Standard for Small Reservoirs and Dams

มาตรฐานอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก

กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น

กระทรวงมหาดไทย

คำนำ

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นทุกรูปแบบ จัดตั้งขึ้นเพื่อทำหน้าที่ในการจัดทำ บำรุงรักษา และให้บริการสาธารณะแก่ประชาชน ซึ่งต่อมาได้มีการถ่ายโอนภารกิจการจัดบริการสาธารณะจากส่วนราชการให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเป็นหน่วยงานดำเนินการมากยิ่งขึ้น โดยยึดหลักการว่า "ประชาชนจะต้องได้รับบริการสาธารณะที่ดีขึ้นหรือไม่ต่ำกว่าเดิม มีคุณภาพมาตรฐาน การบริหารจัดการขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีความโปร่งใส มีประสิทธิภาพและรับผิดชอบต่อผู้ใช้บริการให้มากขึ้น รวมทั้งส่งเสริมให้ประชาชน ภาคประชาสังคม และชุมชนมีส่วนร่วมในการตัดสินใจ ร่วมดำเนินงานและติดตามตรวจสอบ"

กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น ในฐานะหน่วยงานส่งเสริมสนับสนุนองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และด้วยความร่วมมือจากสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.) ได้จัดทำมาตรฐานการบริหารและการบริการสาธารณะขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น พร้อมกับได้ประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อระดมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆ จากผู้แทนองค์การบริหารส่วนจังหวัด เทศบาล องค์การบริหารส่วนตำบล สมาคมองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น รวมทั้งส่วนราชการที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้มาตรฐานที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการบริหารและให้บริการอย่างมีประสิทธิภาพ ประสิทธิผล เกิดประโยชน์และความพึงพอใจแก่ประชาชน รวมทั้งเพื่อเป็นหลักประกันว่าประชาชนไม่ว่าจะอยู่ส่วนใดของประเทศ จะได้รับบริการสาธารณะในมาตรฐานขั้นต่ำที่เท่าเทียมกัน ส่งผลให้ประชาชนมีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า มาตรฐานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการเพิ่มศักยภาพการบริหารและการบริการสาธารณะ สนองตอบความต้องการ และสร้างความผาสุกแก่ประชาชน สมดังคำที่ว่า "ท้องถิ่นก้าวไกล ชาวไทยมีสุข"

(นายสาโรช คัชมาตย์)
อธิบดีกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	**บทนำ**	**1**
	1.1 ความเป็นมา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตของมาตรฐาน	2
	1.4 นิยามศัพท์เขื่อนขนาดเล็ก	3
	1.5 มาตรฐานอ้างอิงและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 2	**บทบาทและภารกิจขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการรับถ่ายโอนอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก**	**5**
	2.1 กรณีรับถ่ายโอนอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก	5
	2.2 กรณีต้องสร้างอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก	5
	2.2.1 ข้อพิจารณาด้านภารกิจ	5
	2.2.2 ข้อพิจารณาด้านบุคลากร	5
	2.3 ข้อพิจารณาความจำเป็นที่ต้องมีอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก	7
	2.4 การมีส่วนร่วมของประชาชนในท้องถิ่น	7
บทที่ 3	**รายละเอียดมาตรฐานอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก**	**9**
	3.1 องค์ประกอบของเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ	9
	3.2 ชนิดของเขื่อนและอาคารประกอบ	9
	3.3 ระดับและความสูงที่เกี่ยวกับงานเขื่อน	10
	3.4 น้ำหนักและแรงกระทำ	10
บทที่ 4	**การวางแผนโครงการอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก**	**11**
	4.1 การกำหนดตำแหน่งเขื่อนเบื้องต้น	12
	4.2 การหาปริมาณน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำ	13

หน้า

4.3 การหาความต้องการใช้น้ำ 19

4.3.1 ปริมาณน้ำใช้สำหรับอุปโภคบริโภค 19

4.3.2 ปริมาณน้ำใช้เพื่อการเพาะปลูก 20

4.3.3 ความจุของอ่างเก็บน้ำ 23

4.4 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์และความคุ้มทุน 24

4.5 การจัดหาพื้นที่โครงการและการขออนุญาตใช้พื้นที่ 29

บทที่ 5 วัสดุก่อสร้างเขื่อน 31

5.1 หลักการสำรวจและคัดเลือกวัสดุตัวเขื่อน 31

5.2 ดินถมตัวเขื่อน 32

5.3 กรวดทรายกรองน้ำและแผ่นใยสังเคราะห์ 33

5.4 หินทิ้งกันคลื่น 34

5.5 การทดสอบวัสดุ 35

บทที่ 6 ฐานรากเขื่อน 37

6.1 การสำรวจฐานรากเขื่อน 37

6.2 การทดสอบและประเมินคุณสมบัติของดินและหินฐานรากเขื่อน 38

6.3 การปรับปรุงฐานรากเขื่อน 38

บทที่ 7 การออกแบบตัวเขื่อน 41

7.1 ขั้นตอนในการออกแบบตัวเขื่อน 41

7.2 ข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรมของการก่อสร้างเขื่อนขนาดเล็ก 44

7.3 หลักการออกแบบโดยทั่วไป 46

7.4 ขั้นตอนทั่วไปในการสำรวจ ออกแบบและก่อสร้างเขื่อน 47

บทที่ 8 การออกแบบอาคารประกอบเขื่อน 49

8.1 การวางตำแหน่งอาคารประกอบ 49

8.2 การออกแบบทางชลศาสตร์ของอาคารระบายน้ำล้น 50

หน้า

8.3 การออกแบบทางชลศาสตร์ของอาคารท่อส่งน้ำ 55

8.4 การออกแบบโครงสร้างสำหรับอาคารประกอบเขื่อน 60

8.4.1 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 60

8.4.2 การออกแบบทางโครงสร้างของทางน้ำล้น 64

บทที่ 9 การก่อสร้างเขื่อน 71

9.1 การสำรวจเพื่อการก่อสร้าง 71

9.2 การผันน้ำระหว่างการก่อสร้าง 73

9.3 การขุดและปรับปรุงฐานรากเขื่อน 74

9.4 การถมบดอัดเขื่อน 77

9.5 การเตรียมฐานรากอาคารประกอบเขื่อน 86

9.6 การก่อสร้างอาคารประกอบเขื่อน 88

9.7 การติดตั้งประตูน้ำและบานระบาย 89

9.8 การตรวจสอบคุณภาพในการก่อสร้าง 91

บทที่ 10 การใช้งานและการบำรุงรักษา 95

10.1 การตรวจสอบด้วยตา 95

10.1.1 การตรวจสอบสภาพสันเขื่อน 95

10.1.2 การตรวจสอบสภาพลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ 96

10.1.3 สภาพพื้นที่ฐานรากและพื้นที่ท้ายน้ำ 98

10.1.4 สภาพของประตูระบายน้ำ 98

10.2 การตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน 98

10.2.1 เครื่องมือวัดความดันน้ำในมวลดิน (Pore Pressure Transducer) 99

10.2.2 เครื่องมือวัดอัตราการไหลซึมของน้ำในดิน (Seepage Measuring Devices) 105

10.2.3 เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัว (Deformation Measuring Devices) 105

10.3 การบำรุงรักษาและข้อจำกัดในการใช้งาน 107

หน้า

บทที่ 11 การประมาณราคาค่าก่อสร้าง **109**

11.1 การคำนวณหาปริมาณงาน 109

11.1.1 การคำนวณปริมาตรดินถมอัดแน่นของตัวเขื่อน 109

11.1.2 การคำนวณปริมาตรดินขุดร่องแกน 112

11.1.3 การคำนวณปริมาตรคอนกรีต 112

11.1.4 การคำนวณปริมาตรหินก่อ 113

11.1.5 การคำนวณปริมาตรหินเรียงและหินทิ้ง 114

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ตามแผนและขั้นตอนการกระจายอำนาจให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นได้กำหนดให้ส่วนราชการถ่ายโอนภารกิจการจัดบริการสาธารณะให้แก่องค์การบริหารส่วนจังหวัด เทศบาล และองค์การบริหารส่วนตำบล

ทั้งนี้ การถ่ายโอนภารกิจการจัดบริการสาธารณะด้านโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญภารกิจหนึ่ง คืองานก่อสร้างและบำรุงรักษาอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก กรมชลประทาน และกรมส่งเสริมสหกรณ์ ได้ดำเนินการถ่ายโอนภารกิจให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น นอกจากนี้ภารกิจดังกล่าวยังเกี่ยวข้องกับภารกิจหน้าที่ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นตามที่กฎหมายกำหนด ดังนี้

- **พระราชบัญญัติสภาตำบลและองค์การบริหารส่วนตำบล พ.ศ. 2537**

  มาตรา 68 บัญญัติให้องค์การบริหารส่วนตำบล มีหน้าที่

  (1) ให้มีน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค และการเกษตร

- **พระราชบัญญัติเทศบาล พ.ศ. 2496**

  มาตรา 51 (5) มาตรา 54 (2) และมาตรา 57 บัญญัติให้เทศบาลตำบล เทศบาลเมือง และเทศบาลนครมีหน้าที่บำรุงและส่งเสริมการทำมาหากินของราษฎร

- **พระราชบัญญัติกำหนดแผนและขั้นตอนการกระจายอำนาจให้แก่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น พ.ศ. 2542**

  มาตรา 16 ให้เทศบาล เมืองพัทยา และองค์การบริหารส่วนตำบล มีอำนาจและหน้าที่ในการจัดบริการสาธารณะเพื่อประโยชน์ของประชาชนในท้องถิ่นของตนเอง ดังนี้

  (4) การสาธารณูปโภคและการก่อสร้างอื่นๆ

  (6) การส่งเสริม การฝึกและประกอบอาชีพ

มาตรา 17 ให้องค์การบริหารส่วนจังหวัดมีอำนาจและหน้าที่ในการจัดบริการสาธารณะเพื่อประโยชน์ของประชาชนในท้องถิ่นของตนเอง ดังนี้

(24) จัดทำกิจการใดอันเป็นอำนาจและหน้าที่ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่นที่อยู่ในเขตและกิจการนั้นเป็นการสมควร ให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอื่นร่วมกันดำเนินการหรือให้องค์การบริหารส่วนจังหวัดจัดทำ ทั้งนี้ตามที่คณะกรรมการประกาศกำหนด

ดังนั้น เพื่อให้ท้องถิ่นได้ดำเนินภารกิจตามอำนาจหน้าที่และภารกิจถ่ายโอนได้อย่างมีคุณภาพภายใต้มาตรฐานขั้นพื้นฐาน และประชาชนได้รับบริการสาธารณะขั้นต่ำที่เท่าเทียมกัน จึงได้จัดทำมาตรฐานอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็กขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ใช้เป็นคู่มือและแนวทางในการดำเนินงานด้านอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็กได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2.2 เพื่อให้ผู้บริหารท้องถิ่น ใช้เป็นเครื่องมือและแนวทางประกอบการตัดสินใจสำหรับการดำเนินงาน

1.2.3 เพื่อให้ประชาชนได้รับบริการสาธารณะจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นอย่างมีมาตรฐาน

1.3 ขอบเขตของมาตรฐาน

มาตรฐานนี้เป็นการกำหนดแนวทางการออกแบบ การก่อสร้าง และการบำรุงรักษาอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก

1.4 นิยามศัพท์เขื่อน

- เขื่อนขนาดเล็ก	เขื่อนดินสูงไม่เกิน 15 เมตร
- อ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก	ความจุอ่างเก็บน้ำไม่เกิน 1,000,000 ลูกบาศก์เมตร
- การขุดหิน	การขุดที่ต้องใช้วิธีการระเบิดหิน
- การจัดจำแนกดิน	การจำแนกดินทางวิศวกรรม ส่วนมากใช้วิธี Unified Soil Classification System (USCS)
- การวัดพฤติกรรมเขื่อน	การติดตามพฤติกรรมเขื่อนโดยการติดตั้งเครื่องมือเฉพาะด้าน
- แกนเขื่อน	ระนาบในแนวดิ่งที่ผ่านแนวศูนย์กลางของสันเขื่อน
- ขอบอ่างเก็บน้ำ	เส้นขอบเขตที่น้ำในอ่างท่วมถึง ตามระดับเก็บกักปกติ
- ชั้นระบายที่ตีนเขื่อน	ชั้นกรวดทรายระบายน้ำที่ตีนเขื่อนด้านท้ายน้ำ
- ชั้นระบายที่ลาดเขื่อน	ชั้นกรวดทรายระบายน้ำที่ผิวลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ
- ชั้นระบายน้ำ	ชั้นกรวดหรือทรายที่ใช้ในการระบายน้ำออกจากตัวเขื่อนและฐานราก
- ฐานยัน (Abutment)	ส่วนของไหล่เขาที่เขื่อนสร้างเข้าบรรจบหรือส่วนของเขื่อนที่ประชิดกับไหล่เขา
- ท้ายน้ำ	พื้นที่นับจากแกนเขื่อนไปด้านตามน้ำ
- ที่ตั้งเขื่อน	ตำแหน่งหรือพิกัดทางภูมิศาสตร์ที่บอกตำแหน่งเขื่อน
- ปริมาณน้ำใช้	ปริมาณที่เก็บกักระดับน้ำถึงระดับเก็บกักปกติซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ได้
- ปริมาตรอ่างเก็บน้ำ	ปริมาณน้ำทั้งหมดที่เก็บกักได้ในอ่างจนถึงระดับเก็บกักปกติ
- ผังโครงการ	แผนผังบริเวณโครงการเขื่อนและอ่างเก็บน้ำแสดงองค์ประกอบทั้งหมด
- ลาดเขื่อน	พื้นที่ผิวเขื่อนที่มีความชัน
- สันเขื่อน	ส่วนบนสุดของเขื่อนที่ใช้เป็นถนนในระหว่างการก่อสร้างบำรุงรักษา
- หน้าเขื่อน	ส่วนของเขื่อนจากแกนเขื่อนไปด้านทวนน้ำ
- หลังเขื่อน	ส่วนของเขื่อนจากแกนเขื่อนไปด้านตามน้ำ
- เหนือน้ำ	พื้นที่นับจากแกนเขื่อนไปด้านทวนน้ำ

1.5 มาตรฐานอ้างอิงและกฎหมายที่เกี่ยวข้อง

1. พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522

2. พระราชบัญญัติอุทยานแห่งชาติ พ.ศ. 2504

3. พระราชบัญญัติป่าสงวนแห่งชาติ พ.ศ. 2507

4. พระราชบัญญัติป่าไม้ พ.ศ. 2484

5. กรมชลประทาน, **มาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีต**, 2535.

6. กองวิทยาการธรณี กรมชลประทาน, 2531. **มาตรฐานการสำรวจทางวิทยาการธรณีเขื่อนกักเก็บน้ำและอาคารประกอบ**.

7. เกษตรศาสตร์, 2541. **โครงการฐานข้อมูลเขื่อนเพื่อประเมินความปลอดภัยและบำรุงรักษาของสำนักงาน ชลประทานที่** 9, รายงานสรุปโครงการ.

8. คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานเขื่อนเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ, **แนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบเขื่อนเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ**, 2545.

9. ปราโมทย์ ไม้กลัด, 2524. **คู่มืองานเขื่อนดินขนาดเล็กและฝาย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี : สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน.

10. ปราโมทย์ ไม้กลัด, 2526. **การบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ**, เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการทำงานชลประทาน.

11. วรากร ไม้เรียง, 2542. **วิศวกรรมเขื่อนดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ไลบรารี่นาย.

12. วรากร ไม้เรียง, 2546. **เอกสารการสอนชุดวิชา เทคนิคการก่อสร้างขนาดใหญ่ หน่วยที่ 16 งานเขื่อน**.

13. วรากร ไม้เรียง, 2547. **โครงการงานศึกษาความเหมาะสมโครงการปรับปรุงเขื่อนลำปาวจังหวัดกาฬสินธุ์**, รายงานความก้าวหน้า.

14. ส่วนสำรวจภูมิประเทศ, 2542. **หลักการสำรวจและทำแผนที่**. สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา กรมชลประทาน. กรุงเทพฯ.

15. Razgar Baban. **Design of Diversion Weirs**, JOHN WILEY & SONS,1995.

บทที่ 2

บทบาทและภารกิจขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในการรับถ่ายโอนอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก

2.1 กรณีรับถ่ายโอนอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก

องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นควรมีการตรวจสอบสภาพอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็กที่ได้รับถ่ายโอนโดยให้หน่วยงานที่ถ่ายโอนส่งมอบเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อประโยชน์ในการดูแลรักษาต่อไป เช่น สำเนาสัญญาก่อสร้าง แบบแปลน ทะเบียนประวัติการซ่อมบำรุงรักษาเขื่อน รายงานระดับน้ำ ปริมาณน้ำเข้าอ่างและการส่งน้ำเพื่อใช้ประโยชน์ในการเกษตร

สำหรับการตรวจสอบสภาพโครงการ ควรแต่งตั้งในรูปคณะกรรมการร่วมระหว่างหน่วยงานถ่ายโอน และหน่วยงานที่รับโอน หากมีปัญหาหรืออุปสรรคในการถ่ายโอน ให้รายงานคณะกรรมการถ่ายโอนระดับจังหวัด เพื่อพิจารณาต่อไป

2.2 กรณีต้องสร้างอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก

2.2.1 ข้อพิจารณาด้านการก่อสร้าง

การก่อสร้างอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก เป็นงานด้านเทคนิควิศวกรรมระดับสูง การดำเนินการตามมาตรฐานจึงต้องพิจารณาความพร้อมขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น ทางด้านเครื่องจักร บุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ หากเกินขีดความสามารถ ควรพิจารณาใช้การจ้างเหมาเอกชนโดยขอความร่วมมือจากสถาบันการศึกษาหรือส่วนราชการที่เกี่ยวข้อง เช่นกรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ ให้ข้อแนะนำและร่วมดำเนินการในขั้นตอนต่างๆ เพื่อให้การก่อสร้างถูกต้องตามหลักวิชาและมีความมั่นคงแข็งแรง

2.2.2 ข้อพิจารณาด้านบุคลากร

การก่อสร้างและบำรุงดูแลรักษาอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก จำเป็นต้องจัดบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถเข้ามาดำเนินการตั้งแต่การศึกษาออกแบบ การควบคุมการก่อสร้างและการบำรุงรักษา ซึ่งได้สรุปคุณสมบัติเพื่อเป็นแนวทางการจัดบุคลากรดังนี้

การจัดบุคลากรสำหรับงานออกแบบ ก่อสร้าง และบำรุงรักษา

ประเภทงาน	การศึกษาและออกแบบ	การควบคุมงานก่อสร้าง	การตรวจรับงานด้านเทคนิค	การดูแลบำรุงรักษา
ตัวเขื่อน	วิศวกรโยธา หรือ วิศวกรทรัพยากรน้ำ หรือวิศวกรชลประทาน	นายช่างโยธา	วิศวกรโยธา หรือ วิศวกรทรัพยากรน้ำ หรือวิศวกรชลประทาน	นายช่างโยธา
อาคารประกอบเขื่อน (ทางน้ำล้น, ท่อส่งน้ำ)	วิศวกรโยธา หรือ วิศวกรทรัพยากรน้ำ หรือวิศวกรชลประทาน	นายช่างโยธา	วิศวกรโยธา หรือ วิศวกรทรัพยากรน้ำ หรือวิศวกรชลประทาน	นายช่างโยธา

ขั้นตอนทั่วไปในการสำรวจออกแบบและก่อสร้างเขื่อน	คุณวุฒิของบุคลากร
1. ศึกษา สำรวจ ทดสอบและรวบรวมข้อมูล เพื่อการออกแบบ	วศ.บ. หรือ วท.บ.
2. วิเคราะห์การไหลซึมผ่านเขื่อนและฐานราก	วศ.บ.
3. วิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อน	วศ.บ.
4. วิเคราะห์การทรุดตัวของตัวเขื่อน	วศ.บ.
5. ออกแบบเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน	วศ.บ.
6. เขียนแบบและข้อกำหนดทางด้านเทคนิค	ปวส. (ช่างก่อสร้าง)

ขั้นตอนการวางแผนโครงการอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก	คุณวุฒิของบุคลากร
1. การกำหนดตำแหน่งเขื่อนเบื้องต้น	วศ.บ.
2. การหาปริมาณน้ำเข้าอ่าง	วศ.บ.
3. การหาความต้องการใช้น้ำ	วศ.บ.
4. การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์และความคุ้มทุน	วศ.บ. หรือ ศ.ศ.บ.
5. การจัดหาพื้นที่โครงการและการขออนุญาตใช้พื้นที่	วศ.บ. หรือ ปวส.

