ	คณะทำงานและเลขานุการ
21. นางสาวกัญญัก ฉันทศิริเดชา	นายช่างศิลป์ชำนาญการ	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

เพื่อรับผิดชอบดำเนินการปรับปรุงแบบมาตรฐานงานสถาปัตยกรรมที่ดำเนินการไว้ในปีงบประมาณ

พ.ศ.2554 ดังนี้

1. แบบบ้านพักมาตรฐานข้าราชการ ระดับปฏิบัติงาน
2. แบบบ้านพักมาตรฐานข้าราชการ ระดับปฏิบัติงาน หรือ ชำนาญงาน
3. แบบบ้านพักมาตรฐานข้าราชการ ระดับชำนาญการ หรือ อาวุโส
4. แบบบ้านพักมาตรฐานข้าราชการ ระดับชำนาญการพิเศษ
5. งานอื่นๆ ที่ได้รับมอบหมาย



8. คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานงานวิศวกรรมโครงสร้าง ประกอบด้วย

- | | | |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1. รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ | รธว. | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 2. นายสมเกียรติ ตั้งจิตพร | ผส.อบ. | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 3. นายอภิชาติ ธาราเวชรักษ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | ประธานคณะกรรมการ |
| 4. นายชุตินทร เพ็ชรไชย | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 5. นายธีระชัย เนียมหลวง | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 6. นายนฤพนธ์ ภาณุศรี | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะกรรมการ |
| 7. นายกิตติศักดิ์ พิทักษ์วงศ์ | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะกรรมการ |
| 8. นายกীরติ ปกนินกะ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการและเลขานุการ |

เพื่อรับผิดชอบดำเนินการจัดทำแบบมาตรฐานงานวิศวกรรมโครงสร้าง ดังนี้

1. กลุ่มอาคารปฏิบัติการด้านวิศวกรรม
 - 1.1 อาคารที่ทำการสื่อสารขนาดใหญ่ (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
 - 1.2 อาคารที่ทำการสื่อสารขนาดเล็ก (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
 - 1.3 อาคารควบคุมบันรบายขนาดใหญ่ (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
2. กลุ่มอาคารโรงงานซ่อมบำรุงและโรงเก็บพัสดุ
 - 2.1 อาคารโรงเก็บพัสดุขนาดใหญ่ (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
 - 2.2 อาคารโรงเก็บพัสดุนขนาดกลาง (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
3. กลุ่มอาคารประกอบและส่วนสนับสนุนอื่น
 - 3.1 อาคารอเนกประสงค์ขนาดกลาง (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
 - 3.2 รั้วคอนกรีตบล็อก (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
 - 3.3 รั้วคอนกรีตบล็อกลดทอน (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
 - 3.4 รั้ว ประตู ป้าย (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
 - 3.5 รั้วเหล็กดัดและประตู (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
 - 3.6 รั้วตาข่ายและประตู (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
 - 3.7 รั้วลดทอน (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
 - 3.8 อาคารคลังน้ำมันขนาดใหญ่ (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
 - 3.9 อาคารคลังน้ำมันขนาดเล็ก (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
 - 3.10 อาคารโรงจอดรถบรรทุก (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
 - 3.11 เสาธงขนาดความสูง 9.00 ม. (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
4. งานอื่นๆ ที่ได้รับมอบหมาย

9. คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานบานระบายและเครื่องกลไก ประกอบด้วย

- | | | |
|----------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1. รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ | รธว. | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 2. นายสมเกียรติ ตั้งจิตพร | ผส.อบ. | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 3. นายจรัส เล้าโสภากิรมย์ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | ประธานคณะกรรมการ |
| 4. นายภาวัต นวลสกุลกฤป | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะกรรมการ |
| 5. นายรังษี เพื่องรอด | วิศวกรเครื่องกลชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 6. นายธีรพงศ์ พรหมนิมิตร | วิศวกรเครื่องกลชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 7. นายธนิต คำมีอ้าย | วิศวกรชลประทานชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 8. นายสัมฤทธิ์ พันธุ์ใหม่ | นายช่างโยธาปฏิบัติการ | คณะกรรมการ |
| 9. นายศิริวิทย์ นวะะยศ | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะกรรมการ |
| 10. นายอรรคเดช ฤกษ์พิบูลย์ | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | คณะกรรมการ |
| 11. นายธนนท์ ผูกพันธ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการและเลขานุการ |

เพื่อรับผิดชอบดำเนินการจัดทำเอกสารมาตรฐานบานระบายและเครื่องกลไก ดังนี้

1. แนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบบานระบายและเครื่องกลไก
2. คู่มือการใช้แบบมาตรฐานบานระบายและเครื่องกลไก
3. งานอื่นๆ ที่ได้รับมอบหมาย

10. คณะทำงานจัดทำมาตรฐานรายละเอียดและคุณลักษณะทางวิศวกรรม ประกอบด้วย

- | | | |
|-------------------------------|-------------------------|---------------------|
| 1. รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ | รธว. | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 2. นายสมเกียรติ ตั้งจิตพร | ผส.อบ. | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 3. นายศุภชัย รุ่งศรี | ผส.วพ. | ที่ปรึกษาคณะกรรมการ |
| 4. นายจรัส เล้าโสภากิรมย์ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | ประธานคณะกรรมการ |
| 5. นายปิยกุล สุขโข | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะกรรมการ |
| 6. นายสฤติ วิถีพานิช | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะกรรมการ |
| 7. นายเศกสรรค์ ชูทับทิม | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | คณะกรรมการ |
| 8. นายสุรชัย วีระจิตรเสริมชัย | สถาปนิกชำนาญการพิเศษ | คณะกรรมการ |
| 9. นายทวีศักดิ์ เอื้อเพื่อ | สถาปนิกชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 10. นายเฉลิมศักดิ์ พุทธสเจริญ | นายช่างโยธาอาวุโส | คณะกรรมการ |
| 11. นายวีระศักดิ์ ต้นชูวงศ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 12. นายรังสรรค์ ศรีสุขวงศ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 13. นายวสันต์ ยิ้มแย้ม | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 14. นายสุรชัย ทิพย์น้อยสง่า | วิศวกรโยธาชำนาญการ | คณะกรรมการ |
| 15. นายเจษฎา อุชชิน | วิศวกรเครื่องกลชำนาญการ | คณะกรรมการ |



16. นายรังสี เพื่องรอด	วิศวกรเครื่องกลชำนาญการ	คณะทำงาน
17. นายนพดล ปิยะธรรมธาดา	วิศวกรไฟฟ้าชำนาญการ	คณะทำงาน
18. นายทีฆายุ เพิ่มสิน	สถาปนิกปฏิบัติการ	คณะทำงาน
19. นายชาคริตร์ ไม้พันธุ์	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	คณะทำงาน
20. นางมนัสนันท์ วรรณ	นายช่างโยธามหาชำนาญงาน	คณะทำงาน
21. นายธนภัทร กล้าคุ้ม	นายช่างโยธาปฏิบัติงาน	คณะทำงาน
22. นายอนุรักษ์ ดอกกรีกกลาง	วิศวกรโยธามหาชำนาญการ	คณะทำงานและเลขานุการ

เพื่อรับผิดชอบดำเนินการจัดทำเอกสารมาตรฐาน ดังนี้

1. กำหนดรายละเอียดคุณลักษณะทางวิศวกรรม ประกอบด้วย

- 1.1 งานดิน (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
- 1.2 งานเกเบียน และแมทเทรซ (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
- 1.3 งานแผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
- 1.4 งานลดแรงดันน้ำใต้อาคารและข้างอาคาร (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
- 1.5 งานเหล็กรูปพรรณ (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
- 1.6 งานเหล็กเสริมคอนกรีต (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
- 1.7 งานบานระบายฝาท่อ และ Bulkhead Groove (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
- 1.8 งานเครื่องยก ขนาด 3 ตัน 4 ตัน และ 6.5 ตัน (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
- 1.9 งานอาคารที่พักอาศัย (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)

2. เอกสารแนวทางหลักเกณฑ์การกำหนดขอบเขตรายละเอียดงานจ้างที่ปรึกษา (Term of References) สำรอง-ออกแบบ (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)

3. งานอื่นๆ ที่ได้รับมอบหมาย

11. คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานงานวิศวกรรมไฟฟ้า เครื่องกล และสุขาภิบาล ประกอบด้วย

1. รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ	รธว.	ที่ปรึกษาคณะทำงาน
2. นายธวัช กิตติวิสุข	ผส.คก.	ที่ปรึกษาคณะทำงาน
3. นายอนุพงษ์ บุญเกียรติ	วิศวกรเครื่องกลเชี่ยวชาญ	ที่ปรึกษาคณะทำงาน
4. นายอนันต์ ลาวินท์	วิศวกรเครื่องกลชำนาญการพิเศษ	ประธานคณะทำงาน
5. นายสิทธิชัย ดาราสร	วิศวกรเครื่องกลชำนาญการ	คณะทำงาน
6. นายเจษฎาภรณ์ เสนอินทร์	วิศวกรเครื่องกลชำนาญการ	คณะทำงาน
7. นายอัครเดช เรืองสะอาด	วิศวกรไฟฟ้าชำนาญการ	คณะทำงาน
8. นายอุเทน อุปนันท์	วิศวกรไฟฟ้าชำนาญการ	คณะทำงาน
9. นายวิทยา สายน้ำ	วิศวกรไฟฟ้าปฏิบัติการ	คณะทำงาน

- | | | |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 10. นายก้องเกียรติ บุญเสริม | วิศวกรไฟฟ้าปฏิบัติการ | คณะทำงาน |
| 11. นายอดุล ดีพลกรัง | วิศวกรไฟฟ้าปฏิบัติการ | คณะทำงาน |
| 12. นายนรินทร์ ชามทอง | วิศวกรเครื่องกลชำนาญการ | คณะทำงานและเลขานุการ |
| 13. นายพีระพงษ์ เรียบร้อย | วิศวกรไฟฟ้าชำนาญการ | คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ |
- เพื่อรับผิดชอบดำเนินการจัดทำแบบมาตรฐานงานวิศวกรรมไฟฟ้า เครื่องกล และสุขาภิบาล ดังนี้

1. กลุ่มอาคารที่พักอาศัย

- 1.1 บ้านพักอาศัยข้าราชการ ระดับ 1 – 2 (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
- 1.2 บ้านพักอาศัยข้าราชการ ระดับ 3 – 4 (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
- 1.3 บ้านพักอาศัยข้าราชการ ระดับ 5 – 6 (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
- 1.4 บ้านพักอาศัยข้าราชการ ระดับ 7 – 8 (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)
- 1.5 บ้านพักคนงาน 8 ครอบครัว (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ.2554)

2. กลุ่มอาคารสำนักงาน

- 2.1 ที่ทำการองค์การผู้ใช้น้ำชลประทาน (ต่อเนื่องจากปีงบประมาณ พ.ศ. 2554)

3. งานอื่นๆ ที่ได้รับมอบหมาย

โดยให้คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานทุกคณะมีหน้าที่ ดังนี้

1. กำหนดหลักเกณฑ์เพื่อการออกแบบตามลักษณะงานที่รับผิดชอบของแต่ละคณะทำงาน
2. พิจารณาจัดทำแบบมาตรฐาน และคู่มือการใช้แบบมาตรฐานตามลักษณะงานที่รับผิดชอบของแต่ละคณะทำงาน
3. พิจารณาจัดทำมาตรฐานรายละเอียดและคุณลักษณะทางวิศวกรรม
4. ติดตามประเมินผลงานที่ได้ดำเนินการเสร็จเรียบร้อยแล้ว

ทั้งนี้ ให้เสร็จสิ้นภายในปีงบประมาณ พ.ศ.2555

สั่ง ณ วันที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2555



(นายชวัล ปัญญาวัฒน์)

รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ

ประธานคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐาน



คำนำ

เอกสารแนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก เป็นเอกสารทางวิชาการ เรื่องหนึ่งที่ได้ทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับ วิศวกร และนายช่าง ที่ปฏิบัติงานในกรมชลประทานและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะได้ใช้เป็นเอกสารมาตรฐานสำหรับการศึกษา ค้นคว้าเพิ่มเติม และนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ และให้เป็นแนวทางเดียวกันตามวัตถุประสงค์ของกรมชลประทานที่ต้องการให้มีการกำหนดมาตรฐานในการปฏิบัติงานในด้านต่างๆ ขึ้น

คณะทำงานขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนทำให้เอกสารชุดนี้มีความสมบูรณ์

คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐาน
โครงการชลประทานขนาดเล็ก



สารบัญ

	หน้า
คำนำ	
สารบัญ	ก
สารบัญรูป	ข
สารบัญตาราง	ค
บทที่ 1 การออกแบบอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก	1
1.1 ข้อมูลที่ใช้ประกอบการออกแบบ	1
1.2 ส่วนประกอบของโครงการ	2
1.3 หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบ	2
บทที่ 2 การออกแบบเขื่อนดิน (Earthfill Dam)	5
2.1 ชนิดของเขื่อนดิน	5
2.2 ส่วนประกอบของเขื่อนดิน	6
2.3 สันเขื่อน (Dam's Crest)	7
2.4 ลาดตัวเขื่อน	10
2.5 ระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อน	16
2.6 การออกแบบระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อน	18
2.7 การออกแบบระบบระบายน้ำภายนอกตัวเขื่อน	25
บทที่ 3 การออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway)	28
3.1 ชนิดของอาคารทางระบายน้ำล้น	28
3.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway Components)	28
3.3 เกณฑ์กำหนดการคำนวณออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway)	29
3.4 การคำนวณออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway)	30
บทที่ 4 การออกแบบอาคารท่อน้ำ (Outlet Works)	47
4.1 ส่วนประกอบของอาคารท่อน้ำ (Components of Outlet Works)	47
4.2 การคำนวณออกแบบอาคารท่อน้ำ (Outlet Works)	51
ผนวก ก ชนิดของกลุ่มดินและคุณสมบัติของดินด้านต่างๆ	61
ผนวก ข การวิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติวัสดุก่อสร้าง	65

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.3-1 แสดงการกำหนดค่าความสูงคลื่น	8
รูปที่ 2.4-1 แสดงการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อนโดยวิธี Simplified Bishop Method	13
รูปที่ 2.6-1 รูปตัดขวางเขื่อนดินแสดงตำแหน่งของ Top Flow Line	18
รูปที่ 2.6-2 รูปแสดงการหาค่า a และ Δa ตามรูปที่ 2.6-1	19
รูปที่ 2.6-3 รูปแสดง Flow Nets ในแกนเขื่อนชนิดแบ่งส่วน	20
รูปที่ 2.6-4 แสดงการเคลื่อนตัวของดินบริเวณรอยต่อของชั้นกรอง	21
รูปที่ 2.6-5 แสดง Chimney Drain และ Blanket Drain	25
รูปที่ 2.7-1 แสดง Contact Drain	26
รูปที่ 2.7-2 แสดง Open Drain ชนิดรูปสี่เหลี่ยม	26
รูปที่ 2.7-3 แสดง Open Drain ชนิดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู	26
รูปที่ 3.4-1 แสดงรูปร่างลักษณะสันฝายของอาคารทางระบายน้ำล้น (Overflow Ogee Crest)	32
รูปที่ 3.4-2 แสดงระดับผิวน้ำในรางรับน้ำ (Trough)	34
รูปที่ 3.4-3 แสดงโค้งทางตั้ง (Vertical Curve)	39
รูปที่ 3.4-4 แสดงโค้งทางราบ (Horizontal Curve)	40
รูปที่ 3.4-5 แสดงการขยายความกว้างของรางเท	41
รูปที่ 3.4-6 แสดงการเกิด Hydraulic Jump และระยะ Cutoff Wall	43
รูปที่ 3.4-7 แสดง Stilling Basin Type III	44
รูปที่ 4.1-1 แสดงลักษณะทั่วไปอาคารรับน้ำ (Intake Structure)	48
รูปที่ 4.1-2 แสดงอาคารควบคุมการส่งน้ำ (Control House)	49
รูปที่ 4.1-3 แสดงอาคารท้ายน้ำ (Terminal Structure)	50
รูปที่ 4.2-1 แสดง Head Losses ต่างๆ ในระบบท่อส่งน้ำภายใต้ความดัน (Under Pressure Flow)	52
รูปที่ 4.2-2 แสดงค่า Bend Loss Coefficient	59
รูปที่ 4.2-2 แสดงขนาดและมิติต่างๆ ของอาคารท้ายน้ำชนิด Impact Type Stilling Basin	60



สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่	2.4-1 แสดงขนาดของหินทิ้งตาม U.S.Corps of Engineers (1984)	11
ตารางที่	2.4-2 แสดงความหนาของกรวดทรายรองพื้น (Sherard at al. 1963)	11
ตารางที่	2.4-3 อัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดของเขื่อนดิน	16
ตารางที่	4.2-1 Expansion Coefficient	54
ตารางที่	ก.1 แสดงชนิดของกลุ่มดินที่แบ่งตามระบบ Unified Soil Classification	61
ตารางที่	ก.2 แสดงกลุ่มดินที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างตัวเขื่อน	62
ตารางที่	ก.3 แสดงค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของดินประเภทต่างๆ	64



กรมชลประทาน

แนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบโครงการชลประทานขนาดเล็ก ประเภทอ่างเก็บน้ำ

บทที่ 1

การออกแบบอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก

อ่างเก็บน้ำขนาดเล็กเป็นอ่างเก็บน้ำที่ทำนบดินหรือเขื่อนดินมีความสูงไม่เกิน 15.00 เมตร ความจุไม่ควรมากเกิน 1 ล้านลูกบาศก์เมตร มีวัตถุประสงค์คือ ต้องการเก็บกักน้ำที่ไหลในลำน้ำหรือลำห้วยไว้ใช้ประโยชน์ในช่วงที่ฝนทิ้งช่วงหรือช่วงฤดูแล้งโดยการก่อสร้างทำนบดินหรือเขื่อนดินขวางหรือปิดกั้นลำน้ำ ไม่ให้น้ำไหลไปด้านท้ายน้ำได้โดยอิสระเหมือนเช่นเดิม การกระทำดังกล่าวจะมีผลทำให้น้ำที่ไหลเข้ามาที่ลำน้ำด้านเหนือทำนบดินหรือเขื่อนดินไม่สามารถไหลออกไปด้านท้ายน้ำได้ ซึ่งจะทำให้มีปริมาณน้ำในลำน้ำด้านเหนือทำนบดินหรือเขื่อนดินเพิ่มขึ้นและมีระดับน้ำสูงขึ้น ปริมาณน้ำดังกล่าวจะถูกกักเก็บไว้ตามจำนวนที่ต้องการ จนทำให้สภาพด้านเหนือทำนบดินหรือเขื่อนดินเป็นที่เก็บกักน้ำเรียกว่าเป็นอ่างเก็บน้ำ เมื่อน้ำจำนวนมากก็สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆได้ตามที่ต้องการ

1.1 ข้อมูลที่ใช้ประกอบการออกแบบ

1.1.1 รายงานวางโครงการเบื้องต้น เป็นรายงานขั้นรายงานเบื้องต้น (RR. - Reconnaissance Report) เป็นรายงานที่มีข้อมูลลักษณะโครงการอ่างเก็บน้ำ รวมทั้งข้อมูลทางอุทกวิทยาในเบื้องต้น เช่น ความเป็นมาและที่ตั้งโครงการ ขนาดอ่างเก็บน้ำ ลักษณะเขื่อนและอาคารประกอบ ขอบเขตพื้นที่ชลประทานและระบบชลประทาน เป็นต้น

1.1.2 แผนที่ผลสำรวจสภาพภูมิประเทศ เป็นแผนที่ภูมิประเทศที่มีเส้นแสดงชั้นความสูงของระดับดินธรรมชาติ ขณะที่ทำการสำรวจในมาตราส่วนต่างๆ ได้แก่

- แผนที่โครงการและขอบเขตอ่างเก็บน้ำมาตราส่วน 1:10,000
- แผนที่อ่างเก็บน้ำมาตราส่วน 1:4,000 หรือ 1:2,000
- แผนที่ห้วยงานเขื่อน มาตราส่วน 1:2,000 1:1,000 หรือ 1:500
- แผนที่แสดงรูปตัดตามยาวเขื่อน
- แผนที่รูปตัดตามยาวลำน้ำ และรูปตัดตามขวางลำน้ำบริเวณที่ตั้งเขื่อน
- ฯลฯ

1.1.3 รายงานผลสำรวจธรณีวิทยากราน รายงานจะแสดงรายละเอียดสภาพธรณีวิทยากรานตามแนวศูนย์กลางเขื่อนและอาคารประกอบ ในรูปแบบของหลุมเจาะ (Drilled Hole) ตามตำแหน่งและความลึกที่กำหนด

ข้อมูลในส่วนนี้จะแสดงให้เห็นรายละเอียดสภาพธรณีวิทยากรานที่ชัดเจน สามารถนำไปใช้ประกอบการพิจารณาออกแบบปรับปรุงฐานรากเขื่อนได้เป็นอย่างดี โดยที่ข้อมูลจะแสดงระดับผิวดิน ความหนาชั้นดินชนิดของดิน ความแน่นของชั้นดิน ค่า N (โดยการตอกทดลองด้วยวิธี Standard Penetration Test) ระดับชั้นหิน

ชนิดของชั้นหิน การแตกร้าวในชั้นหิน และการรั่วซึมของน้ำ (Permeability) ทั้งในชั้นดินและชั้นหิน รวมทั้งระดับความลึกน้ำใต้ดินในขณะทำการสำรวจ เป็นต้น

1.1.4 รายงานผลสำรวจแหล่งยืมดิน (Borrow Areas) แหล่งยืมดินเป็นข้อมูลที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง ที่จะใช้ในการพิจารณาประกอบการออกแบบเขื่อน เนื่องจากจะให้ข้อมูลในเรื่องที่ตั้ง ปริมาณและชนิดของแหล่งดินที่จะใช้ก่อสร้างตัวเขื่อน ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดชนิดของเขื่อนดินได้ว่าควรจะเป็นชนิดใด เช่น Homogeneous หรือ Zoned Type เป็นต้น แหล่งดินมักถูกกำหนดให้อยู่ในบริเวณอ่างเก็บน้ำก่อนเป็นอันดับแรก ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นบริเวณที่จะถูกน้ำท่วมในโอกาสต่อไป ซึ่งจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการขุดและขนส่งน้อยกว่าแหล่งยืมดินที่อยู่ภายนอกอ่างเก็บน้ำที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อที่ดินและการขนส่งเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ แหล่งดินในบริเวณอ่างเก็บน้ำส่วนใหญ่จะมีระยะทางในการขนส่งไปยังที่ตั้งหัวงานเขื่อนไม่ไกลอีกด้วย ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนนี้มากนัก

1.1.5 แหล่งวัสดุก่อสร้างอื่นๆ นอกจากข้อมูลตามที่ได้กล่าวมาแล้วตามข้อ 1.1.2 ถึง 1.1.4 แล้ว ควรทราบข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งวัสดุอื่นๆ คือ แหล่งหิน กรวด หิน เพื่อใช้ประกอบในการพิจารณาราคาก่อสร้างด้วย นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าว วิศวกรผู้ออกแบบควรที่จะเดินทางไปตรวจสอบสภาพภูมิประเทศในสนาม เพื่อเก็บข้อมูลในพื้นที่เพิ่มเติม

1.2 ส่วนประกอบของโครงการ

โครงการประเพณีอ่างเก็บน้ำ จะประกอบด้วยอาคารต่างๆ ดังนี้

1.2.1 ทำนบกั้นน้ำหรือเขื่อนดินถม (Earthfill Dam) คืออาคารที่ทำหน้าที่ปิดกั้นลำน้ำหรือลำห้วยเพื่อเก็บกักน้ำไว้ด้านเหนือน้ำไม่ให้ไหลไปด้านท้ายน้ำได้ เป็นเขื่อนที่มีความสูงไม่เกินกว่า 15.00 เมตร ความจุอ่างเก็บน้ำน้อยกว่า 1 ล้านลูกบาศก์เมตร ไม่มีความยุ่งยากในการปรับปรุงฐานรากเขื่อน

1.2.2 อาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) คืออาคารที่ทำหน้าที่ระบายน้ำส่วนเกินนอกเหนือจากที่ต้องการเก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำ ให้ไหลล้นออกไปทางด้านท้ายน้ำเข้าสู่ลำน้ำเดิม โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายหรือความเสียหายกับตัวเขื่อน

1.2.3 อาคารท่อส่งน้ำ (Outlet Works) คืออาคารที่ทำหน้าที่นำน้ำที่เก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำไปใช้ประโยชน์ในด้านท้ายน้ำ เช่น ด้านการเพาะปลูก ด้านการอุปโภคบริโภค และการรักษาสภาพลำน้ำเดิม ซึ่งการส่งน้ำอาจจะส่งเข้าระบบชลประทานหรือลงลำน้ำเดิมก็ได้ เป็นต้น

1.3 หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบ

การออกแบบอ่างเก็บน้ำประกอบด้วย หลักเกณฑ์การออกแบบเขื่อนดิน (Earthfill Dam) การออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) การออกแบบอาคารท่อส่งน้ำ (Outlet Works)



การกำหนดหลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบ ต้องพิจารณารูปร่างลักษณะของตัวอาคารที่ให้ความปลอดภัยในการใช้งานได้ทุกกรณี กล่าวคือ ให้ความปลอดภัยทั้งในระหว่างการก่อสร้าง หลังจากก่อสร้างแล้วเสร็จและระหว่างการใช้งาน รายละเอียดโดยสังเขป ดังนี้

1.3.1 หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบเขื่อนดิน การออกแบบเขื่อนดิน ต้องประหยัดราคาค่าก่อสร้าง รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ก่อสร้างง่ายโดยคำนึงถึงแหล่งวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจะต้องใกล้เคียงกับที่ตั้งให้มากที่สุด และอาจพิจารณาใช้แหล่งวัสดุที่ขุดจากร่องแกนเขื่อน หรือขุดระเบิดจากบริเวณที่ก่อสร้างอาคารท่อน้ำและอาคารทางระบายน้ำล้นมาใช้ในการก่อสร้างตัวเขื่อนดิน ทั้งนี้ ต้องเป็นไปตามหลักวิชาการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านวิศวกรรม

เกณฑ์การกำหนดการออกแบบเขื่อนดินโดยทั่วไปจะพิจารณา ดังนี้

1. การกำหนดความสูง ตัวเขื่อนดินจะต้องสูงพอและปลอดภัย จะต้องไม่ให้น้ำไหลล้นข้ามสันเขื่อนดิน
2. ลาดตัวเขื่อนดินด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ จะต้องมั่นคงเพียงพอในทุกกรณีคือ ในระหว่างการก่อสร้าง (During Construction) ก่อสร้างแล้วเสร็จ (End of Construction) ระหว่างการเก็บกักน้ำเต็มที (Full of Reservoir) และระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown) นอกจากนั้นจะต้องออกแบบให้ลาดตัวเขื่อนดินเหมาะสมกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง
3. ฐานยันเขื่อน (Abutment) ทั้งสองฝั่ง รวมทั้งตัวเขื่อนทั้งหมดจะต้องออกแบบให้วางอยู่บนชั้นฐานรากที่แข็งแรง เพียงพอที่จะรับน้ำหนักของตัวเขื่อนได้
4. ตัวเขื่อนดินจะต้องออกแบบระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนเพื่อควบคุมการไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อน ฐานราก และฐานยันเขื่อนทั้งสองฝั่งไปสู่ด้านท้ายน้ำ ซึ่งโดยปกติจะยอมให้ปริมาณน้ำไหลผ่านไปได้บ้าง แต่จะต้องซึมผ่านระบบระบายน้ำที่กำหนดไว้ภายในตัวเขื่อนที่สามารถรับปริมาณน้ำดังกล่าวได้ และเป็นไปตามที่กำหนด โดยไม่เป็นอันตรายต่อตัวเขื่อน
5. ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ จะต้องออกแบบให้สามารถป้องกันการกัดเซาะจากแรงกระทำของคลื่นในอ่างเก็บน้ำ และลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ รวมทั้งสันเขื่อนจะต้องสามารถป้องกันการกัดเซาะเนื่องจากน้ำฝนได้
6. สันเขื่อนต้องมีความกว้างเพียงพอต่อการปฏิบัติงานของเครื่องจักรเครื่องมือระหว่างก่อสร้าง และบำรุงรักษาภายหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ

1.3.2 หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น จะพิจารณาดังนี้

1. สามารถระบายปริมาณน้ำได้สูงสุดตามที่กำหนดไว้โดยปกติทั่วไปใช้รอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period) 25 ปี แต่บางกรณีที่เขื่อนมีความสำคัญ เช่น อยู่ใกล้แหล่งชุมชนหรืออาจมีผลกระทบมากต่อพื้นที่ด้านท้ายเขื่อน ผู้ออกแบบอาจพิจารณาใช้รอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period) มากกว่า 25 ปี ก็ได้ เช่น 50 ปี เป็นต้น
2. แนวศูนย์กลางอาคารจะต้องมีระยะทางสั้น สามารถระบายน้ำได้สะดวกที่สุด โดยเฉพาะช่วงที่เชื่อมต่อกับลำน้ำเดิม ควรให้การไหลของน้ำออกจากอาคารให้ไหลไปทิศทางเดียวกันกับลำน้ำเดิม