2.3 ข้อพิจารณาความเหมาะสมการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก

อ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก เป็นงานที่ใช้งบประมาณการก่อสร้างสูงกว่าการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานประเภทอื่น ดังนั้น ข้อพิจารณาความเหมาะสมการก่อสร้างประกอบด้วย

1. มีแหล่งน้ำต้นทุนเพียงพอ
2. มีลักษณะภูมิประเทศและสภาพธรณีวิทยาที่เหมาะสม
3. คำนวณความต้องการน้ำและการนำน้ำไปใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าการลงทุน
4. มีบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถและประสบการณ์สามารถดำเนินโครงการได้อย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรม
5. มีการจัดทำแผนการจัดสรรน้ำและการบำรุงรักษาโครงการที่ถูกต้อง

2.4 การมีส่วนร่วมของประชาชนในท้องถิ่น

การก่อสร้างอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็กมีผลกระทบต่อประชาชน ทั้งทางด้านเศรษฐกิจ สังคม วิถีชีวิตความเป็นอยู่และสภาพแวดล้อมจึงควร ประชาสัมพันธ์ ให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมให้มากที่สุดโดยผ่านเวทีประชาคม เพื่อประชาชนจะได้รับทราบข้อมูล และนำเสนอปัญหาหรือข้อคิดเห็นเกี่ยวกับทำเลที่ตั้งเขื่อน ระดับกักเก็บน้ำตลอดจนผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการก่อสร้างเขื่อนหรือภายหลังสร้างเสร็จ อันจะก่อให้เกิดการมีส่วนร่วมของประชาชน และนำไปสู่การใช้ประโยชน์ เขื่อนและอ่างเก็บน้ำอย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ

รายละเอียดอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก

บทที่ 3

รายละเอียดอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก

3.1 องค์ประกอบของอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก

อ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก จำแนกองค์ประกอบได้ 2 ลักษณะ คือ

1. องค์ประกอบจำเป็น

- ตัวเขื่อน (Dam Embankment) คือโครงสร้างที่ใช้ปิดกั้นลำน้ำเพื่อการกักเก็บน้ำ
- อาคารระบายน้ำล้น (Spillway) คือโครงสร้างฝายบังคับระดับน้ำล้นออกจากอ่างเก็บน้ำเมื่อเกินระดับน้ำเก็บกัก เพื่อระบายน้ำหลากที่เกินกว่าปริมาตรเก็บกักให้ไหลออกได้โดยสะดวกและไม่เกิดอันตรายต่อตัวเขื่อน
- อาคารส่งน้ำลงลำน้ำเดิม (River Outlet) คือโครงสร้างการระบายน้ำลงลำน้ำเดิมเพื่อให้ลำน้ำเดิมมีปริมาณน้ำเพียงพอที่จะรักษาสภาพทางธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมของลำน้ำ
- อาคารส่งน้ำใช้งาน (Service Outlet) คือโครงสร้างการส่งน้ำไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ เช่น ด้านการเกษตรกรรม ด้านการอุปโภค บริโภค เป็นต้น
- อ่างเก็บน้ำ (Reservoir) คือ พื้นที่เหนือเขื่อน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ใช้เก็บน้ำไว้ใช้ประโยชน์

2. องค์ประกอบอื่นๆ มีตามความจำเป็น

- ตัวเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ (Saddle Dam) คือโครงสร้างปิดกั้นช่องเขาหรือภูมิประเทศที่ระดับต่ำกว่าระดับสันเขื่อนหลักเพื่อไม่ให้น้ำรั่วออกจากอ่างเก็บน้ำ
- ทางระบายน้ำล้นฉุกเฉิน (Emergency Spillway) คือโครงสร้างเพื่อช่วยระบายน้ำที่หลากมามากจนเกินความสามารถในการระบายน้ำของอาคารระบายน้ำล้น

3.2 ชนิดของเขื่อนและอาคารประกอบ

ชนิดของเขื่อน

ตามมาตรฐานนี้จะกำหนดชนิดของเขื่อนขนาดเล็กเฉพาะเขื่อนดิน โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1) เขื่อนดินเนื้อเดียว (Homogeneous earth dam) เขื่อนประเภทนี้ประกอบด้วยดินที่มีทั้งความเหนียวและมีความแข็งแรงอยู่ตัว เช่น กลุ่มของดินเหนียวปนทราย (SC) ดินเหนียวปนกรวด (GC) ดินเหนียวปานกลาง (CL) เป็นต้น นำมาบดอัดเป็นเนื้อเดียวกัน ยกเว้นส่วนของหินกันคลื่นกัดเซาะด้านลาดเหนือน้ำ ท้ายน้ำ และชั้นระบายน้ำในตัวเขื่อน

2) เขื่อนดินแบ่งส่วน (Earth zoned dam) เขื่อนประเภทนี้จะมีแกนกลางเขื่อนเป็น*ดินเหนียวทึบน้ำ (Impervious core)* เพื่อป้องกันน้ำซึมผ่านตัวเขื่อน ส่วนวัสดุด้านนอกที่ประกอบเป็นตัวเขื่อนหุ้มแกนดินเหนียวทั้งสองข้าง เรียกว่า *ส่วนเปลือกของเขื่อน (Shell)* ประกอบด้วยดินเม็ดหยาบกว่าและมีกำลังสูงกว่าหรือดินคละขนาดที่สามารถหาได้ในพื้นที่ ทั้งนี้เพื่อช่วยให้เขื่อนเกิดความมั่นคงสูงขึ้น โดยมีชั้นระบายในแนวเอียงคั่นระหว่างแกนดินเหนียวและดินส่วนเปลือกนอก

3.3 ระดับและความสูงที่เกี่ยวกับงานเขื่อน

ความสูงของเขื่อน คือ ความสูงทั้งหมดจากระดับก้นร่องน้ำลึกที่ตำแหน่งแนวแกนเขื่อนตัดผ่านไปจนถึงระดับสันเขื่อน ไม่นับรวมขอบทางเท้าหรือผนังกันคลื่น

ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำประกอบด้วยระดับต่างๆ ดังนี้

1) **ระดับน้ำเก็บกักต่ำสุด** (ร.น.ต.) คือระดับน้ำต่ำที่สุดในอ่างที่สามารถส่งผ่านท่อส่งน้ำเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ ระดับน้ำที่ต่ำกว่านี้เป็นน้ำตายสำหรับใช้ในการเก็บตะกอนก้นอ่าง

2) **ระดับน้ำเก็บกักปกติ** (ร.น.ก.) คือระดับน้ำเก็บกักเต็มความจุของอ่าง ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ที่ระดับสันของทางระบายน้ำล้น

3) **ระดับน้ำสูงสุด** (ร.น.ส.) คือระดับน้ำสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยปริมาณน้ำที่สูงพ้นระดับสันทางระบายน้ำล้นจะ ระบายลงท้ายน้ำจนเท่ากับ ร.น.ก.

3.4 น้ำหนักและแรงกระทำ

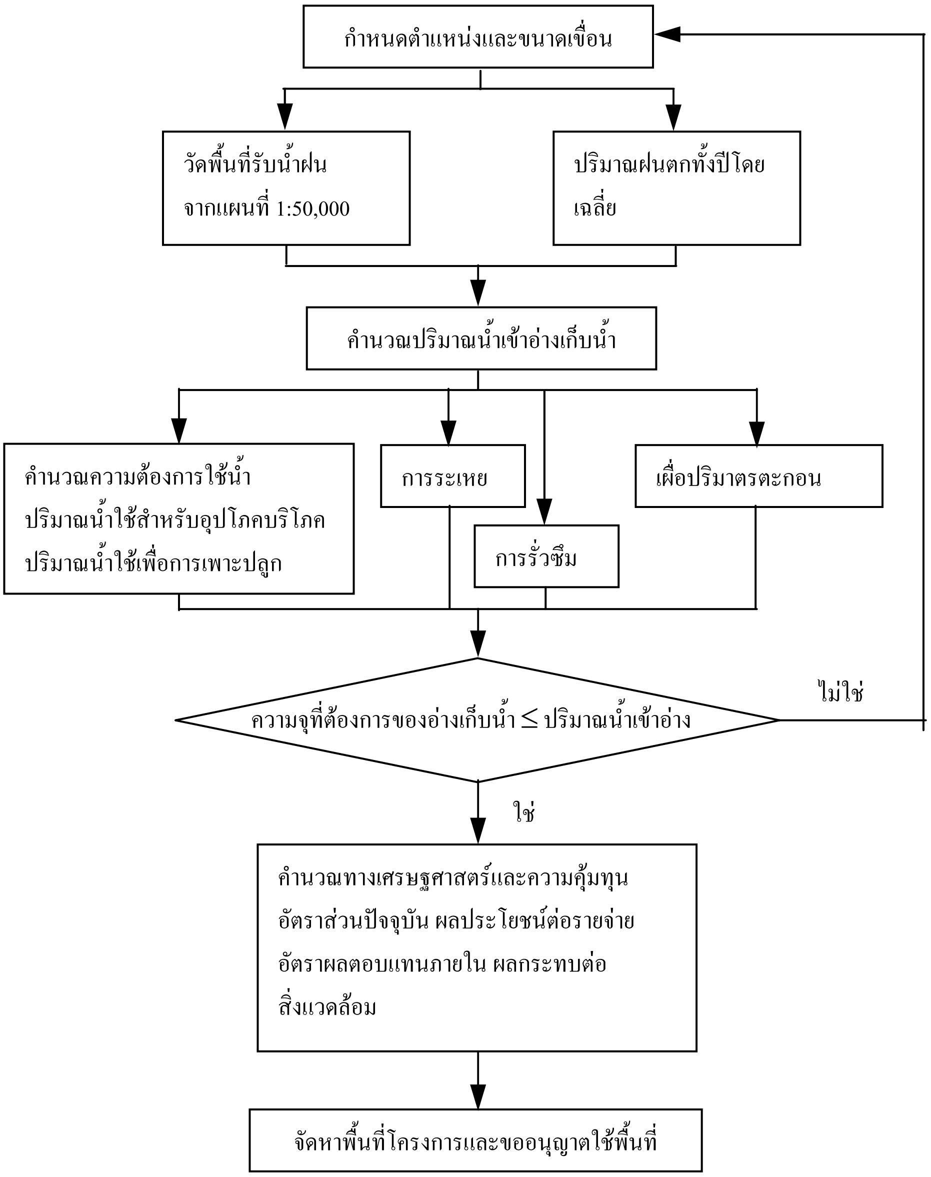
แรงกระทำต่อตัวเขื่อน อาจแยกเป็น 2 ประเภท คือ

1. แรงภายในตัวเขื่อนเอง (Internal forces) เช่น น้ำหนักของตัวเขื่อน และแรงดันน้ำภายในตัวเขื่อน เป็นต้น

2. แรงกระทำภายนอกตัวเขื่อน (External forces) เช่น แรงดันน้ำด้านเหนือเขื่อน (Head water) แรงดันน้ำด้านท้ายเขื่อน (Tail water) แรงจากน้ำหนักเครื่องจักรและสิ่งก่อสร้างบนสันเขื่อน

บทที่ 4

การวางแผนโครงการอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก



รูปที่ 4-1 แผนภูมิการวางแผนโครงการอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก

4.1 การกำหนดตำแหน่งเขื่อนเบื้องต้น

การกำหนดตำแหน่งที่สร้างเขื่อน เพื่อให้การก่อสร้างเขื่อนมีความมั่นคงแข็งแรง สามารถใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าและประหยัดค่าก่อสร้าง มีหลักการสำคัญ ดังนี้

1. ควรสร้างเขื่อนในบริเวณที่เขื่อนจะมีความยาวน้อยที่สุด เพื่อลดปริมาณดินถมตัวเขื่อนอันจะเป็นการประหยัดค่าก่อสร้างได้

2. ไม่ควรสร้างบนฐานรากที่เป็นหิน เพราะจะต้องทำการตรวจสอบฐานรากนั้นให้ละเอียดเสียก่อนว่าหินมีรอยแตก ซึ่งทำให้น้ำรั่วซึมหรือไม่ หากมีรอยแตกร้าวมากอาจต้องมีการระเบิดหินหรืออัดฉีดน้ำปูนเข้าไปอุดรอยแตกร้าวของหิน ซึ่งจะทำให้ราคาค่าก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น

3. ไม่ควรสร้างเขื่อนดินบนฐานรากที่มี น้ำพุ ตาน้ำ หรือบริเวณที่ดินของลาดเนินสองฝั่งเคยเลื่อนทลายลง เพราะแสดงว่าฐานรากที่จะสร้างเขื่อน และเหนือเขื่อนขึ้นไปนั้นมีชั้นทราย หรือกรวดที่มีความหนามากและทับถมกันอยู่ไม่ค่อยแน่นและมีน้ำรั่วซึม หากจำเป็นต้องสร้างในบริเวณดังกล่าว จะต้องตรวจสอบฐานราก และออกแบบปรับปรุงฐานรากเป็นพิเศษ

4. ควรสร้างเขื่อนให้อยู่ในตำแหน่งสูง เพื่อสามารถปล่อยน้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำไปพื้นที่การเกษตรไปตามธรรมชาติ โดยไม่ต้องใช้เครื่องสูบน้ำ ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

5. ทำเลที่สร้างเขื่อนหรือบริเวณใกล้เคียงจะต้องมีดินที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการก่อสร้างตัวเขื่อนในปริมาณมากเพียงพอ

6. ให้ตรวจสอบว่ามีถนนเข้าไปในพื้นที่ก่อสร้างหรือไม่ เพื่อนำมาประกอบการพิจารณาค่าใช้จ่าย หากมีความจำเป็นต้องก่อสร้างถนนเข้าไปในเขตพื้นที่ก่อสร้าง

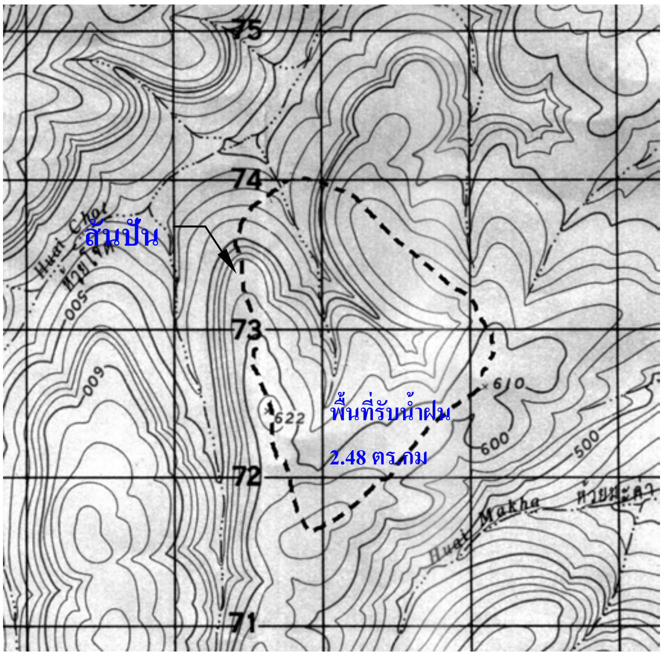
7. ควรพิจารณาตำแหน่งที่ตั้งอาคารระบายน้ำล้นด้วยว่าสภาพภูมิประเทศและลักษณะดินมีความเหมาะสมต่อการก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้นตามขนาดที่ต้องการได้อย่างประหยัดหรือไม่

8. ทำเลที่สร้างเขื่อนจะต้องมีพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อนกักเก็บน้ำได้เพียงพอกับความต้องการใช้งาน หรือสามารถเก็บกักจนเต็มอ่างเก็บน้ำได้เกือบทุกปี

9. เขื่อนดินขนาดเล็กจะมีพื้นที่เก็บน้ำจำนวนจำกัด ไม่ควรสร้างในลุ่มน้ำที่มีพื้นที่รับน้ำฝนขนาดใหญ่ เพราะนอกจากจะต้องสร้างอาคารระบายน้ำล้นขนาดใหญ่ ซึ่งมีราคาแพงเพื่อระบายน้ำจำนวนมากแล้ว พื้นที่รับน้ำฝนขนาดใหญ่จะมีตะกอนถูกน้ำพัดพามาสะสมจนเต็มอ่างเก็บน้ำภายในระยะเวลาไม่กี่ปี

10. ควรพิจารณาผิวดิน หรือหินบริเวณพื้นอ่างเก็บน้ำด้วยว่าจะมีน้ำรั่วสูญหายไปจากอ่างเก็บน้ำมากหรือน้อยเพียงไร สำหรับพื้นอ่างเก็บน้ำที่เป็นทรายหรือเป็นหินที่มีรูโพรงจะมีการรั่วซึมมาก อาจจะต้องเลื่อนที่ตั้งเขื่อนไปยังชั้นดินที่มีผิวเป็นดินเนื้อละเอียด หรือแก้ไขด้วยวิธีดาดพื้นอ่างเก็บน้ำ

11. ในบริเวณอ่างเก็บน้ำ จะต้องตัดต้นไม้ออกให้หมดเพื่อป้องกันน้ำเน่า ดังนั้นการสร้างเขื่อนจะต้องพิจารณาค่าใช้จ่ายในการโค่นล้มและชักลากไม้ออกจากบริเวณอ่างเก็บน้ำไว้ด้วย



รูปที่ 4-2 แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 แสดงพื้นที่รับน้ำฝนด้านเหนือเขื่อน

4.2 การหาปริมาณน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำ

ปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำ เกิดจากน้ำฝนที่ตกในเขตพื้นที่รับน้ำฝน (Catchment Area) เหนือเขื่อน แต่มิใช้ปริมาณน้ำฝนทั้งหมด เนื่องจากจะมีน้ำบางส่วนระเหยกลับไปสู่บรรยากาศตามเดิม บางส่วนจะขังอยู่ตามแอ่งน้ำหรือที่ลุ่มบนผิวดิน หรือไหลซึมลงไปในดิน หรือไหลซึมลึกลงไปขังสะสมอยู่ในดินเป็นแหล่งน้ำใต้ดิน ส่วนที่เหลือจึงจะไหลไปตามผิวดินลงสู่ลำน้ำ (ปริมาณน้ำท่า) เข้าสู่อ่างเก็บน้ำ

การคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก จะไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับการวัดปริมาณน้ำท่าในลำน้ำ จึงใช้วิธีการประเมินปริมาณน้ำจากฝนที่ตกในเขตลุ่มน้ำเหนือเขื่อนทั้งหมด แล้วหักจำนวนน้ำที่คาดว่าจะสูญเสียไป ดังนี้

1. วัดขนาดของพื้นที่รับน้ำฝนเหนือที่ตั้งเขื่อนจากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 โดย 1 ช่องมีขนาดพื้นที่เท่ากับ 1 ตารางกิโลเมตร ดังรูปที่ 4-2 แสดงตัวอย่างพื้นที่รับน้ำฝนของโครงการแห่งหนึ่ง

2. หาค่าเฉลี่ยปริมาณฝนตกทั้งปีในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำเหนือเขื่อนจากแผนที่แสดงปริมาณฝนเฉลี่ยทั้งปี ตามรูปที่ 4-3 ซึ่งแผนที่ดังกล่าวนี้ได้จัดทำขึ้นจากสถิติน้ำฝนที่วัดได้จากสถานีวัดน้ำฝนต่างๆ เป็นเวลาหลายปี แล้วนำมาเฉลี่ยเป็นปริมาณฝนรวมทั้งปี

3. เนื่องจากปริมาณน้ำที่จะสูญเสียทั้งหมดในเขตพื้นที่รับน้ำฝน ยากต่อการวัดหรือคำนวณ จึงใช้การประเมินปริมาณน้ำที่จะไหลลงอ่างเก็บน้ำทั้งปีเป็นร้อยละของปริมาณน้ำที่เกิดจากฝนทั้งปีนั้นโดยตรง ตามเกณฑ์ ดังนี้

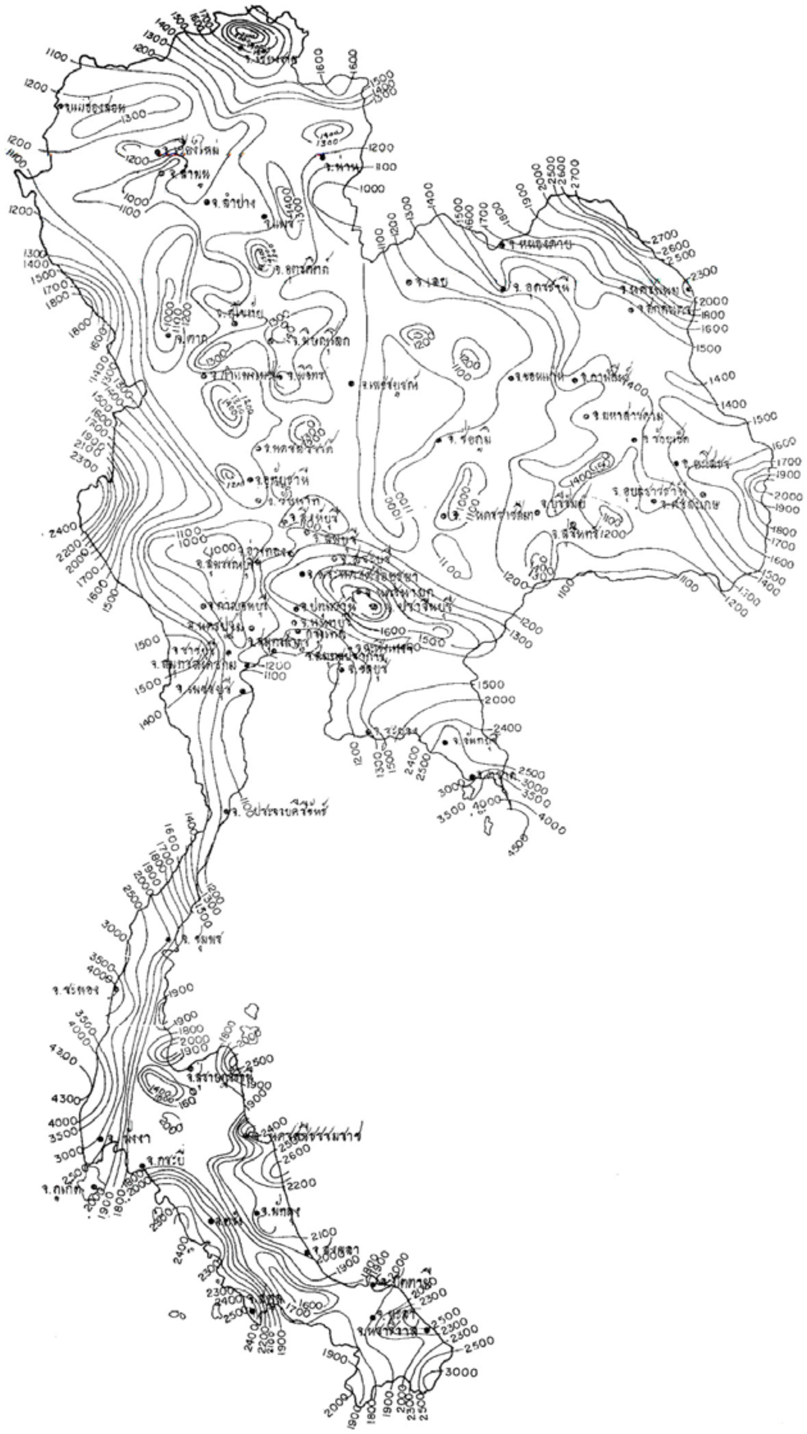
ตารางที่ 4-1 น้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนน้ำฝนที่ตกทั่วพื้นที่รับน้ำฝนต่อปีโดยประมาณ

พื้นที่รับน้ำฝน ตารางกิโลเมตร	จำนวนน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำคิดเป็นร้อยละของจำนวนน้ำฝน ที่ตกทั่วพื้นที่ต่อปีโดยประมาณ		
	A	B	C
น้อยกว่า 1.0	40%	30% - 35%	20% - 25%
1.0 – 5.0	35% - 40%	25% - 30%	20% - 25%
5.0 – 10.0	30% - 35%	20% - 25%	15% - 25%
มากกว่า 10.0	30%	20%	10% - 20%

A = พื้นที่รับน้ำฝนที่มีความลาดชันมากและมีสภาพเป็นต้นน้ำลำธาร

B = พื้นที่รับน้ำฝนที่มีความลาดชันปานกลางถึงมาก และสภาพป่าค่อนข้างสมบูรณ์

C = พื้นที่รับน้ำฝนค่อนข้างราบสภาพป่าและต้นไม้ปกคลุมมีน้อย และสภาพผิวดินโดยทั่วไปเป็นดินที่น้ำรั่วซึมได้ปานกลาง



รูปที่ 4-3 แผนที่แสดงปริมาณฝนเฉลี่ยทั้งปีทั่วประเทศเป็นมิลลิเมตร

(จากกองอุทกวิทยา กรมชลประทาน)

ตัวอย่าง สมมติว่าพื้นที่รับน้ำฝนของอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กแห่งหนึ่ง วัดจากแผนที่ 1 : 50,000 มีขนาดประมาณ 2.48 ตารางกิโลเมตร สภาพพื้นที่มีความลาดเทปานกลาง มีต้นไม้ปกคลุมน้อยมาก และในบริเวณนั้นจะมีปริมาณฝนตกทั้งปีโดยเฉลี่ย จากรูปที่ 4-3 ประมาณ 1,300 มิลลิเมตร สามารถคำนวณปริมาณน้ำทีไหลลงอ่างเก็บน้ำทั้งปี ได้ดังนี้

วิธีคำนวณ

จากตารางที่ 4-1 ปริมาณน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำทั้งปี จะมีประมาณร้อยละ 22 ของปริมาณน้ำจากฝนที่ตกทั้งปี (ช่อง C โดยใช้ค่าโดยประมาณจากการเทียบบัญญัติไตรยางศ์)

$\therefore$ ปริมาณน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำทั้งปีโดยประมาณ

$$= \frac{22}{100} \text{ x } (2.48 \text{ x } 1{,}000{,}000) \text{ x } \frac{1{,}300}{1{,}000}$$

= 709,280 ลูกบาศก์เมตร

ปริมาณน้ำนองสูงสุด หมายถึง จำนวนน้ำมากที่สุดที่จะไหลมาในลำน้ำ เมื่อมีฝนตกหนักเป็นเวลานานติดต่อกันทั่วทั้งพื้นที่รับน้ำฝน ซึ่งในแต่ละปีจะมีจำนวนไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปริมาณฝนตกในครั้งที่ตกมากที่สุดของปี ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยของตัวเขื่อนจึงนิยมออกแบบขนาดอาคารระบายน้ำล้นของเขื่อน ให้สามารถระบายจำนวนน้ำที่จะเกิดขึ้นมากที่สุดในรอบ 25 ปี 50 ปี หรือ 100 ปี ตามความเหมาะสม การเลือกจำนวนรอบปีเพื่อประเมินปริมาณน้ำนองสูงสุดที่จะเกิดขึ้นในปีหนึ่งปีใดภายในรอบปีนั้น ให้พิจารณาถึงความสำคัญของเขื่อนในการเก็บกักน้ำหรือความเสียหายจากอุทกภัยหรือผลกระทบต่อประชาชนที่อยู่ทางด้านท้ายน้ำ

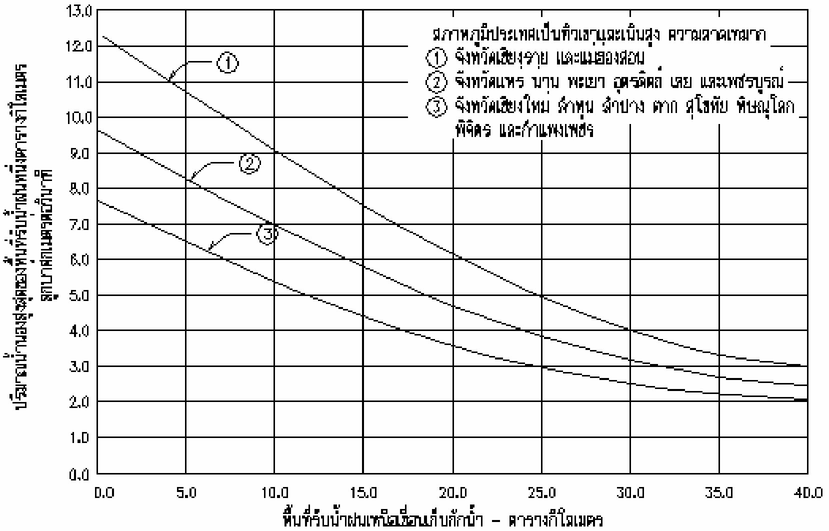
ทั้งนี้ งานเขื่อนดินขนาดเล็กจะใช้ปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบ 25 ปี โดยมีแนวทางคำนวณหาปริมาณน้ำนองสูงสุด ดังนี้

1. วัดขนาดของพื้นที่รับน้ำฝนเหนือที่ตั้งเขื่อนจากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000
2. เลือกปริมาณน้ำที่คาดว่าไหลมาตามลำน้ำมากที่สุด ภายในพื้นที่รับน้ำฝนหนึ่งตารางกิโลเมตร ตามท้องที่และลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่รับน้ำฝน จากรูปที่ 4-3 ถึงรูปที่ 4-7
3. ปริมาณน้ำนองสูงสุดในรอบ 25 ปี เท่ากับผลคูณของขนาดพื้นที่รับน้ำฝนกับปริมาณน้ำที่คาดว่าจะไหลมามากที่สุดของพื้นที่รับน้ำฝนขนาดหนึ่งตารางกิโลเมตรที่หาได้ตามข้อ 2.

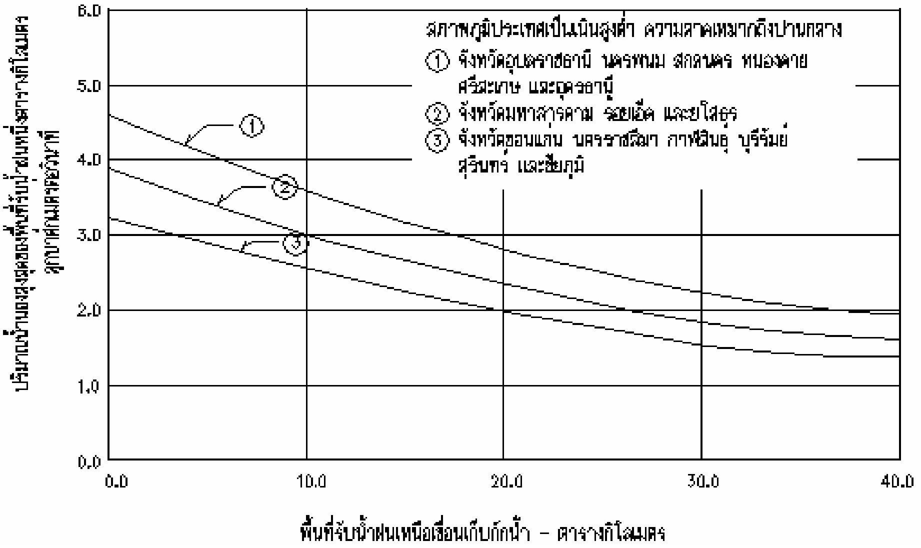
4. ในขณะที่น้ำในอ่างเก็บน้ำไหลผ่านอาคารระบายน้ำล้น จะมีน้ำจำนวนหนึ่งถูกเก็บกักไว้ในอ่างสูงกว่าระดับสันอาคารระบายน้ำล้น จึงเป็นการชะลอน้ำจำนวนหนึ่งไว้โดยไม่ระบายออกไปทันที ทำให้น้ำที่ไหลผ่านอาคารระบายน้ำล้นมีจำนวนน้อยกว่าน้ำที่กำลังไหลสู่อ่างเก็บน้ำ

สำหรับขนาดอาคารระบายน้ำล้นของอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก ควรออกแบบให้ระบายน้ำนองสูงสุดเท่ากับจำนวนที่ไหลลงอ่าง โดยไม่คำนึงถึงปริมาตรส่วนที่ถูกชะลอเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำนั้น เนื่องจากมีจำนวนไม่มากนัก และเพื่อเพิ่มความปลอดภัยของเขื่อนให้มากขึ้นอีกด้วย สำหรับการคำนวณหาปริมาณน้ำนองสูงสุดผ่านอาคารระบายน้ำล้น ของอ่างเก็บน้ำที่มีปริมาตรพักน้ำล้นเหนือระดับน้ำเก็บกักมาก ให้เป็นการศึกษาเฉพาะกรณีไป เช่น การสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดความจุ 1-2 แสนลูกบาศก์เมตรในการจังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งสภาพพื้นที่รับฝนมีความลาดชันน้อย ควรออกแบบอาคารระบายน้ำล้นให้ระบายน้ำสูงสุดประมาณ 7.67 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (3.1x2.48) โดยให้สัมพันธ์กับความยาวของอาคารระบายน้ำล้นด้วย

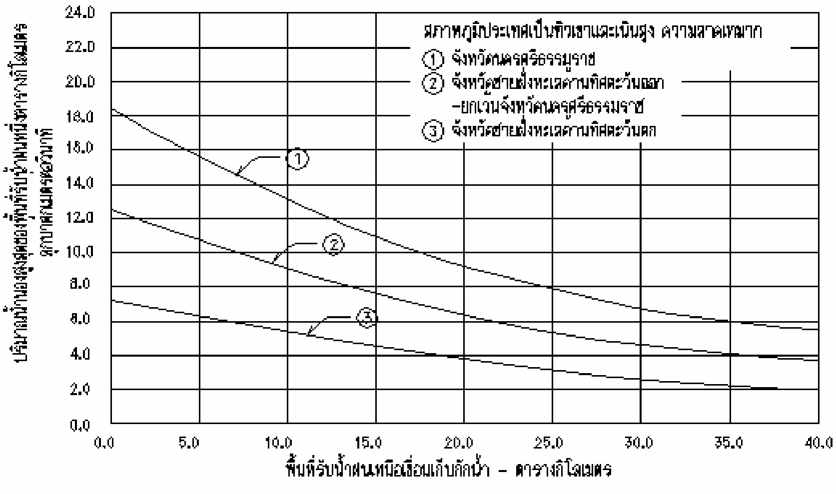
การประเมินปริมาณน้ำนองสูงสุดของพื้นที่รับน้ำฝนขนาดหนึ่งตารางกิโลเมตร จากรูป 4-4 ถึงรูปที่ 4-7 นั้น ให้พิจารณาถึงสภาพความลาดเทของภูมิประเทศจริงเปรียบเทียบกับสภาพภูมิประเทศที่ระบุไว้ในรูป แล้วประเมินค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปจากกราฟได้ตามความเหมาะสม



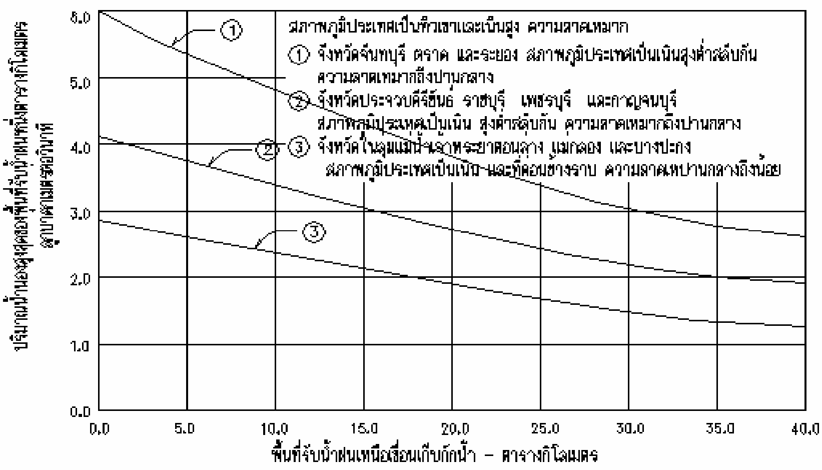
รูปที่ 4-4 ปริมาณน้ำนองสูงของพื้นที่รับน้ำฝนหนึ่งตารางกิโลเมตรในภาคเหนือ



รูปที่ 4-5 ปริมาณน้ำนองสูงของพื้นที่รับน้ำฝนหนึ่งตารางกิโลเมตรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



รูปที่ 4-6 ปริมาณน้ำนองสูงของพื้นที่รับน้ำฝนหนึ่งตารางกิโลเมตรในภาคใต้



รูปที่ 4-7 ปริมาณน้ำนองสูงของพื้นที่รับน้ำฝนหนึ่ง ตารางกิโลเมตรในภาคตะวันตก ภาคกลางและตะวันออก