3. ที่ตั้งอาคารควรอยู่นอกตัวเขื่อน เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบด้านการก่อสร้างและความมั่นคงของตัวเขื่อน เว้นแต่มีความจำเป็นที่ต้องวางในส่วนของตัวเขื่อนจะต้องพิจารณารายละเอียดต่างๆ ต่อไป
4. อาคารจะต้องวางอยู่บนชั้นดินเดิมหรือชั้นหินที่มีความแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักอาคารได้ โดยไม่เกิดการทรุดตัว
5. จะต้องออกแบบให้อาคารมีความแข็งแรง ทนทาน ประหยัดค่าก่อสร้าง ก่อสร้างได้ง่าย ถูกต้องตามหลักวิชาการ
6. ที่ตั้งและชนิดของอาคารรับน้ำ ต้องสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศในบริเวณดังกล่าว
7. ความลึกของน้ำที่ไหลในรางเท (Chute) และแอ่งน้ำนิ่ง (Stilling Basin) จะต้องไม่ให้ไหล ล้นข้ามสันกำแพงกันดินด้านข้าง
8. สภาวะการไหลของน้ำในรางเททุกช่วงตั้งแต่จุดควบคุม (Control Section) ลงไปจนถึงแอ่งน้ำนิ่ง กำหนดให้เป็นการไหลชนิด Supercritical Flow
9. จะต้องพิจารณาป้องกันการกัดเซาะจากการไหลปั่นป่วนของกระแสน้ำที่บริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างแอ่งน้ำนิ่ง และคลองระบายน้ำ
10. คลองระบายน้ำของอาคารทางระบายน้ำล้น จะต้องเชื่อมต่อกับลำน้ำเดิมให้มีความกลมกลืนกันไม่กีดขวางการไหลของน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดเซาะในบริเวณจุดตัดของคลองระบายน้ำ และลำน้ำเดิมได้
11. จะต้องพิจารณาให้ลาดดินชุดและดินถม ตลอดแนวอาคารทางระบายน้ำล้น มีความมั่นคงต่อการเลื่อนตัว และการวิบัติของลาดดินชุดและดินถม ตลอดอายุการใช้งาน โดยมีอัตราส่วนความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

1.3.3 หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบอาคารท่อส่งน้ำ จะพิจารณาดังนี้

1. อาคารควรวางอยู่บนชั้นดินเดิมหรือชั้นหินที่มีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักอาคารได้โดยไม่เกิดการทรุดตัวที่แตกต่างกัน (Differential Settlement)
2. แนวศูนย์กลางอาคารวางให้มีระยะสันและมีการขุดดินน้อย โดยคำนึงถึงลักษณะการใช้งาน ทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ รวมถึงความเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศด้วย
3. สามารถส่งปริมาณน้ำตามระดับที่กำหนดไว้
4. ถ้ามีความจำเป็นอาจจะพิจารณาให้สามารถใช้เป็นอาคารช่วยเสริมการผันน้ำระหว่างการก่อสร้างได้ด้วย
5. จะต้องออกแบบให้อาคารมีความแข็งแรง ทนทาน ประหยัดค่าก่อสร้าง ก่อสร้างได้ง่าย ถูกต้องตามหลักวิชาการ
6. คลองระบายน้ำลงลำน้ำเดิม จะต้องเชื่อมต่อกับลำน้ำเดิมให้สอดคล้องกลมกลืนกัน ไม่กีดขวางการไหลของน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดเซาะในบริเวณจุดตัดของคลองระบายน้ำ และลำน้ำเดิมได้



บทที่ 2

การออกแบบเขื่อนดิน (Earthfill Dam)

การออกแบบเขื่อนดิน หมายถึง การคำนวณออกแบบ กำหนดรูปแบบเขื่อน รวมทั้งส่วนประกอบต่างๆ ของตัวเขื่อน ให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งมีดินเป็นองค์ประกอบหลัก เพื่อให้ได้โครงสร้างที่แข็งแรง ทนทานต่อแรงกระทำต่างๆ ได้เป็นอย่างดี รวมทั้งให้มีความทึบน้ำ โดยคำนึงถึงการก่อสร้างและบำรุงรักษาได้โดยง่าย ประหยัด อายุการใช้งานนาน ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย และมีความปลอดภัยในทุกๆ ด้าน และทุกสถานการณ์

2.1 ชนิดของเขื่อนดิน

ชนิดของเขื่อนดินโดยทั่วไป จะพิจารณาจากลักษณะโครงสร้างของตัวเขื่อน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้ สำหรับการออกแบบเขื่อนดินของโครงการชลประทานขนาดเล็ก สามารถแบ่งชนิดของเขื่อนดินออกมาได้เป็น 2 ชนิด คือ เขื่อนดินถมชนิดเนื้อเดียว (Homogeneous Dam) และเขื่อนดินถมชนิดแบ่งส่วน (Zoned Type Dam)

การแบ่งชนิดของเขื่อนดินอย่างชัดเจน จะทำให้สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวเขื่อนได้อย่างถูกต้อง และสามารถป้องกันหรือบรรเทาผลเสียที่จะเกิดตามมาได้ตั้งแต่เริ่มต้นการคำนวณออกแบบ อีกทั้งยังเป็นการใช้วัสดุก่อสร้างให้เหมาะสมกับวัสดุที่หาได้อีกด้วย ซึ่งจะทำให้มีราคาก่อสร้างถูกลง ลักษณะโดยทั่วไปของเขื่อนดินแต่ละชนิด มีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้

2.1.1 เขื่อนดินถมชนิดเนื้อเดียว (Homogeneous Dam) เป็นเขื่อนที่ใช้ดินที่มีคุณสมบัติที่น้ำหนักกลุ่มเดียวกัน อาจจะมีชนิดของดินที่มีคุณสมบัติชนิดเดียวกันหลายประเภทก็ได้ (เช่น ดินประเภท GC, SC และ CL เป็นต้น) แต่ส่วนมากแล้วจะเป็นดินชนิดเดียวกัน มาก่อสร้างเป็นตัวเขื่อน เขื่อนดินชนิดนี้ส่วนใหญ่มักจะเป็นเขื่อนขนาดเล็กที่มีปริมาณดินถมไม่มากนัก เนื่องจากการใช้ดินประเภทที่น้ำหนักมาก่อสร้างเป็นตัวเขื่อนทั้งหมด จึงทำให้มีปัญหาในเรื่องของการระบายน้ำภายในตัวเขื่อนอยู่บ้าง กล่าวคือ ในช่วงขณะที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดต่ำลง อัตราการระบายน้ำออกจากตัวเขื่อนที่ค่อนข้างช้า จะเป็นเหตุทำให้ดินบริเวณลาดเขื่อนอึดตัวด้วยน้ำ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการเลื่อนไถลของลาดเขื่อนได้โดยง่าย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากเป็นเขื่อนที่มีความสูงไม่มากนัก จึงทำให้ลดความรุนแรงในเรื่องนี้ลงไปได้พอสมควร นอกจากนั้นหากมิได้พิจารณากำหนดระบบระบายน้ำที่ดีภายในตัวเขื่อนไว้ด้วยแล้ว ในขณะที่เกิดสภาวะน้ำเต็มอ่างเก็บน้ำเป็นระยะเวลานาน จะทำให้ระดับน้ำที่ไหลซึมผ่านตัว

เฟือน (Top Flow Line) อยู่ในระดับสูง และเข้าใกล้ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ ซึ่งจะเป็นผลทำให้ดินตัวเฟือนในบริเวณดังกล่าวอึดตัวด้วยน้ำ จะทำให้มีกำลังการรับแรงเฉือนลดลง จนเป็นเหตุทำให้เกิดการวิบัติของลาดเฟือน (Slope Failure) ด้านท้ายน้ำได้ ดังนั้น ในการออกแบบจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ และเป็นไปตามหลักวิชาการ

2.1.2 เฟือนดินชนิดแบ่งส่วน (Zone Type Dam) เป็นเฟือนที่ใช้ดินหลายประเภทมาก่อสร้างเป็นตัวเฟือน โดยในส่วนของแกนเฟือน (Core Zone) จะพิจารณาใช้ดินประเภทที่บ้น้ำ (Impervious Soil) เช่น ดินประเภท GC, SC และ CL เป็นต้น และในส่วนหุ้มแกนเฟือนหรือส่วนเปลือก (Shell Zone หรือ Random Zone) ที่ถัดออกมาจากส่วนแกนเฟือน จะพิจารณาใช้ดินประเภทกึ่งที่บ้น้ำ (Semi - Impervious Soil) หรือไม่ที่บ้น้ำที่ต้านทานการกัดเซาะได้ดี เช่น ดินประเภท GW, GP, SW และ SP ที่มีกรวดหรือทรายปะปนอยู่เป็นวัสดุ ในการก่อสร้าง ทั้งนี้ เนื่องจากวัสดุประเภทนี้มีคุณสมบัติในการระบายน้ำได้ค่อนข้างดี ดังนั้น ในขณะที่น้ำในอ่างเก็บน้ำลดระดับลงอย่างรวดเร็วจะทำให้น้ำที่ไหลซึมอยู่ในบริเวณส่วนเปลือกของตัวเฟือนด้านเหนือน้ำ สามารถระบายลงสู่อ่างเก็บน้ำได้อย่างรวดเร็ว ทำให้แรงดันน้ำในตัวเฟือน (Pore Water Pressure) ลดต่ำลง จนไม่ทำให้ลาดเฟือนเกิดการเลื่อนไถลได้ง่ายนัก นอกจากนี้ ดินประเภทนี้ยังมีค่ามุมของการทรงตัว (Angle of Repose) สูงกว่าดินเหนียวที่บ้น้ำที่ใช้ทำเป็นแกนเฟือน จึงทำให้สามารถออกแบบลาดเฟือน ให้มีความลาดชันได้มากกว่า รวมทั้งยังมีคุณสมบัติในเรื่องการทรุดตัวน้อยกว่าอีกด้วย

การเลือกประเภทดินที่เหมาะสมมาบดอัดตัวเฟือนนั้น ให้อู่ในภาคผนวก ก

2.2 ส่วนประกอบของเฟือนดิน

ส่วนประกอบของเฟือนดิน หมายถึง ส่วนต่างๆ ที่ประกอบกันเป็นรูปร่างเฟือนดิน ซึ่งส่วนประกอบแต่ละส่วนจะทำหน้าที่แตกต่างกันไป หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการกำหนดรายละเอียดทางโครงสร้างของตัวเฟือน เพื่อให้ตัวเฟือนสามารถทำหน้าที่ต่างๆ ได้อย่างสมบูรณ์ครบถ้วนตามที่กำหนดไว้โดยทั่วไปเฟือนดินจะมีส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่ สันเฟือน (Dam's Crest) ระยะพ้นน้ำ (Freeboard) ลาดเฟือนด้านเหนือน้ำที่ป้องกันการกัดเซาะด้วยหินทิ้ง (Riprap) กรวดทรายรองพื้น (Bedding) ลาดเฟือนด้านท้ายน้ำที่ป้องกันการกัดเซาะด้วยหินเรียงหรือการปลูกหญ้าบนหน้าดิน (Top Soil) แกนเฟือน (Core Zone) ส่วนเปลือกนอก (Random Zone) ส่วนร่องแกน (Cutoff Trench) ส่วนของระบบระบายน้ำภายในตัวเฟือน ซึ่งได้แก่ Chimney Drain, Blanket Drain หรือ Horizontal Drain, Finger Drain, Rockfill Toe และ Toe Drain เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีส่วนของระบบระบายน้ำผิวดิน ซึ่งได้แก่ Contact Drain และ Open Drain หรือ Gutter เป็นต้น ส่วนเผื่อการทรุดตัวของสันเฟือนที่เรียกว่า Camber ส่วนของการปรับปรุงฐานราก และ Clay Blanket

ส่วนประกอบต่างๆ ของตัวเฟือนตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น ไม่จำเป็นต้องมีครบถ้วนทั้งหมด ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและการใช้งาน สำหรับวัสดุต่างๆ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ ที่จะนำมาใช้ให้เหมาะสมกับงาน



2.3 สันเขื่อน (Dam's Crest)

การออกแบบส่วนของสันเขื่อนที่ควรพิจารณาได้แก่ ระดับสันเขื่อน (Crest Elevation) ความกว้างสันเขื่อน (Dam Crest Width) ระยะเผื่อการทรุดตัวของสันเขื่อน (Camber)

2.3.1 ระดับสันเขื่อน (Crest Elevation)

ระดับสันเขื่อนต้องสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำและมีระดับสูงพอที่จะป้องกันไม่ให้น้ำไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping) ด้วยสาเหตุของการระบายน้ำของอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) ไม่สามารถระบายน้ำได้ตามต้องการ หรือคลื่นที่เกิดจากลมหรือแผ่นดินไหวในอ่างเก็บน้ำ หรือตลิ่งเลื่อนถล่มลงในอ่างเก็บน้ำ ในขณะที่มีน้ำเต็มอ่างเก็บน้ำ

เพื่อกำหนดระดับสันเขื่อน ต้องกำหนดระยะพ้นน้ำ (Freeboard) ของสันเขื่อนให้มีระยะเพียงพอ โดยพิจารณาจาก

1. ความสูงของน้ำหลาก (Flood Surge) เป็นระยะความแตกต่างระหว่างระดับน้ำสูงสุดและระดับน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ หรือเป็นระยะความลึกน้ำสูงสุดเหนือสันฝายชนิดไหลล้น (Free Overflow) ผ่านอาคารทางระบายน้ำล้นด้วยปริมาณน้ำที่ออกแบบไว้

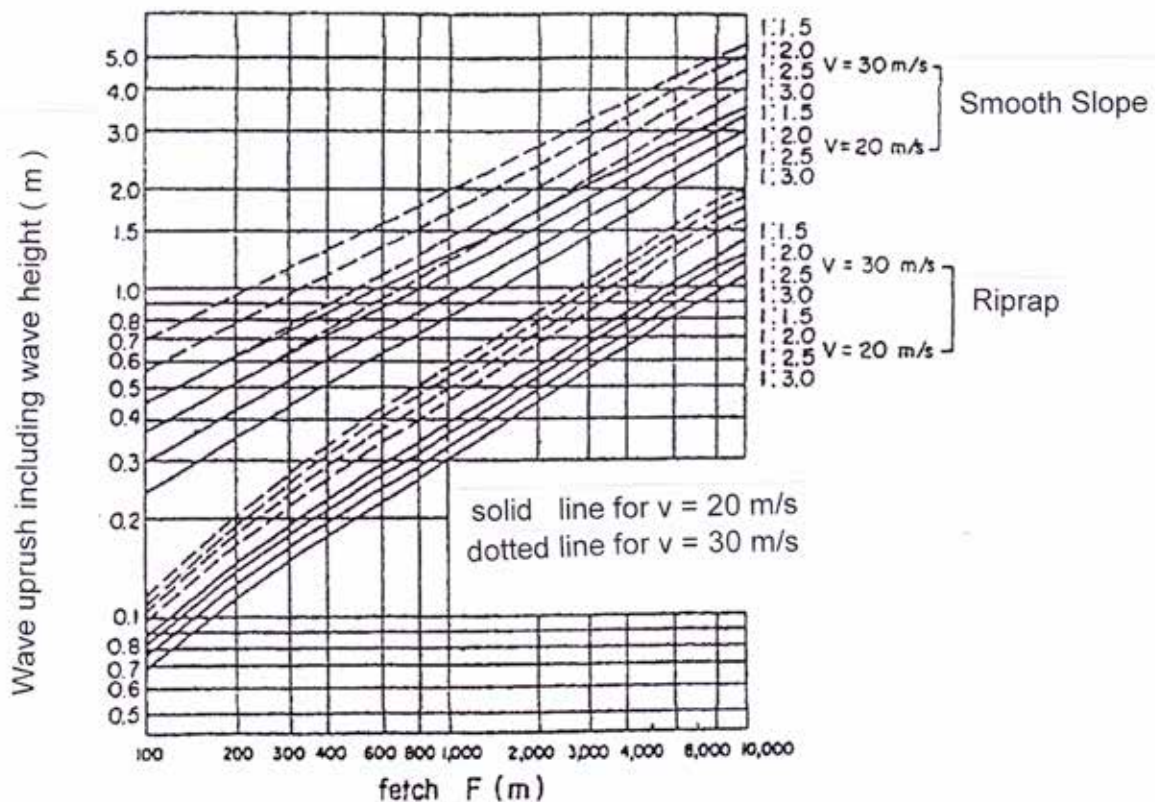
2. ความสูงคลื่นเนื่องจากลม โดยทั่วไปลมที่พัดผ่านผิวน้ำจะเป็นสิ่งเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดคลื่นขึ้นได้ ถ้าลมมีความเร็วสูงและมีช่วงระยะเวลาในการพัด (Period) นานรวมทั้งระยะผิวน้ำที่เป็นอิสระปราศจากสิ่งกีดขวางยาวมาก จะยิ่งทำให้เกิดคลื่นที่มีขนาดสูงมากตามไปด้วย สำหรับในอ่างเก็บน้ำก็เช่นกันในช่วงที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำสูง จะทำให้มีระยะผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Fetch Length) ยาวมาก การคำนวณความสูงคลื่นเนื่องจากลมจะพิจารณาจากข้อมูลดังนี้

- ความเร็วลม ใช้ศูนย์ข้อมูลของอุตุนิยมวิทยา-อุทกวิทยาของพื้นที่ที่ตั้งโครงการ หรือใช้ของบริเวณใกล้เคียง
- ระยะผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำ (Fetch Length) เป็นระยะของผิวน้ำจากขอบอ่างเก็บน้ำที่ไกลที่สุดโดยไม่มีสิ่งกีดขวางตามทิศทางลมเข้าหาตัวเขื่อน โดยวัดระยะจากตัวเขื่อนถึงจุดขอบอ่างเก็บน้ำไกลสุดที่พิจารณา จากแผนที่แสดงขอบเขตอ่างเก็บน้ำได้โดยตรง ความสูงคลื่นเนื่องจากลม สามารถหาได้จากรูปที่ 2.3-1

3. ความสูงคลื่นเนื่องจากแผ่นดินไหว สำหรับเขื่อนดินขนาดเล็กจะไม่นำมาคิด

4. ความสูงของระดับน้ำเนื่องจากความผิดพลาดในการควบคุมบานระบายน้ำ ในกรณีที่เป็น Uncontrolled จะมีค่าเท่ากับศูนย์

5. ประเภทของตัวเขื่อน เป็นการกำหนดค่าเผื่อระยะพ้นน้ำจากการพิจารณาประเภทของตัวเขื่อน สำหรับเขื่อนดินจะกำหนดค่านี้ไว้เท่ากับ 2.00 เมตร จากระดับน้ำสูงสุด



In order to determine wave run-up height (R), Fetch (F), wind velocity (u), wave height (hw) and wave length (L) are required To be found by the S.M.B. method, and slope and slope roughness by the Saville method

รูปที่ 2.3-1 แสดงการกำหนดค่าความสูงคลื่น

เอกสารอ้างอิง : Fill Dam, Engineering Manual for Irrigation and Drainage
Japan Institute of Irrigation and Drainage, March 1988



จากข้อกำหนดทั้ง 5 ประการ สามารถสรุปเป็นสมการได้ดังนี้

$$H_F = h + h_w + (h_e / 2) + h_a + h_i \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ H_F = ระยะพ้นน้ำ (Freeboard) หน่วยเป็น เมตร

h = ความสูงของน้ำหลาก (Flood Surcharge) หน่วยเป็น เมตร

h_w = ความสูงของคลื่นเนื่องจากลมรวม หน่วยเป็น เมตร

h_e = ความสูงคลื่นเนื่องจากแผ่นดินไหว สำหรับเขื่อนดินขนาดเล็กจะไม่นำมาคิด

h_a = ความสูงของระดับน้ำเนื่องจากความผิดพลาดในการควบคุมบานระบายน้ำ
หน่วยเป็น เมตร

= 0

h_i = ประเภทของตัวเขื่อน หน่วยเป็น เมตร

= 2

การคำนวณระยะพ้นน้ำ (Freeboard) สำหรับเขื่อนดินขนาดเล็ก ต้องใช้ค่าไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร
จากระดับน้ำสูงสุด

2.3.2 ความกว้างสันเขื่อน (Dam Crest Width)

การกำหนดขนาดความกว้างของสันเขื่อนจะต้องให้เหมาะสมกับการใช้งาน ทั้งในด้านของความสะดวกกับขนาดของเครื่องจักรเครื่องมือที่ใช้ในการก่อสร้าง การบำรุงรักษา

ความกว้างสันเขื่อนจะพิจารณาจากความสูงของสันเขื่อน สำหรับเขื่อนดินขนาดเล็กซึ่งความสูงของสันเขื่อนไม่เกิน 15.00 เมตร จะมีค่าระหว่าง 6.00 - 8.00 เมตร

2.3.3 ระยะเผื่อการทรุดตัวของสันเขื่อน (Camber)

เมื่อได้รับน้ำหนักกดทับ ดินที่บ้น้ำที่ซึมตัวเขื่อนจะเกิดการยุบตัวหรือทรุดตัว จึงต้องเผื่อค่าระยะการทรุดตัวเอาไว้ การทรุดตัวของสันเขื่อนจะขึ้นกับความสูงของตัวเขื่อนและคุณสมบัติของดินถมตัวเขื่อน รวมทั้งวิธีการก่อสร้างเป็นสำคัญ

การคำนวณเกี่ยวกับการทรุดตัวของสันเขื่อนได้จาก USBR Design Standard No. 13 ดังนี้
สำหรับ H มากกว่า 13.00 เมตร

$$S = 0.035 (H - 13) \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

สำหรับ H น้อยกว่า 13.00 เมตร

$$S = 0.002 H \text{ ถึง } 0.004 H \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

เมื่อ S = การทรุดตัวของเขื่อน หน่วยเป็น เมตร

H = ความสูงของเขื่อน หน่วยเป็น เมตร

ตามคำแนะนำของ USBR กำหนดระยะเพื่อการหลุดตัวของสันเขื่อนให้มีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของความสูงเขื่อนที่จุดลึกสุด

2.4 ลาดตัวเขื่อน

การออกแบบลาดตัวเขื่อนจะทำให้ตัวเขื่อนมีความมั่นคง มีเสถียรภาพ และทรงตัวอยู่ได้อย่างยั่งยืนโดยไม่เกิดการเลื่อนตัว ซึ่งจะขึ้นกับคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ก่อสร้างและความสูงของตัวเขื่อน เพื่อดำเนินงานกับแรงต่างๆ ที่มากระทำกับตัวเขื่อน เช่น แรงดันน้ำ น้ำหนักของตัวเขื่อน แรงจากแผ่นดินไหวรวมทั้งแรงจากคลื่นในอ่างเก็บน้ำ และแรงจากน้ำฝน เป็นต้น

การออกแบบลาดตัวเขื่อน จะต้องพิจารณาดังนี้

2.4.1 ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ โดยทั่วไปกำหนดให้ใช้หินทิ้ง (Dumped Riprap) วางบนลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ เพื่อป้องกันการกัดเซาะตอหินถมตัวเขื่อนเนื่องจากแรงกระทำของคลื่นในอ่างเก็บน้ำ

ขนาดน้ำหนักของหินทิ้งที่เหมาะสม สามารถกำหนดตามคำแนะนำของ U.S. Corps of Engineers (1984) จากสมการ

$$W_{50} = \gamma_r H^3 / (K_{RR} (Sr-1)^3 \cot \theta) \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

เมื่อ W_{50} = น้ำหนักเฉลี่ยของหิน หน่วยเป็น กิโลนิวตัน (KN)

γ_r = ความหนาแน่นของหิน
หน่วยเป็น กิโลนิวตัน/ลูกบาศก์เมตร (KN/m³)

H = ความสูงคลื่น หน่วยเป็น เมตร

Sr = ความถ่วงจำเพาะของหิน

θ = มุมลาดเขื่อน มีหน่วยเป็นองศา

K_{RR} = ค่าสัมประสิทธิ์การทรงตัวของหิน (Stability Coefficient)
= 2.5 สำหรับหินที่มีเหลี่ยมมุมสูง (Angular Rock)

น้ำหนักของหินใหญ่สุด (W_{100}) มีค่าประมาณ 4 เท่า ของน้ำหนักเฉลี่ย (W_{50}) ซึ่งจะได้ขนาดใหญ่สุดของหิน (D_{100}) มีค่าประมาณ 1.5 เท่า ของขนาดเฉลี่ย (D_{50}) แสดงไว้ในตารางที่ 2.4-1 โดยพิจารณาจากขนาดความสูงคลื่น และลาดเขื่อน ทั้งนี้ในตารางดังกล่าวได้กำหนดค่าของลาดเขื่อนไว้ 2 ค่า คือ 1:3 และ 1:2
ทั้งนี้ ความหนาของหินทิ้ง (Dumped Riprap) จะมีค่าประมาณ 1-1.5 เท่าของขนาดหินที่ใหญ่ที่สุด (D_{100})



ตารางที่ 2.4-1 แสดงขนาดของหินทิ้งตาม U.S.Corps of Engineers (1984)

ความสูงคลื่น (เมตร)	ขนาดของหินทิ้ง (เมตร)			
	ลาดเขื่อน 1:3		ลาดเขื่อน 1:2	
	D ₅₀	D ₁₀₀	D ₅₀	D ₁₀₀
0.50	0.19	0.27	0.21	0.30
1.00	0.37	0.55	0.42	0.63
1.50	0.55	0.82	0.63	0.95
2.00	0.73	1.00	0.84	1.26
2.50	0.92	1.38	1.05	1.58

การวางหินทิ้งลงบนลาดเขื่อนดินโดยตรงจะทำให้ก้อนหินทรุดจมลงในลาดตัวเขื่อน เนื่องจากก้อนหินมีน้ำหนักมาก นอกจากนี้ แรงของคลื่นที่กระทำกับลาดเขื่อนจะซอไซ้เข้าไประหว่างช่องว่างของหินแต่ละก้อนที่มาชิดเกาะกัน ซึ่งจะทำอันตรายกับผิวลาดเขื่อนดินได้ อีกทั้งในขณะที่น้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว จะทำให้เกิดแรงดันน้ำในตัวเขื่อนสูงกว่าภายนอก น้ำจากภายในตัวเขื่อนจะพยายามระบายออกเพื่อปรับเข้าสู่สภาวะสมดุล ดังนั้น จึงพัฒนาเม็ดดินละเอียดออกมาด้วย ทำให้ตัวเขื่อนเกิดการกัดเซาะได้เช่นกัน จึงมีความจำเป็นต้องปูกรวดทรายรองพื้น (Bedding Material) ที่ลาดเขื่อนก่อนแล้วจึงทำการทิ้งหินลงบนกรวดทราย เพื่อให้ชั้นกรวดทรายทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของชั้นหินทิ้งไม่ให้กดลึกลงไปในลาดเขื่อนดิน และยังช่วยป้องกันการกัดเซาะดินถมตัวเขื่อนทั้งที่เกิดจากคลื่นและทำหน้าที่เป็นชั้นกรองวัสดุละเอียดไม่ให้ไหลออกจากเขื่อนดินอันเนื่องจากแรงดันน้ำภายในตัวเขื่อนได้อีกด้วย

สำหรับความหนาของชั้นกรวดทรายรองพื้น (Bedding Material) นั้น Sherard และคณะ (1963) ได้แนะนำไว้ตามตารางที่ 2.4-2 โดยพิจารณาจากความสูงของคลื่นในอ่างเก็บน้ำ อย่างไรก็ตามความหนาชั้นกรวดทรายรองพื้น ต้องไม่น้อยกว่า 0.15 เมตร

ตารางที่ 2.4-2 แสดงความหนาของกรวดทรายรองพื้น (Sherard et al. 1963)

ความสูงคลื่น (เมตร)	ความหนากรวดทรายรองพื้นต่ำสุด (เมตร)
0.00 - 1.20	0.15
1.20 - 2.40	0.25
2.40 - 3.00	0.30

2.4.2 ลาดเชื่อมด้านท้ายน้ำ เพื่อป้องกันการกัดเซาะลาดเชื่อมดินส่วนนี้จากน้ำฝนและแรงลม จึงจำเป็นต้องพิจารณาออกแบบให้มีการป้องกันลาดเชื่อมอย่างเพียงพอ โดยสามารถกำหนดได้ 2 วิธี ดังนี้

1. หินเรียงหนา 0.30 เมตร โดยมีกรวดทรายรองพื้นหนา 0.15 เมตร การออกแบบการป้องกันลาดท้ายน้ำใช้เป็นหินเรียงจะมีความคงทนถาวร เหมาะสำหรับโครงการที่มีแหล่งหินในบริเวณก่อสร้างอย่างเพียงพอ เนื่องจากราคาค่าก่อสร้างสูง
2. ปลูกหญ้าบนหน้าดิน (Top Soil) หนาประมาณ 0.15 เมตร บนลาดเชื่อม เหมาะกับเชื่อมดินที่ไม่สามารถหาหินได้เป็นปริมาณมาก ๆ ในบริเวณสถานที่ก่อสร้าง ราคาค่าก่อสร้างถูก

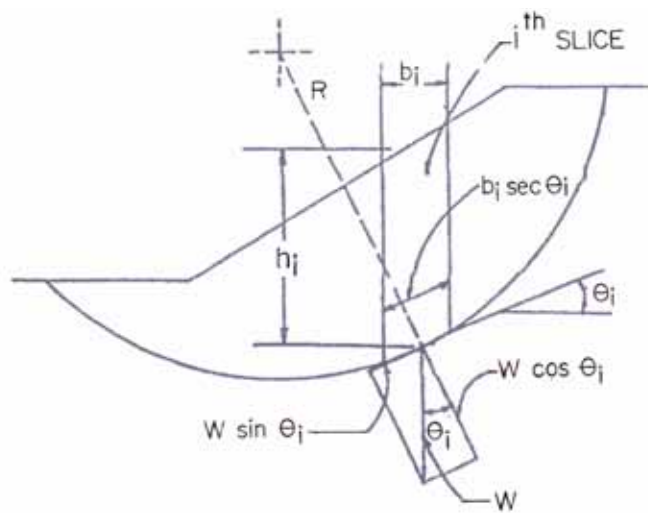
2.4.3 ขานพักบนลาดเชื่อมดิน (Berm) การพิจารณาออกแบบให้มีขานพักบนลาดเชื่อมดิน เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของลาดเชื่อมดินให้มีความมั่นคงมากยิ่งขึ้น สำหรับกรณีที่วัสดุถมตัวเชื่อมมีคุณสมบัติในเรื่องการรับแรงเฉือนต่ำ ซึ่งจะทำให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ความกว้างของขานพัก ควรกว้างไม่น้อยกว่า 4.00 เมตร ทั้งนี้ เพื่อให้สามารถก่อสร้างได้สะดวกและบำรุงรักษาได้ง่าย โดยทั่วไปตำแหน่งของขานพักจะกำหนดให้มีระดับสูงกว่าระดับน้ำต่ำสุดเล็กน้อย

2.4.4 การวิเคราะห์ความมั่นคงและเสถียรภาพของลาดเชื่อม (Slope Stability Analysis) ความมั่นคงของลาดเชื่อมดินมีความสำคัญมาก เพราะเป็นส่วนหนึ่งของตัวเชื่อม ถ้าลาดเชื่อมดินเกิดการพังทลายเสียหาย ก็เป็นเหตุให้เชื่อมพังทลายเสียหายในที่สุด ดังนั้น ในการคำนวณออกแบบเชื่อมดินจึงมีความจำเป็นต้องตรวจสอบและวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเชื่อมดิน (Slope Stability Analysis) ด้วย ทั้งนี้ จะทำการวิเคราะห์หาอัตราส่วนความปลอดภัยต่อการเลื่อนตัว (Factor of Safety Against Sliding) ซึ่งการวิเคราะห์ในปัจจุบันจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ ทั้งนี้ เพื่อให้เกิดความรวดเร็วและมีความถูกต้องแม่นยำ การวิเคราะห์หาอัตราส่วนความปลอดภัยดังกล่าวจะกระทำใน 3 กรณี คือ กรณีที่ก่อสร้างเชื่อมเสร็จใหม่ (End of Construction) กรณีมีน้ำเต็มอ่างฯ (Full of Reservoir) และกรณีน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown) โดยมีรายละเอียดพอสังเขปดังนี้

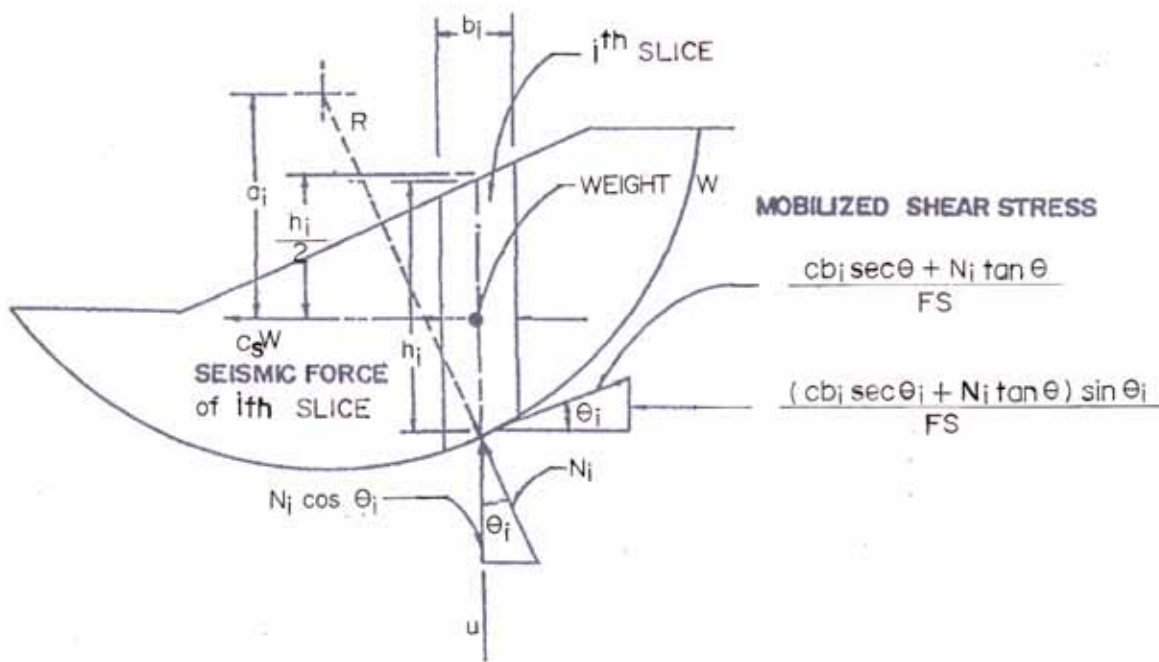
1. วิธีการวิเคราะห์หาค่า Factor of Safety (F. S.)

วิธีการวิเคราะห์หาค่า F.S. ของเชื่อมดินจะใช้ตามวิธี Simplified Bishop Method โดยการสมมติรูปของผิวการเคลื่อนพังเป็นส่วนโค้งของวงกลม โดยการตัดมวลดินออกเป็นฟังก์ชันตามแนวตั้งและพิจารณาสมดุลของแรงและโมเมนต์จากแต่ละมวลดิน ซึ่งค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (F.S.) สามารถหาได้ดังนี้





METHOD OF SLICES FOR CIRCULAR SURFACE



VERTICAL FORCES BY SIMPLIFIED BISHOP METHOD

รูปที่ 2.4-1 แสดงการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อนโดยวิธี Simplified Bishop Method

$$F.S. = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{C \cdot b_i + (W - U) \tan \phi}{\cos \theta_i + (\sin \theta_i \tan \phi) F.S.} \right]}{\sum_{i=1}^n \left[W \sin \theta_i + \frac{C_s}{R} \cdot W \cdot a_i \right]} \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

เมื่อ	F.S.	=	อัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety Against Sliding)
	n	=	จำนวนฟังก์ชันของมวลดิน (Number of Slices)
	C	=	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (Cohesion of Soil)
	b^i	=	ความกว้างของฟังก์ชันแต่ละฟังก์ชัน (Width of the Slice)
	h^i	=	ความสูงของฟังก์ชันแต่ละฟังก์ชัน (Height of the Slice)
	W	=	น้ำหนักของมวลดินแต่ละฟังก์ชัน (Total Weight of the Slice)
	U	=	แรงดันน้ำในแนวดิ่งที่กระทำต่อ Failure Surface ของฟังก์ชันใดๆ
		=	$U_i (b_i)$
	ϕ	=	มุมของความเสียดทานภายในของดิน (Angle of Internal Friction)
	θ_i	=	มุมเอียงของเส้นสัมผัส (Angle of Inclination)
	Cs	=	สัมประสิทธิ์ความสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว
	R	=	รัศมีวงกลมของการเคลื่อนพัง
	a_i	=	แขนโมเมนต์

2. วิธีการคำนวณหาค่า Factor of Safety (F.S.)

วิธีการคำนวณหาค่า F.S. ตามสมการดังกล่าวข้างต้นทั้งในรูปของ Total stress และ Effective stress จะทำการคำนวณตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- เขียนรูปตัดเชื่อมดินที่ต้องการวิเคราะห์ กำหนดแนวชั้นหินและดินฐานราก เส้นแบ่ง Zone ของวัสดุที่ใช้ในตัวเชื่อม ตลอดจนเส้น Phreatic Line และลักษณะต่างๆ ทางด้านเรขาคณิตให้ครบถ้วนตามแนวแกน X และ Y
- กำหนด Potential Failure Surface เป็นส่วนของวงกลม โดยมีจุดศูนย์กลางที่ Coordinate ต่างกัน
- แบ่งลาดเชื่อมเหนือ Failure Surface เป็น Slice ในแนวดิ่งเพื่อคำนวณต่อไป
- คำนวณค่า F.S. ตามสมการดังกล่าวข้างต้นด้วยค่า Hydrostatic Water Pressure ทั้งของตัวเชื่อมและของฐานรากให้เหมาะสมตามกรณีที่ต้องการวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาแรงของแต่ละฟังก์ชันที่ Failure Surface
- ทำการคำนวณหาค่า F.S. สำหรับ Failure Surface ซึ่งมีจุดศูนย์กลางต่างๆ กันหลายจุด เพื่อคำนวณให้ได้ค่า F.S. ที่มีค่าน้อยที่สุด



วิธีการคำนวณเพื่อให้ได้ค่า Minimum Factor of Safety (Min. F.S.) จะต้องใช้เวลา Trial มาก ดังนั้น เพื่อความรวดเร็วในการคำนวณค่า Min. F.S. ตามขั้นตอนเหล่านี้ การคำนวณจะใช้ Computer Program, Try หาค่า Min. F.S. ตามกรณีต่างๆ ที่ต้องการวิเคราะห์ทุกกรณี ซึ่งวิธีการคำนวณนี้ได้จากการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยคำนวณหลายโปรแกรมด้วยกัน เช่น

“KU SLOPE”	ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
“SB – SLOPE”	ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
“PC – SLOPE”	ของ U.of Saskatchewan, Canada
“REAME”	ของ U. of Kentucky, USA.
“STABL”	ของ Purdue University, USA.
“SLOPE/W”	ของบริษัท GEO-SLOPE International Ltd., Canada

3. การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเชื่อมดินในกรณีต่างๆ (Condition of Slope Stability Analysis)

การวิเคราะห์หาความมั่นคงของลาดเชื่อมดินจะทำการวิเคราะห์ที่กรณีวิกฤติต่างๆ ดังต่อไปนี้

- กรณีเชื่อมที่ก่อสร้างเสร็จใหม่ๆ (End of Construction) จะทำการวิเคราะห์เมื่อเชื่อมไม่มีการเก็บกักน้ำ สำหรับลาดเชื่อมด้านใดด้านหนึ่งที่มีความลาดชันมากกว่าอีกด้านหนึ่ง
- กรณีเชื่อมเก็บกักน้ำเต็มที่ (Full of Reservoir หรือ Steady State of Seepage) กรณีมีน้ำ Seepage เข้าไปในตัวเชื่อม จึงทำให้ลาดเชื่อมด้านเหนือน้ำมีความปลอดภัยมากกว่า เพราะมีน้ำในอ่างเก็บน้ำเป็นน้ำหนักช่วยกดทับลาดเชื่อม ฉะนั้น ลาดทางท้ายเชื่อมจะมี Factor of Safety น้อยกว่า ดังนั้น การวิเคราะห์จะทำบนลาดเชื่อมด้านท้ายนี้
- กรณีที่น้ำในอ่างลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown) การวิเคราะห์จะทำใน 2 กรณี คือ เมื่อระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงเท่ากับครึ่งหนึ่งของความลึกจากระดับน้ำเก็บกัก เพื่อให้อ่างเก็บน้ำมีที่ว่างพอจะรับ Flood ได้ หรือระบายน้ำเพื่อส่งให้แก่แปลงเพาะปลูกด้านท้ายอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น และลดลงถึงระดับน้ำต่ำสุด เมื่อจะต้องระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำจนหมด เพื่อทำการซ่อมระบบท่อส่งน้ำหรือซ่อมทำนบดิน เป็นต้น ซึ่งจะต้องคิดว่าน้ำในตัวเขื่อนยังค้างอยู่เท่ากับการไหลซึมในลักษณะของระดับน้ำสูงสุดปกติ

4. เกณฑ์กำหนดอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดในการวิเคราะห์ความมั่นคงของเขื่อนดิน (Minimum Allowable of Safety)

การพิจารณาใช้เกณฑ์กำหนดอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดของเขื่อนดินขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

- ความมั่นใจในข้อมูลที่ได้มาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบ
- ช่วงเวลาการใช้งานหรือช่วงความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในกรณีวิกฤติ
- ผลเสียหายที่อาจเกิดขึ้นภายหลังถ้ามีการพิบัติ
- ฝีมือหรือคุณภาพการทำงานและการควบคุมในระหว่างการก่อสร้าง

สำหรับการพิจารณาเกณฑ์กำหนดอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดของเขื่อนดินขนาดเล็กที่ใช้ในการออกแบบ สามารถสรุปได้ดังนี้

- มีความสูงไม่เกิน 15.00 เมตร

อาจพิจารณาอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดจากตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.4-3 อัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุดของเขื่อนดิน

CASE	DESIGN	CONDITION	เขื่อนเล็ก
I	เพื่อก่อสร้างเสร็จ (End of Construction)	Static	1.5
II	ระดับน้ำเก็บกักเต็มที่ (Full of Reservoir)	Static	1.5
III	ระดับน้ำลดอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)	Static	1.3

2.5 ระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อน

แม้ว่าเขื่อนดินถมชนิดเนื้อเดียวและในส่วนของแกนเขื่อนดินชนิดแบ่งส่วนจะมีคุณสมบัติที่บีบน้ำก็ตามแต่ยังคงมีน้ำไหลซึมผ่านอยู่ได้บ้าง ดังนั้น เพื่อให้ น้ำที่ไหลซึมในตัวเขื่อนสามารถระบายออกจากตัวเขื่อนได้โดยสะดวกและรวดเร็ว โดยไม่ไห้ส่วนของตัวเขื่อนดินด้านท้ายน้ำต้องอยู่ภายใต้แรงดันน้ำตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนลดต่ำลงและเป็นผลทำให้ลาดตัวเขื่อนอาจเกิดการเลื่อนตัวได้โดยง่าย ดังนั้น จึงจำเป็นต้องออกแบบระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนเพื่อให้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

ระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อน เป็นวัสดุกรองน้ำ (Filter) ที่มีส่วนประกอบของกรวดหรือหินย่อยและทรายผสมกันโดยมีขนาดสัดส่วนคละ (Gradation) ที่เหมาะสม ให้มีขนาดความพรุนมากพอที่จะสามารถระบายน้ำได้เป็นอย่างดี และมีวัสดุขนาดเม็ดเล็กพอที่กักกันไม่ให้ดินเม็ดละเอียดในตัวเขื่อนและฐานรากหลุดลอดออกไปพร้อมกับน้ำที่ระบายออกมาได้ ระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนประกอบไปด้วย

2.5.1 Chimney Drain เป็นส่วนประกอบของระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนที่ออกแบบให้วางอยู่ในแนวตั้ง (Vertical) หรือเอียงเล็กน้อย (Inclined) โดยที่ระดับสัน Chimney Drain จะออกแบบให้อยู่ที่ระดับน้ำเก็บกัก ทั้งนี้ เพื่อเป็นการเผื่อการทรุดตัวหลังการก่อสร้าง และเพื่อป้องกันการเกิดรูโพรงในตัวเขื่อน (Piping) อันเนื่องมาจากน้ำซึมตามรอยต่อระหว่างชั้นดินที่บดอัดโดยมีคุณภาพต่ำ จากด้านหน้าเขื่อนไปท้ายเขื่อน จุดเริ่มต้นของ Chimney Drain เนื่องจากปริมาณน้ำไหลซึมใน Chimney Drain จะมีปริมาณไม่มากนัก ดังนั้น จึงไม่ต้องการความหนาแน่น โดยจะกำหนดให้มีความหนาไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร ทั้งนี้ เนื่องจากจะเผื่อไว้สำหรับการอุดตันของส่วนที่ติดกับดินในช่วงระหว่างกา่ก่อสร้าง และง่ายต่อการก่อสร้าง



2.5.2 Blanket Drain เป็นส่วนประกอบของระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนที่ออกแบบให้วางอยู่ในแนวนอนติดกับผิวดินที่ขุดลอกหน้าดินออกแล้ว โดยเชื่อมต่อกับ Chimney Drain เพื่อรับน้ำที่ไหลจากตัวเขื่อนและฐานรากไประบายออกที่จุดต่ำบริเวณลำน้ำเดิมต่อไป บริเวณที่เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของ Blanket Drain ควรอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำเก็บกักประมาณ 4.00 ถึง 5.00 เมตร อย่างไรก็ตาม ควรปูเต็มบริเวณร่องน้ำลึกให้พ้นตลิ่งทั้งสองฝั่งขึ้นมามากน้อย 2.00 เมตร มีความหนาไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร และประมาณ 1/3 ของความกว้างฐานเขื่อน

2.5.3 Finger Drain ทำหน้าที่เช่นเดียวกับ Blanket Drain ในกรณีที่มีปริมาณน้ำที่ต้องระบายออกไม่มากนัก มีรูปตัดเป็นลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือรูปสี่เหลี่ยมคางหมู โดยมีระยะห่างกันพอสมควรแล้วจึงไปเชื่อมต่อเข้ากับ Chimney Drain เพื่อรับน้ำไประบายออกที่ Toe Drain ต่อไป ขนาดของ Finger Drain โดยทั่วไปกำหนดไว้ประมาณ 2.00x4.00 เมตร โดยมีระยะห่างระหว่าง 15.00 ถึง 30.00 เมตร อย่างไรก็ตาม การกำหนดขนาดและระยะห่างของ Finger Drain ในแต่ละโครงการอาจเปลี่ยนแปลงได้ ตามปริมาณน้ำที่ต้องการระบายออกจากตัวเขื่อน ซึ่งคำนวณได้ตามสูตรหน้า 2-21 หัวข้อ 3. การออกแบบ Finger Drain

2.5.4 Toe Drain เป็นส่วนหนึ่งของระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนอีกชนิดหนึ่ง ประกอบด้วยท่อระบายน้ำเจาะรูที่ท่อน้ำไหลเข้าท่อได้ วางขนานกับแนวขอบเขตฐานเขื่อนด้านท้ายน้ำพร้อมกับชั้นของวัสดุประเภทกรวดหรือหินย่อยและชั้นทราย ที่ทำหน้าที่เป็นวัสดุกรอง (Filter) วางอยู่รอบท่อระบายน้ำ เพื่อรับน้ำจาก Finger Drain หรือ Blanket Drain ให้ระบายออกไปสู่จุดต่ำสุดที่ลำน้ำเดิม โดยทั่วไปกำหนดขนาดท่อระบายน้ำไม่น้อยกว่า 0.20 เมตร และวางท่อระบายน้ำให้ต่ำกว่าระดับดินขุดลอกไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร ทั้งนี้ เพื่อต้องการให้ระดับน้ำที่ไหลในบริเวณปลาย Blanket Drain ลดระดับต่ำลง เพื่อให้ น้ำระบายได้โดยสะดวกรวดเร็วมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม หากในบริเวณที่มีสภาพภูมิประเทศลาดชันสูง ที่สามารถระบายน้ำได้ดีแล้วก็ไม่จำเป็นต้องติดตั้ง Toe Drain เนื่องจากจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโดยไม่จำเป็น

โดยทั่วไป Toe Drain จะถูกติดตั้งไว้ที่ปลายของ Finger Drain หรือ Blanket Drain และที่บริเวณใต้ฐานของ Rockfill Toe ซึ่งกำหนดให้วางห่างจากขอบเขตฐานเขื่อนด้านท้ายน้ำไม่มากนัก จะได้แก้ไขได้โดยไม่ยุ่งยากมากนัก ระยะห่างจากฐานเขื่อนจะถูกกำหนดไว้ ระหว่าง 3.00 ถึง 6.00 เมตร โดยประมาณ

2.5.5 Rockfill Toe เป็นส่วนของระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนที่กำหนดไว้ในบริเวณลำน้ำเดิม โดยมีวัตถุประสงค์เพิ่มเติมเพื่อให้สามารถป้องกันการกัดเซาะที่บริเวณฐานเขื่อน อันเนื่องมาจากน้ำท้ายเขื่อนเอ่อท้นขึ้นสูง ดังนั้น ระดับสัน Rockfill Toe จึงกำหนดให้มีระดับสูงกว่าระดับตลิ่งเล็กน้อย ซึ่งจะพ้นจากระดับน้ำเอ่อท้นท้ายเขื่อนปกติ อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นระบบระบายน้ำภายนอกตัวเขื่อนที่เชื่อมต่อกับ Contact Drain และ/หรือ Open Drain เช่นกัน

Rockfill Toe มีโครงสร้างเป็นหินที่มีขนาดใหญ่และวางอยู่บนดินจึงจำเป็นต้องมีชั้นกรวดทรายรองหินดังกล่าวก่อนที่จะวางลงบนดินอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันการถูกกดจมลงในชั้นดินและป้องกันการพัดพาหินเม็ดละเอียดให้หลุดลอยออกไปพร้อมกับน้ำที่ระบายออกมา

2.6 การออกแบบระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อน

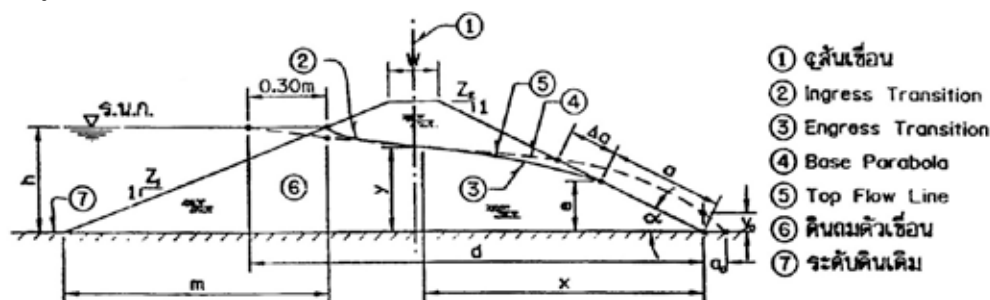
2.6.1 การคำนวณหาปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเขื่อน

การคำนวณหาปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเขื่อนและฐานรากก็เพื่อจะนำไปกำหนดออกแบบระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อน สามารถคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านตัวเขื่อนได้หลายวิธี ทั้งโดยการใช้สูตรหรือสมการโดยทั่วไป และโดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ ซึ่งจะทำให้ทราบค่าปริมาณการไหลและเส้นขอบเขตระดับน้ำสูงสุดในตัวเขื่อน (Top Flow Line) สามารถนำไปออกแบบระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนอย่างเหมาะสมได้ต่อไป

ปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเขื่อนจะมากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยหลายประการเช่น ความลึกของน้ำเหนือเขื่อน ความหนาของชั้นดินที่บดน้ำ และค่าความซึมผ่านของดิน เป็นต้น สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่าน (Coefficient of Permeability, k) ของดินถมตัวเขื่อนจะพิจารณาทั้งในแนวนอน (Horizontal, k_H) และในแนวตั้ง (Vertical, k_V) แล้วหาค่าความซึมผ่านเฉลี่ยหรือ k_a ตามข้อเสนอแนะของ Casagrande (จากหนังสือ Earth and Rockfill Dams โดย Bharat Singh, 1976) คือ $k_H/k_V = 4$ และ $k_a = \sqrt{k_H \cdot k_V}$ สำหรับการคำนวณปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเขื่อนนั้น สามารถกระทำได้ 2 วิธี ดังนี้

1. คำนวณจากเส้นระดับน้ำสูงสุดในตัวเขื่อน (Phreatic Line หรือ Top Flow Line)

การคำนวณหาเส้น Phreatic Line ในตัวเขื่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเป็นเขื่อนดินถมชนิดแบ่งส่วน (Zoned Type Dams) จะพิจารณาเฉพาะในส่วนของแกนเขื่อนเท่านั้น ทั้งนี้ เนื่องจากในส่วนของเปลือกนอกได้กำหนดให้ดินที่นำมาก่อสร้างเป็นดินที่มีการระบายน้ำที่ดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสูงกว่าในแกนเขื่อนประมาณ 10-100 เท่า การคำนวณจะใช้หลักการของ Cedergrén ซึ่งสมมติให้ Phreatic Line หรือ Top Flow Line เป็นส่วนหนึ่งของรูปพาราโบลา (จากหนังสือ Earth and Rockfill Dams by Bharat Singh, 1976) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6-1



รูปที่ 2.6-1 รูปตัดขวางเขื่อนดินแสดงตำแหน่งของ Top Flow Line

ซึ่งสามารถคำนวณค่าต่างๆ ได้ดังนี้

- Top Flow Line สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$y = \sqrt{2xy_0 + y_0^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{โดยที่ } y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \dots\dots\dots(2.7)$$

- ตำแหน่งจุด C บนลาดเชื่อมด้านท้ายน้ำ หาได้จาก

$$a + \Delta a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

- ปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเชื่อมต่อหน่วยความยาว, q หาได้จาก

สำหรับ $30^\circ < \alpha < 180^\circ$

$$q = k y_0 \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

โดยที่ k = ค่าความซึมน้ำเฉลี่ย

$$k = \sqrt{k_H k_V} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

สำหรับ $\alpha < 30^\circ$

$$q = k a \sin 2\alpha \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

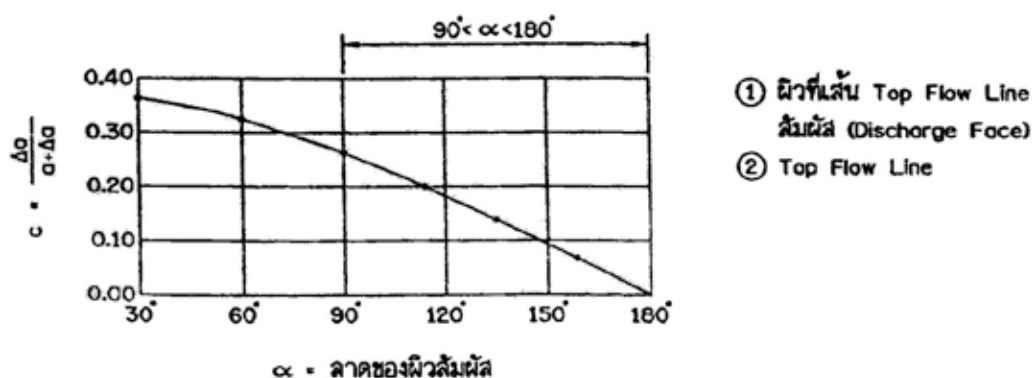
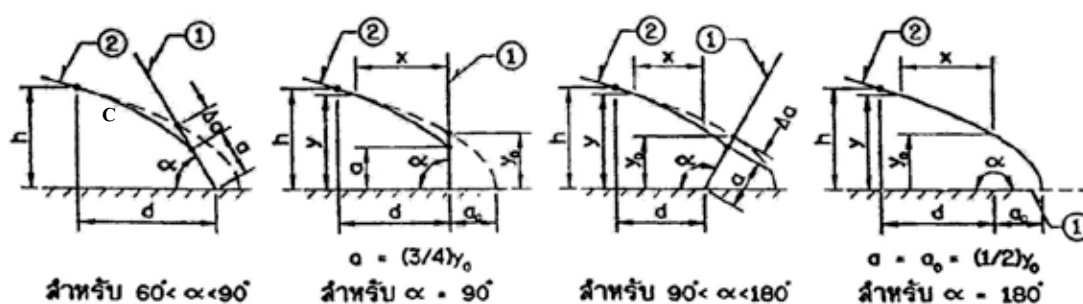
$$\text{โดยที่ } a = \sqrt{d^2 + h^2} - \sqrt{d^2 - h^2 \cot^2 \alpha} \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

- Basic Parabola

$$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2y_0} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\text{โดยที่ } a_0 = \frac{y_0}{2} \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

ค่า a และ Δa หาได้จาก รูปที่ 2.6-2



รูปที่ 2.6-2 รูปแสดงการหาค่า a และ Δa ตามรูปที่ 2.6-1

2. คำนวณจากการเขียนตาข่ายการไหล (Flow Nets)