4.3 การหาความต้องการใช้น้ำ

ในการกำหนดความจุของอ่างเก็บน้ำและขนาดของเขื่อน จะต้องศึกษาความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค การเพาะปลูก รวมไปถึงการใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ ให้ครบถ้วนโดยมีแนวทางการดำเนินการดังนี้

4.3.1 ปริมาณน้ำใช้สำหรับอุปโภคบริโภค

ปริมาณน้ำใช้สำหรับอุปโภคบริโภค คือ ปริมาณน้ำกินน้ำใช้ของประชาชนและสัตว์เลี้ยงต่างๆ ซึ่งกำหนดได้ดังนี้

1. อัตราการใช้น้ำของประชากร ขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำในแต่ละพื้นที่ คือ

พื้นที่	ปริมาณน้ำใช้เฉลี่ย คนละ – ลิตร/วัน
ขาดแคลนน้ำ	30 ลิตร
ปริมาณน้ำมาก	100 ลิตร
ปริมาณน้ำอุดมสมบูรณ์	200 ลิตร
เมืองท่องเที่ยวและอุตสาหกรรม	300 ลิตร

2. อัตราการใช้น้ำของสัตว์เลี้ยงประเภทต่างๆ เช่น วัวและควายตัวละประมาณ 50 ลิตร ต่อวัน หมูตัวละประมาณ 20 ลิตร ต่อวัน ไก่ตัวละประมาณ 0.15 ลิตร ต่อวัน

ตัวอย่าง หมู่บ้านแห่งหนึ่ง มีประชากรรวม 1,600 คน เลี้ยงหมูจำนวน 1,000 ตัว เลี้ยงวัวและควายรวม 800 ตัว และเลี้ยงไก่อีก 10,000 ตัว ในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งมีระยะเวลานานถึง 6 เดือน สามารถคำนวณความต้องการปริมาณน้ำสำหรับใช้อุปโภคบริโภคได้ดังนี้

วิธีคำนวณ

ปริมาณน้ำอุปโภคบริโภคสำหรับประชากร 1,600 คน

- ใช้อย่างประหยัด (ประมาณคนละ 30 ลิตร ต่อวัน)

$$= \frac{30}{1,000} \text{ x } 1,600 \text{ x } 6 \text{ x } 30 = 8,640 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

- ใช้อย่างสะดวกสบาย (ประมาณคนละ 200 ลิตร ต่อวัน)

$$= \frac{200}{1,000} \text{ x } 1,600 \text{ x } 6 \text{ x } 30 = 57,600 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

ปริมาณน้ำสำหรับสัตว์เลี้ยง (หมู 1,000 ตัว วัวและควาย 800 ตัว และไก่ 10,000 ตัว)

$$= \left[\frac{20}{1,000} x1,000 + \frac{50}{1,000} x800 + \frac{0.15}{1,000} x10,000 \right] \text{x } 6 \text{ x } 30 = 11,070 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

$\therefore$ ปริมาณน้ำที่ต้องการถ้าใช้น้ำอย่างประหยัด = 19,710 ลูกบาศก์เมตร และถ้าใช้น้ำอย่างสะดวกสบาย = 68,670 ลูกบาศก์เมตร

4.3.2 ปริมาณน้ำใช้เพื่อการเพาะปลูก

ปริมาณน้ำใช้เพื่อการเพาะปลูก คือ ปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องใช้เพื่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำต่างกัน และไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลา

ปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องการ คือ ปริมาณน้ำจากแหล่งชลประทานที่จัดส่งให้พื้นที่เพาะปลูกเป็นการเพิ่มเติมจากน้ำฝน เพื่อให้พืชเจริญเติบโตต่อไปได้ตามปกติ เช่น ในฤดูฝนทำการปลูกข้าวด้วยการขังน้ำฝนอยู่ในแปลงนา แต่เมื่อฝนไม่ตกเป็นเวลานานจนพื้นนาแห้งจะส่งน้ำจากแหล่งน้ำชลประทานเข้าไปเพิ่มเติม

ความต้องการน้ำชลประทาน นอกจากจะผันแปรไปตามชนิดของพืชแล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดของดิน สภาพลมฟ้าอากาศ วิธีการเพาะปลูก และระยะการเติบโตของพืชซึ่งทำให้น้ำชลประทานที่ต้องการในแต่ละเดือน มีจำนวนไม่แน่นอน เช่น การปลูกข้าวจะต้องการน้ำในระยะตกกล้าลึกเฉลี่ย 40 มิลลิเมตรต่อพื้นที่เพาะปลูก (กล้าในแปลงเพาะ 1 ไร่ สามารถปักดำได้ประมาณ 15 ไร่) น้ำสำหรับเตรียมแปลงลึก 200 มิลลิเมตร และน้ำที่ใช้ขังในนาตั้งแต่ระยะปักดำถึงระยะเก็บเกี่ยวลึกประมาณ 1,000 มิลลิเมตร หรือต้องการน้ำเฉลี่ยวันละ 8 มิลลิเมตร ทั้งนี้ตลอดอายุของการปลูกข้าวจะต้องการน้ำในพื้นที่เพาะปลูก 1 ตารางวารวมทั้งสิ้น 1,240 มิลลิเมตร

ตัวอย่าง พื้นที่ทำนาจำนวน 300 ไร่ ตลอดระยะทำนามีฝนตกรวมเฉลี่ย 1,100 มิลลิเมตร และจำนวนน้ำฝนที่สามารถใช้ประโยชน์เพื่อการเพาะปลูกมีประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของฝนตกทั้งหมด สามารถคำนวณความต้องการใช้น้ำเพื่อการเพราะปลูกได้ดังนี้

1. ความต้องการใช้น้ำชลประทาน
2. ขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำที่สามารถแก้ปัญหาวิกฤต กรณีหากฝนทิ้งช่วงนานหนึ่งเดือน และน้ำฝนที่ขังไว้ในแปลงนาใช้ได้นาน 10 วัน โดยที่อ่างเก็บน้ำมีปริมาณน้ำเต็ม ณ ระดับน้ำเก็บกัก และไม่มีน้ำไหลลงอ่าง

วิธีคำนวณ

1. จำนวนน้ำใช้ในการตกกล้า เตรียมแปลง และปักดำ

$$= \left[\frac{40}{1,000} + \frac{200}{1,000} + \frac{1,000}{1,000}\right] \text{ x } 300 \text{ x } 1,600 \text{ (1 ไร่ = 1,600 วา}^2\text{)}$$

= 19,200 + 96,000 + 480,000 = 595,200 ลูกบาศก์เมตร

จำนวนน้ำฝนที่สามารถใช้เป็นประโยชน์ได้

$$= 300 \text{ x } 1,600 \text{ x } \frac{1,100}{1,000} \text{ x } 0.6 = 316,800 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

จะต้องใช้น้ำชลประทานเพิ่ม

= 595,000 – 316,800 = 278,400 ลูกบาศก์เมตร

2. กรณีขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำเพื่อแก้ปัญหาวิกฤต ซึ่งต้องส่งน้ำชลประทานไปช่วยในเวลาที่เหลืออีก 20 วัน

$$= 300 \times 1{,}600 \times \frac{8}{1{,}000} \times 20 \quad = 76{,}800$$ ลูกบาศก์เมตร

เผื่อการสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำชลประทานและที่แปลงเพาะปลูก 40%

จำนวนน้ำในอ่างเก็บน้ำที่จะใช้ในช่วง 20 วัน

$$= 1.4 \times 76{,}800 \quad = 107{,}520$$ ลูกบาศก์เมตร

ขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำจะต้องเก็บได้อย่างน้อย

= 107,520 + จำนวนน้ำที่ระเหยและรั่วซึม ในช่วง 20 วัน + ปริมาตรของการตกตะกอน

สำหรับความต้องการน้ำสำหรับพืชไร่ พืชผัก และไม้ผล ปรากฏตามตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ความต้องการน้ำของพืชชนิดต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทยโดยประมาณ

ชนิดของพืช	ปริมาณน้ำที่ต้องการสูงสุดต่อวัน (มิลลิเมตร)	ปริมาณน้ำที่ต้องการตลอดอายุพืช (มิลลิเมตร)
ข้าวโพด	5 – 7	350 – 400
ถั่วลิสง	2 – 5	400 – 500
งา	4 – 5	450 – 525
ถั่วเหลือง	2 – 4	300 – 350
ถั่วเขียว	3 – 6	370 – 400
ข้าวฟ่าง	4 – 5	300 – 400
ละหุ่ง	6 – 8	600 – 740
ปอกระเจา	6 – 8	600 – 700
ปอแก้ว	2 – 4	300 – 450
ฝ้าย	6 – 9	500 – 900
อ้อย	6 – 9	1,600 – 1,870
พืชปุ๋ยสด	-	300 – 600
พืชผัก	4 – 5	400 – 500
ส้ม	3 – 4	750 – 980 (ปีละ)

ปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องการสำหรับพื้นที่เพาะปลูกพืชไร่ คำนวณได้จาก ปริมาณน้ำที่พืชต้องใช้ทั้งหมดหักปริมาณฝนที่พืชสามารถใช้ได้ในฤดูกาลเพาะปลูก

4.3.3 ความจุของอ่างเก็บน้ำ

ความจุของอ่างเก็บน้ำ หมายถึง ปริมาณน้ำที่จะต้องเก็บกักในอ่างเก็บน้ำซึ่งมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการ ทั้งนี้จะต้องรวมถึงน้ำที่สูญเสียไปเนื่องจากการระเหยและการรั่วซึมจากเขื่อน ตลอดจนปริมาณตะกอนในอ่างเก็บน้ำ

การระเหย โดยปกติแล้วจะมีน้ำจำนวนมากระเหยไปจากผิวน้ำในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งยากต่อการควบคุมหรือป้องกันได้ โดยเฉพาะในฤดูแล้ง ซึ่งไม่มีปริมาณน้ำฝนไหลลงอ่างเก็บน้ำ แต่มีน้ำจำนวนหนึ่งระเหยไป ทำให้ปริมาณน้ำที่เก็บกักไว้ลดลงทั้งๆ ที่ไม่มีการส่งน้ำ เพื่อการชลประทาน ทำให้เป็นปัญหาสำคัญสำหรับอ่างเก็บน้ำที่มีความจุน้อย

ในการศึกษาและวางโครงการสร้างเขื่อน จึงจำเป็นต้องคำนวณหาปริมาณน้ำที่คาดว่าจะระเหยไปจากอ่างเก็บน้ำในแต่ละเดือน เพื่อใช้ประกอบการกำหนดความจุของอ่างเก็บน้ำและความสูงของเขื่อนที่เหมาะสม

ข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการระเหยในเดือนต่างๆ จากสถิติของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งได้ทำการวัดในแต่ละจังหวัดทั่วประเทศ นำค่าที่ได้ในแต่ละเดือนของปีต่างๆ มาหาค่าเฉลี่ย ดังตัวอย่างตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ตัวอย่างอัตราการระเหยเฉลี่ย (มิลลิเมตร) ระหว่างปี พ.ศ.2514 - 2543

เดือน	จ.เชียงใหม่	จ.นครราชสีมา	จ.กาญจนบุรี	จ.ชุมพร	จ.ลพบุรี
มกราคม	108.1	137.3	140.0	112.4	151.4
กุมภาพันธ์	128.7	143.9	150.4	114.4	151.8
มีนาคม	171.7	183.2	205.8	145.2	194.9
เมษายน	189.4	183.4	215.7	145.3	194.2
พฤษภาคม	178.6	174.8	190.4	128.2	184.3
มิถุนายน	143.7	163.4	157.5	109.7	163.8
กรกฎาคม	129.6	164.3	160.4	112.6	158.0
สิงหาคม	126.3	151.0	154.0	108.1	144.9
กันยายน	128.8	125.8	138.1	109.0	131.9
ตุลาคม	129.0	125.6	122.6	100.4	127.6
พฤศจิกายน	106.8	128.6	128.0	92.8	143.5
ธันวาคม	98.3	135.9	142.2	102.5	159.5

การรั่วซึม ปริมาณน้ำที่รั่วซึมออกจากอ่างเก็บน้ำ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินและหินที่บริเวณพื้นและขอบอ่าง ว่ามีช่องว่างพรุนที่ทำให้น้ำไหลผ่านได้ง่ายหรือไม่ และระดับน้ำใต้ดินบริเวณขอบอ่างอยู่ต่ำกว่าระดับผิวน้ำที่เก็บกักเพียงใด เพราะแรงดันของน้ำที่เกิดจากผลต่างระหว่างผิวน้ำทั้งสองระดับจะทำให้น้ำซึมออกไปได้ นอกจากนี้ถ้าหากว่าใต้ผิวดินบริเวณขอบอ่างเก็บน้ำเป็นหินแตกและมีรูโพรงหรือเป็นหินพรุนที่เกิดจากลาวาของภูเขาไฟ หินศิลาแลง หรือหินปูนที่ถูกน้ำละลายออกง่าย น้ำก็จะออกจากอ่างเก็บน้ำไปได้หรืออ่างไม่สามารถเก็บน้ำไว้ได้เลย กรณีรอยแตกของหินมีบริเวณไม่กว้างทำการอุดรอยแตกโดยการอัดฉีดน้ำปูนให้ทึบแน่นก็จะป้องกันการรั่วซึมได้

การตกตะกอน ในการสร้างเขื่อนจะต้องสร้างกั้นขวางทางน้ำธรรมชาติ จึงทำให้ตะกอนที่ไหลปนอยู่ในตกทับถมบริเวณด้านหน้าเขื่อนเป็นปริมาณมากขึ้นทุกปี เป็นสาเหตุทำให้ความจุของอ่างเก็บน้ำลดน้อยลง

ตะกอนที่ไหลมากับน้ำเกิดจากการกัดเซาะผิวดินของน้ำฝน น้ำที่ไหลบนผิวดิน และลม ซึ่งบางส่วนจะตกค้างตามทางผ่านและบางส่วนไหลไปตามกระแสน้ำจนถึงบริเวณอ่างเก็บน้ำ จำนวนตะกอนที่ตกทับถมในแต่ละปี ขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่รับน้ำฝน ความลาดชันของลุ่มน้ำ ลักษณะผิวดินและสภาพของพืชซึ่งปกคลุมทั่วเขตพื้นที่รับน้ำฝน

การกำหนดความจุอ่างเก็บน้ำจะจัดปริมาตรก้นอ่างจำนวนหนึ่งสำหรับการตกตะกอนในช่วงอายุของการใช้งาน เช่น ภายใน 30 ปี เป็นต้น แต่เนื่องจากอัตราการตกตะกอนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ หลายประการ จึงไม่สามารถคำนวณได้อย่างถูกต้อง จึงใช้วิธีการตรวจวัดตะกอนของลุ่มน้ำต่างๆ ทั่วประเทศเป็นข้อมูลเทียบเคียงลุ่มน้ำที่มีลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่รับน้ำฝนใกล้เคียงกัน และอยู่ในภูมิภาคเดียวกัน เช่น กรมชลประทานได้ทำการตรวจวัดใน ลุ่มน้ำต่างๆ ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อัตราการกัดเซาะผิวดินที่ทำให้ดินเป็นตะกอนไหลลงอ่างทั้งลุ่มน้ำมีประมาณ 150-200 ลูกบาศก์เมตร ต่อปีต่อพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อน 1 ตารางกิโลเมตร เมื่อกำหนดอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำตามที่ต้องการได้แล้ว ก็สามารถประมาณตะกอนที่คาดว่าจะตกจมในอ่างเก็บน้ำทั้งหมดได้

4.4 การคำนวณทางเศรษฐศาสตร์และความคุ้มทุน

การคำนวณความคุ้มทุนของโครงการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำนั้น นิยมใช้การคำนวณค่าอัตราส่วนปัจจุบัน ผลประโยชน์ต่อรายจ่ายและอัตราผลประโยชน์ตอบแทนภายใน

อัตราส่วนปัจจุบัน ผลประโยชน์ต่อรายจ่าย

พิจารณาแยกมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ และรายจ่าย หาผลรวมของทุกปี สำหรับอัตราดอกเบี้ยที่ใช้ประกอบการคำนวณนั้น นำมาจากอัตราดอกเบี้ยขั้นต่ำที่ต้องการ โดยค่าที่ได้มากกว่า 1 แสดงว่าโครงการก่อสร้างนั้นคุ้มทุน การแปลงค่าเงินในอนาคต คิดเป็นมูลค่าปัจจุบันได้โดยคูณกับค่าปรับแก้

ค่าปรับแก้ $= \left[\dfrac{1}{(1+i)^n}\right]$

โดย i คือ อัตราดอกเบี้ย

n คือ ปี

ตัวอย่าง ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโครงการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำแห่งหนึ่ง ใช้งบประมาณทั้งสิ้น 7,149,000 บาท ระยะเวลาก่อสร้าง 1 ปี ค่าดูแลบำรุงรักษาอ่างเก็บน้ำและซ่อมแซมปรับปรุงเบ็ดเตล็ดประมาณปีละ 15,000 บาท ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำประมาณปีละ 714,900 บาท โดยโครงการ อ่างเก็บน้ำมีอายุใช้งาน 20 ปี สมมติอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 6

ปี	ผลประโยชน์	ค่าใช้จ่าย	ค่าปรับแก้	มูลค่าปัจจุบัน i = 6%	
				ผลประโยชน์	ค่าใช้จ่าย
0	-	7,149,000	1.00	-	7,149,000
1	714,900	15,000	0.94	674,434	14,151
2	714,900	15,000	0.89	636,258	13,350
3	714,900	15,000	0.84	600,244	12,594
4	714,900	15,000	0.79	566,268	11,881
5	714,900	15,000	0.75	534,215	11,209
6	714,900	15,000	0.70	503,976	10,574
7	714,900	15,000	0.67	475,449	9,976
8	714,900	15,000	0.63	448,537	9,411
9	714,900	15,000	0.59	423,148	8,878
10	714,900	15,000	0.56	399,196	8,376
11	714,900	15,000	0.53	376,600	7,902

ปี	ผลประโยชน์	ค่าใช้จ่าย	ค่าปรับแก้	มูลค่าปัจจุบัน i = 6%	
				ผลประโยชน์	ค่าใช้จ่าย
12	714,900	15,000	0.50	355,283	7,455
13	714,900	15,000	0.47	335,173	7,033
14	714,900	15,000	0.44	316,201	6,635
15	714,900	15,000	0.42	298,303	6,259
16	714,900	15,000	0.39	281,418	5,905
17	714,900	15,000	0.37	265,488	5,570
18	714,900	15,000	0.35	250,461	5,255
19	714,900	15,000	0.33	236,284	4,958
20	714,900	15,000	0.31	222,909	4,677
รวม				**8,199,847**	**7,321,049**

อัตราส่วนปัจจุบัน ผลประโยชน์ต่อรายจ่ายมีค่ามากกว่า 1 (8,199,847/7,321,049) ดังนั้น โครงการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำแห่งนี้ จึงเหมาะสมในการลงทุนเพราะให้ผลตอบแทนที่มากกว่า