การคำนวณปริมาณน้ำไหลซึมผ่านตัวเขื่อนด้วยวิธีนี้ เหมาะสำหรับการไหลซึมในดินที่เป็น Homogeneous และ Isotropic หรือเป็น Uniformly Anisotropic คืออัตราส่วนค่าความซึมแนวราบและแนวตั้งคงที่ โดยอธิบายค่าตัวแปรต่างๆ ไว้ไว้ในรูปที่ 2.6-3 และคำนวณปริมาณน้ำได้ดังนี้

$$q = k \cdot h \frac{N_f}{N_e} \dots\dots\dots(2.15)$$

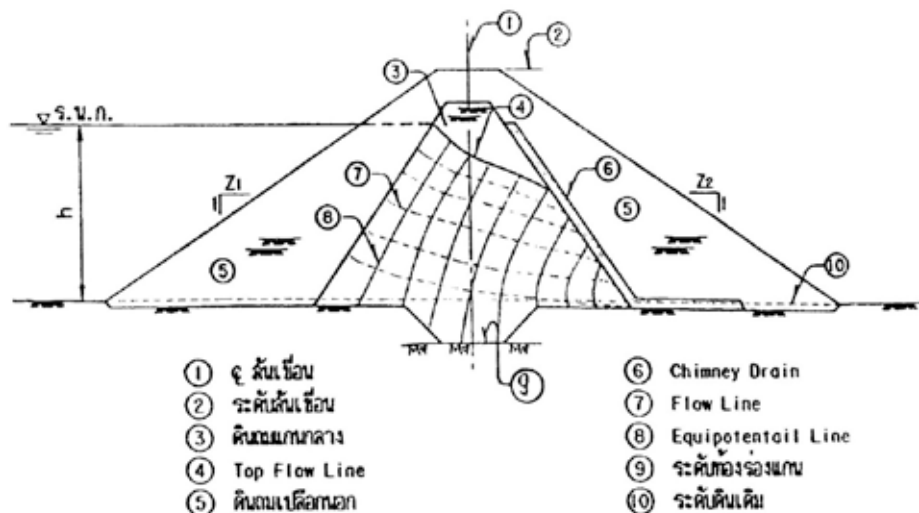
โดยที่ q = ปริมาณน้ำซึมผ่านเขื่อนต่อหน่วยความยาว
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร

k = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมของน้ำ
(Coefficient of Permeability) หน่วยเป็น เมตร/วินาที

h = ความลึกน้ำในอ่าง หน่วยเป็น เมตร

N_f = จำนวนเส้น Flow Lines

N_e = จำนวนเส้น Equipotential Lines



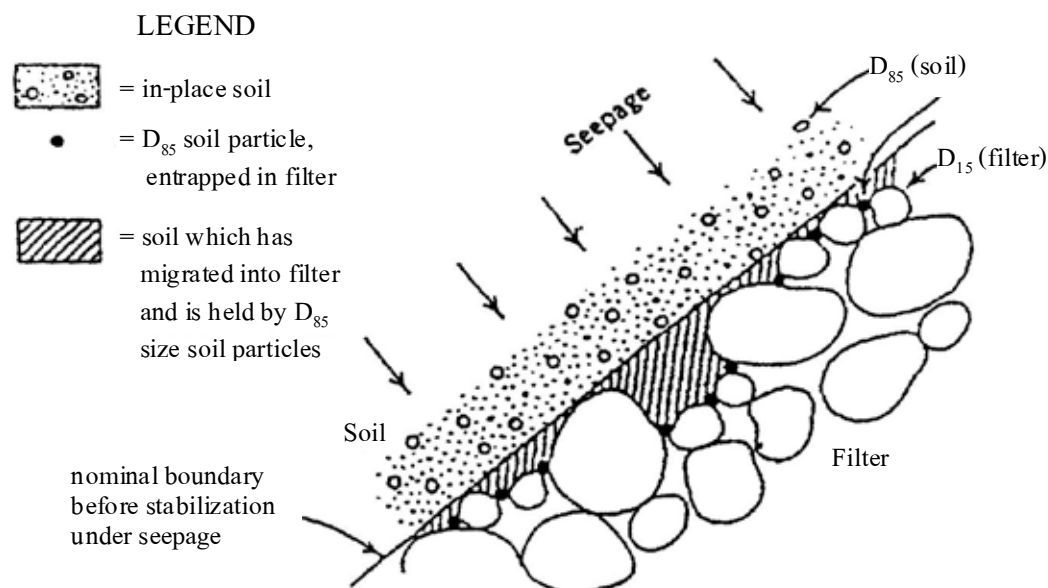
รูปที่ 2.6-3 รูปแสดง Flow Nets ในแกนเขื่อนชนิดแบ่งส่วน

2.6.2 การออกแบบชั้นกรอง (Filter Design)

ชั้นกรอง (Filter) หรือ ชั้นระบายน้ำ (Drainage Layer) เป็นส่วนสำคัญในตัวเขื่อนซึ่งจะทำหน้าที่รับน้ำที่ซึมผ่านตัวเขื่อนและฐานรากให้ไหลออกมารวมกัน โดยไม่ให้เกิดอันตรายจากการกัดเซาะหรือเกิดความดันน้ำสูงจนเกิดการกัดเซาะในส่วนใดๆ ของตัวเขื่อนได้ แล้วระบายออกไปในที่ปลอดภัย ดังนั้น วัตถุประสงค์หลักของชั้นกรองในตัวเขื่อน พอจะแบ่งออกได้ ดังนี้

1. Piping Requirement ขนาดของวัสดุกรอง (หรือช่องว่างระหว่างเม็ด) ต้องมีขนาดเล็กพอที่จะป้องกันไม่ให้เม็ดดินของตัวเขื่อนและฐานรากถูกกัดเซาะและไหลตามน้ำที่ซึมผ่านออกมาได้
2. Drainage Requirement ขนาดของวัสดุกรอง (หรือช่องว่างระหว่างเม็ด) จะต้องใหญ่พอที่จะยอมให้น้ำไหลซึมออกได้สะดวก

พฤติกรรมที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของเนื้อดินและชั้นกรองเมื่อมีการไหลของน้ำผ่านออกจากดินตัวเชื่อมและฐานราก จะเกิดการเคลื่อนตัวของดินเม็ดขนาดเล็กเข้ามาในชั้นกรองส่วนหนึ่ง จนกระทั่งเกิดการกรองชั้นดินอัดโนมิติ ซึ่งมักเรียกดินส่วนนี้ว่า Filter Cake (Taylor 1948) ดังแสดงในรูปที่ 2.6-4 การเกิดขึ้น Filter Cake นี้ จะค่อยๆ เกิดขึ้นในช่วงแรกที่น้ำเริ่มไหลผ่านตัวเชื่อมและฐานรากจนเข้าสู่จุดสมดุล ระยะเวลาดังกล่าว ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ความเหนียวของดินตัวเชื่อม ความต่างของความดันน้ำ และการขึ้นลงของความดันน้ำ (Mairiang and Lapkirengrai, 1993)



รูปที่ 2.6-4 แสดงการเคลื่อนตัวของดินบริเวณรอยต่อของชั้นกรอง

วัสดุที่นำมาใช้ในการออกแบบระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนกำหนดให้มีค่า Coefficient of Permeability (k_f) อย่างน้อยประมาณ 10-20 เท่าของ Base Material ตามคำแนะนำใน Filter Criteria ของ Embankment Dam Engineering - Casagrande Volume 1 (1973) และจากสูตรของ Hazen (1911) ได้แนะนำไว้ในหนังสือ Seepage Drainage and Flow Note ของ Harry R. Cedegren (1977) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$k = C (D_{10})^2 \dots\dots\dots(2.16)$$

โดยที่ $k = k_f$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของ Filter
หน่วยเป็น เซนติเมตร/วินาที

D_{10} = ขนาดวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่านี้ 10% โดยน้ำหนัก
หน่วยเป็น มิลลิเมตร

C = ค่าสัมประสิทธิ์รูปทรง = 1

ในการออกแบบขนาดของ Filter Drain ต่างๆ จะใช้ค่า Coefficient of Permeability ของ Filter เพียง 50% ของทั้งหมด ทั้งนี้ เพื่อความปลอดภัยในกรณีเกิดการอุดตัน (Clogging) ในวัสดุกรอง

การกำหนดขนาดคละ (Gradation) ของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำระบบระบายน้ำหรือวัสดุกรอง (Filter) จะกำหนดให้ขนาดคละของ Filter มีความสัมพันธ์กับขนาดคละของวัสดุถมตัวเขื่อน (Base Material) ตามคำแนะนำใน Design of Small Dams (1987) และ Embankment Dam Engineering ; Casagrande Volume 1 (1973) ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังนี้

- เพื่อการระบายน้ำ

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{15(B)}} \geq 5 \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

- เพื่อป้องกันการเกิด Piping

$$\frac{D_{15(F)}}{D_{85(B)}} \leq 5 \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

- เพื่อป้องกันการอุดตัน

$$\frac{D_{50(F)}}{D_{50(B)}} < 25 \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

- เพื่อป้องกันการอุดตัน

$$\frac{D_{85(F)}}{D_{OP}} \geq 2 \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

เมื่อ $D_{15(F)}$, $D_{50(F)}$, $D_{85(F)}$ = ขนาดวัสดุ Filter ที่มีขนาดเล็กกว่า 15% 50% และ 85% ตามลำดับ
 $D_{15(B)}$, $D_{50(B)}$, $D_{85(B)}$ = ขนาดวัสดุ Base ที่มีขนาดเล็กกว่า 15% 50% และ 85% ตามลำดับ
 D_{OP} = ขนาดรูเจาะเพื่อการระบายน้ำที่ท่อระบายน้ำ

พร้อมข้อกำหนดเพิ่มเติม คือ

- ขนาดใหญ่สุดของ Filter ต้องไม่มากกว่า 3 นิ้ว และเปอร์เซ็นต์ของทรายต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 เพื่อป้องกันการเกิดการแยกตัวของวัสดุ (Segregation)
- เส้นโค้งของการกระจายตัวของขนาดคละ (Grading Curve) ของทั้ง Filter และ Base Material จะต้องมิลักษณะขนานกันโดยประมาณ
- จะต้องไม่มีวัสดุที่เป็นดินเหนียวหรือมีวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 ประมาณมากกว่า 5% โดยน้ำหนัก
- สัมประสิทธิ์ของการกระจายตัวของเม็ดดิน (Coefficient of Uniformity, $C_u = D_{60}/D_{10}$) มีค่าระหว่าง 1.5-8.0
- คำนวณหาขนาดของวัสดุที่จะนำไปใช้ทำ Filter เพื่อนำไปเขียนเส้นกราฟของขนาดสัดส่วนคละจาก สมการ 2.17 – สมการ 2.20

2.6.3 สมการที่ใช้ในการออกแบบระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อน

1. Chimney Drain ควรกำหนดระดับสันขอบ Chimney Drain ให้อยู่ที่ระดับน้ำเก็บกัก และควรอยู่สูงกว่าระดับของ Phreatic Line หรือ Top Flow Line สำหรับความหนาของ Chimney Drain สามารถคำนวณได้จากทฤษฎีของ Darcy



$$Q_1 = \frac{k_F \cdot h_c \cdot A_c}{L_c} \dots\dots\dots(2.21)$$

โดยที่ Q_1 = ปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเชื่อม
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร

k_F = ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านของ Filter
หน่วยเป็น เมตร/วินาที

h_c = ความสูงของ Top Flow Line ที่จุดบรรจบกับผิวสัมผัส
หน่วยเป็น เมตร

A_c = พื้นที่หน้าตัดของ Chimney Drain
หน่วยเป็น ตารางเมตร/เมตร

$$= t_c \times 1.00$$

t_c = ความหนาของ Chimney Drain หน่วยเป็น เมตร

L_c = ความยาวที่จุดบรรจบกับ Top Flow Line ของ Chimney Drain
หน่วยเป็น เมตร

เพื่อป้องกันการเกิดการอุดตัน (Clogging) เนื่องจากเม็ดดินละเอียดถูกพัดพาเข้าไปใน Chimney Drain ขณะเริ่มเก็บกักน้ำ ซึ่งใน Design of Small Dam ได้แนะนำว่า ความหนาของ Chimney Drain ไม่ควรน้อยกว่า 1.00 เมตร โดยประมาณ

2. Blanket Drain จากทฤษฎีของ Darcy ที่ว่า ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านตัวกลางพรุน จะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับค่าความซึมผ่าน ค่าความลาดของระดับน้ำและพื้นที่หน้าตัดที่น้ำไหล ซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์โดยทั่วไป $Q = k_i A$ ดังนั้นขนาดของ Blanket Drain ที่สามารถระบายน้ำออกจากตัวเขื่อนและฐานราก สามารถหาได้จากสมการ

$$Q_b = \frac{k_F \cdot h_b \cdot A_b}{L_b} \dots\dots\dots(2.22)$$

โดยที่ Q_b = ปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเชื่อมและฐานรากที่ไหลเข้าสู่ Blanket Drain
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร

$$= Q_1 + Q_2$$

Q_1 = ปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเชื่อม
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร

Q_2 = ปริมาณน้ำซึมผ่านฐานราก
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร

k_F = ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านของ Filter
หน่วยเป็น เมตร/วินาที

h_b = ความหนาของ Blanket Drain หน่วยเป็น เมตร

A_b = พื้นที่หน้าตัดของ Blanket Drain
หน่วยเป็น ตารางเมตร/เมตร

$$= h_b \times 1.00$$

$$L_b = \text{ความยาวของ Blanket Drain หน่วยเป็น เมตร}$$

ซึ่งความหนาของ Blanket Drain ไม่ควรน้อยกว่า 1.00 เมตรเช่นเดียวกัน

3. การออกแบบ Finger Drain โดยทั่วไปจะกำหนดให้หน้าตัดของ Finger Drain เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือรูปสี่เหลี่ยมคางหมูก็ได้ จากทฤษฎีของ Darcy จะคำนวณขนาดของ Finger Drain ได้จากสมการ

$$Q_f = \frac{k_F h_f A_f}{L_f} \dots\dots\dots(2.23)$$

โดยที่ Q_f = ปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเชื่อมและฐานรากที่ไหลเข้าสู่ Finger Drain หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร

$$= Q_1 + Q_2$$

Q_1 = ปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเชื่อม
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร

Q_2 = ปริมาณน้ำซึมผ่านฐานราก
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร

k_F = ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านของ Filter
หน่วยเป็น เมตร/วินาที

h_f = ความกว้างของ Finger Drain หน่วยเป็น เมตร

A_f = พื้นที่หน้าตัดของ Finger Drain
หน่วยเป็น ตารางเมตร/เมตร

$$= h_f \times t_f$$

t_f = ความหนาของ Finger Drain หน่วยเป็น เมตร

L_f = ความยาวของ Finger Drain หน่วยเป็น เมตร

ระยะห่างของ Finger Drain หาได้จากสมการของ Donnan (จาก Handbook of Applied Hydraulics บทที่ 39)

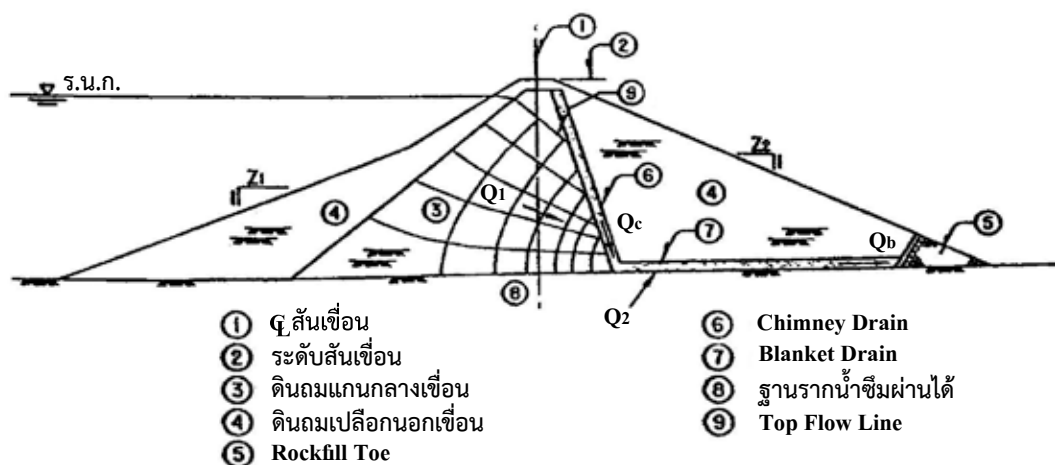
$$S = \frac{4k(b^2 - a^2)}{Q_b} \dots\dots\dots(2.24)$$

โดยที่ S = ระยะของ Finger Drain หน่วยเป็น ฟุต

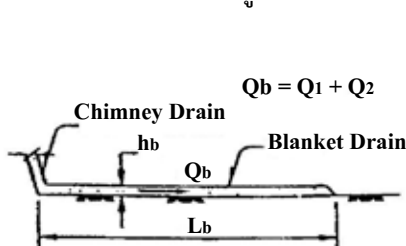
b = ระยะจากชั้นที่บ้น้ำถึงระดับความสูงระดับน้ำ
หน่วยเป็น ฟุต

a = ระยะจากชั้นที่บ้น้ำถึงระดับพื้น Finger Drain

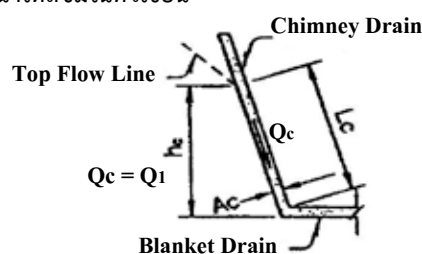




ก. รูปตัดเขื่อนแสดงปริมาณน้ำไหลซึมในตัวเขื่อน



ข. แสดง Blanket Drain



ค. แสดง Chimney Drain

รูปที่ 2.6-5 แสดง Chimney Drain และ Blanket Drain

2.7 การออกแบบระบบระบายน้ำภายนอกตัวเขื่อน

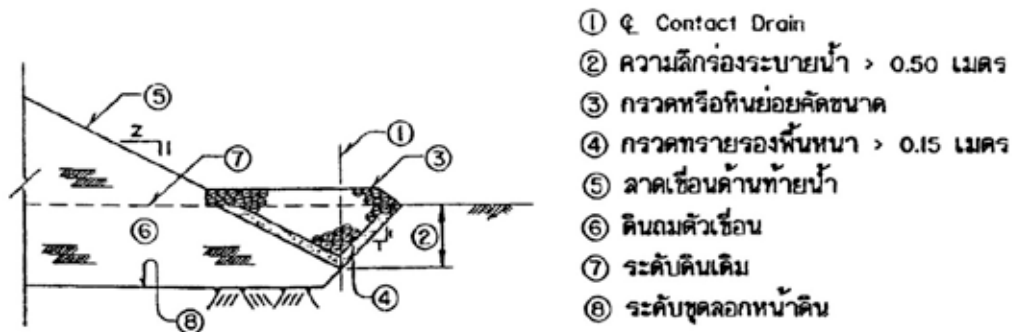
การออกแบบระบบระบายน้ำภายนอกตัวเขื่อนนั้น ก็เพื่อระบายน้ำบนผิวดินที่เกิดจากฝนที่ตกบนตัวเขื่อนและพื้นที่ท้ายตัวเขื่อนในบริเวณใกล้เคียงที่มีความลาดเอียงเข้าหาฐานเขื่อน และอาจจะทำอันตรายกับฐานเขื่อน เนื่องจากการกัดเซาะจุดบรรจบของลาดเขื่อนกับพื้นดินเดิมได้ และเพื่อระบายน้ำผิวดินให้ไหลไปยังที่ต่ำหรือที่ราบบริเวณริมตลิ่งได้โดยสะดวกและไม่เป็นอันตราย

2.7.1 ระบบระบายน้ำภายนอกตัวเขื่อน

สำหรับระบบระบายน้ำภายนอกตัวเขื่อนในที่นี้ จะประกอบไปด้วย

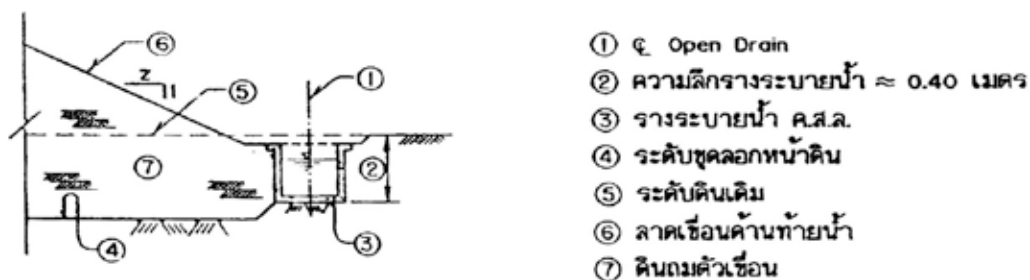
1. **Contact Drain** อาคารส่วนนี้จะพิจารณาออกแบบไว้ที่ฐานยันเขื่อนทั้งสองฝั่งตั้งแต่ระดับสันเขื่อนลงมาจนเชื่อมต่อกับ Rockfill Toe ในบริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่างลาดเขื่อนและดินเดิม แต่เขื่อนบางแห่งอาจจะพิจารณาออกแบบ Contact Drain จนถึงจุดเริ่มเข้าสู่พื้นที่ราบบริเวณสองฝั่งลำน้ำเดิม แล้วจึงเชื่อมต่อกับ Open Drain ต่อไป

ระบบระบายน้ำชนิดนี้จะมีรูปแบบเป็นรางระบายน้ำรูปสามเหลี่ยมที่ใส่กรวดหรือหินย่อยขนาดต่างๆ ที่เหมาะสมลงไปจนมีระดับสูงกว่าระดับดินเดิมเล็กน้อย ซึ่งจะทำให้สามารถระบายน้ำได้เป็นอย่างดี โดยไม่เกิดการกัดเซาะดินที่รองรับ หินย่อยดังกล่าวจะวางอยู่บนกรวดทรายเพื่อป้องกันหินจมลงในดิน และป้องกันการพัดพาเม็ดดินหลุดออกไป

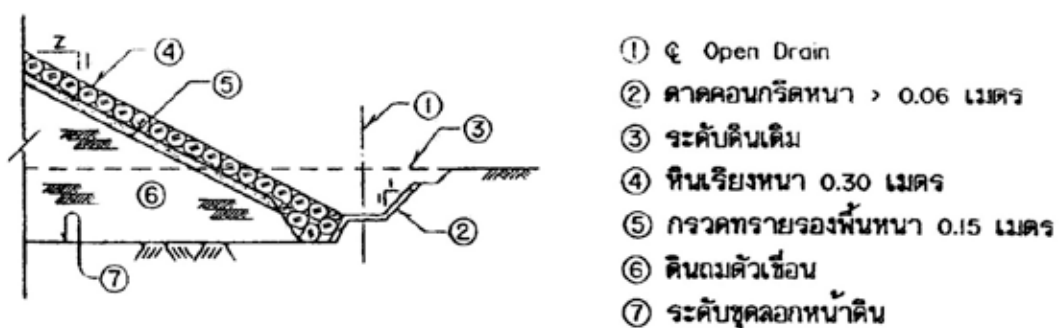


รูปที่ 2.7-1 แสดง Contact Drain

2. Open Drain เป็นรางระบายน้ำแบบรางเปิดที่เชื่อมต่อกับ Contact Drain ในบริเวณจุดเริ่มต้นพื้นที่ราบที่ลาดเชื่อมบรรจบกันระดับดินเดิมไปเชื่อมต่อกับ Rockfill Toe เพื่อระบายน้ำที่ไหลจาก Contact Drain ลาดตัวเชื่อมด้านท้ายน้ำและพื้นดินเดิมลงสู่ลำน้ำเดิมต่อไป โดยทั่วไป Open Drain มีรูปร่างเป็นรางระบายน้ำสี่เหลี่ยม (ดูรูปที่ 2.7-2) หรือสี่เหลี่ยมคางหมู (ดูรูปที่ 2.7-3) ที่วางอยู่บนดินขุดและมีลักษณะโครงสร้างเป็นคอนกรีตตาดหรือคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 2.7-2 แสดง Open Drain ชนิดรูปสี่เหลี่ยม



รูปที่ 2.7-3 แสดง Open Drain ชนิดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

2.7.2 การออกแบบขนาดคละ (Gradation of Material)

วัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างระบบระบายน้ำภายนอกตัวเขื่อนจะต้องกำหนดให้มีขนาดสัดส่วนคละที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถระบายน้ำได้ดีและกรองวัสดุเม็ดละเอียดได้ พร้อมทั้งให้สามารถรองรับน้ำหนักของหินย่อยหรือกรวดได้โดยไม่จมลงในดิน โดยจะยึดถือเกณฑ์การออกแบบวัสดุกรอง (Filter) และตามคำแนะนำของ U.S.Army Corps of Engineers ซึ่งจะหาขนาดคละได้ดังนี้

1. ขนาดคละของกรวดทรายรองพื้น (Bedding Material) สำหรับหินเรียง จะกำหนดให้สามารถกรองวัสดุดินเม็ดละเอียดที่ใช้ก่อสร้างตัวเขื่อน ซึ่งจะมีชั้นกรวดทรายปูไว้ก่อนที่จะทำการทิ้งหิน ตามเกณฑ์ดังนี้

$$\frac{D_{15}(\text{bed})}{D_{85(B)}} < 5 \quad \dots\dots\dots(2.25)$$

$$\frac{D_{15(R)}}{D_{85}(\text{bed})} < 10 \quad \dots\dots\dots(2.26)$$

เมื่อ

$$D_{15}(\text{bed}) = \text{วัสดุรองพื้นที่มีขนาดเล็กกว่า 15\%}$$

$$D_{85(B)} = \text{วัสดุถมตัวเขื่อนที่มีขนาดเล็กกว่า 85\%}$$

$$D_{15(R)} = \text{วัสดุหินทิ้งที่มีขนาดเล็กกว่า 15\%}$$

$$D_{85}(\text{bed}) = \text{วัสดุรองพื้นที่มีขนาดเล็กกว่า 85\%}$$

2. ขนาดคละของกรวดหรือหินย่อย (Gravel or Crushed Rock) เป็นวัสดุที่จะต้องนำไปใช้ก่อสร้าง Toe Drain หรือ Contact Drain โดยขนาดสัดส่วนคละ (Gradation) สามารถคำนวณหาได้ตามเกณฑ์ดังนี้

$$\frac{D_{50(G/R)}}{D_{50(F)}} < 25 \quad \dots\dots\dots(2.27)$$

$$\frac{D_{85(G/R)}}{D_{OP}} > 2 \quad \dots\dots\dots(2.28)$$

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \approx 1.5-8.0 \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

เมื่อ

$$D_{50(G/R)} = \text{กรวดหรือหินย่อยที่มีขนาดเล็กกว่า 50\%}$$

$$D_{50(F)} = \text{วัสดุกรองที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่า 50\%}$$

$$D_{85(G/R)} = \text{กรวดหรือหินย่อยที่มีขนาดเล็กกว่า 85\%}$$

$$D_{OP} = \text{ขนาดรูเจาะเพื่อการระบายน้ำที่ท่อระบายน้ำ}$$

$$C_u = \text{Coefficient of Uniformity}$$

บทที่ 3

การออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway)

ในการสร้างเขื่อนเก็บกักน้ำจะต้องมีอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) เพื่อระบายน้ำที่มากเกินไปเกินความต้องการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir) ไม่ให้น้ำล้นผ่านสันเขื่อนโดยเฉพาะเขื่อนดิน ถ้าน้ำล้นผ่านสันเขื่อนจะเป็นอันตรายมากเขื่อนอาจพังได้ สันอาคารทางระบายน้ำล้นจะเท่ากับระดับเก็บกักน้ำพอดี ถ้าวัดระดับน้ำสูงกว่าระดับเก็บกัก น้ำจะระบายออกทางอาคารทางระบายน้ำล้นทันที

3.1 ชนิดของอาคารทางระบายน้ำล้น

อาคารทางระบายน้ำล้นแบ่งตามชนิดของการใช้งานได้เป็น 2 ชนิด คือ

3.1.1 อาคารทางระบายน้ำล้นใช้งาน (Service Spillway) เป็นอาคารทางระบายน้ำล้นที่ใช้งานระบายน้ำเพื่อลดระดับน้ำของอ่างเก็บน้ำในฤดูน้ำหลากเป็นประจำ การออกแบบก่อสร้างอาคารทางระบายน้ำล้นประเภทนี้จะต้องมีความมั่นคงแข็งแรงต่อแรงกระแทก และกัดเซาะของน้ำที่ไหลผ่านด้วยความเร็วสูงเป็นประจำ

3.1.2 อาคารทางระบายน้ำล้นฉุกเฉิน (Emergency Spillway) เป็นอาคารทางระบายน้ำล้นที่สร้างขึ้นเพื่อช่วยเพิ่มการระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำให้ได้มากและเร็วยิ่งขึ้น ในกรณีที่เกิดน้ำหลากใหญ่เกิดขึ้นซึ่งอาคารทางระบายน้ำล้นใช้งานระบายน้ำหลากที่เกิดขึ้นจากอ่างเก็บน้ำได้ไม่ทัน ปริมาณน้ำส่วนที่เหลือจะระบายทิ้งลงทางอาคารทางระบายน้ำล้นฉุกเฉิน ทำให้เขื่อนอยู่ในสภาพเกณฑ์ความปลอดภัยสูง สำหรับกรณีปกติที่อาคารทางระบายน้ำล้นทำการระบายน้ำได้ตามปกติ ไม่จำเป็นต้องมีอาคารทางระบายน้ำฉุกเฉิน

อาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) ที่จะกล่าวถึงในบทนี้ หมายถึง อาคารทางระบายน้ำล้นใช้งาน (Service Spillway)

3.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway Components)

ส่วนประกอบที่สำคัญของอาคารทางระบายน้ำล้นโดยทั่วไป จะแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานทางด้านชลศาสตร์ซึ่งแยกเป็นอิสระ แบ่งออกได้เป็น 5 ส่วน ดังนี้

3.2.1 ทางชักน้ำเข้า (Approach Channel)

ในการสร้างอาคารทางระบายน้ำล้นแยกออกจากตัวเขื่อน การออกแบบเลือกสถานที่ตั้งบริเวณลาดไหลเขาใกล้กับตัวเขื่อน เพื่อให้อาคารมีความมั่นคง เนื่องจากสภาพฐานรากจะเป็นหินและมีที่ยันอาคารส่วนใหญ่จะอยู่ห่างจากริมขอบอ่างเก็บน้ำ ซึ่งจำเป็นที่จะต้องขุดคลองชักน้ำจากอ่างเก็บน้ำให้ระบายน้ำเข้าอาคารทางระบายน้ำล้น ทิ้งลงลำน้ำเดิมด้านท้ายเขื่อน