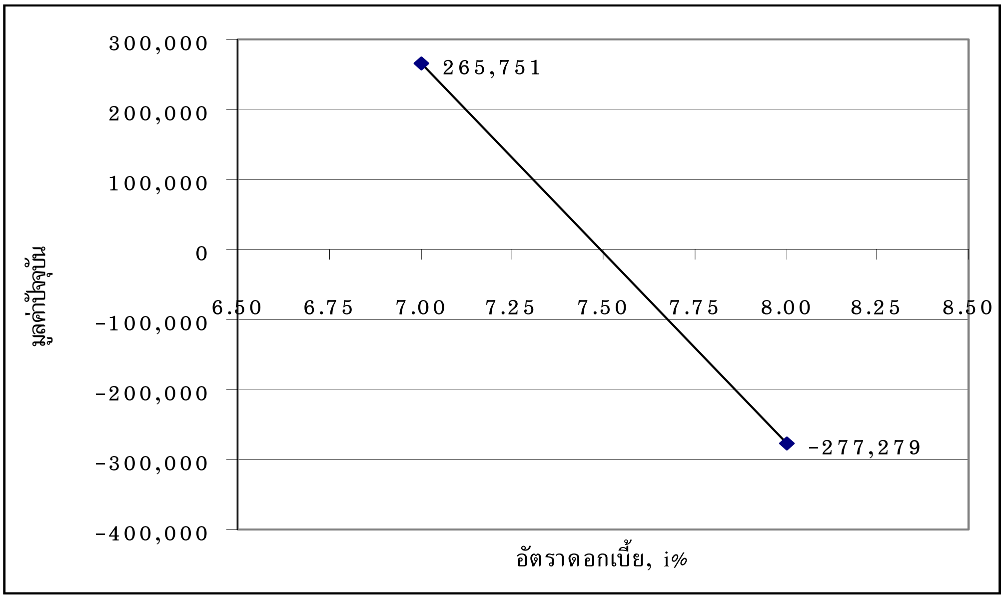
อัตราผลตอบแทนภายใน

การคำนวณอัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันเท่ากับศูนย์ หรืออีกนัยหนึ่งคืออัตราดอกเบี้ย ซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโครงการและบำรุงรักษามีค่าเท่ากับค่าผลประโยชน์ตอบแทนปัจจุบัน

ตัวอย่าง จากข้อมูลในตัวอย่างที่ผ่านมา หาอัตราผลตอบแทนภายใน

ปี	ผลประโยชน์	ค่าใช้จ่าย	ผลต่าง	i = 7%		i = 8%	
				ค่าปรับแก้	มูลค่าปัจจุบัน	ค่าปรับแก้	มูลค่าปัจจุบัน
0	0	7,149,000	-7,149,000	1.00	-7,149,000	1.00	-7,149,000
1	714,900	15,000	699,900	0.93	654,112	0.93	648,056
2	714,900	15,000	699,900	0.87	611,320	0.86	600,051
3	714,900	15,000	699,900	0.82	571,327	0.79	555,603
4	714,900	15,000	699,900	0.76	533,950	0.74	514,447
5	714,900	15,000	699,900	0.71	499,019	0.68	476,340
6	714,900	15,000	699,900	0.67	466,373	0.63	441,056
7	714,900	15,000	699,900	0.62	435,863	0.58	408,385
8	714,900	15,000	699,900	0.58	407,348	0.54	378,134
9	714,900	15,000	699,900	0.54	380,699	0.50	350,124
10	714,900	15,000	699,900	0.51	355,794	0.46	324,189
11	714,900	15,000	699,900	0.48	332,517	0.43	300,175
12	714,900	15,000	699,900	0.44	310,764	0.40	277,940
13	714,900	15,000	699,900	0.41	290,434	0.37	257,352
14	714,900	15,000	699,900	0.39	271,433	0.34	238,289
15	714,900	15,000	699,900	0.36	253,676	0.32	220,638
16	714,900	15,000	699,900	0.34	237,080	0.29	204,294
17	714,900	15,000	699,900	0.32	221,570	0.27	189,161
18	714,900	15,000	699,900	0.30	207,075	0.25	175,149
19	714,900	15,000	699,900	0.28	193,528	0.23	162,175
20	714,900	15,000	699,900	0.26	180,867	0.21	150,162
รวม					**265,751**		**-277,279**

นำค่าปัจจุบันสุทธิที่ได้จากแต่ละอัตราดอกเบี้ยนำมาเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4-8 จุดที่ค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 0 ก็จะทราบค่าของอัตราผลประโยชน์ตอบแทนของโครงการได้มีค่าเท่ากับ 7.47%



รูปที่ 4-8 อัตราผลตอบแทนภายใน

นอกจากการพิจารณาความคุ้มทุนและอัตราผลประโยชน์ตอบแทนแล้ว ควรคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจจะเกิดขึ้น ดังนี้

1. มีการทำลายป่าไม้บางส่วนทั้งที่อยู่ในบริเวณอ่างเก็บน้ำ และบริเวณที่ตั้งหัวงานเขื่อน
2. ในขณะก่อสร้างเกิดมลภาวะด้านฝุ่นและเสียง
3. รบกวนความเป็นอยู่ของสัตว์ป่า และทำให้สัตว์ป่าและนกป่าย้ายถิ่นที่อยู่
4. ทำให้เส้นทางคมนาคมของราษฎรต้องเปลี่ยนแปลง
5. เกิดตะกอนในลำน้ำเพิ่มมากขึ้น
6. ระบบนิเวศน์วิทยาเปลี่ยนแปลงไป
7. อาจจะเป็นสาเหตุทำให้มีการบุกรุกทำลายป่าไม้เพิ่มมากขึ้น
8. ทำลายสภาพภูมิประเทศ และสภาพธรณีวิทยาฐานรากไปจากเดิม
9. อาจทำลายโบราณสถานหรือสิ่งมีค่าทางประวัติศาสตร์ในบริเวณอ่างเก็บน้ำที่ถูกน้ำท่วม

4.5 การจัดหาพื้นที่โครงการและการขออนุญาตใช้พื้นที่

พื้นที่ของโครงการเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ มักตั้งอยู่ตอนบนของลุ่มน้ำหรือด้านเหนือน้ำของพื้นที่ที่จะได้รับประโยชน์ เนื่องจากการส่งน้ำต้องอาศัยระดับพื้นที่ ที่ต่างกันทำให้เกิดการไหลของน้ำ และส่วนใหญ่เชื่อมต่อกับเขตป่าต้นน้ำหรือที่สูงในเขตป่าสงวนซึ่งเป็นที่หวงห้ามตามกฎหมายอุทยาน และ พื้นที่อนุรักษ์ การจัดหาพื้นที่โครงการที่เหมาะสม จึงต้องพิจารณาตรวจสภาพพื้นที่และขออนุญาตใช้พื้นที่ ซึ่งอาจแบ่งเป็น 3 กรณี คือ

1. พื้นที่หวงห้ามไม่ให้เข้าไปทำประโยชน์ เช่น อุทยานแห่งชาติ ป่าอนุรักษ์ฯ ควรหลีกเลี่ยงการใช้พื้นที่ดังกล่าว
2. พื้นที่ที่ต้องขออนุญาตก่อนดำเนินการตามกฎหมาย เช่น ป่าเสื่อมโทรม พื้นที่ ส.ป.ก. พื้นที่สาธารณประโยชน์ของชุมชนหรือหมู่บ้าน เป็นต้น ต้องดำเนินการขออนุญาตให้ถูกต้องตามขั้นตอน
3. พื้นที่กรรมสิทธิ์ของเอกชน ต้องดำเนินการจัดซื้อ หรือขอบริจาค หรือ เวนคืนให้เหมาะสมแล้วแต่กรณี

วัสดุก่อสร้างเขื่อน

บทที่ 5
วัสดุก่อสร้างเขื่อน

5.1 หลักการสำรวจและคัดเลือกวัสดุตัวเขื่อน

การสำรวจแหล่งวัสดุในงานเขื่อนมีความสำคัญในการออกแบบเขื่อน เนื่องจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเขื่อน ต้องได้มาจากวัสดุตามธรรมชาติที่อยู่ใกล้ตัวเขื่อนมากที่สุด ดังนั้นการสำรวจหาแหล่งวัสดุจึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. สำรวจหาแหล่งวัสดุที่สามารถใช้ก่อสร้างตัวเขื่อนและอาคารประกอบ
2. ประเมินปริมาตรที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้
3. ตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรม
4. จัดลำดับความสำคัญของแหล่งวัสดุที่จะใช้ก่อนหลังในระหว่างการก่อสร้าง
5. การประเมินราคาวัสดุก่อสร้าง

หลักการสำรวจแหล่งวัสดุโดยทั่วไปอาจทำได้ดังนี้

1. แหล่งวัสดุ

1. จะต้องอยู่ใกล้บริเวณตัวเขื่อนโดยคำนึงถึงเส้นทางการขนส่งที่สะดวก หากอยู่ในบริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำ ก็จะเป็นการประหยัดค่าเวนคืนหรือชดเชยที่ดิน ควรหลีกเลี่ยงบริเวณพื้นที่หวงห้ามของชุมชน หรือที่ทำกินของราษฎร

2. พิจารณาวัสดุที่ได้จากการก่อสร้างอยู่แล้ว เช่นวัสดุซึ่งต้องขุดจากฐานรากเขื่อน ไหล่เขา หรืออาคารประกอบ โดยคัดเลือกเฉพาะส่วนที่มีคุณสมบัติเหมาะสม

2. ปริมาณที่ต้องสำรวจ

จะต้องสำรวจแหล่งวัสดุ เผื่อไว้ประมาณ 2 เท่าของปริมาตรที่คาดว่าจะใช้ ทั้งนี้เพราะบางส่วนจะถูกคัดทิ้งเนื่องจากคุณภาพต่ำ และบางส่วนสูญเสียไประหว่างขนส่ง

3. การดำเนินการสำรวจ

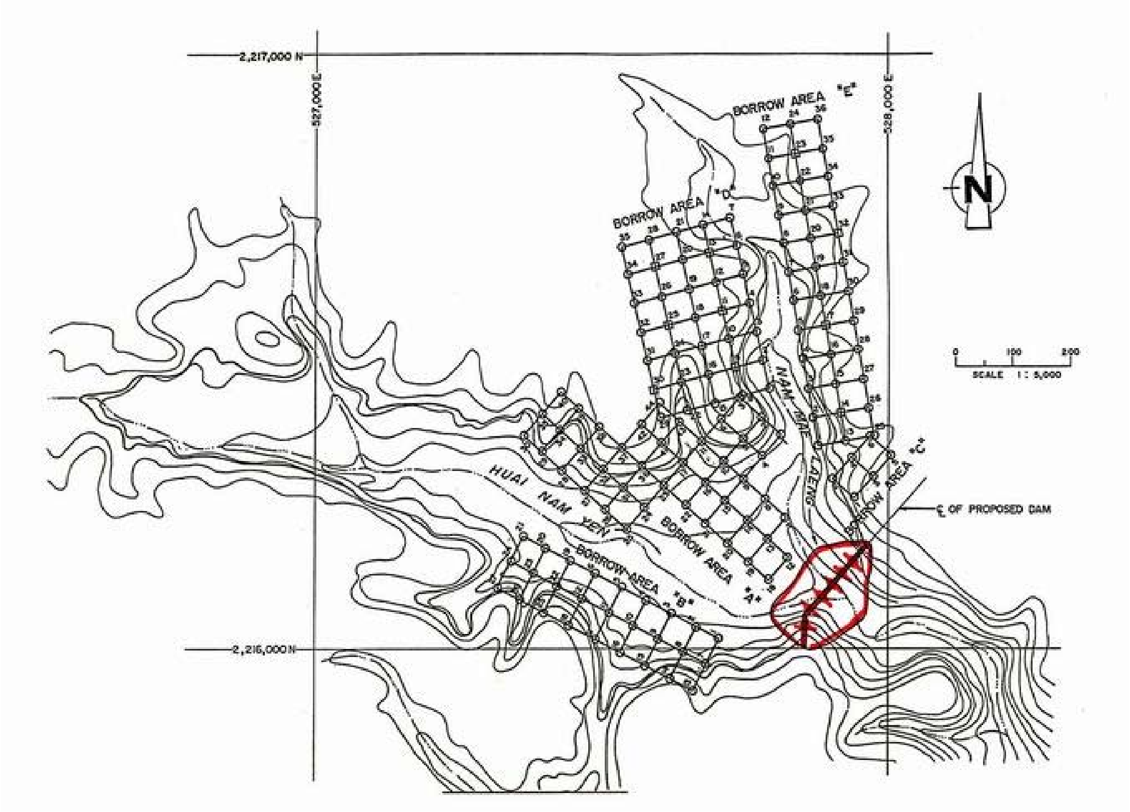
การดำเนินการสำรวจสามารถดำเนินการเองหรือจัดจ้างหน่วยงานอื่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความพร้อมของวัสดุอุปกรณ์และบุคลากรที่มีอยู่

5.2 ดินถมตัวเขื่อน

1. วิธีการสำรวจ

การสำรวจเริ่มด้วยการพิจารณาแผนที่มาตรส่วน 1:5,000 ถึง 1:10,000 ประกอบกับลักษณะธรณีวิทยาการกำเนิดของดินและหินในบริเวณรอบตัวเขื่อนและบริเวณที่เลือกไว้ จากนั้นจึงเริ่มเจาะหรือขุดสำรวจ โดยกำหนดแปลงแต่ละบ่อยืมดินในการก่อสร้างเขื่อนเป็นกริด ขนาด 50x50 หรือ 100x100 เมตร คลุมพื้นที่บริเวณนั้น และมีหมายเลขกำกับทุกหลุม ส่วนวิธีสำรวจอาจทำได้ดังนี้

- การเจาะด้วยสว่านมือ (Hand auger)
- การขุดหลุม Test pit



รูปที่ 5-1 ตัวอย่างแผนการเจาะสำรวจบ่อยืมดินในการก่อสร้างเขื่อน

2. การประเมินความเหมาะสมของดินก่อสร้างเขื่อน

ดินสำหรับการก่อสร้างตัวเขื่อน จะเป็นดินที่มีสัดส่วนของดินเหนียวปะปนกับกรวดทรายซึ่งเมื่อบดอัดด้วยเครื่องจักรที่ความชื้นที่เหมาะสมแล้วจะมีความหนาแน่น ทึบน้ำ ป้องกันการรั่วซึมของเขื่อนได้เป็นอย่างดี และมีความแข็งแรงที่เกิดจากการขัดดินเม็ดหยาบ ทำให้ไม่เกิดการพังทลายของลาดเขื่อนได้ง่าย กลุ่มดินที่เหมาะสมใน 5 ลำดับแรก ตามการจำแนกของ Unified Soil Classification System (USCS) แสดงไว้ในตารางที่ 5-1

ตารางที่ 5-1 ความเหมาะสมของดินบดอัดถมตัวเขื่อนและดินฐานรากเขื่อน

ลักษณะดิน	กลุ่มดิน (USCS)	การรั่วซึมหลังการบดอัด	ความแข็งแรงหลังการอิ่มตัว	การยุบตัวหลังการอิ่มตัว	การบดอัด	ลำดับความเหมาะสม	
						ถมตัวเขื่อน	ฐานรากเขื่อน
กรวดผสมดินเหนียวมีทรายปน	GC	ทึบน้ำ	ดีพอใช้ – ดี	น้อยมาก	ดี	1	1
กรวดผสมทรายแป้งมีทรายปน	GM	น้อย-ทึบน้ำ	ดี	ไม่ยุบตัว	ดี	2	2
ทรายผสมดินเหนียว	SC	ทึบน้ำ	ดีพอใช้ – ดี	น้อย	ดี	3	3
ทรายผสมทรายแป้ง	SM	น้อย-ทึบน้ำ	ดี	น้อย	พอใช้	4	4
ดินเหนียวความเหนียวต่ำ	CL	ทึบน้ำ	ดี	ปานกลาง	ดี	5	5

ดินที่สำรวจในสนามชั้นดินที่เหมาะสมจะต้องไม่เป็นชั้นบางกว่า 0.5 เมตร หรือมีปริมาตรจำกัด จนไม่คุ้มกับการเปิดเป็นบ่อยืมดิน ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินศักยภาพของแต่ละบ่อยืมดินให้ชัดเจน ก่อนการคิดปริมาณดินที่สามารถนำมาใช้ได้

5.3 กรวดทรายกรองน้ำและแผ่นใยสังเคราะห์

ชั้นกรอง (Filter) หรือ ชั้นระบายน้ำ (Drainage) เป็นส่วนสำคัญในตัวเขื่อน ทำหน้าที่รับน้ำที่ซึมผ่านตัวเขื่อนและฐานรากให้ไหลมารวมกัน ในบริเวณที่เตรียมไว้โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายจากการกัดเซาะ หรือเกิดความดันน้ำสูงจนเกิดการกัดเซาะ คุณสมบัติหลักของชั้นกรองหรือชั้นระบายน้ำมี 2 ประการ คือ

1. ขนาดของวัสดุกรอง (หรือช่องว่างระหว่างเม็ด) ต้องมีขนาดเล็กพอที่จะป้องกันไม่ให้เม็ดดินของตัวเขื่อนและฐานรากถูกกัดเซาะและไหลตามน้ำที่ซึมผ่านออกมาได้

2. ขนาดของวัสดุกรอง (หรือช่องว่างระหว่างเม็ด) จะต้องใหญ่พอที่จะยอมให้น้ำไหลซึมออกได้สะดวกโดยไม่เกิดความดันน้ำสะสมขึ้นในตัวเขื่อนหรือชั้นกรอง

ชั้นกรองหรือชั้นระบายน้ำในตัวเขื่อนจะต้องมีความหนาเพียงพอที่จะรองรับปริมาณน้ำที่คาดว่าจะต้องระบายออกจากตัวเขื่อนหรือฐานรากได้

แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile) สามารถนำมาใช้ในการออกแบบและก่อสร้างเขื่อนได้ในลักษณะดังต่อไปนี้

1. ใช้หุ้มท่อเจาะรูระบายน้ำในชั้นกรองระบายน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายให้ดีขึ้น

2. ใช้เป็นวัสดุรองพื้นหินทิ้งกันคลื่นและกันการกัดเซาะที่ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

3. ใช้ปูบนดินฐานรากที่เป็นกรวดทรายคละขนาดให้แยกออกจากวัสดุถมตัวเขื่อนเพื่อไม่ให้เกิดการพัดพาวัสดุตัวเขื่อนสูญหายไปในชั้นฐานราก โดยทั่วไปแผ่นใยสังเคราะห์จะต้องมีความหนา และแข็งแรงพอที่จะรับแรงดึงหรือแรงกดทะลุโดยไม่ฉีกขาดมีขนาดรูเปิดใหญ่พอที่จะระบายน้ำได้ดี แต่ไม่ใหญ่จนทำให้วัสดุเม็ดละเอียดถูกพัดพาหลุดลอดออกไปได้

5.4 หินทิ้งกันคลื่น

หินทิ้งกันคลื่นของลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ จะต้องมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักเพียงพอที่จะสลายพลังงานจากการกระแทกของคลื่นได้ โดยพิจารณาจากความสูงของคลื่นในอ่างเก็บน้ำด้านหน้าเขื่อน ดังแสดงในตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 ขนาดเฉลี่ยของหินทิ้งกันคลื่นที่ลาดเขื่อน