3.2.2 อาคารบังคับน้ำ (Control Structure)

เป็นอาคารที่ต่อจากทางชักน้ำให้ระบายน้ำผ่าน ลักษณะโดยทั่วไปจะเป็นฝายน้ำล้นแนวตรง (Over Flow Spillway) หรือโค้งก็ได้

3.2.3 ทางระบายน้ำ (Discharge Channel)

ลักษณะเป็นรางคอนกรีตเสริมเหล็กกรุสไล์เหลี่ยมต่อจากอาคารบังคับน้ำ เพื่อระบายน้ำไหลทิ้งไปยังอาคารสลายพลังน้ำด้านท้ายน้ำ ความลาดชันของพื้นรางจะขึ้นกับความแตกต่างของระดับน้ำเก็บกัก และระดับท้องน้ำด้านท้ายเขื่อน ความยาวของรางจะขึ้นอยู่กับสภาพลักษณะภูมิประเทศ ในกรณีที่รางคอนกรีตตัดผ่านทำนบกั้น ทางระบายน้ำจะเปลี่ยนเป็นท่อระบายน้ำ หรือสะพาน ค.ส.ล. ตามความเหมาะสม

3.2.4 อาคารสลายพลังน้ำ (Stilling Basin)

เป็นอาคารส่วนที่ต่อจากทางระบายน้ำ ทำหน้าที่ลดพลังงานที่เกิดขึ้นจากการไหลของน้ำด้วยความเร็วผ่านทางระบายน้ำให้ลดลง ก่อนที่จะไหลเข้าคลองระบายน้ำลงลำน้ำเดิมด้านท้ายน้ำ เพื่อป้องกันการกัดเซาะพื้นท้องน้ำ

3.2.5 คลองระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (Outlet Channel)

เป็นส่วนที่ต่อเชื่อมระหว่างอาคารสลายพลังน้ำและลำน้ำเดิม เพื่อทำการระบายน้ำจากอาคารสลายพลังน้ำให้มีความเร็วของกระแสน้ำต่ำ ก่อนที่จะทิ้งลงสู่ลำน้ำเดิมด้านท้ายน้ำของตัวเขื่อน โดยทั่วไปจะขุดเป็นคลองดินธรรมชาติรูปสไล์เหลี่ยมคางหมู

3.3 เกณฑ์กำหนดการคำนวณออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway)

ในการคำนวณออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) จะพิจารณาถึงรูปแบบการใช้งาน ตลอดจนตำแหน่งที่ตั้งของตัวอาคารที่ให้ความปลอดภัยในการใช้งานได้ทุกกรณี ทั้งในระหว่างการก่อสร้างและภายหลังการก่อสร้างเสร็จแล้ว ซึ่งเกณฑ์การออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) โดยทั่วไป จะพิจารณาดังนี้

1. สามารถระบายปริมาณน้ำได้สูงสุดตามที่กำหนดไว้ โดยปกติทั่วไปใช้รอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period) 25 ปี แต่บางกรณีที่เกี่ยวข้องมีความสำคัญ เช่น อยู่ใกล้แหล่งชุมชนหรืออาจมีผลกระทบมากต่อพื้นที่ด้านท้ายเขื่อน ผู้ออกแบบอาจพิจารณาใช้รอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period) มากกว่า 25 ปี ก็ได้ เช่น 50 ปี เป็นต้น
2. แนวศูนย์กลางอาคารจะต้องมีระยะทางสั้น สามารถระบายน้ำได้สะดวกที่สุด โดยเฉพาะช่วงที่เชื่อมต่อกับลำน้ำเดิม ควรให้การไหลของน้ำออกจากอาคารให้ไหลไปทิศทางเดียวกันกับลำน้ำเดิม
3. ที่ตั้งอาคารควรอยู่นอกตัวเขื่อน เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบด้านการก่อสร้างและความมั่นคงของตัวเขื่อน เว้นแต่มีความจำเป็นที่ต้องวางในส่วนของตัวเขื่อนจะต้องพิจารณารายละเอียดต่างๆ ต่อไป
4. อาคารจะต้องวางอยู่บนชั้นดินเดิมหรือชั้นหินที่มีความแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักอาคารได้โดยไม่เกิดการทรุดตัว

5. จะต้องออกแบบให้อาคารมีความแข็งแรง ทนทาน ประหยัดค่าก่อสร้าง ก่อสร้างได้ง่าย ถูกต้องตามหลักวิชาการ

6. ที่ตั้งและชนิดของอาคารรับน้ำ ต้องสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศในบริเวณดังกล่าว

7. ความลึกของน้ำที่ไหลในรางเท (Chute) และแอ่งน้ำนิ่ง (Stilling Basin) จะต้องไม่ให้ไหลล้นข้ามสันกำแพงกันดินด้านข้าง

8. สภาวะการไหลของน้ำในรางเททุกช่วงตั้งแต่จุดควบคุม (Control Section) ลงไปจนถึงแอ่งน้ำนิ่ง กำหนดให้เป็นการไหลชนิด Supercritical Flow

9. จะต้องพิจารณาป้องกันการกัดเซาะจากการไหลปั่นป่วนของกระแสน้ำที่บริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างแอ่งน้ำนิ่ง และคลองระบายน้ำ

10. คลองระบายน้ำของอาคารทางระบายน้ำล้น จะต้องเชื่อมต่อกับลำน้ำเดิมให้มีความกลมกลืนกันไม่กีดขวางการไหลของน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดเซาะในบริเวณจุดตัดของคลองระบายน้ำและลำน้ำเดิมได้

11. จะต้องพิจารณาให้ลาดดินขุดและดินถม ตลอดแนวอาคารทางระบายน้ำล้น มีความมั่นคงต่อการเลื่อนตัว และการวิบัติของลาดดินขุดและดินถม ตลอดอายุการใช้งาน โดยมีอัตราส่วนความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

ปริมาณน้ำที่นำมาใช้คำนวณหาขนาดของอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) ให้ดูจากสถิติของปริมาณน้ำนองสูงสุดรอบ 25 ปี และขนาดของอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) ดูจากรายงานวางโครงการเบื้องต้นเป็นบรรทัดฐานก่อนที่จะทำการคำนวณต่อไป

การกำหนดขนาดของอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) ให้คำนึงถึงความปลอดภัยของตัวเขื่อน หากสภาพภูมิประเทศอำนวย จะต้องพิจารณาออกแบบอาคารทางระบายน้ำฉุกเฉิน (Emergency Spillway) ไว้ด้วย เพื่อเพิ่มความปลอดภัยตัวเขื่อน และขนาดของอาคารทางระบายน้ำล้นใช้งาน (Service Spillway) ควรจะเพิ่มขนาดให้สามารถระบายน้ำอีก 20%

3.4 การคำนวณออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway)

รูปแบบอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) สำหรับโครงการชลประทานขนาดเล็กนั้น ได้กำหนดในเบื้องต้นไว้ 3 แบบ ตามแบบมาตรฐานหมายเลข มฐ 05-02-01 ถึง มฐ 05-02-020 การคำนวณออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) ของแต่ละแบบอาจไม่จำเป็นต้องมีทุกส่วน

3.4.1 ทางชักน้ำเข้า (Approach Channel) ทางชักน้ำเข้าสู่ตัวอาคารนี้ไม่จำเป็นต้องมีเสมอไป ในการออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของอาคารทางระบายน้ำล้น และความเหมาะสมของสภาพภูมิประเทศ โดยทั่วไปจะกำหนดหลักเกณฑ์ไว้ดังนี้

1. ความเร็วของน้ำไม่มากเกินไปจนเกิดการกัดเซาะ
 2. ระดับท้องทางรับน้ำจะอยู่ต่ำกว่าระดับสันฝายไม่น้อยกว่า 20% ของความสูงของระดับน้ำสูงสุดเหนือสันฝาย
 3. กรณีที่พื้นทางรับน้ำเป็นดินควรเรียงหินเพื่อป้องกันการกัดเซาะด้วย
- สำหรับสูตรทั่วไป ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ นิยมใช้สูตรของ Manning ดังนี้

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} A \dots\dots\dots(3.1)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านทางรับน้ำ
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที

n = Roughness coefficient (Manning's n)
= 0.0225 - 0.035 ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิวสัมผัส

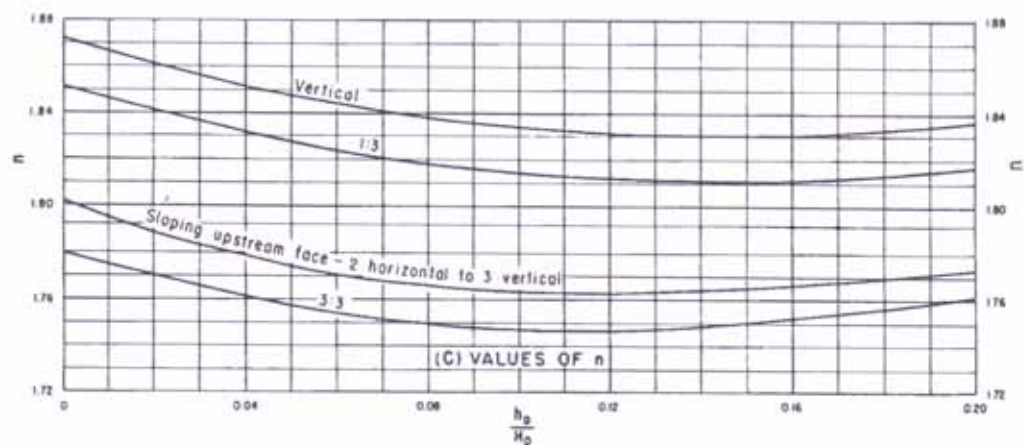
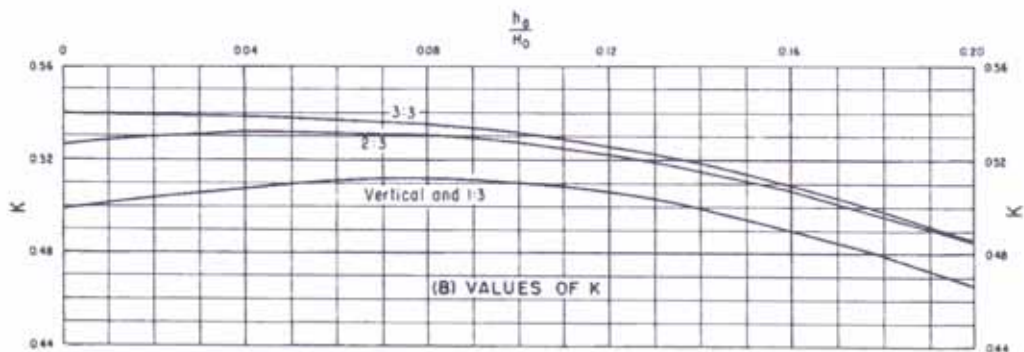
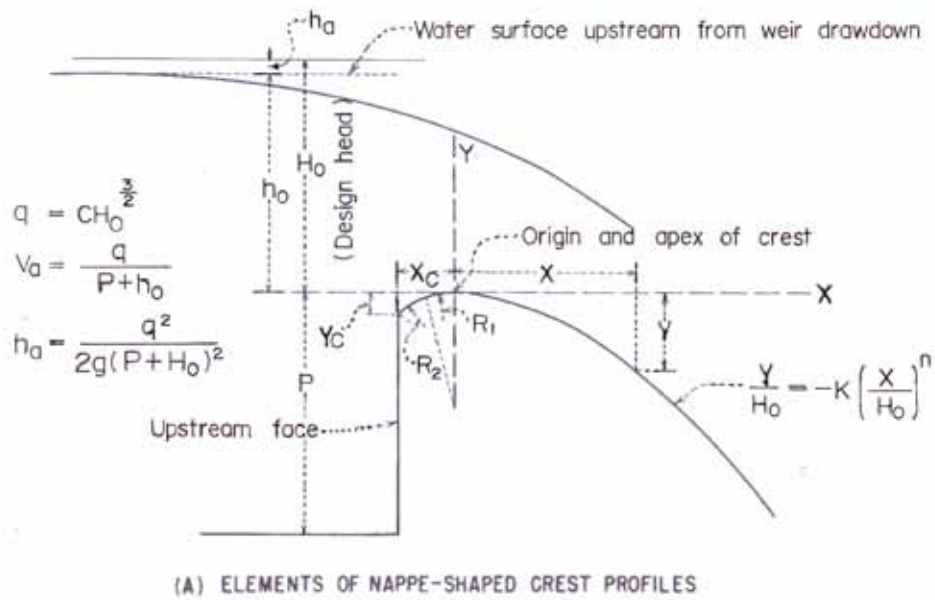
R = รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) หน่วยเป็น เมตร
= A/P

A = พื้นที่หน้าตัด ทางรับน้ำ หน่วยเป็น ตารางเมตร

P = เส้นขอบเปียก (Wetted Perimeter) หน่วยเป็น เมตร

S = ลาดท้องน้ำ

3.4.2 อาคารบังคับน้ำ (Control Structure) อาคารรับน้ำส่วนใหญ่จะเป็นอาคารสันฝายยาว การออกแบบโดยทั่วไประดับของสันฝายถึงพื้นที่ท้ายอาคารฝายจะต้องมีความลึกเพียงพอที่จะไม่ทำให้ระดับน้ำด้านท้ายฝายไหลย้อนกลับท่วมสันฝาย คือ การออกแบบจะต้องเป็นลักษณะการไหลเป็นแบบ Free Over Flow ดังนั้นกรณีที่พบว่าระดับน้ำท้ายสูงท่วมสันฝาย ต้องออกแบบด้านท้ายน้ำกดให้ลึกลงไปอีกจนได้ระดับน้ำต่ำกว่าระดับฝาย การออกแบบรูปร่างลักษณะสันฝายของอาคารทางระบายน้ำล้น (Overflow Ogee Crest) จะใช้วิธีการของ USBR, Design of Small Dams



รูปที่ 3.4-1 แสดงรูปร่างลักษณะสันฝายของอาคารทางระบายน้ำล้น (Overflow Ogee Crest)

ความยาวของสันฝายจะต้องออกแบบให้มีความยาวเพียงพอที่จะระบายน้ำได้สูงสุดตามที่ต้องการ โดยกำหนดให้ระดับของสันฝายอยู่ที่ระดับเก็บกักปกติ สูตรที่ใช้ในการคำนวณและออกแบบหาความยาวของสันฝาย มีดังนี้

$$Q = 0.552C L H_e^{3/2} \dots\dots\dots(3.2)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำไหลผ่านสันฝาย (Discharge over Weir Crest)
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที

C = Coefficient of Discharge

L = ความยาวประสิทธิผลของสันฝาย (Effective Length of Crest)
หน่วยเป็น เมตร

H_e = Total Energy head เหนือสันฝาย หน่วยเป็น เมตร
= $h_o + h_a$

h_o = ความลึกของน้ำเหนือสันฝาย (Static head) หน่วยเป็น เมตร

h_a = Velocity of Approach Head in the Approach Channel
หน่วยเป็น เมตร

$$= \frac{v_a^2}{2g}$$

v_a = Approach Velocity หน่วยเป็น เมตร/วินาที
= $\frac{q}{(P + h_o)}$

q = ปริมาณน้ำไหลผ่านสันฝายต่อหน่วยความยาว
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร
= $0.552C H_e^{3/2}$

P = ความสูงของสันฝายจากพื้นทางรับน้ำเข้า หน่วยเป็น เมตร

3.4.3 รางรับน้ำ (Trough Section) รางรับน้ำ (Trough) เป็นส่วนที่อยู่ทางด้านท้ายของฝาย แต่อยู่ด้านเหนือ Control Section (Box Culvert หรือ สะพาน) ในการพิจารณาควรต้องคำนึงถึงข้อกำหนดต่างๆ ไป ดังนี้

1. ในกรณีเกิดน้ำนองสูงสุด ระดับน้ำในรางรับน้ำ (Trough) จะต้องไม่ต่ำกว่าระดับสันฝายมากเกินไป จนเกิดการปั่นป่วนของน้ำอย่างรุนแรง ซึ่งจะเป็นอันตรายต่ออาคารทางระบายน้ำล้น และฐานรากของอาคารทางระบายน้ำล้น
2. ระดับน้ำในรางรับน้ำ (Trough) จะต้องไม่ท่วมสันฝาย จนทำให้ประสิทธิภาพการระบายน้ำลดลง

3. ความเร็วของน้ำในรางรับน้ำจะต้องอยู่ในภาวะ Sub-Critical flow
4. ด้านท้ายของรางรับน้ำ (Trough) จะต้องออกแบบให้มี Control Section เพื่อควบคุมสภาพการไหลให้ได้ตามที่ต้องการ
5. สัดส่วนความกว้างต่อความลึกของรางรับน้ำ (Trough) จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมทั้งด้านชลศาสตร์และค่าลงทุนการก่อสร้าง

การคำนวณหาระดับผิวน้ำ (Water Surface Profile) ในรางรับน้ำ (Trough) ซึ่งใช้ทฤษฎีของ Hinds, Julian, "Side Channel Spillway" Trans. ASCE และตามรายละเอียดของ U.S.B.R. , Design of Small Dam โดยใช้สมการโมเมนตัม (Momentum Equation) ดังนี้

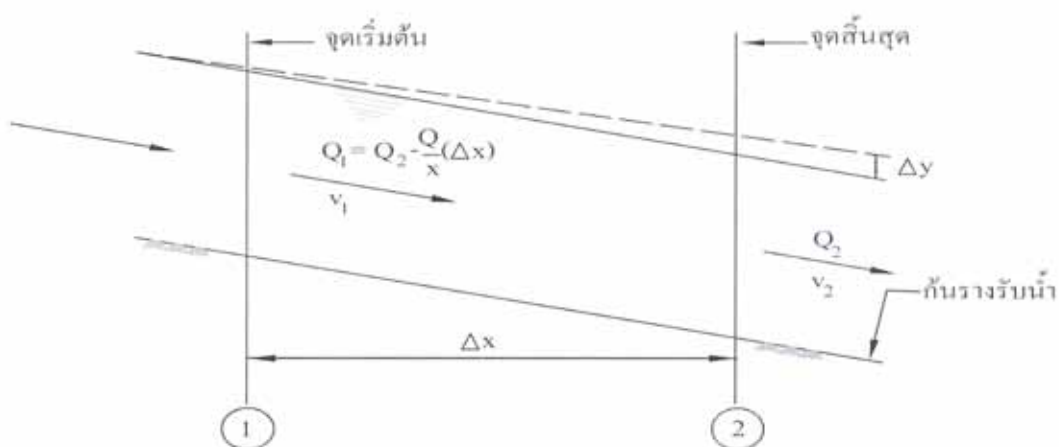
$$\Delta y = \frac{Q_1(v_1 + v_2)}{g(Q_1 + Q_2)} \left((v_2 - v_1) + \frac{v_2(Q_2 - Q_1)}{Q_1} \right) \dots\dots(3.3)$$

โดยที่ Δy = ความแตกต่างของระดับน้ำที่จุดเริ่มต้น และจุดปลายช่วง
หน่วยเป็น เมตร

Q_1, Q_2 = ปริมาณน้ำที่จุดเริ่มต้นและจุดปลายช่วง
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที

V_1, V_2 = ความเร็วของการไหลที่จุดเริ่มต้นและจุดปลายช่วง
หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 เมตร/วินาที²



รูปที่ 3.4-2 แสดงระดับผิวน้ำในรางรับน้ำ (Trough)

3.4.4 ระดับน้ำที่ท่อลอด (Box Culvert) หรือสะพานค.ส.ล.

องค์ประกอบนี้เป็นส่วนเชื่อมระหว่าง รางรับน้ำ (Trough) กับรางระบายน้ำหรือรางเท (Chute) จะวางอยู่ที่ตำแหน่งตามแนวศูนย์กลางเขื่อน

การคำนวณ Flow Profile เพื่อให้น้ำไหลผ่านท่อลอด (Box Culvert) หรือสะพานนี้จะใช้ Energy Equation บริเวณหน้าท่อและท้ายท่อ โดยที่สภาวะการไหลจะเป็น Sub-Critical flow สำหรับสมการ Energy Equation ดังนี้

$$Z_1 + y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$(Z_1 - Z_2) + y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = y_2 + \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots(3.5)$$

เมื่อ $Z_1 - Z_2$ = ความแตกต่างระหว่างพื้นหน้าท่อ และระดับพื้นท้ายท่อ
หน่วยเป็น เมตร

y_1, y_2 = ความลึกของน้ำหน้าท่อและท้ายท่อตามลำดับ
หน่วยเป็น เมตร

v_1, v_2 = ความเร็วของน้ำหน้าท่อและท้ายท่อตามลำดับ
หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 เมตร/วินาที²

3.4.5 Control Section จุด Control Section เป็นตำแหน่งที่ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำด้านเหนือน้ำให้อยู่ในสภาวะ Sub-Critical Flow โดยจะต้องออกแบบให้ Control Section อยู่ในสภาวะการไหลเป็น Critical Flow จุดนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นของการคำนวณ Water Surface Profile ทางด้านท้ายน้ำของ Control Section ซึ่งจะเป็นส่วนขององค์ประกอบ Chute ต่อไป สำหรับการคำนวณ Critical depth ที่ Control Section คำนวณได้จากสมการ

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \dots\dots\dots(3.6)$$

โดยที่ y_c = Critical depth (ความลึกของน้ำที่ตำแหน่ง Control Section)
หน่วยเป็น เมตร

q = ปริมาณน้ำไหลผ่าน Chute ต่อหน่วยความยาว
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที/เมตร
 $= \frac{Q}{L}$

- Q = ปริมาณน้ำไหลผ่าน Chute หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที
 L = ความกว้างของ Chute หน่วยเป็น เมตร
 g = อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 เมตร/วินาที²

3.4.6 รางเท (Chute) มีขั้นตอนการพิจารณาดังนี้

1. การไหลของน้ำในรางเท (Chute) เป็นการไหลแบบ Supercritical Flow ตลอดความยาวของรางเท (Chute) ซึ่งจะตรวจสอบได้จากค่า Froude number (Fr) จากสมการ

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gy}} \quad \dots\dots\dots(3.7)$$

- เมื่อ Fr = Froude Number ซึ่งจะต้องมีค่ามากกว่า 1
 v = ความเร็วการไหลของกระแสน้ำที่จุดพิจารณา หน่วยเป็น เมตร/วินาที
 y = ความลึกการไหลของน้ำที่จุดพิจารณา หน่วยเป็น เมตร
 g = อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 เมตร/วินาที²

2. การคำนวณหาความลึกของน้ำที่จุดต่างๆ (Flow Profile) ตลอดความยาวของรางเท (Chute) จะเริ่มต้นคำนวณจาก Control Section ซึ่งสามารถใช้วิธีการได้หลายวิธี โดยจะเป็น Standard Step Method หรือ Direct Step Method ก็ได้ แต่ที่จะกล่าวต่อไปนี้จะใช้วิธี Direct Step Method จาก Open Channel Hydraulic ของ Ven Te Chow ดังนี้

$$\Delta x = \frac{\Delta E}{(S_o - S_f)} \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

- เมื่อ Δx = ระยะทางตามแนวราบระหว่างจุดพิจารณา 2 จุด หน่วยเป็น เมตร
 ΔE = ผลต่างของ Specific Energy ระหว่างจุด 2 จุด หน่วยเป็น เมตร
 $= E_2 - E_1$
 E_1, E_2 = Specific Energy ที่จุด 1 และ จุด 2 หน่วยเป็น เมตร

$$E_1 = y_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g}$$

$$E_2 = y_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g}$$



$y_1, y_2 =$ ความลึกการไหลของน้ำที่จุด 1 และ 2 หน่วยเป็น เมตร

$v_1, v_2 =$ ความเร็วการไหลของกระแสน้ำที่จุด 1 และ 2
หน่วยเป็น เมตร/วินาที

$\alpha =$ Energy Coefficient = 1

$g =$ อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 เมตร/วินาที²

$S_o =$ ความลาดของพื้นรางเท (Chute)

$S_f =$ ค่าเฉลี่ยของ Energy Gradient ระหว่างจุด 1 และ 2

$$= \frac{n^2}{2} \left(\frac{v_1^2}{R_1^{(4/3)}} + \frac{v_2^2}{R_2^{(4/3)}} \right)$$

$R_1 =$ รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) ที่จุด 1

$$= \frac{A_1}{P_1}$$

$R_2 =$ รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) ที่จุด 2

$$= \frac{A_2}{P_2}$$

$A_1, A_2 =$ พื้นที่หน้าตัดที่จุด 1 และ 2 หน่วยเป็น ตารางเมตร

$P_1, P_2 =$ เส้นขอบเปียกที่จุด 1 และ 2 หน่วยเป็น เมตร

$n =$ Roughness Coefficient ของคอนกรีต = 0.014

3. การกำหนดความสูงของกำแพงรางเท (Chute) จะต้องคำนวณ และออกแบบให้กำแพงมีความสูงเพียงพอที่จะไม่ทำให้น้ำภายในรางเท (Chute) ไหลล้นข้ามหรือกระดอนขึ้นข้ามกำแพงรางเท (Chute) ได้ ดังนั้น จึงกำหนดให้ความสูงของกำแพงฯ ดังนี้

$$H_w \geq y + \text{Freeboard} \quad \dots\dots\dots(3.9)$$

เมื่อ $H_w =$ ความสูงของกำแพงรางเท (Chute) หน่วยเป็น เมตร

$y =$ ความลึกน้ำการไหลของน้ำในรางเท (Chute)
หน่วยเป็น เมตร

Freeboard = ระยะจากผิวน้ำถึงหลังกำแพง หน่วยเป็น เมตร

$$= 0.609 + 0.037 v \sqrt[3]{y}$$

(จาก USBR, Design of Small Dams)

$v =$ ความเร็วการไหลของกระแสน้ำในรางเท (Chute)
ณ จุดที่พิจารณา หน่วยเป็น เมตร/วินาที

ค่า Freeboard ที่คำนวณได้ ควรจะต้องเผื่อค่าระดับน้ำที่เกิดขึ้นสูงกว่าปกติ เนื่องจากแรงเหวี่ยงที่ศูนย์กลางโค้งจะได้ค่า

$$\Delta h = \frac{v_{\max}^2}{g} \left\{ \frac{20R_c}{3b} - \frac{16R_c^3}{b^3} + \left(\frac{4R_c^3 - 1}{b^2} \right)^2 \ln \left(\frac{2R_c + b}{2R_c - b} \right) \right\} \dots\dots(3.10)$$

เมื่อ Δh = ผิวหน้าที่เพิ่มขึ้นจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางโค้ง

$v_{\max}$ = ความเร็วที่ศูนย์กลางรางเท (Chute)

R_c = Radius of Curvature (คิดที่ศูนย์กลางอาคาร)

b = ความกว้างของรางเท

g = อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 เมตร/วินาที²

4. การคำนวณโค้งทางตั้ง (Vertical Curve)

- โค้งคว่ำ (Convex) ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความลาดชันรางเท (Chute) ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นดินและฐานราก เพื่อให้การไหลของน้ำราบเรียบสม่ำเสมอ ไม่เกิดโพรงอากาศบนพื้นรางเท (Chute) ที่มีการเปลี่ยนความลาดชันน้อยไปสู่ลาดชันที่มากกว่า ซึ่งอาจจะเกิดความเสียหายให้แก่อาคารได้จึงกำหนดให้ออกแบบเป็นโค้งทางตั้ง ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$-y = x \tan \theta + \frac{x^2}{4k(d + h_v) \cos^2 \theta} \dots\dots\dots(3.11)$$

เมื่อ y = Coordinate ตามแนวตั้ง หน่วยเป็น เมตร

x = Coordinate ตามแนวราบ หน่วยเป็น เมตร

θ = มุมความลาดชันของพื้นด้านเหนือน้ำทำกับท้ายน้ำ; องศา

k = ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีค่าคงที่

≥ 1.5 เพื่อให้เกิด Positive Pressure ตลอดความโค้ง

d = ความลึกการไหลของน้ำที่จุดเปลี่ยนความลาดชัน
หน่วยเป็น เมตร

h_v = Velocity head ที่จุดเปลี่ยนความลาดชัน

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

v = ความเร็วของกระแสน้ำที่จุดเปลี่ยนความลาดชัน
หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 เมตร/วินาที²

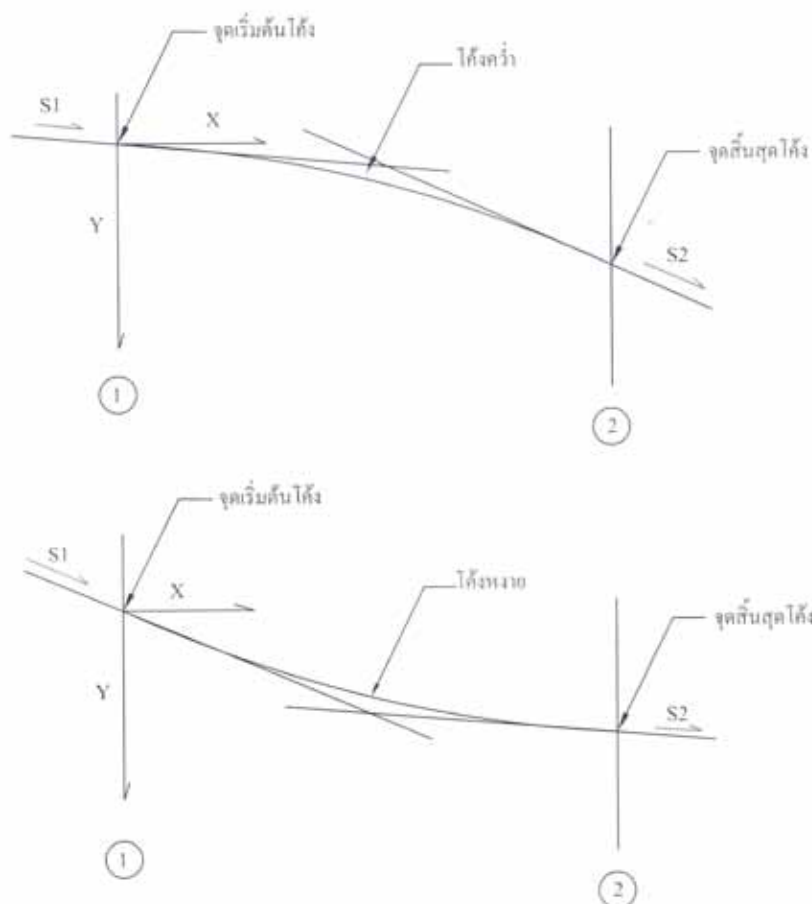


- โค้งหยาย (Concave) เชื่อมระหว่างพื้นรางรถไฟที่เปลี่ยนแปลงความลาดชันจากมากไปสู่ลาดชันน้อย รัศมีโค้งจะต้องมากเพียงพอที่จะไม่ให้เกิดแรงดันที่พื้นเนื่องจากแรงเหวี่ยงของน้ำไหลสูงเกินไป รัศมีโค้งหาได้ ดังนี้

$$R = \frac{2qv}{P} \quad \text{หรือ} \quad R = \frac{2dv^2}{P} \quad \dots\dots\dots(3.12)$$

- เมื่อ R = รัศมีน้อยที่สุดของโค้ง หน่วยเป็น ฟุต
 q = อัตราการไหลต่อความกว้าง
 หน่วยเป็น ลูกบาศก์ฟุต/วินาที/ฟุต
 v = ความเร็วของน้ำ หน่วยเป็น ฟุต/วินาที
 d = ความลึกของน้ำ หน่วยเป็น ฟุต
 P = ความดันพลศาสตร์ที่กระทำกับพื้น
 = 1,000 ปอนด์/ตารางฟุต

โดยที่ R ไม่ควรน้อยกว่า $10d$



รูปที่ 3.4-3 แสดงโค้งทางตั้ง (Vertical Curve)

5. การคำนวณโค้งทางราบ (Horizontal Curve) ในกรณีที่แนวศูนย์กลางของรางเท (Chute) มีการเปลี่ยนทิศทาง จะทำให้การไหลของน้ำในรางเทไม่ราบเรียบสม่ำเสมอ จึงจำเป็นต้องออกแบบความโค้งทางราบให้เหมาะสมกับความเร็วของกระแสน้ำ โดยกำหนดรัศมีให้พอที่จะไม่ทำให้การไหล ของน้ำในโค้งเกิด Cross Wave ดังสมการ

$$\Delta h = \frac{v^2}{g} \frac{b}{r_c} \dots\dots\dots(3.13)$$

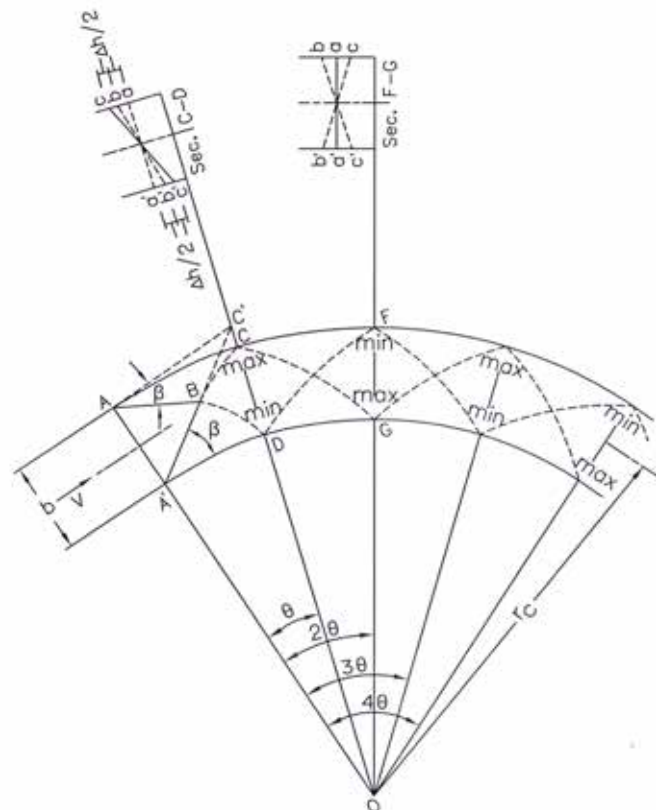
เมื่อ Δh = ระยะแตกต่างของความลึกระดับน้ำที่ขอบนอกและขอบในของรางเท (Chute) หน่วยเป็น เมตร

v = ความเร็วการไหลของน้ำในรางเท (Chute) ก่อนเข้าโค้ง หน่วยเป็น เมตร/วินาที

b = ความกว้างของรางเท (Chute) ที่บริเวณโค้ง หน่วยเป็น เมตร

r_c = รัศมีความโค้งทางราบของรางเท (Chute) หน่วยเป็น เมตร

g = อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 เมตร/วินาที²



รูปที่ 3.4-4 แสดงโค้งทางราบ (Horizontal Curve)

6. การขยายความกว้างของรางเท หรือ มุมผายก้ำแพงรางเท ในบางช่วงอาจมีความจำเป็นจะต้องเปลี่ยนขนาดความกว้างของรางเทให้กว้างขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ ฐานรากและองค์ประกอบส่วนที่ต่อจากรางเท คือ Stilling Basin แต่เนื่องจากการไหลของน้ำในช่วงรางเทได้กำหนดให้เป็นชนิด Supercritical Flow ดังนั้น การขยายความกว้างต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดคลื่นวิ่งไปทางท้ายน้ำ (Shock Wave) ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการกัดเซาะ การขยายความกว้างของรางเท (Chute) คำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$\tan \alpha_c = \frac{1}{3Fr} \quad \dots\dots\dots(3.14)$$

เมื่อ α_c = มุมที่ผายก้ำแพงเบนออกจากแนวศูนย์กลางรางเท (Chute) หน่วยเป็น องศา

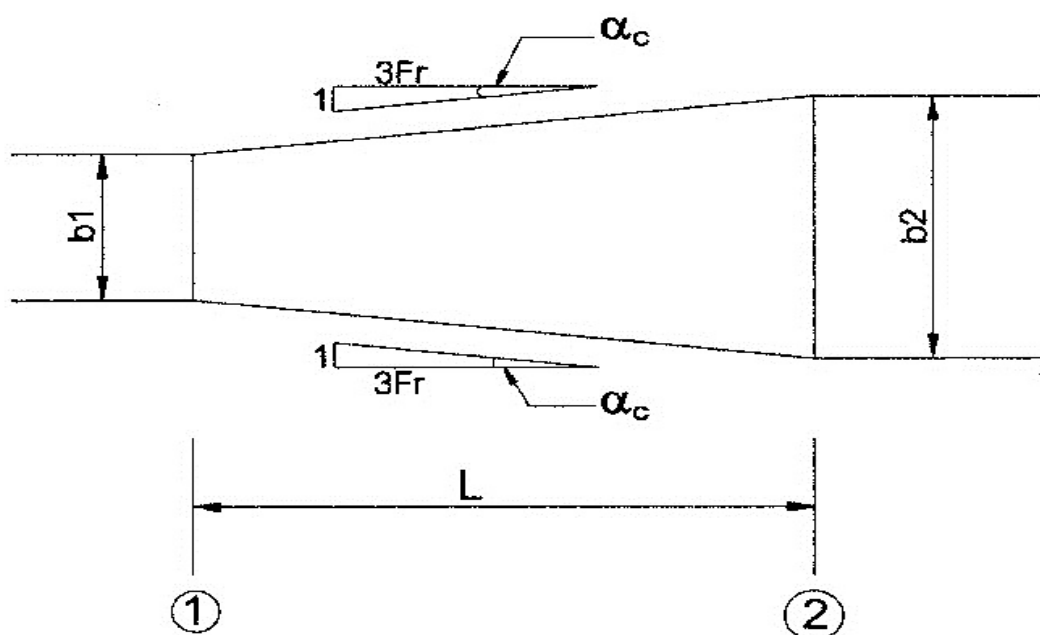
Fr = Froude Number

$$= \frac{v}{\sqrt{y}}$$

v = ความเร็วของการไหลที่จุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนความกว้างรางเท (Chute) หน่วยเป็น เมตร/วินาที

y = ความลึกการไหลของน้ำที่จุดเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงความกว้างรางเท หน่วยเป็น เมตร

g = อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 เมตร/วินาที²



รูปที่ 3.4-5 แสดงการขยายความกว้างของรางเท

7. อาคารสลายพลังน้ำ (Stilling Basin) อาคารสลายพลังน้ำ (Stilling Basin) เป็นองค์ประกอบที่ต่อจากปลายรางเท (Chute) เพื่อเปลี่ยนสถานะการไหลของน้ำจาก Supercritical flow เป็น Critical flow และสุดท้ายเป็น Subcritical flow ตามลำดับ

การคำนวณ-ออกแบบอาคารสลายพลังน้ำ จะยึดรูปแบบ ของ USBR, Design of Small Dams ซึ่งแบ่งชนิดของ Stilling Basin ไว้ 4 ชนิด แบบ Hydraulic Jump Type Basin แต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับค่า Froude Number ของการไหล สำหรับแบบมาตรฐานโครงการชลประทานขนาดเล็กชุดนี้ ได้เลือกใช้ Type III โดยมีค่า Froude Number มากกว่า 4.5 ความเร็วของการไหลไม่เกิน 18 เมตร/วินาที ตามรูปที่ 3.4-7

เพื่อสลายพลังน้ำและทำให้ระยะความยาวของน้ำกระโดดที่เกิดขึ้นสั้นลง อาคารสลายพลังน้ำชนิดนี้จะติดตั้ง Chute Blocks, Baffle Blocks และ End Sill ซึ่งมีลักษณะดังนี้

- Chute Blocks เป็นบล็อกคอนกรีตตันรูปสามเหลี่ยม ติดตั้งที่ปลายรางเท เป็นแนวขวางช่องเว้าช่อง ทำหน้าที่ช่วยยกมวลน้ำที่ไหลผ่านให้สูงขึ้นจากพื้นและมวลน้ำอีกส่วนหนึ่งไหลผ่านช่องว่างระหว่างบล็อก เพื่อช่วยให้น้ำสงบไม่ปั่นป่วน
- Baffle Blocks เป็นบล็อกคอนกรีตติดตั้งช่องเว้าช่อง ขวางทิศทางแอ่งน้ำนิ่งที่ระยะห่างจาก Chute Blocks ประมาณ 0.8 เท่าของความสูงของน้ำกระโดดที่เกิดขึ้น ทำหน้าที่ช่วยลดระยะน้ำกระโดดให้สั้นลงและช่วยสลายพลังน้ำ
- End Sill เป็นบล็อกคอนกรีตตันติดตั้งตลอดแนวขวางของทิศทางน้ำไหลที่ส่วนปลายของพื้นแอ่งน้ำนิ่ง ทำหน้าที่ยกระดับน้ำเพื่อป้องกันการกัดเซาะท้องน้ำบริเวณส่วนที่ต่อจากอาคารแอ่งน้ำนิ่ง

1. การคำนวณความสูงของกำแพง Stilling Basin จะพิจารณาจากความสูงของ Hydraulic Jump ภายใน Stilling Basin (รูปที่ 3.4-6) ดังนี้

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8(Fr_1)^2} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots(3.15)$$

เมื่อ y_1 = ความลึกการไหลของน้ำที่จุดเริ่มเข้า Stilling Basin
หน่วยเป็น เมตร

y_2 = ความลึกการไหลของน้ำภายหลังเกิด Hydraulic Jump
หน่วยเป็น เมตร

Fr_1 = Froude Number
= $\frac{v_1}{\sqrt{gy_1}}$



v_1 = ความเร็วการไหลกระแสน้ำที่จุดเริ่มต้นเข้า Stilling Basin;
หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 เมตร/วินาที²

2. ระยะพ้นน้ำ (Freeboard) หาได้จากสมการ

$$F_B = 0.10 (v_1 + y_2) \dots\dots\dots(3.16)$$

เมื่อ F_B = ระยะพ้นน้ำ หน่วยเป็น เมตร

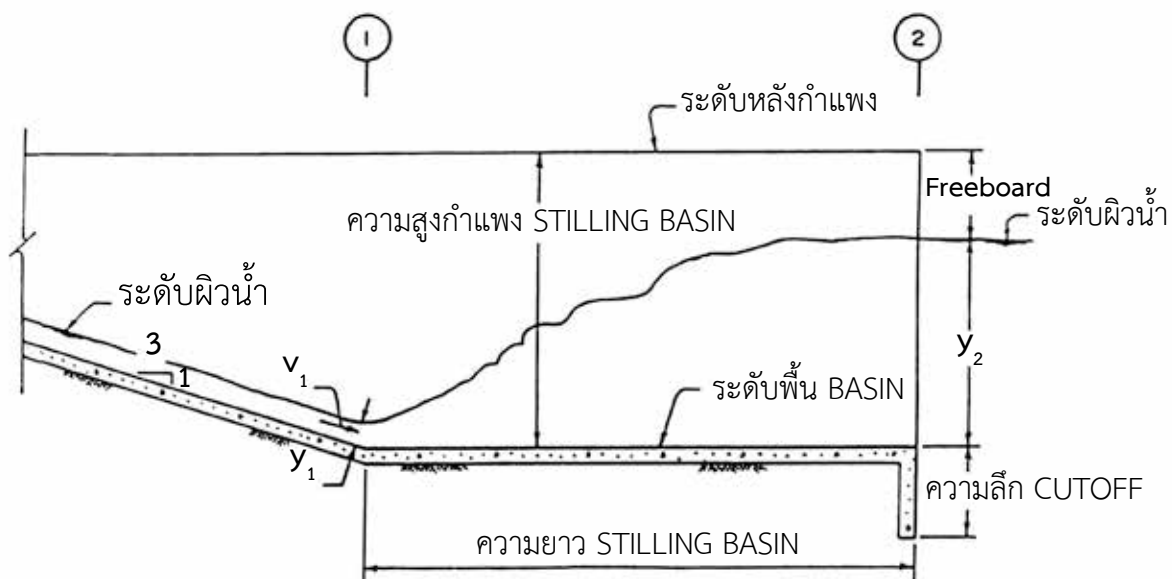
v_1 = ความเร็วการไหลของกระแสน้ำไหลเข้า Stilling Basin
หน่วยเป็น เมตร/วินาที

y_2 = ความลึกการไหลของน้ำภายหลังเกิด Hydraulic Jump
หน่วยเป็น เมตร

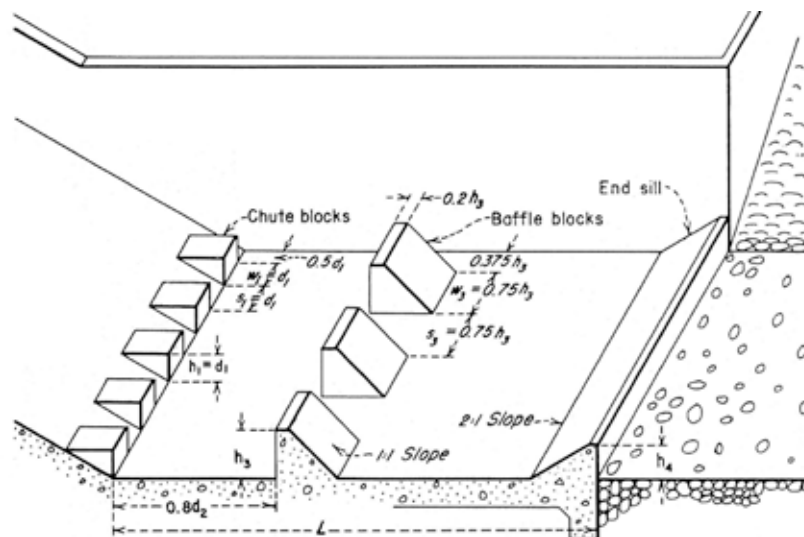
$$\text{ดังนั้นความสูงของกำแพง} = F_B + y_2$$

3. การกำหนดระดับพื้นของ Stilling Basin พื้นของ Stilling Basin จะต้องมียกระดับที่ไม่ทำให้ระดับน้ำของ Hydraulic Jump สูงกว่าระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำที่ต่อจาก Stilling Basin ซึ่งเกิดจากปริมาณน้ำที่ไหล จากรางเท (Chute) ทุกขนาดของปริมาณน้ำ

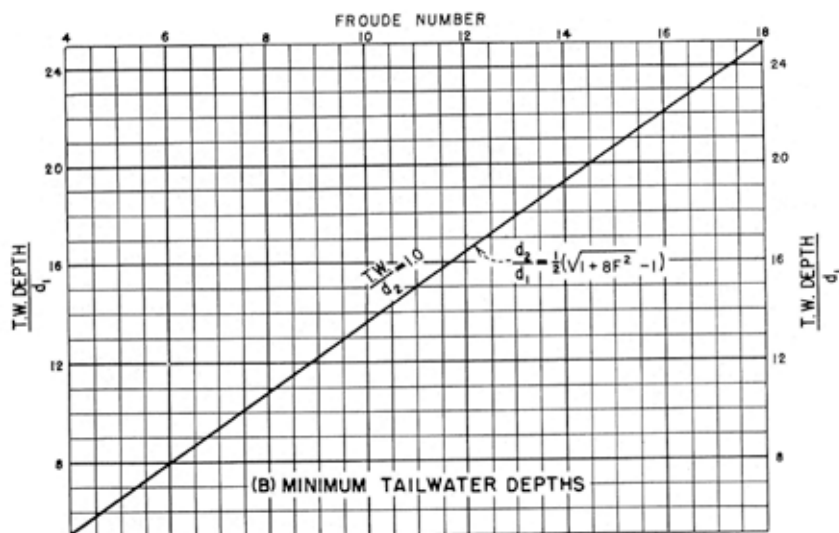
4. การกำหนดความลึกของ Cutoff Wall จะกำหนดให้มีความลึกพอที่จะป้องกันการกัดเซาะของกระแสน้ำที่ปั่นป่วนใน Stilling Basin ด้านท้ายน้ำ ซึ่งจะต้องกำหนดให้ Cutoff wall ควรจะมีความลึกไม่น้อยกว่า 0.60 เมตร แต่ไม่ควรเกิน 2.50 เมตร



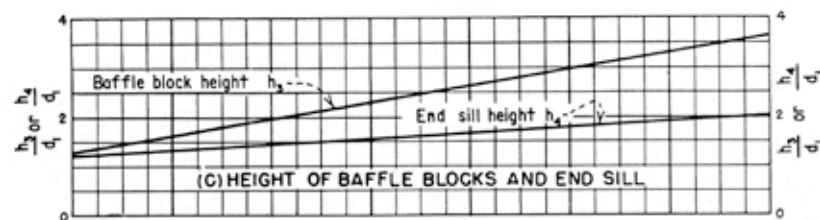
รูปที่ 3.4-6 แสดงการเกิด Hydraulic Jump และ ระยะ Cutoff Wall



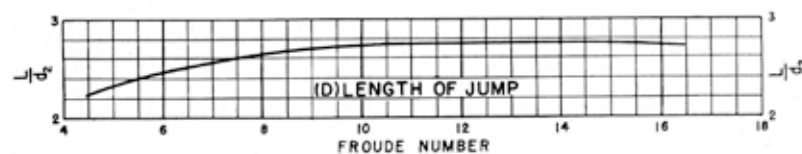
(A) TYPE III BASIN DIMENSIONS



(B) MINIMUM TAILWATER DEPTHS



(C) HEIGHT OF BAFFLE BLOCKS AND END SILL



(D) LENGTH OF JUMP

Stilling basin characteristics for Froude numbers above 4.5
where incoming velocity, $V_1 \leq 60$ ft/s. 288-D-2426.

รูปที่ 3.4-7 แสดง Stilling Basin Type III



5. การคำนวณหินทิ้งหรือหินเรียง เนื่องจากอัตราความเร็วของน้ำด้านท้าย Stilling Basin นั้นค่อนข้างสูง และการสลายพลังน้ำภายใน Stilling Basin ยังไม่หมด เพื่อเป็นการป้องกันการกัดเซาะและเป็นอันตรายกับ Stilling Basin จึงกำหนดให้ด้านท้ายของ Stilling Basin นี้เป็นหินทิ้งหรือหินเรียง โดยมีหลักการพิจารณาดังนี้

- ความยาวของหินทิ้งหรือหินเรียงจะต้องมีความยาวไม่น้อย 6 เท่าของความลึกของน้ำในคลองระบายน้ำ

- ความหนาของหินทิ้งหรือหินเรียงจะต้องเท่ากับหรือมากกว่า 1.5 เท่าของขนาดหิน

เนื่องจากหินทิ้งหรือหินเรียงมีน้ำหนักมากและการทิ้งจะมีช่องว่างระหว่างก้อนหินซึ่งจะทำให้ก้อนหินจมลงในดินได้ ดังนั้น การแก้ปัญหาดังกล่าว จำเป็นจะต้องมีวัสดุรองพื้น (Bedding Material) ก่อนที่จะทิ้งหินหรือเรียงหิน ชนิดของวัสดุรองพื้น (Bedding Material) จะเป็นวัสดุจำพวก กรวด ทราย ที่มี Gradation ตามที่กำหนด ส่วนความหนานั้นใช้ดังนี้

ความหนาของ Bedding ≥ 0.5 เท่าของความหนาหินทิ้งหรือหินเรียง

3.4.7 ทางทิ้งน้ำลงลำน้ำเดิม หรือคลองระบายน้ำ (Drainage Channel) น้ำที่ล้นผ่าน Stilling Basin จะไหลลงสู่ลำน้ำเดิม โดยจะมีคลองระบายน้ำต่อเชื่อมเพื่อรับน้ำจาก Stilling Basin ไหลลงสู่ลำน้ำเดิม

คลองระบายน้ำลงลำน้ำเดิมนี้อาจเป็นคลองเปิดลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ตัดผ่านไปตามสภาพภูมิประเทศ โดยความเร็วของกระแสน้ำจะอยู่ระหว่าง 0.60 – 1.10 เมตร/วินาที เพื่อไม่ให้เกิดการกัดเซาะและการตกตะกอน สูตรที่ใช้คำนวณหาขนาดของคลองระบายน้ำจะใช้สูตรของ Manning & s Formular ดังนี้

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} A \quad \dots\dots\dots(3.17)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านคลองระบายน้ำ
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที

n = Roughness Coefficient (Manning's n)
= 0.0225 - 0.035 ขึ้นอยู่กับชนิดของพื้นผิวสัมผัส

R = รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius)
= $\frac{A}{P}$

A = พื้นที่หน้าตัดคลองระบายน้ำ หน่วยเป็น ตารางเมตร
= $(b + Zy) y$

b = ความกว้างของก้นคลองระบายน้ำ หน่วยเป็น เมตร

$$\begin{aligned}
 Z &= \text{Side Slope ของคลองระบายน้ำ} \\
 &= 1.5 - 2 \text{ หรือตามความเหมาะสมของสภาพความมั่นคงของดิน} \\
 y &= \text{ความลึกการไหลของน้ำในคลองระบายน้ำ หน่วยเป็น เมตร} \\
 P &= \text{เส้นขอบเปียก (Wetted Perimeter) หน่วยเป็น เมตร} \\
 &= (b + 2y\sqrt{1 + Z^2})
 \end{aligned}$$

$$S = \text{ความลาดท้องคลองระบายน้ำตามแนวศูนย์กลางคลอง}$$

การกำหนดค่า Freeboard ของคลองระบายน้ำ ไม่ควรมีค่าน้อยกว่า 0.50 เมตร หรือใช้สูตร

คำนวณ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 F &= 0.20 + 0.20 y \dots\dots\dots(3.18) \\
 \text{เมื่อ } F &= \text{Freeboard ของคลองระบายน้ำ หน่วยเป็น เมตร} \\
 y &= \text{ความลึกการไหลของน้ำในคลองระบายน้ำ หน่วยเป็น เมตร}
 \end{aligned}$$



บทที่ 4

การออกแบบอาคารทอส่งน้ำ (Outlet Works)

อาคารทอส่งน้ำ (Outlet Works) แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ ดังนี้

1. อาคารทอส่งน้ำเพื่อการชลประทาน (Canal Outlet) คือ อาคารทอส่งน้ำที่ทำหน้าที่ส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำเข้าคลองชลประทานเพื่อการเกษตรกรรม ให้แก่พื้นที่ชลประทานทางด้านท้ายเขื่อน
2. อาคารทอระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (River Outlet) คือ อาคารทอส่งน้ำที่ทำหน้าที่ระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำ ไหลลงสู่ลำน้ำเดิมด้านท้ายเขื่อน เพื่อให้ราษฎรที่อาศัยอยู่สองฝั่งของลำน้ำใช้น้ำอุปโภคบริโภค การเกษตร และการรักษาระบบนิเวศน์

4.1 ส่วนประกอบของอาคารทอส่งน้ำ (Component of Outlet Works)

ส่วนประกอบที่สำคัญของอาคารทอส่งน้ำโดยทั่วไป จะแบ่งออกได้ตามลักษณะของรูปแบบอาคารใช้งาน และทางด้านชลศาสตร์ ดังต่อไปนี้

4.1.1 ทางชักน้ำ หรือคลองชักน้ำ (Intake Channel หรือ Approach Channel)

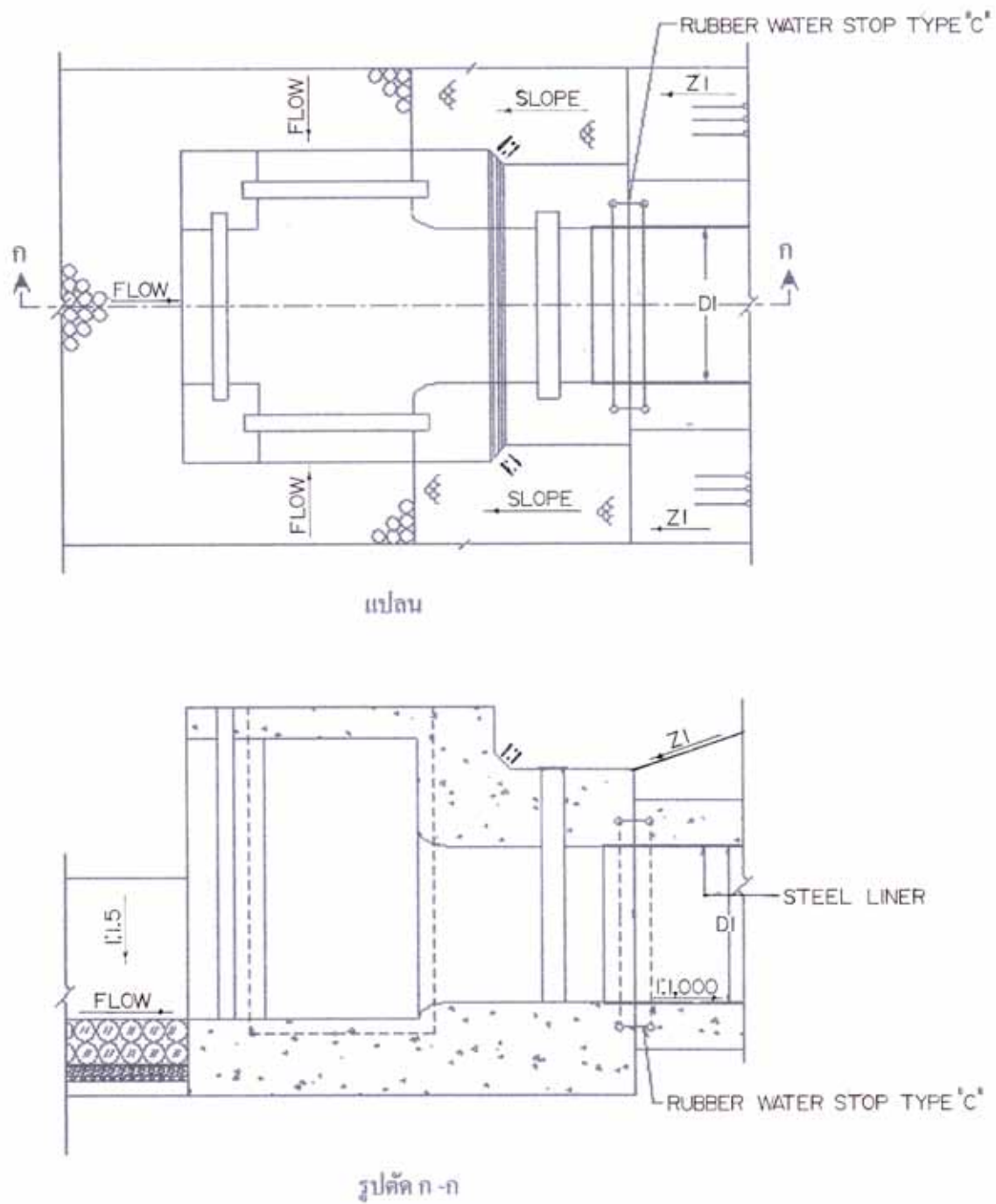
ทางชักน้ำ หรือคลองชักน้ำ เป็นการขุดคลองเพื่อนำน้ำจากอ่างเก็บน้ำเข้าสู่อาคารรับน้ำ (Intake Structure) เพื่อจะส่งเข้าทอส่งน้ำ