ขนาดของหินทิ้งกันคลื่นที่ลาดเขื่อน (เมตร)									
ความชันของลาดเขื่อน	ความสูงของคลื่น (เมตร)								
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
1:1.5	0.33	0.5	0.66	0.83	1.00	1.16	1.33	1.49	1.66
1:2.0	0.21	0.32	0.43	0.53	0.64	0.75	0.86	0.96	1.07
1:2.5	0.19	0.28	0.38	0.47	0.57	0.66	0.75	0.85	0.94
1:3.0	0.18	0.28	0.37	0.46	0.55	0.64	0.73	0.83	0.92

นอกจากชั้นหินเรียงแล้วยังต้องมีชั้นกรวดและทรายรองพื้นเป็นชั้นๆ จนกระทั่งถึงดินที่บดอัดเป็นตัวเขื่อน โดยมีขนาดลดหลั่นกันลงไปตามเกณฑ์กำหนดของการออกแบบชั้นกรอง (Filter Design Criteria) และความหนา ของแต่ละชั้นไม่ควรต่ำกว่าค่าต่อไปนี้

ก. ชั้นหินทิ้ง หนา 1.2-1.5 เท่าของขนาดใหญ่ที่สุดของหิน

ข. ชั้นกรวด หนา 20 เซนติเมตร

ค. ชั้นทราย หนา 10 เซนติเมตร

5.5 การทดสอบวัสดุ

การทดสอบคุณสมบัติดินและหินในห้องทดลอง มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบ และกำหนดการควบคุมคุณภาพในการก่อสร้าง ซึ่งมีชนิดการทดสอบในตารางที่ 5-3 วิศวกรต้องพิจารณาตามความจำเป็น

ตารางที่ 5-3 การทดสอบในห้องทดลองสำหรับงานเขื่อน

1. สำหรับดินแกนเขื่อน และวัสดุส่วนนอก (Core and Randam Materials)

การทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง	ผลที่ได้จาก การทดสอบ	การประยุกต์ ผลการทดสอบ
1. Gradation Analysis	ASTM D422-63	การกระจายของขนาดเม็ดดิน	- Filter Design
2. Liquid Limit	ASTM D423-66	Plasticity และ "A-line " Chart	- Soil Classification เขียนข้อกำหนดทางวิศวกรรม
3. Plastic Limit	ASTM D424-59		
4. Natural Water Content	ASTM D2216-80	ความชื้นในธรรมชาติ	- การปรับความชื้นในการก่อสร้าง
5. Soil Classification	ASTM D2487-83	Unified Soil Group	- เขียนข้อกำหนด ทางวิศวกรรม
6. Specific Gravity	ASTM D854-83	Specific Gravity	- การคำนวณพื้นฐานของมวลดิน
7. Compaction	ASTM D698-75 ASTM D1557-78	Compaction Curve (γ_{dmax}, w_{opt})	- การควบคุมคุณภาพในสนาม - การกำหนดความแน่นในการทดสอบ ทางวิศวกรรมอื่น ๆ
8. Permeability	Earth Manual E-13	สัมประสิทธิ์ความซึมน้ำ (k)	- Filter Design - Seepage Analysis

การทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง	ผลที่ได้จากการทดสอบ	การประยุกต์ผลการทดสอบ
9. Direct Shear	ASTM D3080-72	ความแข็งแรงของมวลดินโดยประมาณ $(\bar{c}, \bar{\phi})$	- วิเคราะห์ความมั่น คงของเขื่อนในการออกแบบเบื้องต้น
10. Dispersive	ASTM D4221-83a	% Dispersion	- ตรวจสอบการกระจายตัวของดินจากบ่อยืม

2. สำหรับกรวดทรายที่ใช้เป็นวัสดุกรอง

การทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง	ผลที่ได้จากการทดสอบ	การประยุกต์ผลการทดสอบ
1. Gradation Analysis	ASTM D422-63	การกระจายของขนาดเม็ดดิน	- Filter Design
2. Specific Gravity	ASTM D854-83	Specific Gravity	- การคำนวณพื้นฐานของมวลดิน
3. Relative Density	Earth Manual E-12	$\gamma_{dmax}, \gamma_{dmin}$	- ควบคุมคุณภาพการบดอัดในสนาม
4. Permeability	Earth Manual E-13	สัมประสิทธิ์ความซึมน้ำ (k)	- Filter Design - Seepage Analysis
5. Soundness	ASTM C88	% Soundness	- ตรวจสอบความคงทนของเม็ดกรวดทราย
6. Abrasion	ASTM C535	%Abrasion	- ตรวจสอบการกัดกร่อนจากการขัดสี

3. สำหรับหินทิ้งกันการกัดเซาะลาดเขื่อน

การทดสอบ	มาตรฐานอ้างอิง	ผลที่ได้จากการทดสอบ	การประยุกต์ผลการทดสอบ
1. Specific Gravity	ASTM C127	Specific Gravity	- ควบคุมคุณภาพหิน
2. Absorption	ASTM C128	% Absorption	- ควบคุมคุณภาพหิน
3. Gradation Analysis	ASTM C136	การกระจายของขนาดหิน	- ควบคุมคุณภาพหิน

บทที่ 6
ฐานรากเขื่อน

ฐานรากเขื่อนเป็นชั้นดินหรือชั้นหินที่ต้องรองรับตัวเขื่อนทั้งหมด และต้องทึบน้ำเพื่อปิดกั้นน้ำไม่ให้ไหลซึมลอดใต้ฐานรากจากด้านเหนือน้ำไปท้ายน้ำ ดังนั้นจึงต้องมีการสำรวจลักษณะทางธรณีวิทยาของฐานรากเขื่อน การทดสอบคุณสมบัติและการปรับปรุงสภาพฐานรากให้เหมาะสม

6.1 การสำรวจฐานรากเขื่อน

การสำรวจสภาพทางธรณีฐานรากเขื่อนและอาคารประกอบ มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. ออกแบบหรือกำหนดระดับการขุดฐานราก
2. ออกแบบหรือกำหนดระดับหินแข็งที่จะเป็นก้นร่องแกน
3. การปูชั้นดินทึบน้ำ
4. ตรวจสอบแนว ขนาด ทิศทางของโครงสร้างทางธรณีที่อาจเป็นอันตรายต่อตัวเขื่อน
5. กำหนดตำแหน่งและชนิดของอาคารประกอบที่เหมาะสม
6. ช่วยในการวางแผนการก่อสร้างและผันน้ำ

การกำหนดตำแหน่ง ความลึก และวิธีการสำรวจด้านธรณีเทคนิคของฐานรากเขื่อนมีหลักการดังต่อไปนี้

1. ตำแหน่งและขอบข่ายในแนวราบ

- การสำรวจฐานรากเขื่อน ควรครอบคลุมพื้นที่ใต้ฐานเขื่อนทั้งหมด และขยายออกไปจากตีนเขื่อนทั้งเหนือน้ำและท้ายน้ำอีกข้างละเท่าความสูงของเขื่อนโดยประมาณ
- ตำแหน่งของหลุมเจาะซึ่งเป็นวิธีสำรวจหลัก จะต้องมีอย่างน้อยทุกๆ 50-200 เมตร ตามแนวแกนเขื่อนตลอดความยาว และอยู่ในบริเวณต่อไปนี้ คือ

   1. จุดที่ลึกที่สุดในลำน้ำ
   2. จุดที่แนวอาคารประกอบเขื่อนตัดผ่านแกนเขื่อน
   3. จุดที่คาดว่าจะมีโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่ผิดปกติ เช่น Fault, Joint ในชั้นหิน

2. **ความลึกของหลุมเจาะ** ควรมีหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้ คือ

- ความลึกในการเจาะครั้งแรก ให้ลึกอย่างน้อย 75% ของความสูงเขื่อนหรืออย่างน้อยต้องถึงหินแกร่งทึบน้ำ
- สำหรับอาคารประกอบที่ไม่ต้องคำนึงถึงการปิดกั้นน้ำ ให้พิจารณาการรับแรงแบกทานของดินเพื่อรับน้ำหนักของอาคารดังกล่าวเป็นหลัก

3. **การสำรวจฐานรากเขื่อน** อาจทำได้โดยวิธีการดังต่อไปนี้ ซึ่งจะมีรายละเอียด ในบทต่อไป

- การเจาะแบบ Rotary drilling ใช้ได้ทั้งฐานรากดินและหิน
- การขุดหลุมสำรวจ (Test pit)
- การเจาะแบบ Hand Auger หรือ Wash Boring ใช้ในกรณีสำรวจชั้นดิน

6.2 การทดสอบและประเมินคุณสมบัติของดินและหินฐานรากเขื่อน

การทดสอบและประเมินคุณสมบัติของฐานรากเขื่อน จะเป็นการทดสอบในสนาม ซึ่งผลการทดสอบมีความน่าเชื่อถือกว่าการทดสอบในห้องทดลอง และนอกจากดินหรือหินฐานรากไม่ได้รับการกระทบกระเทือนแล้ว ยังเป็นการทดสอบคุณสมบัติรวมของชั้นดินหรือหินที่มีรอยแตก หรือตามสภาพธรรมชาติไว้ด้วย วิธีการทดสอบและประเมินคุณสมบัติ ได้แก่

- Pumping Test หรือ Field Permeability เพื่อหาอัตราการซึมน้ำ
- Standard Penetration Test (SPT) หาแรงต้านของชั้นดินหรือหินผุ
- Plate Bearing Test หาแรงต้านทานของผิวดิน/ หินต่อน้ำหนักบรรทุก

6.3 การปรับปรุงฐานรากเขื่อน

ฐานรากเขื่อนหรือตัวเขื่อนที่จุดต่ำสุด จะต้องก่อสร้างอยู่บนชั้นดินหรือชั้นหินที่มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักตัวเขื่อนได้ โดยไม่เกิดการพิบัติจากแรงแบกทานไม่เพียงพอ ไม่มีการทรุดตัวมากเกินไป ไม่เกิดการกัดเซาะเป็นโพรงหรือมีน้ำไหลลอดมากเกินไป ดังนั้น บริเวณฐานรากเขื่อนโดยทั่วไปนอกจากร่องแกนเขื่อนจะต้องมีการขุดลอกดินหลวมออกจนถึงชั้นที่รับน้ำหนักแบกทานของเขื่อนได้ ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) หรือ Plate Bearing Test ส่วนบริเวณร่องแกนเขื่อนที่ต้องขุดลงไปลึก หรือมีกำแพงทึบน้ำเพื่อปิดกั้นการไหลซึมรอดของน้ำนั้นสามารถดำเนินการได้หลายแบบตามลักษณะทางธรณีวิทยา คือ

1. ฐานรากที่เป็นดินทรายหรือกรวด

1) การทำร่องกั้นน้ำ (Cutoff Trench) ในชั้นฐานรากเขื่อนที่เป็นกรวดทรายและน้ำใต้ดินอยู่ในระดับต่ำกว่าระดับขุดร่องกั้นน้ำ การป้องกันการไหลซึมผ่านใต้ฐานเขื่อนเมื่อมีการเก็บน้ำนั้นควรทำการก่อสร้างด้วยการขุดร่องกั้นน้ำ ความกว้างไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ของระยะต่างของน้ำจากเหนือน้ำมาท้ายน้ำ ด้วยเครื่องมือขุดประเภทต่างๆ เช่น Draglines , Clamshells และ Backhoe เป็นต้น โดยขุดให้ลึกลงไปในฐานรากจนถึงระดับชั้นหินหรือดินทึบน้ำ แล้วทำความสะอาดผิวหน้าหิน หากมีรอยแตกในหินมากอาจต้องดำเนินการอัดฉีดน้ำปูน และหรืออุดยาผิวหน้าหินด้วยซีเมนต์มอร์ตาแล้วจึงทำการบดอัดดินเหนียวทึบน้ำขึ้นมาเป็นชั้น เช่นเดียวกับวิธีการบดอัดแกนเขื่อนตามปกติจนถึงระดับผิวดินเดิม จึงมีการบดอัดต่อเชื่อมกับตัวเขื่อนด้านบน

2) การทำผนังทึบน้ำใต้ดิน (Slurry Cutoff Wall) ในกรณีที่ชั้นกรวดทรายอยู่ในท้องน้ำที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่สูง การขุดจะมีอุปสรรคจากการที่น้ำไหลเข้าสู่ร่องขุดจนไม่สามารถก่อสร้างได้ ดังนั้นจึงนิยมขุดเป็นร่องขนาดเล็กในแนวดิ่ง เครื่องมือขุดและระดับพิจารณาเช่นเดียวกับกรณีของร่องกั้นน้ำ ขณะที่ขุดร่องผนังอยู่นั้นจะมีน้ำโคลนเบนโทไนท์ (Bentonite Slurry) หล่อกันร่องขุดพัง โดยต้องให้ระดับน้ำโคลนอยู่สูงกว่าน้ำใต้ดินอยู่ตลอดเวลา น้ำโคลนเบนโทไนท์จะมีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำเล็กน้อย จึงมีแรงดันพอที่จะพยุงร่องขุดให้มั่นคงอยู่ได้ในระหว่างการขุด เมื่อขุดถึงความลึกที่ต้องการแล้วถมกลับด้วยดินผสมกรวดทรายและโคลนเบนโทไนท์หรือคอนกรีตทึบน้ำ จนถึงระดับของฐานรากเขื่อนให้ต่อเชื่อมกับแกนดินเหนียว

3) ชั้นดินเหนียวทึบน้ำปูหน้าเขื่อน (Clay Blanket) การปิดกั้นน้ำที่ซึมผ่านใต้ฐานรากเขื่อนกรณีที่เป็นชั้นกรวดทรายที่มีความลึกมาก และอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินจะทำการขุดเปิดออกเป็นร่องแกนได้ยาก และไม่สามารถรักษาความมั่นคงของลาดของร่องแกนได้ เนื่องจากมีน้ำไหลเข้ามาตลอดเวลา ดังนั้นวิศวกรสามารถเลือกออกแบบเป็นชั้นดินเหนียวทึบน้ำ ปูลาดไปทางด้านเหนือน้ำโดยต้องเชื่อมต่อกับแกนดินเหนียวของเขื่อนออกไป เป็นระยะทาง 6-20 เท่าของความสูงของน้ำในอ่าง เพื่อยืดทางเดินของน้ำที่จะซึมผ่านใต้ฐานรากเขื่อน ให้ไกลออกไปทางด้านเหนือน้ำ ซึ่งจะทำให้ลดปริมาณการไหลซึมลงได้มาก ในการกำหนดความยาวและความหนาของชั้นดินเหนียวนี้ จะต้องทำการวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำด้วยวิธีการเขียน Flownet หรือโดยวิธี Finite Element Method (FEM)

2. ฐานรากที่เป็นหิน

ปกติฐานรากเขื่อนที่มีชั้นหินอยู่ในระดับตื้นจะมีกำลังแบกทานสูง ดังนั้นจึงสามารถปรับปรุงชั้นหิน โดยทำการขุดแต่งหิน เนื่องจากผิวหน้าของหินใต้เขื่อนส่วนใหญ่จะปกคลุมด้วยดินกรวดทรายและหินผุที่คุณภาพไม่เหมาะสม จึงจำเป็นต้องขุดส่วนนี้ทิ้งออกไป การขุดบริเวณหน้าหินต้องความระมัดระวังไม่ให้กระทบกับหินที่ดี หรือทำให้หินเสียคุณภาพโดยขุดลงไปจนถึงชั้นหินแข็งที่สามารถอัดปูนเหลวได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับส่วนที่ยื่นล้ำออกมาจากระดับหน้าหินปกติจะต้องถูกสกัดออกโดยใช้สิ่ว เหล็กกระแทก หรือระเบิดอ่อนๆ แต่ควรใช้การระเบิดหินให้น้อยที่สุด เพื่อไม่ให้รอยแตกในหินมีการเปิดกว้างมากขึ้น

รอยแตกและรอยแยกที่ปรากฏ จะต้องมีการขุดหินผุหรือดินที่แทรกอยู่ออกให้หมดด้วยเครื่องจักรหรือแรงคนแล้วทำความสะอาดโดยการเป่าลม-น้ำ (Water jet) รอยแตกและรอยแยกเหล่านี้จะต้องเทคอนกรีต ปูน-ทราย หรืออัดฉีดปูนเหลวลงไปแทรกปิดรอยแตกดังกล่าว แล้วให้เก็บกวาด ล้างทำความสะอาดผิวหน้าหิน บริเวณที่ทำการอัดปูนเทลงจนแน่ใจว่ารอยต่อระหว่างฐานรากกับวัสดุแกนเขื่อนสามารถเชื่อมประสานกันได้เป็นอย่างดี

บทที่ 7

การออกแบบตัวเขื่อน

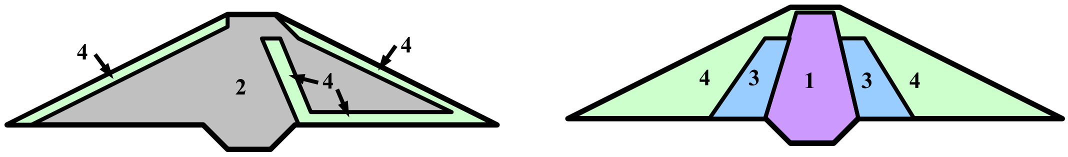
7.1 ขั้นตอนในการออกแบบตัวเขื่อน

เมื่อกำหนดแนวแกนเขื่อนแล้วจะเป็นการออกแบบเขื่อน ซึ่งต้องมีการผสมผสานความรู้หลายสาขามาผนวกรวมกันโดยเฉพาะด้านกลศาสตร์ของดิน ธรณีวิทยา และชลศาสตร์ ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. **การรวบรวมข้อมูลเพื่อการออกแบบ** ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ
   - ข้อมูลทางด้านธรณีฐานรากเขื่อน
   - ข้อมูลทางด้านวัสดุก่อสร้างตัวเขื่อน
   - ข้อมูลจากแรงและน้ำหนักที่เกี่ยวข้อง
   - ข้อมูลระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ

2. **การกำหนดหน้าตัดเบื้องต้นของตัวเขื่อน** จากการพิจารณาข้อมูลใน*ข้อ* 1. วิศวกรสามารถกำหนดหน้าตัดเขื่อนในเบื้องต้นได้ ส่วนมากจะกำหนดเป็นสองลักษณะคือเขื่อนดินเนื้อเดียว เมื่อมีวัสดุก่อสร้างส่วนมากเป็นดินชนิดเดียว หรือ เขื่อนดินแบ่งส่วนซึ่งประกอบด้วยดินหลายชนิด ดังแสดงในรูปที่ 7-1

เขื่อนดินเนื้อเดียว (Homogeneous earth dam) | เขื่อนดินแบ่งส่วน (Earth zoned dam)