4.1.2 อาคารรับน้ำ (Intake Structure)

อาคารรับน้ำ (Intake Structure) สำหรับโครงการชลประทานขนาดเล็กตามแบบมาตรฐาน หมายเลข มฐ 05-03-01 ถึง มฐ 05-03-002 นั้น เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำหน้าที่เป็นช่องทางรับน้ำจากทางชักน้ำ หรืออ่างเก็บน้ำไหลเข้าทอส่งน้ำ ตำแหน่งที่ตั้งของอาคารรับน้ำจะอยู่ที่ปากทอส่งน้ำด้านในอ่างเก็บน้ำ ด้านเหนือน้ำ ซึ่งจะอยู่ใกล้กับลาดด้านหน้าตัวเขื่อน ระดับพื้นของอาคารรับน้ำจะอยู่ที่ระดับน้ำต่ำสุด (ร.น.ต.) ลักษณะทั่วไปจะเป็นรูปสี่เหลี่ยม เปิดทางรับน้ำเข้าทางด้านหน้า ด้านข้างหรือด้านบน โดยจะมีตะแกรงกันสวะ (Trashrack) ติดตั้งไว้ทุกด้าน เพื่อป้องกันไม่ให้กิ่งไม้ ต้นไม้ หรือสิ่งกีดขวางอื่นที่ไม่พึงประสงค์ ไหลเข้าไปในทอส่งน้ำ หรือทำให้เกิดการอุดตันได้ บริเวณปากทอส่งน้ำจะติดตั้งช่องไว้ใส่ Bulkhead Gate ป้องกันน้ำไหลเข้าทอส่งน้ำ ในกรณีที่ต้องการทำตรวจสอบและซ่อมแซมทอส่งน้ำ (ดูรูปที่ 4.1-1)

4.1.3 ท่อส่งน้ำ หรือท่อลำเลียงน้ำ (Outlet Conduit)

ท่อส่งน้ำ หรือท่อลำเลียงน้ำ (Outlet Conduit) เป็นส่วนที่ต่อจากอาคารรับน้ำ (Intake Structure) ทำหน้าที่เป็นท่อนำน้ำจากอ่างเก็บน้ำลอดผ่านตัวเขื่อน โดยจะออกแบบเป็นท่อเหล็กกลม (Steel liner) หุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก



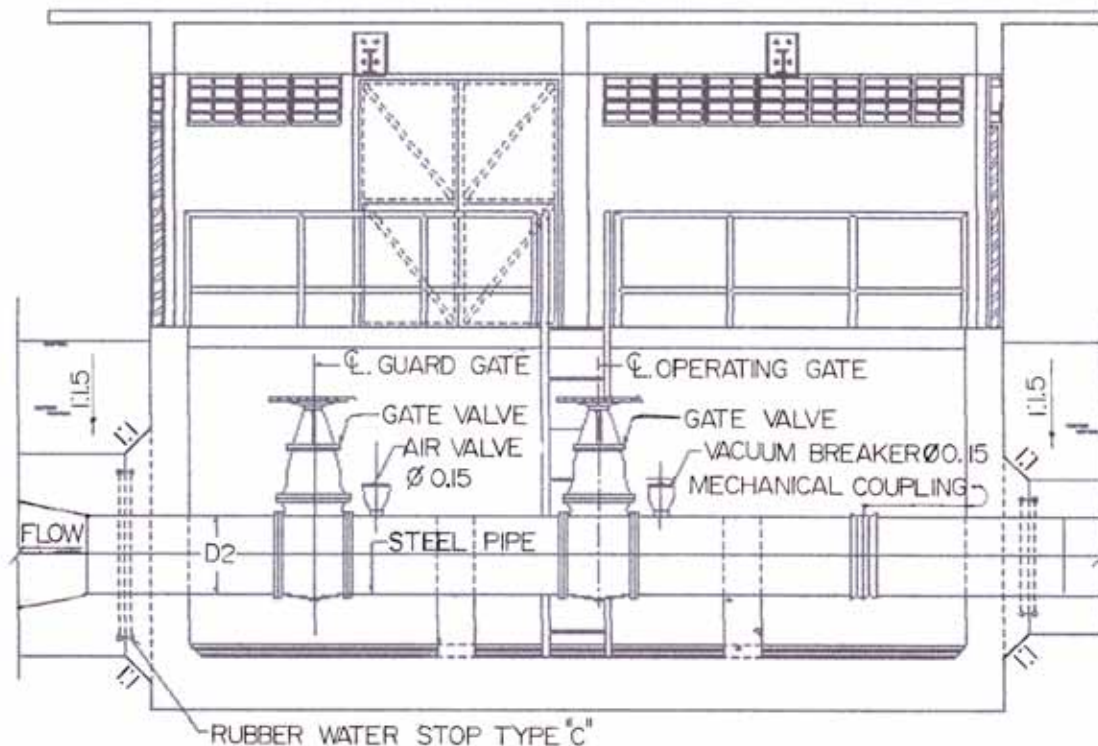
รูปที่ 4.1-1 แสดงลักษณะทั่วไปอาคารรับน้ำ (Intake Structure)

4.1.4 อาคารควบคุมการส่งน้ำ (Control House)

อาคารควบคุมการส่งน้ำ (ดูรูปที่ 4.1-2) ตามแบบ มฐ 05-03-004 เป็นส่วนที่ต่อจากท่อส่งน้ำหรือท่อลำเลียงน้ำ (Conduit) ภายในอาคารจะติดตั้งประตุน้ำสำหรับการปิด-เปิดน้ำที่ส่งไปใช้งานทางด้านท้ายเขื่อน ประกอบด้วยบานประตูบังคับน้ำสองชุด ได้แก่

1. ชุดที่ 1 เรียกว่า Guard Gate หรือ ประตูน้ำฉุกเฉิน จะอยู่ด้านเหนือน้ำของ Operating Gate ประตูน้ำส่วนนี้จะทำหน้าที่ปิดน้ำเพื่อการซ่อมแซมแก้ไข Operating Gate โดยปกติจะเปิดประตูน้ำ Guard Gate ตลอดเวลา
2. ชุดที่ 2 เรียกว่า Operating Gate หรือ ประตูน้ำใช้งาน เป็นประตูน้ำที่ทำหน้าที่ควบคุมปิด-เปิด เพื่อการส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำไปยังด้านท้ายน้ำ (Downstream) ตามปริมาณการใช้น้ำที่ต้องการ

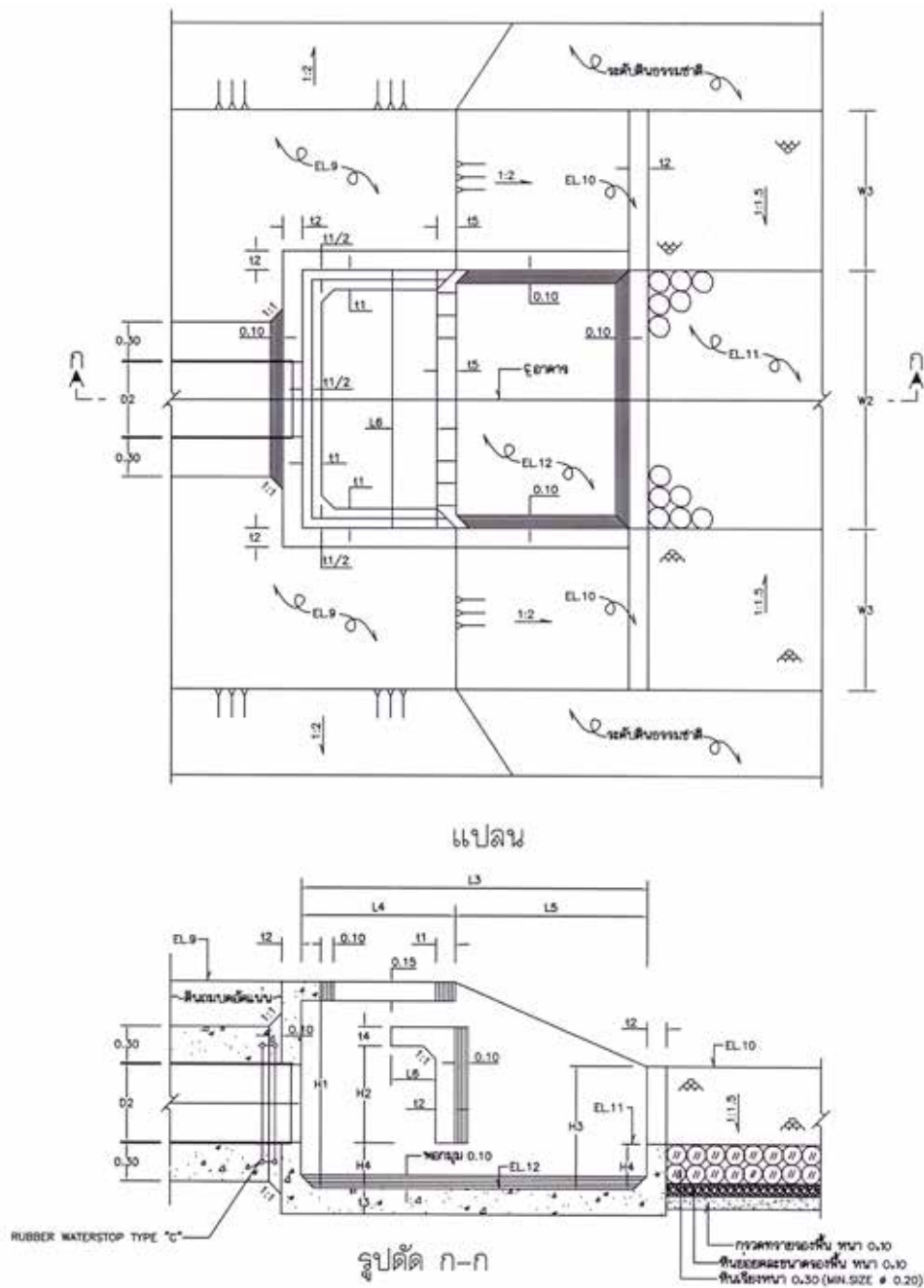
สำหรับกรณีที่ประตูน้ำ Guard Gate เสียหาย การซ่อมแซมต้องใช้วิธีลดระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำให้ต่ำลงถึงระดับน้ำต่ำสุด แล้วใช้ Bulkhead Gate ปิดทางปากท่อส่งน้ำป้องกันไม่ให้น้ำไหลผ่านเข้าท่อตำแหน่งที่ตั้งอาคารควบคุมการส่งน้ำ (Control House) จะตั้งอยู่ที่ปลายท่อส่งน้ำทางด้านท้ายเขื่อน (Control at Downstream End)



รูปที่ 4.1-2 แสดงอาคารควบคุมการส่งน้ำ (Control House)

4.1.5 อาคารท้ายน้ำ (Terminal Structure)

อาคารท้ายน้ำ (Terminal Structure) เป็นอาคารที่ต่อจากอาคารควบคุมการส่งน้ำ จะทำหน้าที่สลายพลังงานที่ไหลพุ่งด้วยความเร็วสูง จากท่อส่งน้ำให้ลดน้อยลง จนไม่เกิดอันตรายต่อคลองส่งน้ำ หรือลำน้ำเดิมด้านท้ายน้ำ สำหรับแบบมาตรฐานโครงการชลประทานขนาดเล็ก ออกแบบเป็นชนิด Impact Type Stilling Basin (Baffled Outlet) (ดูรูปที่ 4.1-3)



รูปที่ 4.1-3 แสดงอาคารท้ายน้ำ (Terminal Structure)

4.2 การคำนวณออกแบบอาคารท่อส่งน้ำ (Outlet Works)

4.2.1 ทางชักน้ำ หรือคลองชักน้ำ (Intake Channel หรือ Approach Channel)

สำหรับแบบมาตรฐานโครงการชลประทานขนาดเล็ก ทางชักน้ำเข้าจะมีขนาดขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดตามรายละเอียดในแบบมาตรฐานหมายเลข มฐ 05-03-001 และ มฐ 05-03-002 แล้ว

4.2.2 อาคารรับน้ำ (Intake Structure)

สำหรับแบบมาตรฐานโครงการชลประทานขนาดเล็ก อาคารรับน้ำ (Intake Structure) จะมีขนาดขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดตามรายละเอียดในแบบมาตรฐานหมายเลข มฐ 05-03-003 และ มฐ 05-03-007

4.2.3 ท่อส่งน้ำ (Conduit)

การคำนวณการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำ (Conduit) ต้องคำนวณการไหลภายใต้ความดัน (Under Pressure Flow) เนื่องจากที่ปลายท่อส่งน้ำ จะมี Gate Valve ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำอยู่ ดังนั้น ในการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ เพื่อหาปริมาณน้ำไหลผ่านท่อ และ Head Losses ต่างๆ ของ Outlet Works ทั้งหมด จึงต้องเริ่มต้นจาก Intakes Structure จนถึงปลายท่อส่งน้ำออก (Outlet Conduit)

การคำนวณหาปริมาณน้ำผ่านท่อส่งน้ำ และการหา Head Losses ต่างๆ จะใช้ตาม Bernoulli's Equation จากแบบมาตรฐานหมายเลข มฐ 05-03-001 และ มฐ 05-03-002 จะได้สมการ

$$H_T = h_t + h_e + h_f + h_c + h_{ex} + h_b + h_g + h_v \dots\dots\dots(4.1)$$

เมื่อ H_T = ผลรวมของ Head Losses ต่างๆ ทั้งระบบ
หน่วยเป็น เมตร

h_t = Trashrack Losses

h_e = Entrance Losses

h_f = Friction Losses

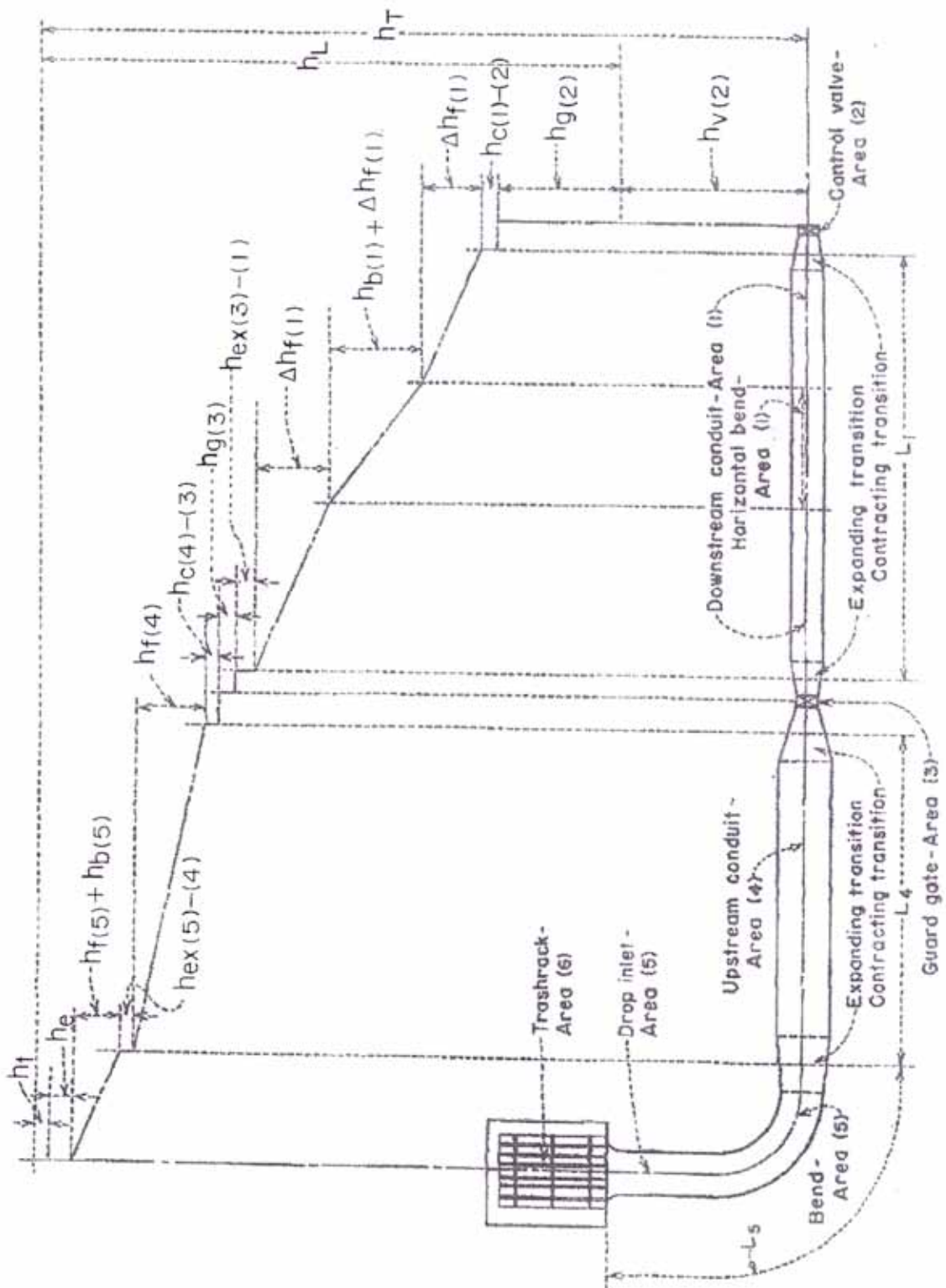
h_c = Contraction Losses

h_{ex} = Expansion Losses

h_b = Bend Losses

h_g = Gate Losses

h_v = Exit Losses



รูปที่ 4.2-1 แสดง Head Losses ต่างๆ ในระบบท่อส่งน้ำภายใต้ความดัน (Under Pressure Flow)

ซึ่ง Head Losses ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วย

1. Trashrack Losses (h_t) หาได้จาก

$$h_t = K_t \left(\frac{V_n^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(4.2)$$

เมื่อ K_t = Trashrack loss Coefficient

$$= 1.45 - 0.45 \frac{a_n}{a_g} - \left(\frac{a_n}{a_g} \right)^2$$

a_n = พื้นที่น้ำผ่านตะแกรงกันสวะสุทธิ หน่วยเป็น ตารางเมตร

a_g = พื้นที่ทั้งหมดของ Trashrack หน่วยเป็น ตารางเมตร

V_n = ความเร็วการไหลของน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่ Trashrack

= 0.60 เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก

= 9.81 เมตร/วินาที²

2. Entrance Losses ที่ปากท่อส่งน้ำ (h_e) หาได้จาก

$$h_e = K_e \left(\frac{V_e^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(4.3)$$

เมื่อ K_e = Entrance Loss Coefficient

= 0.16 (ค่าเฉลี่ยสำหรับ Square Bellmouth Entrance)

V_e = ความเร็วการไหลของน้ำที่ปากทางเข้า

หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก

= 9.81 เมตร/วินาที²

3. Friction Losses ของท่อส่งน้ำ (h_f) หาได้จาก

$$h_f = 124.5n^2 \frac{L}{D^{4/3}} \left(\frac{V_p^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(4.4)$$

เมื่อ n = Roughness Coefficient ของท่อเหล็ก

= 0.012

L = ความยาวท่อส่งน้ำ หน่วยเป็น เมตร

V_p = ความเร็วการไหลของกระแสในท่อส่งน้ำ เมตร/วินาที

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ หน่วยเป็น เมตร

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก

= 9.81 เมตร/วินาที²

4. Contraction Losses เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของท่อจากใหญ่ไปเล็ก (h_c) หาได้จาก

$$h_c = K_c \left[\frac{V_d^2 - V_u^2}{2g} \right] \dots\dots\dots(4.5)$$

เมื่อ K_c = Contraction Coefficient
 = 0.10 กรณีค่อยๆ เปลี่ยนขนาด (Flare Angle ไม่เกิน 10°)
 = 0.50 กรณีเปลี่ยนขนาดทันทีทันใด
 (For Abrupt Contraction)

V_d = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำด้านท้ายน้ำ
 (Downstream Velocity) หน่วยเป็น เมตร/วินาที

V_u = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำด้านเหนือน้ำ
 (Upstream Velocity) หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก
 = 9.81 เมตร/วินาที²

5. Expansion Losses เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของท่อจากเล็กไปใหญ่ (h_{ex}) หาได้จาก

$$h_{ex} = K_{ex} \left[\frac{V_u^2 - V_d^2}{2g} \right] \dots\dots\dots(4.6)$$

เมื่อ K_{ex} = Expansion Coefficient จะผันแปรตามค่ามุมที่ผายออก
 (ดูจากตารางที่ 4.2-1)

V_u = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำด้านเหนือน้ำ
 (Upstream Velocity) หน่วยเป็น เมตร/วินาที

V_d = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำด้านท้ายน้ำ
 (Downstream Velocity) หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก
 = 9.81 เมตร/วินาที²

ตารางที่ 4.2-1 Expansion Coefficient

Flar Angle (θ)	2°	5°	10°	12°	15°	20°	25°	30°	40°	50°	60°
K_{ex}	0.03	0.04	0.08	0.10	0.16	0.31	0.40	0.49	0.60	0.67	0.72



6. Bend Losses กรณีที่ท่อส่งน้ำเปลี่ยนแนวทิศทาง (h_b) หาได้จาก

$$h_b = K_b \left[\frac{V^2}{2g} \right] \dots\dots\dots(4.7)$$

เมื่อ K_b = bend Loss Coefficient (ดูรูปที่ 4.2-1)

V = ความเร็วของน้ำในท่อส่งน้ำ หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก

= 9.81 เมตร/วินาที²

สำหรับการหาค่า K_b ตามรูปที่ 4.2-1 นี้ ใน USBR, Design of Small Dams ได้กำหนดไว้ว่า
กรณีที่ท่อมีขนาดใหญ่ ให้ใช้เส้นกราฟ Adjusted Curve

โดยที่ R_b = รัศมีความโค้งของข้องอ

D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ หน่วยเป็น เมตร (กรณีเป็นท่อกลม)

= ความสูงของท่อ หน่วยเป็น เมตร (กรณีเป็นท่อเหลี่ยม)

7. Gate Losses จะเกิดที่บานระบายน้ำ (Gate Valve) ทั้งสองแห่ง (Guard Gate และ Operating Gate) (h_g) หาได้จาก

$$h_g = h_{g1} + h_{g2} \dots\dots\dots(4.8)$$

$$h_{g1} = K_{g1} \left(\frac{V_{g1}^2}{2g} \right)$$

$$h_{g2} = K_{g2} \left(\frac{V_{g2}^2}{2g} \right)$$

เมื่อ h_{g1} = Guard Gate Loss

h_{g2} = Operating Gate Loss

K_{g1} = Gate Loss Coefficient สำหรับ Guard Gate

= 0.19 สำหรับการเปิด Gate เต็มที่ (100%)

K_{g2} = Gate Loss Coefficient สำหรับ Operating Gate ซึ่งขึ้นอยู่กับ
เปอร์เซ็นต์ของการเปิด Gate

= 0.19 สำหรับการเปิด Gate เต็มที่ (100%)

= 1.15 สำหรับการเปิด Gate เต็มที่ (75%)

= 5.60 สำหรับการเปิด Gate เต็มที่ (50%)

= 24.0 สำหรับการเปิด Gate เต็มที่ (25%)

V_{g1} = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำของ Guard Gate
หน่วยเป็น เมตร/วินาที

V_{g2} = ความเร็วการไหลของน้ำในท่อส่งน้ำของ Operating Gate
หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก
= 9.81 เมตร/วินาที²

8. Exit Losses เป็นการสูญเสีย head ที่ปลายท่อส่งน้ำออก (Outlet) (h_v) หาได้จาก

$$h_v = K_v \left(\frac{V^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(4.9)$$

เมื่อ K_v = Exit Velocity head Coefficient
= 1.00 เมื่อน้ำไหลออกจากปลายท่อเป็น Free Discharge
= $\left(\frac{a_1}{a_2} \right)^2$

เมื่อพื้นที่ปลายท่อถูกขยายจาก a_1 เป็น a_2

V = ความเร็วการไหลของน้ำขณะออกจากท่อส่งน้ำ
หน่วยเป็น เมตร/วินาที

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงโลก
= 9.81 เมตร/วินาที²

จากการคำนวณ Head Losses ต่างๆ ของท่อตลอดความยาวแล้ว สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำไหลผ่านท่อได้ดังสมการ

$$Q = A \sqrt{\frac{2gH_T}{K_L}} \dots\dots\dots(4.10)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำไหลผ่านท่อในระดับต่างๆ ของอ่างเก็บน้ำ
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที

A = พื้นที่ของการเปิดบานระบายน้ำ หน่วยเป็น ตารางเมตร

H_T = Total head Losses หรือความสูงของระดับน้ำจากระดับท่อส่งน้ำ หน่วยเป็น เมตร

K_L = Total Loss Coefficient

การหาความหนาของท่อ Steel Liner จะพิจารณา 2 กรณี คือ

1. การหาความหนาของท่อ Steel Liner เพื่อต้านแรงดันของน้ำ

$$t = Y \frac{hD}{2f_s} \dots\dots\dots(4.11)$$

(จาก Hook Tension Stress ซึ่งเกิดที่ศูนย์กลางท่อ)



- โดยที่ t = ความหนาของท่อเหล็ก (Steel Liner)
หน่วยเป็น เซนติเมตร
- γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ
= 0.001 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
- h = ร.น.ส. – ระดับศูนย์กลางท่อที่ตำแหน่งต่ำที่สุด
หน่วยเป็น เซนติเมตร
- D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อส่งน้ำ หน่วยเป็น เซนติเมตร
- f_s = หน่วยแรงดึงของเหล็กที่ยอมให้
= 1,400 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

2. การหาความหนาของท่อ Steel Liner ต่ำสุด ตามข้อกำหนด

$$t_{\min} = \frac{D + 50.8}{400} \dots\dots\dots(4.12)$$

เมื่อ $t_{\min}$ = ความหนาของท่อ Steel Liner ต่ำสุด
หน่วยเป็น เซนติเมตร

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ หน่วยเป็น เซนติเมตร

เปรียบเทียบความหนาระหว่างกรณีที่ 1 กับ กรณีที่ 2 ค่าใดมากกว่าให้ใช้ค่านั้นในการออกแบบท่อส่งน้ำ Steel Liner

สำหรับ Stress ที่เกิดขึ้นในผนังท่อที่ยอมได้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่กำหนดไว้ใน Welded Steel Penstocks : USBR 1967 คือ

$$f_s = \frac{Dp}{2te} \dots\dots\dots(4.13)$$

เมื่อ f_s = Stress ที่เกิดขึ้นในผนังท่อ
หน่วยเป็น กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

t = Thickness of Pipe หน่วยเป็น เซนติเมตร

e = Efficiency of Joint

= 0.7 ในกรณีที่รอยเชื่อมเป็นแบบ Double-Welded Butt Joint
โดยมีการสุ่มตรวจรอยเชื่อมด้วยวิธี Radio Graphic

D = Inside Diameter of Pipe หน่วยเป็น เซนติเมตร

p = Internal Pressure หน่วยเป็น กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

4.2.4 บานระบายน้ำ (Gate Valve)

สำหรับระบบบานระบายน้ำที่ติดตั้งระหว่างท่อส่งน้ำ (Conduit) จะออกแบบเป็นชนิด Gate Valve โดยมี 2 ชุด คือ ชุดแรกอยู่ด้านเหนือน้ำจะทำหน้าที่เป็น Guard Gate และชุดที่สองอยู่ด้านท้ายน้ำจะทำ

หน้าที่เป็น Operating Gate โดยติดตั้งอยู่ในบริเวณ Control House โดย Gate Valve ทั้งสองแห่งนี้ จะต้องรับแรงดันน้ำได้ไม่น้อยกว่าที่กำหนด

4.2.5 อาคารท้ายน้ำ (Terminal Structure)

อาคารท้ายน้ำ (Terminal Structure) เป็นอาคารรับน้ำจากปลายท่อส่งน้ำออก (Outlet Conduit) ซึ่งยังมีพลังงานของน้ำสูง จึงจำเป็นที่จะต้องมียอาคารสำหรับสลายพลังงานของน้ำก่อนที่จะส่งน้ำไปยังระบบส่งน้ำหรือลงสู่ลำน้ำเดิม สำหรับแบบมาตรฐานโครงการชลประทานขนาดเล็กนี้ได้ออกแบบอาคารท้ายน้ำ (Terminal Structure) เป็นชนิด Impact Type Stilling Basin (Baffled Outlet)

อาคารนี้จะทำหน้าที่สลายพลังงานที่ไหลออกจากปลายท่อส่งน้ำ ที่มีความเร็วการไหลของน้ำไม่เกิน 15 เมตร/วินาที ให้มีพลังงานต่ำจนไม่สามารถทำความเสียหายกับอาคารได้ เหมาะกับท่อส่งน้ำที่มีปริมาณน้ำไหลผ่านน้อย การคำนวณหาขนาดรูปร่างมีรายละเอียดดังนี้

$$V = \frac{Q_m}{A} \dots\dots\dots(4.14)$$

เมื่อ V = ความเร็วการไหลของน้ำที่ไหลออกจากปลายท่อส่งน้ำ
< 15 เมตร/วินาที

Q_m = ปริมาณน้ำไหลผ่านท่อส่งน้ำสูงสุด
หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร/วินาที