1 หมายถึง ดินเหนียวทึบน้ำ | 2 หมายถึง ดินกึ่งทึบน้ำ

3 หมายถึง ดินกึ่งพรุนน้ำ | 4 หมายถึง ทราย, กรวด ที่พรุนน้ำ หรือหินทิ้ง

รูปที่ 7-1 รูปแบบหน้าตัดเบื้องต้นของตัวเขื่อน

3. การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำผ่านเขื่อนและฐานราก วิศวกรสามารถตรวจสอบการไหลซึมที่สำคัญของเขื่อนได้ด้วยการเขียนตาข่ายของการไหลซึม (Flow nets) ด้วยมือ หรือวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเขื่อนและฐานราก ความดันน้ำ ความเร็วในการไหลซึม แรงดันลอยตัว และอย่างอื่นที่จำเป็น โดยนำผลการวิเคราะห์ตรวจสอบกับค่าที่ยอมรับได้ เช่น การไหลซึมไม่เกินร้อยละ 1 ของปริมาตรเก็บกักตลอดช่วงฤดูแล้ง อัตราส่วนปลอดภัยที่จะเกิด Boiling ไม่ต่ำกว่า 1.5 เป็นต้น หากหน้าตัดเขื่อนที่กำหนดไม่เหมาะสมต้องปรับเปลี่ยนหน้าตัดเขื่อนให้ค่าการไหลซึมต่างๆ เป็นไปตามเกณฑ์

4. การออกแบบขนาดคละของชั้นกรอง ภายในตัวเขื่อนนอกจากการออกแบบการปิดกั้นน้ำไม่ให้ไหลซึมผ่านแล้ว ยังต้องมีการออกแบบชั้นระบายน้ำออกจากตัวเขื่อนหรือฐานรากเพื่อป้องกันการกัดเซาะพัดพาเม็ดดิน และลดแรงดันน้ำในส่วนต่างๆ ของตัวเขื่อน โดยขนาดคละของชั้นกรองต้องสัมพันธ์กับขนาดคละของดินตัวเขื่อนและฐานรากดังนี้

สำหรับเกณฑ์กำหนดในการออกแบบชั้นกรองสำหรับงานเขื่อนในประเทศไทยมักใช้ตาม US. Corps of Engineers (NAFAC Manual 7.1 May 1982) คือ

- $\dfrac{D_{15F}}{D_{15S}} > 5$ (Drainage Requirement)
- $\dfrac{D_{15F}}{D_{85S}} < 5$ (Piping Requirement)
- $\dfrac{D_{50F}}{D_{50S}} < 25$ (Piping Requirement)

เมื่อ D_{15F}, D_{50F} = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของกรวดทรายชั้นกรองที่เปอร์เซ็นต์ Finer 15 และ 50 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

D_{15S}, D_{50S}, D_{85S} = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของดินตัวเขื่อน หรือดินฐานรากที่เปอร์เซ็นต์Finer 15, 50 และ 85 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

- ขนาด Filter ที่ใหญ่ที่สุดไม่เกิน 3 นิ้ว
- จะต้องไม่มีดินเหนียวปะปน หรือมีวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 5% โดยน้ำหนัก

5. การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อน เมื่อผ่านการวิเคราะห์ใน*ข้อ 3.* แล้วจะต้องมีการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดเขื่อนทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำในสภาวะการก่อสร้างและเก็บน้ำในระดับต่างๆ กันโดยวิธี Modified Bishop หรือ Simple Method of Slices และต้องมีอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) มากกว่าที่กำหนดในตารางที่ 7-1

ตารางที่ 7-1 เกณฑ์กำหนดต่ำสุดและมาตราส่วนความปลอดภัย

กรณีที่	**สภาพการวิเคราะห์**	**อัตราส่วนความปลอดภัย**
1	เพิ่งก่อสร้างเสร็จ (End of Construction)	1.5
2	ระดับน้ำสูงสุด (Maximum water level)	1.5
3	ระดับเก็บกักปกติ (Normal water level)	1.5
4	ระดับน้ำลดอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown)	1.3

สำหรับเขื่อนขนาดเล็กให้เลือกวิเคราะห์เฉพาะกรณีที่จำเป็นดังแสดงในตารางเท่านั้น หากอัตราส่วนความมั่นคงในกรณีใดก็ตามต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด จะต้องมีการปรับเปลี่ยนหน้าตัดให้เหมาะสมจนผ่านเกณฑ์ดังกล่าว

1. การคำนวณคาดคะเนการทรุดตัว เขื่อนดินจะมีการทรุดตัวภายหลังการก่อสร้างอีกประมาณ ร้อยละ 1 ของความสูงของเขื่อน จึงต้องมีการคำนวณเผื่อความสูงของสันเขื่อนไว้ให้เพียงพอ เพื่อกำหนดเป็นความสูงภายหลังการก่อสร้างเสร็จ (Camber) แต่ถ้าหากเป็นเขื่อนขนาดใหญ่จะต้องมีการคำนวณจากผลของการทดสอบการทรุดตัวของดินตัวเขื่อนโดยตรง

2. การกำหนดเครื่องมือวัดพฤติกรรมเพื่อตรวจสอบความปลอดภัย เขื่อนมีระยะเวลาการใช้งานยาวนานตามอายุของการออกแบบ (ประมาณ 50 - 100 ปี) ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดเครื่องมือที่เหมาะสมเพื่อตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อนทั้งในระหว่างการก่อสร้างและใช้งาน เช่น มาตรวัดความดันน้ำ หมุดวัดการทรุดตัว มาตรวัดปริมาณน้ำที่รั่วซึม เป็นต้น ซึ่งวิศวกรจะต้องพิจารณากำหนดตามความจำเป็น

3. การเขียนแบบเขื่อนและเกณฑ์กำหนดด้านเทคนิคเพื่อการก่อสร้าง ขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบเขื่อน คือ การนำเอาผลการออกแบบมาเขียนรายละเอียดที่จำเป็นเพื่อการก่อสร้าง ประกอบคำอธิบายหรือเกณฑ์กำหนดทางด้านเทคนิคตามที่วิศวกรระบุให้ใช้ควบคู่กับแบบ ทั้งนี้ เพื่อประโยชน์ในการควบคุมงานก่อสร้างให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ ข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย

- แปลนแสดงที่ตั้งและองค์ประกอบเขื่อน
- ตำแหน่งของบ่อยืมดินและคุณสมบัติดิน
- ลักษณะของดินฐานรากจากการเจาะสำรวจ
- แปลนแสดงระดับการขุดฐานรากและร่องแกน
- แปลนการปรับปรุงฐานรากเขื่อน
- รูปตัดตามแนวแกนเขื่อนแสดงระดับสันเขื่อน ระดับการขุดร่องแกน
- รูปตัดตามขวางของหน้าตัดเขื่อนที่ตำแหน่งต่างๆ
- รายละเอียดของสันเขื่อนตีนเขื่อนและชั้นกรอง
- รายละเอียดถนนบนสันเขื่อน การเผื่อการทรุดตัวของเขื่อน ไฟฟ้าแสงสว่างบนสันเขื่อน
- ถนนบำรุงรักษาเขื่อน
- เครื่องมือวัดพฤติกรรมของเขื่อน

7.2 ข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรมของการก่อสร้างเขื่อนขนาดเล็ก

ในการว่าจ้างทำการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก จำเป็นต้องมีข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรม (Engineering Specification) เพื่อใช้ประกอบกับแบบก่อสร้าง (Construction Drawing) โดยรายละเอียดในข้อกำหนดดังกล่าวจะต้องมีความชัดเจนเพื่อให้การก่อสร้าง การควบคุมตรวจสอบคุณภาพงาน และการวัดปริมาณงานเป็นไปด้วยความถูกต้อง โดยมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

1. หลักเกณฑ์โดยทั่วไปของเขื่อน

1.1 ขอบเขตของงาน

1.2 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิด

1.3 การปรับปรุงฐานรากเขื่อน

1.4 วัสดุก่อสร้างตัวเขื่อน

1.5 การบดอัด

1.6 ช่วงเวลาในการก่อสร้างตัวเขื่อน

1.7 รอยต่อของดินถมใหม่

2. ดินทึบน้ำแกนเขื่อนและดินเหนียวรองใต้แกนเขื่อน

2.1 ขอบเขตของงาน

2.2 แหล่งของดินทึบน้ำ

2.3 คุณสมบัติที่ต้องการของดินทึบน้ำ

2.4 การทดสอบคุณสมบัติดินทึบน้ำ

2.5 การปรับปรุงฐานรากใต้แกนเขื่อน

2.6 วิธีถมดินและบดอัดดินทึบน้ำ

2.7 การควบคุมปริมาณน้ำในดิน ความแน่น และการซึมผ่านของน้ำ

2.8 การปรับความชื้นของดินที่แหล่งวัสดุ

2.9 การปรับความชื้นดินในแปลงก่อนการบดอัด

2.10 เครื่องจักรที่ใช้ในการบดอัดดินถมตัวเขื่อน

2.11 การบดอัดดินเหนียวรองใต้แกนเขื่อน

3. วัสดุกรอง

3.1 ขอบเขตของงาน

3.2 คุณสมบัติของวัสดุกรอง

3.3 การทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพ

3.4 การปรับปรุงฐานเขื่อนใต้ชั้นกรอง

3.5 การปูวัสดุกรอง

3.6 การบดอัด

4. วัสดุถมตัวเขื่อนส่วนนอก

4.1 ขอบเขตของงาน

4.2 แหล่งวัสดุถมตัวเขื่อนส่วนนอก

4.3 คุณสมบัติที่ต้องการของดินถมตัวเขื่อนส่วนนอก

4.4 การปรับปรุงฐานรากเขื่อนใต้ชั้นถมตัวเขื่อนส่วนนอก

4.5 วิธีการถมบดอัด

4.6 การทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพ

5. การป้องกันน้ำกัดเซาะบนผิวลาดของตัวเขื่อน

5.1 ขอบเขตของงาน

5.2 การก่อสร้างชั้นหินทิ้งกันคลื่น

5.3 คุณภาพของหินทิ้ง

7.3 หลักการออกแบบโดยทั่วไป

การออกแบบและก่อสร้างเขื่อนดิน มีหลักเกณฑ์ทั่วไป ดังต่อไปนี้

1. ความมั่นคง (Stability) ของลาดเขื่อน ลาดเขาที่เขื่อนเกาะอยู่ และลาดดินขอบอ่างเก็บน้ำจะต้องมีเสถียรภาพไม่พังทลายในทุกสภาวะ ทั้งในขณะก่อสร้างและในระหว่างการใช้งาน

2. การไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนและใต้ฐานเขื่อน (Seepage) จะต้องมีการปิดกั้นและการควบคุมที่ดีเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียน้ำหรือการกัดเซาะพัดพาวัสดุตัวเขื่อนออกไปได้

3. การกระจายน้ำหนักของตัวเขื่อนสู่ฐานราก (Bearing Stress) จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของดิน หรือหินฐานรากใต้เขื่อนไม่ให้เกิดการพังทลาย

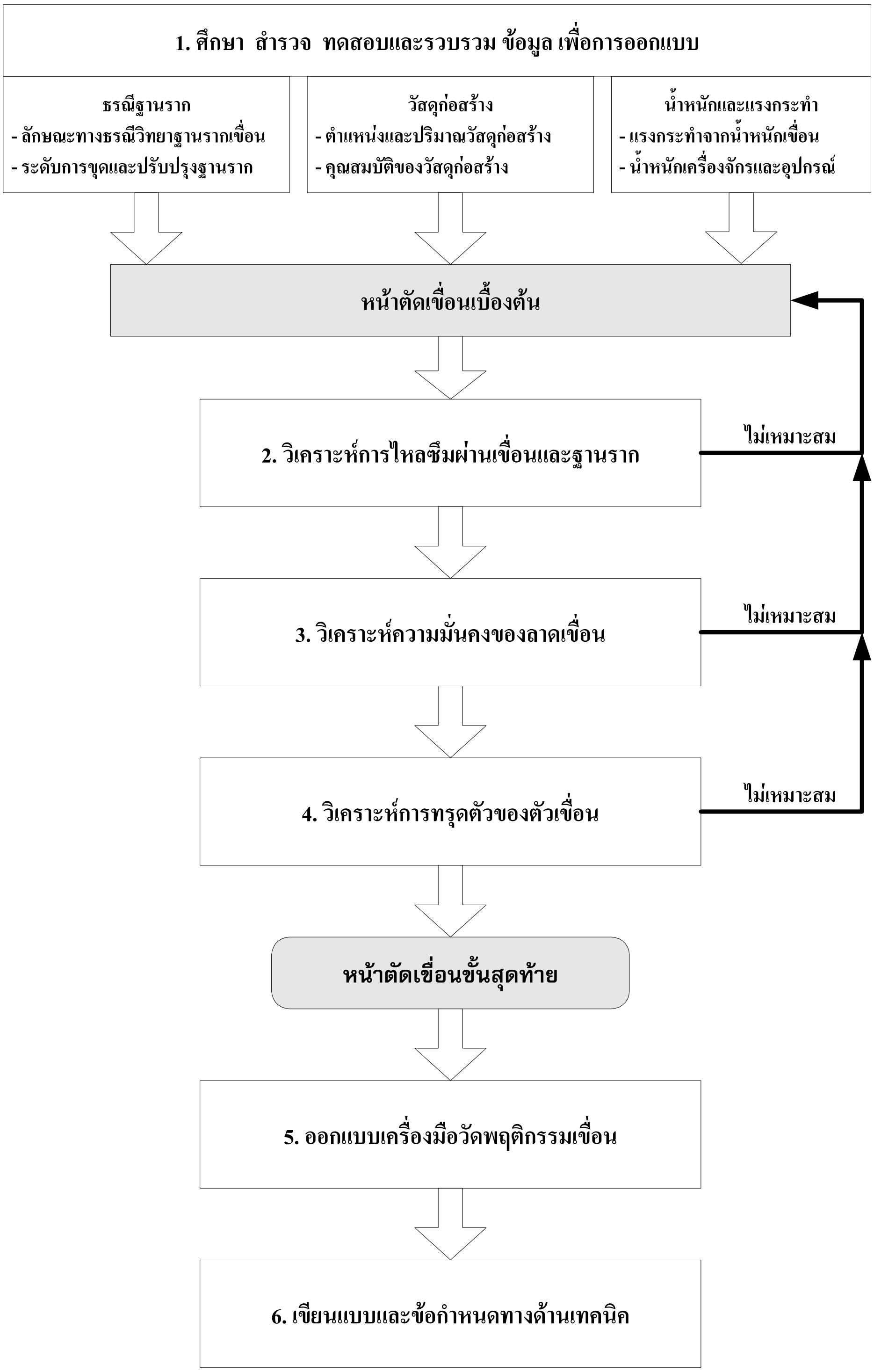
4. สันเขื่อนจะต้องสูงกว่าระดับน้ำเก็บกักมากพอ (Freeboard) ที่จะป้องกันไม่ให้น้ำล้นสันเขื่อน อันเนื่องมาจากน้ำหลาก หรือคลื่นซึ่งเกิดจากลมหรือแผ่นดินไหวในอ่างเก็บน้ำ

5. ทางระบายน้ำล้น (Spillway) จะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะระบายน้ำส่วนที่เกินความต้องการที่จะเก็บกักไว้ใช้ประโยชน์ โดยไม่ล้นสันเขื่อน

6. สันเขื่อนจะต้องเผื่อความสูงกว่าระดับที่ต้องการทางด้านวิศวกรรม (Camber) เพื่อทดแทนการทรุดตัวที่คาดว่าจะเกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งานของเขื่อน

7.4 สรุปขั้นตอนการสำรวจ ออกแบบและก่อสร้างเขื่อน

การออกแบบเขื่อนจะต้องเริ่มด้วยการสำรวจและรวบรวมข้อมูลดังนี้ ศึกษาข้อมูลเดิมที่มีอยู่ สำรวจทางภูมิประเทศ สำรวจด้านธรณีวิทยาฐานรากเขื่อน สำรวจวัสดุก่อสร้างแรงกระทำและน้ำหนักที่เกี่ยวข้อง ต่อจากนั้นจึงทำการประมวลข้อมูลดังกล่าวนำมาออกแบบหน้าตัดเขื่อนเบื้องต้น และวิเคราะห์ออกแบบในขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3-1 ในกรณีที่หน้าตัดดังกล่าวไม่เหมาะสมในขั้นตอนการวิเคราะห์ใด จะต้องมีการปรับเปลี่ยนแล้วดำเนินการวิเคราะห์ตรวจสอบใหม่จนได้หน้าตัดเขื่อนที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการออกแบบเครื่องมือวัดพฤติกรรมนั้นเป็นการพิจารณาเลือกชนิดเครื่องมือ จำนวน และตำแหน่งเครื่องมือที่เหมาะสม เพื่อการตรวจวัดในขณะก่อสร้างและใช้งาน ขั้นตอนสุดท้ายคือการเขียนแบบรายละเอียดและข้อกำหนดทางด้านเทคนิค เพื่อใช้ในการก่อสร้างให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ



รูปที่ 7-1 ขั้นตอนการออกแบบเขื่อน

บทที่ 8
การออกแบบอาคารประกอบเขื่อน

8.1 การวางตำแหน่งอาคารประกอบ

อาคารประกอบเขื่อนคือ อาคารชลศาสตร์ที่ประกอบการใช้งานของเขื่อนที่สำคัญมี 2 ส่วน คือ อาคารระบายน้ำล้นและอาคารท่อส่งน้ำ การกำหนดตำแหน่งของอาคารประกอบจะต้องสอดคล้องกับที่ตั้งเขื่อนและสภาพภูมิประเทศ

ตำแหน่งของอาคารระบายน้ำล้น มีหลักการพิจารณา ดังนี้

1. ตำแหน่งทั่วไปจะวางอยู่บริเวณฐานยันเขื่อนฝั่งใดฝั่งหนึ่งแล้วแต่ความเหมาะสม
2. ฐานรากของอาคาร ควรวางอยู่ต่ำกว่าระดับดินเดิมเพื่อความมั่นคงแข็งแรง
3. ควรวางอาคารในแนวตรง ตั้งแต่จุดเริ่มต้นรับน้ำจนถึงทางระบายน้ำ หากหลีกเลี่ยงไม่ได้ ให้ส่วนโค้งอยู่ที่คลองชักน้ำด้านหน้า หรือคลองระบายน้ำด้านหลัง (Chute)
4. หลีกเลี่ยงการวางแนวคลองระบายน้ำด้านหลังตัดผ่านร่องน้ำ เนื่องจากอาจทำให้เกิดปัญหาการกัดเซาะ และการระบายน้ำ