A = พื้นที่หน้าตัดท่อส่งน้ำ หน่วยเป็น ตารางเมตร

$$\text{Theoretical Velocity, } V = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots(4.15)$$

h = ผลต่างของระดับน้ำหน้าท่อกับระดับน้ำ
ที่ปลายท่อ หน่วยเป็น เมตร

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงโลก
= 9.81 เมตร/วินาที²

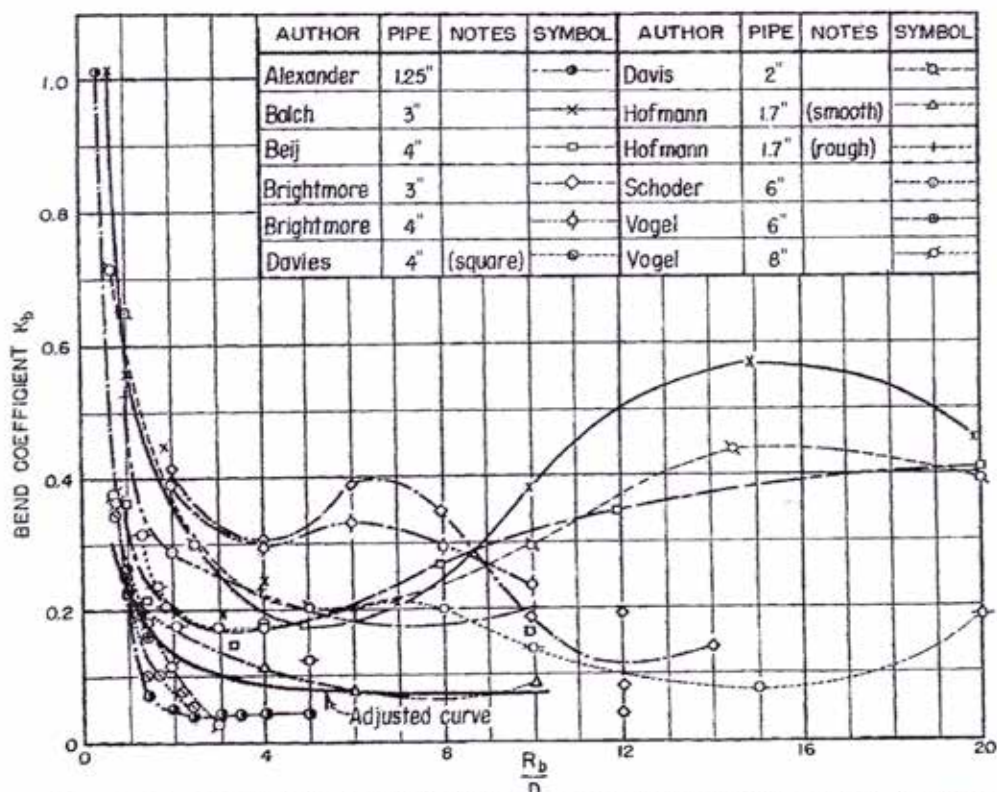
$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gd}} \dots\dots\dots(4.16)$$

เมื่อ Fr = Froude number ซึ่งจะต้องไม่มากกว่า 9.0

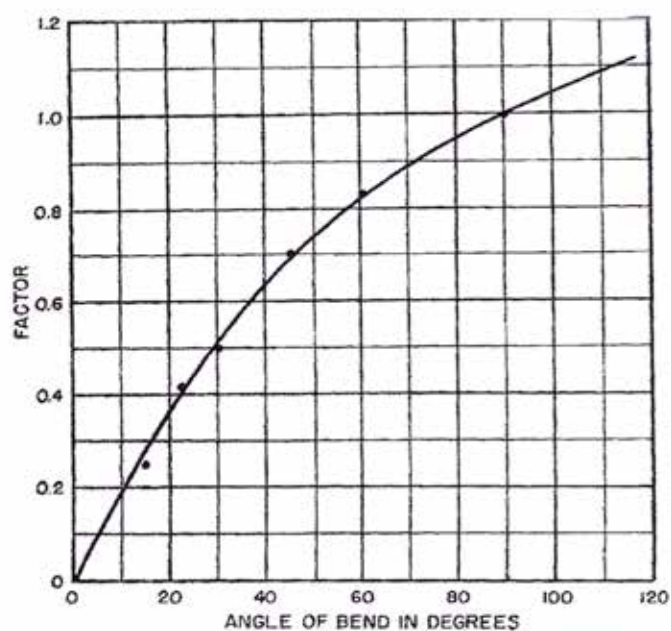
d = ความลึกของน้ำที่ไหลเข้า Basin
= เส้นผ่าศูนย์กลางท่อส่งน้ำ หน่วยเป็น เมตร

ปกติรูปร่างและขนาดต่างๆ ของอาคารท้ายน้ำหาได้โดยใช้ค่า Fr นำไปหาขนาด และมิติของอาคารท้ายน้ำชนิด Impact Type Stilling Basin ตามรูปที่ 4.2-3 ขนาดและมิติของอาคารที่ได้จากการคำนวณตามรูปที่ 4.2-3 นี้ เป็นค่าขั้นต่ำที่จะนำมาใช้งาน ซึ่งผู้ออกแบบสามารถปรับได้ตามความเหมาะสม สำหรับแบบมาตรฐานหมายเลข มฐ 05-03-003 ได้กำหนดค่าต่างๆ ซึ่งมีการปรับมิติต่างๆ ตามขนาดท่อและปริมาณน้ำสูงสุดไว้แล้ว



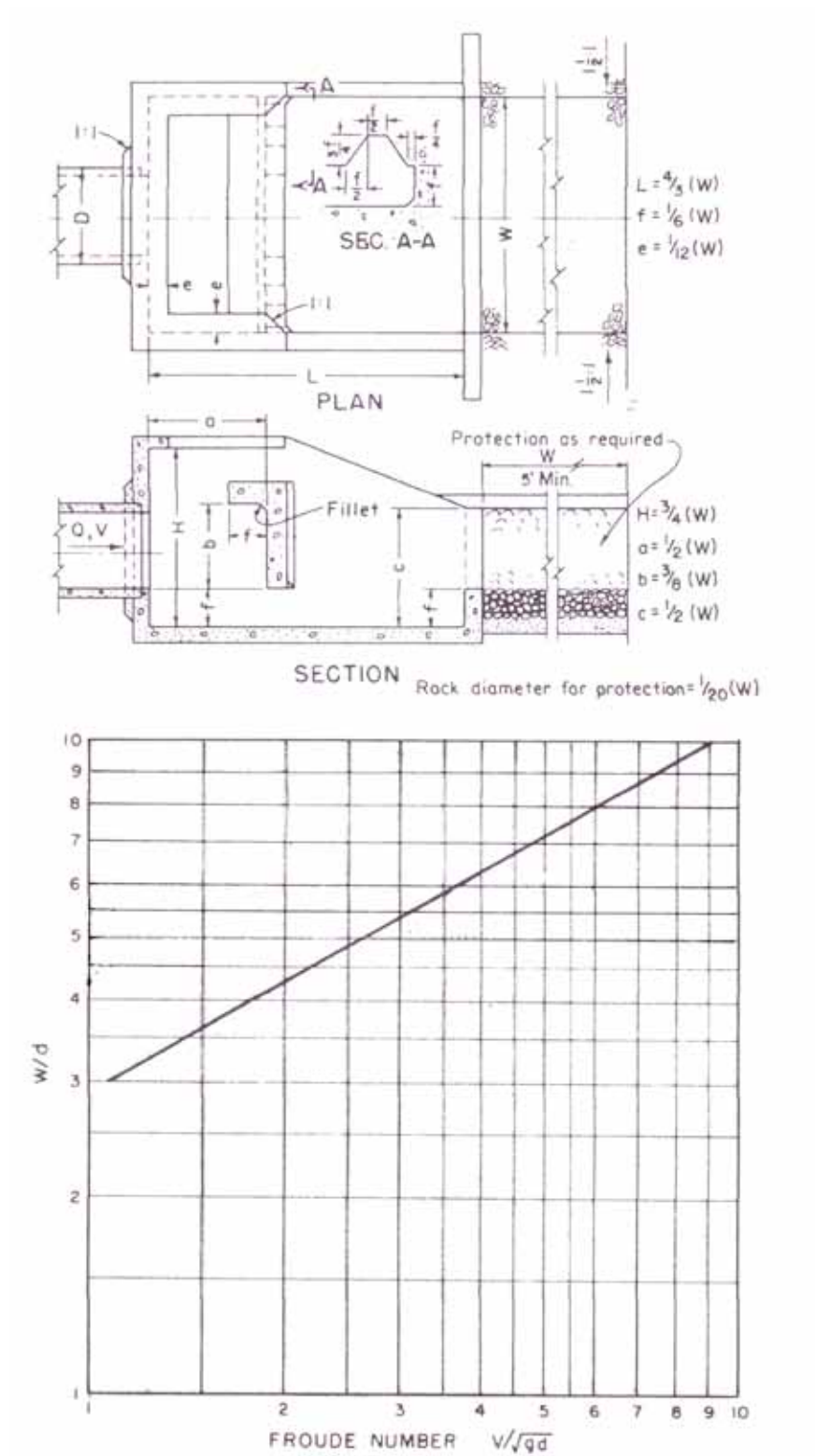


(A) VARIATION OF BEND COEFFICIENT WITH RELATIVE RADIUS FOR 90° BENDS OF CIRCULAR CROSS SECTION, AS MEASURED BY VARIOUS INVESTIGATORS



(B) FACTORS FOR OTHER THAN 90° BENDS

รูปที่ 4.2-2 แสดงค่า Bend Loss Coefficient



รูปที่ 4.2-3 แสดงขนาดและมิติต่างๆ ของอาคารทำน้ำชนิด Impact Type Stilling Basin

ผนวก ก

ชนิดของกลุ่มดินและคุณสมบัติของดินด้านต่างๆ

ชนิดของกลุ่มดิน ดินแบ่งออกเป็นกลุ่มได้หลายชนิด และมีคุณสมบัติทางกายภาพแตกต่างกันออกไป การแบ่งชนิดของดินมีหลายแบบ แต่ที่ใช้สำหรับงานด้านออกแบบเขื่อนจะใช้ระบบ Unified Soil Classification โดยมีรายละเอียดตามที่แสดงไว้ในตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 แสดงชนิดของกลุ่มดินที่แบ่งตามระบบ Unified Soil Classification

ลำดับ	สัญลักษณ์ของกลุ่มดิน	ลักษณะรายละเอียดของกลุ่มดิน
1.	GW	กรวดมีขนาดคละกันดี กรวดผสมทรายมีเม็ดละเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย
2.	GP	กรวดมีขนาดคละกันไม่ดี กรวดผสมทรายมีเม็ดละเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย
3.	GM	กรวดมีตะกอนทรายปน กรวด-ทราย-ตะกอนทรายขนาดคละกันไม่ดีผสมกัน
4.	GC	กรวดมีดินเหนียวปน กรวด-ทราย-ดินเหนียวขนาดคละกันไม่ดีผสมกัน
5.	SW	ทรายมีขนาดคละกันดี ทรายปนกรวดมีเม็ดละเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย
6.	SP	ทรายมีขนาดคละกันไม่ดี ทรายปนกรวดมีเม็ดละเอียดปนบ้างหรือไม่มีเลย
7.	SM	ทรายมีตะกอนทรายปน ทราย-ตะกอนทรายขนาดคละกันไม่ดีผสมกัน
8.	SC	ทรายมีดินเหนียวปน ทราย-ดินเหนียวขนาดคละกันไม่ดีผสมกัน
9.	ML	ตะกอนทรายอินทรีย์ ทรายละเอียดมาก หินฝุ่น ทรายละเอียดปนตะกอนทรายหรือดินเหนียว มีความเหนียวเล็กน้อย
10.	CL	ดินเหนียวอินทรีย์ มีความเหนียวต่ำถึงปานกลาง ดินเหนียวปนกรวด ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนตะกอนทราย ดินเหนียวล้วน
11.	OL	ตะกอนทรายอินทรีย์และดินเหนียวปนตะกอนทรายอินทรีย์ มีความเหนียวต่ำ
12.	MH	ตะกอนทรายอินทรีย์ ทรายละเอียดหรือตะกอนทรายปนไม่ก้ำ หรือดินเบา ตะกอนทรายที่ยืดหยุ่น
13.	CH	ดินเหนียวอินทรีย์มีความเหนียวสูง ดินเหนียวมีความหนืดสูง
14.	OH	ดินเหนียวอินทรีย์ มีความเหนียวปานกลางถึงสูง

ดินในกลุ่มต่างๆ สามารถนำมาใช้ก่อสร้างได้ทั้งสิ้น แต่มีความเหมาะสมมากน้อยแตกต่างกันออกไป บางกลุ่มเหมาะสมที่จะนำไปในการก่อสร้างแกนเขื่อนทึบน้ำ บางกลุ่มเหมาะสมในการนำไปก่อสร้างส่วนเปลือกของตัวเขื่อน บางชนิดจะต้องทำการปรับปรุงเสียก่อน จึงจะนำไปใช้งานได้ เช่น ดินที่มีคุณสมบัติกระจายตัว จำเป็นจะต้องผสมด้วยปูนขาวด้วยปริมาณที่เหมาะสม (2 – 5% โดยประมาณ) เป็นต้น การพิจารณานำดินในกลุ่มต่างๆ ไปใช้ก่อสร้างตัวเขื่อนตามความเหมาะสม ได้แสดงไว้ในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 แสดงกลุ่มดินที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างตัวเขื่อน

ลำดับ	ชนิดเขื่อน	ส่วนของตัวเขื่อน	ชนิดกลุ่มดินตามลำดับความเหมาะสม
1.	เนื้อเดียว (Homogeneous)	-	GC, GM, SC, SM, CL, ML, CH, OL, MH และ OH
2.	ชนิดแบ่งส่วน (Zoned Type)	ส่วนแกนเขื่อน (Core)	GC, SC, CL, GM, SM, ML, CH, OL, MH และ OH
		ส่วนหุ้มแกนเขื่อนหรือส่วนเปลือก (Shell หรือ Random)	GW, GP, SW, SP

คุณสมบัติทางกายภาพของดิน ดินที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ก่อสร้างตัวเขื่อน ควรมีคุณสมบัติทางกายภาพ โดยสังเขปดังต่อไปนี้

ส่วนแกนเขื่อน

1. มีค่าความซึมน้ำ (Coefficient of Permeability, K) ไม่มากกว่า 10^{-5} เซนติเมตร/วินาที
2. มีน้ำหนักมากเมื่อบดอัดแน่น
3. ไม่พองตัว เมื่อชุ่มน้ำ
4. ไม่หดตัวมาก เมื่อแห้ง
5. มีแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดิน (Cohesion) กันเป็นอย่างดี
6. ต้านทานแรงเฉือน (Shear Strength) ได้ดี เมื่อบดอัดแน่นแล้ว
7. บดอัดได้ง่าย โดยใช้พลังงานในการบดอัดต่ำ
8. ยุบตัวน้อย เมื่อบดอัดแน่นแล้ว

ส่วนหุ้มแกนเขื่อนหรือส่วนเปลือก จะต้องมีความสมบัติตามที่กล่าวข้างต้น ตั้งแต่ ข้อ 2. ถึงข้อ 8. และต้องเป็นดินกึ่งทึบน้ำ หรือ ไม่ทึบน้ำที่ต้านทานการกัดเซาะได้ดี โดยมีค่าความซึมน้ำ (K) ไม่น้อยกว่า 10^{-3} - 10^{-4} เซนติเมตร/วินาที



คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน

คุณสมบัติด้านนี้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความมั่นคงและเสถียรภาพของลาดเขื่อน ซึ่งประกอบด้วย หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight, γ) ค่ามุมทรงตัว (Angle of Repose, ϕ) แรงยึดเกาะระหว่างเม็ดดิน (Cohesion, C) รวมทั้งค่าอื่นๆ ได้แก่ ค่า Consistency, Consolidation เป็นต้น

คุณสมบัติดินด้านวิศวกรรมประกอบด้วยการจำแนกชนิดดินด้วยตา (Visual Classification) การจำแนกชนิดดินในห้องทดลองด้วยวิธี Unified Soil Classification, Sieve Analysis, Atterberg's Limit, Hydrometer Analysis, การหาค่า Moisture Content, Unit Weight, Standard Proctor Compaction Test, Consolidation, Permeability, Shear Strength ด้วยวิธี Direct Shear Test และ Triaxial Test เป็นต้น คุณสมบัติดินดังกล่าวข้างต้นจะให้ค่า Parameter ที่สำคัญ

คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินในกลุ่มต่างๆ โดยประมาณ ได้แสดงไว้ในตารางที่ ก.3 ซึ่ง USBR ได้รวบรวมและนำเสนอไว้ในหนังสือ Design of Small Dams สามารถนำไปใช้คำนวณออกแบบในเบื้องต้นได้อย่างไรก็ตามหากมีข้อมูลที่ได้สำรวจและทดสอบไว้ จะต้องนำข้อมูลจริงของโครงการนั้นๆ ไปใช้ดำเนินการต่อไป

คุณสมบัติดินด้านวิทยาศาสตร์

เป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงการมีปริมาณเกลือโซเดียม (Na^+) มากหรือน้อยในดิน ซึ่งจะทำให้ดินเกิดการกระจายตัว (Dispersive Soil) เมื่อถูกน้ำ การทราบคุณสมบัติของดินในส่วนนี้จะทำให้สามารถป้องกันการพังทลายเสียหาย หรือการวิบัติของตัวเขื่อนได้เป็นอย่างดี การวิเคราะห์และทดสอบมีการกระทำได้หลายวิธี เช่น Pin hole Test, Emersion Crum Test, Dilution Turbidity Ratio และ Dispersion Ratio Test เป็นต้น ดังนั้น หากทราบว่าในแหล่งยี่มดินมีดินกระจายตัวอย่างรุนแรง ควรหลีกเลี่ยงการใช้แหล่งดินนั้น แล้วหาแหล่งดินใหม่ แต่หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ ก็สามารถใช้วิธีการปรับปรุงดินให้มีคุณภาพดีขึ้นได้โดยผสมดินกระจายตัวดังกล่าวเข้ากับปูนขาวตามอัตราส่วนที่กำหนด หรือใช้วัสดุอื่นที่ทำหน้าที่แทนดินผสมปูนขาวได้ แล้วนำไปปกปิดผิวหน้าบริเวณลาดเขื่อนที่ต้องสัมผัสกับน้ำโดยตรง

ตารางที่ ก.3 แสดงค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของดินประเภทต่างๆ

ชนิดดิน	Proctor Compaction		Void Ratio e_{of}	ค่าความชื้นน้ำ $w \times 10^{-6}$ ชม./วินาที	Compressibility		กำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength)		
	γ_{dv} (max.) (ตัน/ม. ³)	Optimum Water Content, %			ที่ 1.4 กก/ม. ² เป็นร้อยละ	ที่ 3.5 กก/ม. ² เป็นร้อยละ	C_o กก./ชม. ²	S_{cat} กก./ชม. ²	$\tan \phi$
GW	> 1.90	< 13.3	(.)	$(0.26 \pm 0.013) \times 10^6$	< 1.4	(.)	(.)	(.)	> 0.79
GP	> 1.76	< 12.4	(.)	$(0.064 \pm 0.033) \times 10^6$	< 0.8	(.)	(.)	(.)	> 0.74
GM	> 1.82	< 14.5	(.)	> 0.3	< 1.2	< 3.0	(.)	(.)	> 0.67
GC	> 1.84	< 14.7	(.)	> 0.3	< 1.2	< 2.4	(.)	(.)	> 0.60
SW	1.90 ± 0.08	13.3 ± 2.5	$0.37 \pm (.)$	(.)	$1.4 \pm (.)$	(.)	0.4 ± 0.04	(.)	0.79 ± 0.02
SP	1.76 ± 0.03	12.4 ± 1.0	0.50 ± 0.03	> 15	0.08 ± 0.3	(.)	0.23 ± 0.06	(.)	0.74 ± 0.02
SM	1.82 ± 0.016	14.5 ± 0.4	0.48 ± 0.02	7.3 ± 4.7	1.2 ± 0.1	3.0 ± 0.4	0.52 ± 0.06	0.2 ± 0.07	0.67 ± 0.02
SM-SC	1.90 ± 0.016	1.28 ± 0.5	0.41 ± 0.02	0.8 ± 0.6	1.4 ± 0.3	2.9 ± 1.0	0.51 ± 0.22	0.15 ± 0.06	0.66 ± 0.07
SC	1.84 ± 0.016	14.7 ± 0.4	0.48 ± 0.01	0.3 ± 0.2	1.2 ± 0.2	2.4 ± 0.5	0.76 ± 0.15	0.11 ± 0.06	0.60 ± 0.07
ML	1.65 ± 0.016	19.2 ± 0.7	0.63 ± 0.02	0.57 ± 0.22	1.5 ± 0.2	2.6 ± 0.3	0.68 ± 0.10	$0.09 \pm (.)$	0.62 ± 0.04
ML-CL	1.74 ± 0.03	16.8 ± 0.7	0.54 ± 0.03	0.125 ± 0.07	1.0 ± 0.2	2.2 ± 0.0	0.64 ± 0.17	$0.22 \pm (.)$	0.62 ± 0.06
CL	1.73 ± 0.016	17.3 ± 0.3	0.56 ± 0.01	0.08 ± 0.03	1.4 ± 0.2	2.6 ± 0.4	0.88 ± 0.10	0.13 ± 0.02	0.54 ± 0.04
OL	(.)	(.)	(.)	(.)	(.)	(.)	(.)	(.)	(.)
MH	1.31 ± 0.06	36.3 ± 3.2	1.15 ± 0.02	0.16 ± 0.10	2.0 ± 1.2	3.8 ± 0.8	0.74 ± 0.30	0.20 ± 0.09	0.47 ± 0.05
CH	1.50 ± 0.03	25.5 ± 1.2	0.80 ± 0.04	0.05 ± 0.05	2.6 ± 1.3	3.9 ± 1.5	1.04 ± 0.34	0.11 ± 0.06	0.35 ± 0.09
OH	(.)	(.)	(.)	(.)	(.)	(.)	(.)	(.)	(.)

หมายเหตุ :-

1. เครื่องหมาย $\pm$ หมายถึง มีค่าความเชื่อถือ 90% จากค่าเฉลี่ย
2. (.) หมายถึง ข้อมูลไม่เพียงพอ, > หมายถึงมากกว่า และ < หมายถึงน้อยกว่า
3. C_o ค่า Effective Stress สำหรับตัวอย่างดินบดอัดด้วยน้ำหนักแห้ง (Dry Density) ตามวิธีของ Proctor
4. S_{cat} ค่า Effective Stress ของตัวอย่างดินบดอัดตามข้อ 3. และทำให้มีตัวก่อนการทดสอบ
5. ตารางนี้คัดลอกและเปลี่ยนแปลงหน่วยมาจาก U.S.B.R. ในหนังสือ Design of Small Dams., 1987



ผนวก ข

การวิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติวัสดุก่อสร้าง

เพื่อให้ได้วัสดุที่มีคุณภาพดีตามเกณฑ์และมาตรฐานที่กำหนดไว้ จะต้องเก็บตัวอย่างวัสดุก่อสร้างไปทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ทางด้านวิศวกรรมและทางกายภาพ และสามารถนำไปใช้งานให้เกิดความแข็งแรงทนทาน มีอายุการใช้งานนาน เกิดความประหยัดในการก่อสร้าง ซึ่งจะขอกล่าวรายละเอียดโดยสังเขป ดังนี้

1. วัสดุก่อสร้างประเภท กรวดและทราย (Gravel and Sand Material) วัสดุประเภทนี้เป็นกรวดทรายธรรมชาติ หรือหินโม่ จะนำไปใช้ในงานผสมคอนกรีต เพื่อก่อสร้างอาคารประกอบเขื่อน เช่น อาคารทางระบายน้ำล้น และท่อส่งน้ำ เป็นต้น นอกจากนั้นยังนำมาทำเป็นวัสดุรองพื้น (Bedding) สำหรับหินทิ้งหรือหินเรียง และทำเป็นวัสดุกรอง (Filter) ในตัวเขื่อน เพื่อป้องกันการกัดเซาะภายในตัวเขื่อนและฐานรากซึ่งเกิดขึ้นจากน้ำที่ไหลซึมในตัวเขื่อนมีความเร็วสูง สามารถพัดพาเม็ดดิน ให้หลุดลอยออกไปจนกลายเป็นโพรงในตัวเขื่อนหรือฐานรากที่เรียกว่าการเกิด Piping ซึ่งจะทำให้มีปริมาณน้ำไหลและพัดพาเม็ดดินตัวเขื่อนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้เขื่อนดินเกิดการวิบัติได้ในที่สุด ถ้าหากไม่มีมาตรการป้องกันด้วยการใช้วัสดุกรองที่เหมาะสมดักเม็ดดินละเอียดไว้

คุณสมบัติที่จะต้องทำการวิเคราะห์และทดสอบประกอบไปด้วย Specific Gravity Test, Gradation Test, Fineness Modulus, Abrasion Test, Soundness Test และ Organic Impurities เป็นต้น

วัสดุกรองโดยทั่วไป ควรมีคุณสมบัติ สะอาด แข็งแกร่ง แน่น และมีสิ่งเจือปนน้อยโดยมีเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้

- 1.1 วัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่เกิน 3% โดยน้ำหนัก
- 1.2 วัสดุเบาไม่เกิน 2% โดยน้ำหนัก
- 1.3 ก้อนดิน (Clay Lumps) ไม่เกิน 1% โดยน้ำหนัก
- 1.4 เศษวัสดุสลายได้ง่ายไม่เกิน 2% โดยน้ำหนัก
- 1.5 วัสดุเจือปนในข้อ 1.1 ถึง 1.4 รวมกันต้องไม่เกิน 5% โดยน้ำหนัก
- 1.6 มีความถ่วงจำเพาะไม่น้อยกว่า 2.6
- 1.7 ทรายที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 ต้องผ่านการตรวจสอบ โดยใส่ในสารละลายเพื่อวัดความเข้มของสี (Colorimetric Test)
- 1.8 มีความหิบนํ้าน้อยกว่าวัสดุที่จะป้องกันการพัดพา (Base Material) เพื่อป้องกันมิให้เกิด Hydraulic Fracture ซึ่งโดยเฉลี่ยจะมีค่าความหิบนํ้า (K) ประมาณ 10^{-2} - 10^{-3} เซนติเมตร/วินาที
- 1.9 มีช่องว่างเล็กพอที่จะป้องกันน้ำพัดพาเม็ดดินจาก Base Material มิให้หลุดออกไปและทำให้วัสดุกรองอุดตัน

2. วัสดุก่อสร้างประเภทหิน (Rock Material) วัสดุประเภทนี้ใช้สำหรับงานป้องกันการกัดเซาะจากคลื่นที่กระทำกับลาดตัวเขื่อนด้านเหนือน้ำที่เรียกว่าหินทิ้ง และจากน้ำฝนที่ตกลงบนลาดตัวเขื่อนด้านท้ายน้ำที่เรียกว่าหินเรียง

คุณสมบัติที่จะต้องทำการวิเคราะห์และทดสอบประกอบไปด้วย Specific Gravity, Unit Weight, Point Loading, Abrasion Test, Absorption Test, Soundness Test และ Gradation Test เป็นต้น ซึ่งมีข้อควรพิจารณาในการออกแบบหินทิ้งหรือหินเรียง ดังนี้

2.1 มีขนาดโตและมีน้ำหนักมากพอที่จะต้านทานแรงกระทำจากคลื่น โดยไม่หลุด หรือเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่วางไว้

2.2 ต้องมีสัดส่วนคละ (Gradation) ที่เหมาะสม เมื่อวางในที่แล้วจะต้องอัดกันแน่นโดยไม่ขยับเขยื้อนได้ เมื่อถูกแรงกระแทกจากคลื่น

2.3 หินจะต้องสดและแข็งแกร่งทนทานต่อการขัดสี โดยมีค่า Los Angeles Abrasion Test ไม่มากกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก และการค่าการคงตัว (Soundness) โดยมีส่วนที่สูญหายไม่เกินร้อยละ 12 โดยน้ำหนัก

2.4 จะต้องมีผิวผิวจำเพาะไม่น้อยกว่า 2.5

2.5 หินทิ้งตามลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำควรจะต้องมีความขรุขระและเหลี่ยมมุมมาก เพื่อสลายแรงคลื่นสำหรับวัสดุก่อสร้างอื่นๆ เช่น ปูนซีเมนต์ เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต เหล็กแผ่นและเหล็กรูปพรรณ ท่อพีวีซี เป็นต้น จะต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)

“กรมชลประทาน
เป็นองค์กรนำด้านการพัฒนาแหล่งน้ำ
และบริหารจัดการน้ำอย่างบูรณาการ
ให้มีพื้นที่ชลประทาน
อยู่ในลำดับ 1 ใน 10 ของโลก”



เลขที่ 811 ถนนสามเสน แขวงถนนนครไชยศรี
เขตดุสิต กทม. 10300
สายด่วน 1460 ชลประทาน บริการประชาชน
www.rid.go.th และ www.kromchol.com