ตำแหน่งของท่อส่งน้ำ มีหลักการพิจารณา ดังนี้

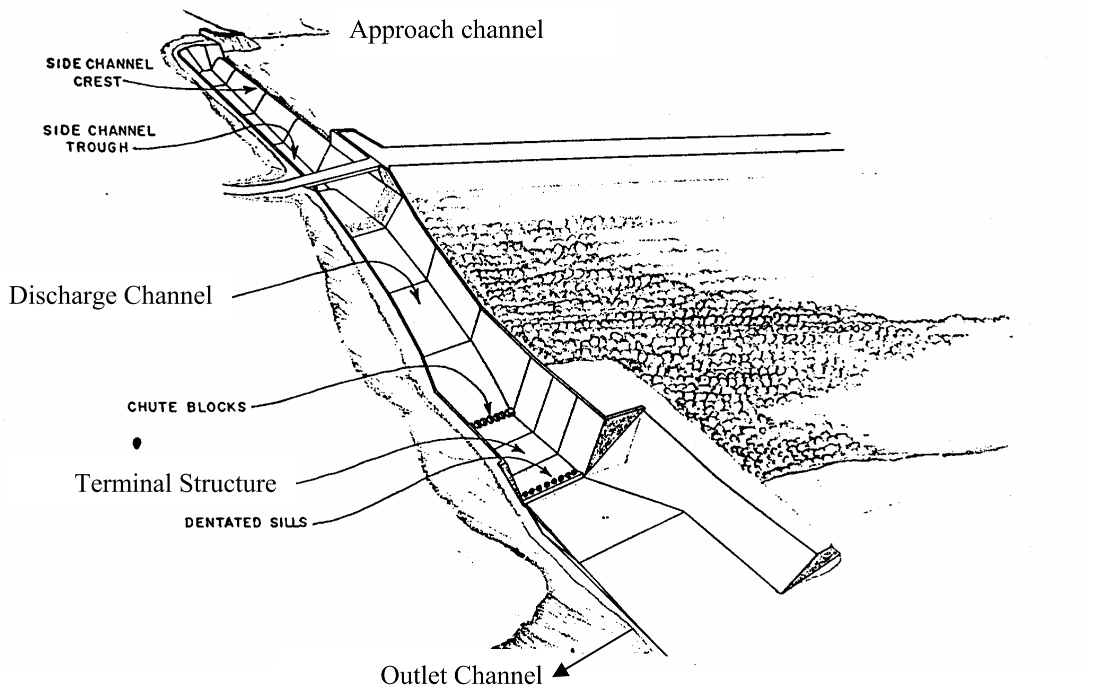
1. ท่อส่งน้ำควรอยู่ในแนวตรง (แนวสั้นสุด) และทำมุมตั้งฉากกับแนวเขื่อน เพื่อให้การคำนวณออกแบบ เขียนแบบ การก่อสร้างสะดวกและประหยัด
2. แนวท่อส่งน้ำจะต้องเชื่อมต่อสอดคล้องกับแนวลำน้ำ หรือร่องน้ำเดิม ไม่ควรตัดผ่านแนวร่องน้ำ เนื่องจากจะทำให้เกิดปัญหาการกัดเซาะ และการระบายน้ำ
3. หลีกเลี่ยงการวางแนวท่อโค้ง หรือหักมุมโดยทันที โดยเฉพาะท่อที่อยู่ใต้ตัวเขื่อน เนื่องจากแรงดันน้ำอาจกระแทกท่อทำให้เกิดความเสียหาย และการซ่อมแซมจะกระทำได้ยาก
4. ระดับของท่อระบายน้ำควรอยู่ต่ำกว่าระดับดินเดิมพอสมควร เพื่อให้มีการขุดวางท่อไว้ บนฐานรากที่มีความมั่นคงแข็งแรง

8.2 การออกแบบทางชลศาสตร์ของอาคารระบายน้ำล้น

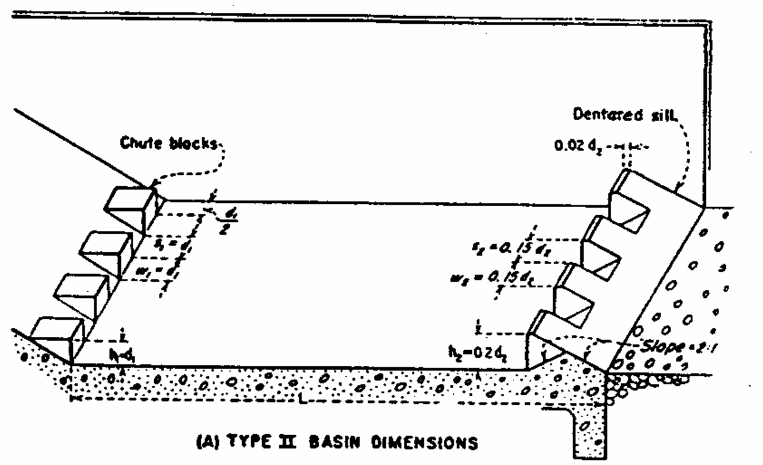
อาคารระบายน้ำล้น จะต้องสามารถระบายน้ำได้ตามปริมาณและระดับที่กำหนดไว้ จะเผื่อความสามารถการระบายประมาณ 20% ของปริมาณน้ำที่ต้องระบาย ส่วนประกอบที่สำคัญของทางระบายน้ำล้น ประกอบด้วย

1. คลองชักน้ำ (Approach Channel)
2. อาคารควบคุมปริมาณน้ำ (Control Structure)
3. ทางลำเลียงน้ำ (Discharge Channel)
4. อาคารสลายพลังงาน (Terminal Structure)
5. คลองระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (Outlet Channel)

รูปที่ 8-1 แสดงตัวอย่างของส่วนประกอบของอาคารระบายน้ำล้น ความจำเป็นของส่วนประกอบต่างๆ ขึ้นอยู่กับการจัดวางตำแหน่ง หรือรูปแบบของอาคารทั้งระบบ



รูปที่ 8-1 ตัวอย่างส่วนประกอบของอาคารระบายน้ำล้น



รูปที่ 8-2 ตัวอย่างรูปแบบอาคารสลายพลังงาน

รายละเอียดและเกณฑ์สำหรับการออกแบบทางชลศาสตร์ของส่วนประกอบของอาคารระบายน้ำล้น มีดังนี้

คลองชักน้ำ (Approach Channel) เป็นทางรับน้ำเข้าสู่ตัวอาคารระบายน้ำ (ในกรณีที่อาคารระบายไม่อยู่ในตัวเขื่อน) มีแนวทางการออกแบบดังนี้

1. ความเร็วของกระแสน้ำไม่มากเกินไปจนเกิดการกัดเซาะ (ไม่เกิน 4 เมตร/วินาที)
2. ความสูงของสันฝายจากระดับพื้นคลองชักน้ำไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของความลึกน้ำในคลอง
3. ไม่ควรใช้พื้นทางรับน้ำเป็นดิน อย่างน้อยควรมีการเรียงหินเพื่อป้องกันการกัดเซาะ
4. สูตรคำนวณปริมาณน้ำไหลผ่านคลอง นิยมใช้สูตรของ Manning ดังนี้

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

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำไหลผ่านทางรับน้ำ (ลบ.ม./วินาที)

n = Roughness Coefficient

R = Hydraulic Radius (เมตร)

= A / P

S = ลาดท้องน้ำ

A = พื้นที่หน้าตัดของน้ำ (ตารางเมตร)

P = เส้นขอบเปียก (Wetted Perimeter) (เมตร)

อาคารควบคุมปริมาณน้ำ (Control Section) เป็นอาคารที่ใช้ควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลผ่านตามปริมาณที่ออกแบบไว้ ส่วนใหญ่เป็นอาคารสันฝายยาว ให้มีน้ำไหลล้นฝายแบบ Free Over Flow อาจมีรูปแบบเป็นทางน้ำธรรมดา หรือที่นิยมใช้เป็นฝายน้ำล้นแบบโอกี้ (Ogee Weir Crest) ซึ่งปริมาณน้ำไหลผ่านหาได้จากสูตร

$$Q = 0.552CLH_e^{3/2}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำไหลผ่านสันฝาย (ลบ.ม./วินาที)

C = Discharge Coefficient ขึ้นกับค่า P / H_e

L = ความยาวประสิทธิผลของฝาย

H_e = ความสูงของน้ำเหนือฝาย + Velocity Head

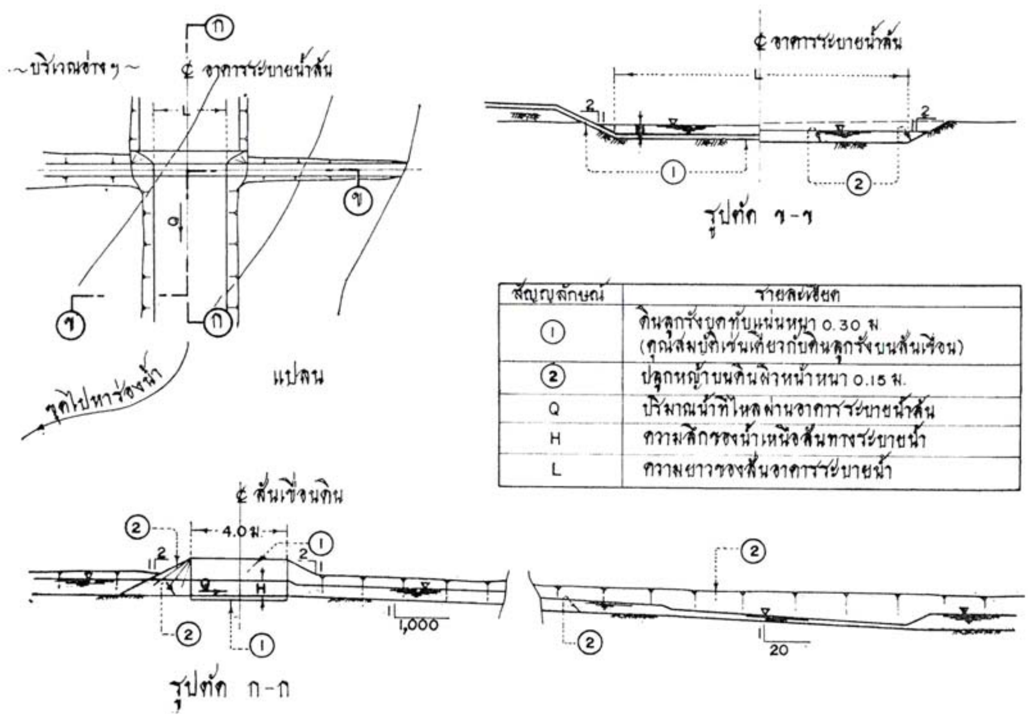
P = ความสูงของสันฝาย

ทางลำเลียง (Discharge Channel) เป็นส่วนรับน้ำจากอาคารควบคุมปริมาณน้ำ ก่อนปล่อยทิ้งสู่ลำน้ำเดิม โดยทั่วไปมีหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความเร็วของการไหลจะออกแบบให้เป็นความเร็วกว่าการไหลวิกฤต (Supercritical Flow) ในกรณีที่ออกแบบเป็นท่อ จะต้องมีพื้นที่น้ำไม่เกิน 90% ของพื้นที่ท่อ เพื่อให้การไหลเป็นแบบทางน้ำเปิด (Open Channel)

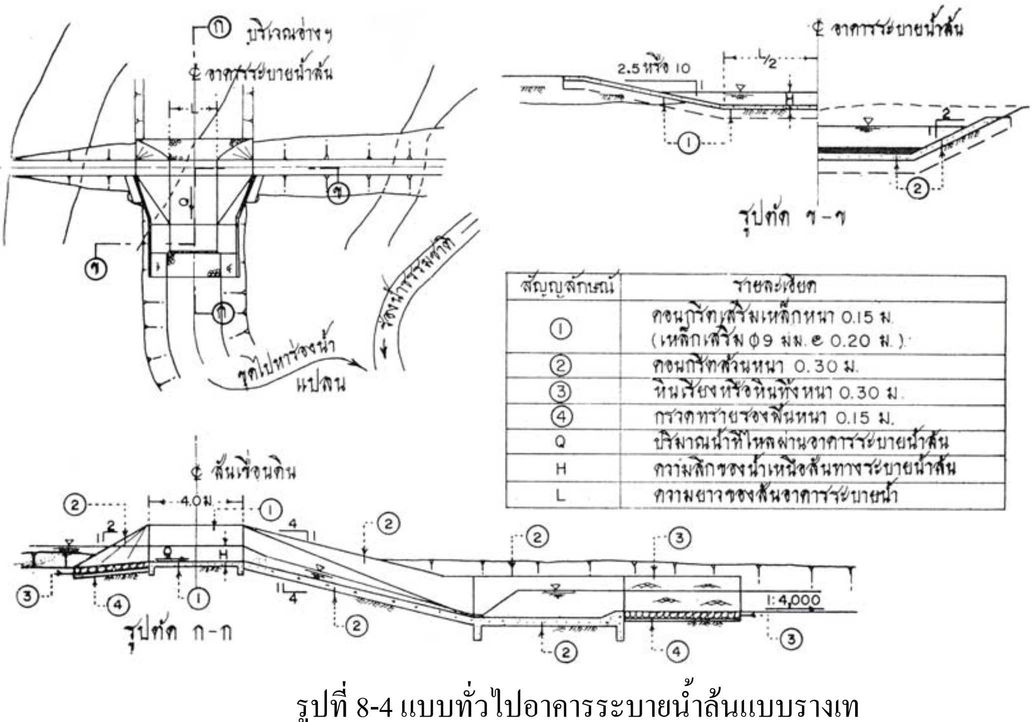
อาคารสลายพลังงาน (Terminal Structure) เป็นอาคารส่วนที่ต่อจากทางลำเลียงน้ำทำหน้าที่สลายพลังงาน หรือแรงกระแทกที่เกิดจากการไหลของน้ำ ความเร็วของน้ำจะลดลง ก่อนไหลเข้าสู่ลำน้ำเดิมเพื่อป้องกันการกัดเซาะ

คลองระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (Outlet Channel) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ระบายน้ำซึ่งผ่านจากอาคารสลายพลังงานลงสู่ลำน้ำเดิมด้านท้ายน้ำตัวเขื่อน โดยทั่วไปจะขุดเป็นคลองดินธรรมชาติรูปสี่เหลี่ยมคางหมู การคำนวณปริมาณน้ำใช้สูตรของ Manning

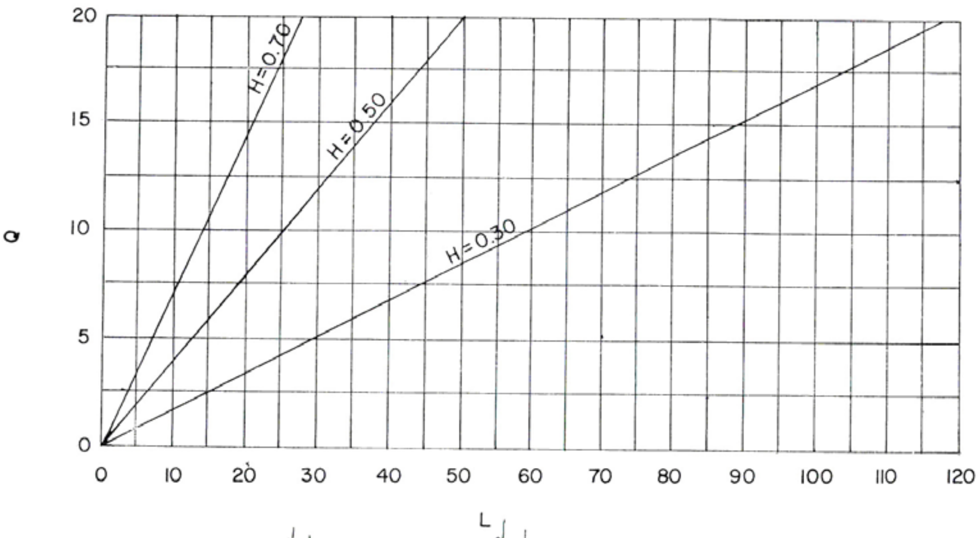
อาคารระบายน้ำล้นสำหรับเขื่อนขนาดเล็ก มีรูปแบบที่นิยมใช้และง่ายต่อการก่อสร้างได้แก่ แบบรางระบายน้ำ (รูปที่ 8-3) และแบบรางเท (รูปที่ 8-4) ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน (Q) ขึ้นอยู่กับความกว้างของทางระบาย (L) และความลึกของน้ำเหนือสันทางระบาย (H) ดังรูปที่ 8-5 และ 8-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q , L และ H ของอาคารระบายน้ำล้นแบบรางน้ำ และแบบรางเทตามลำดับ



รูปที่ 8-3 แบบทั่วไปอาคารระบายน้ำล้นแบบทางระบายน้ำ



รูปที่ 8-4 แบบทั่วไปอาคารระบายน้ำล้นแบบรางเท

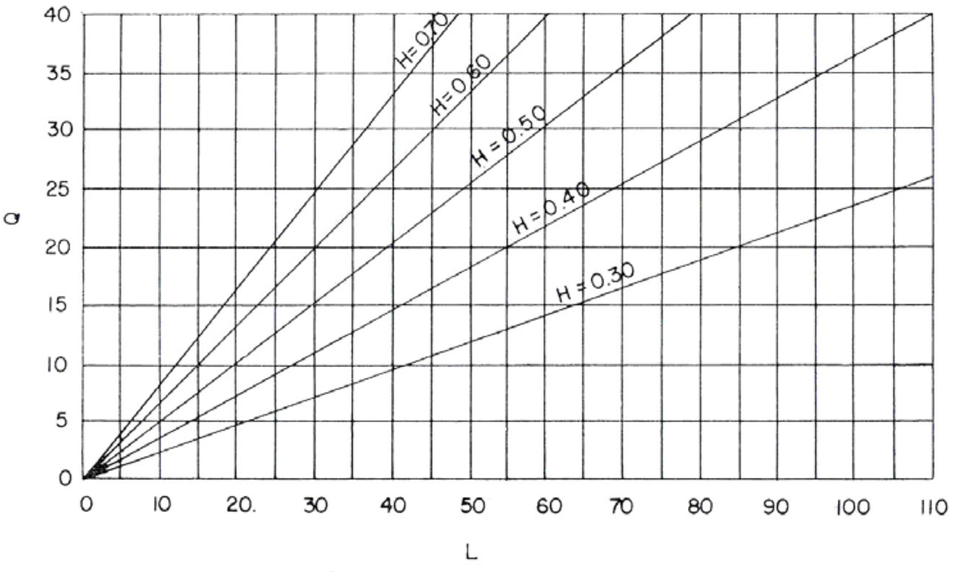


Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารระบายน้ำล้น - ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

H = ความลึกของน้ำที่ระดับน้ำสูงสุดในอ่างฯ เหนือสันทางระบายน้ำ - เมตร.

L = ความกว้างของทางระบายน้ำ - เมตร.

รูปที่ 8-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Q, H และ L ของอาคารระบายน้ำล้นแบบทางระบายน้ำ



Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารระบายน้ำล้น – ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

H = ความลึกของน้ำที่ระดับน้ำสูงสุดในอ่างฯ เหนือสันทางระบายน้ำ — เมตร

L = ความยาวของสันอาคารระบายน้ำล้น — เมตร.

รูปที่ 8-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง Q, H และ L ของอาคารระบายน้ำล้นแบบรางเท

8.3 การออกแบบทางชลศาสตร์ของอาคารท่อส่งน้ำ

อาคารท่อส่งน้ำ ทำหน้าที่ระบายและควบคุมน้ำจากอ่างเก็บน้ำไปยังคลองส่งน้ำ หรือลำน้ำเดิม เพื่อจัดสรรน้ำให้แก่พื้นที่ด้านท้ายเขื่อน นำไปใช้ในการอุปโภคบริโภค การเพาะปลูก หรือประโยชน์อื่นๆ อาคารท่อส่งน้ำ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 5 ส่วนคือ

1. **คลองชักน้ำ (Intake Channel)** เป็นคลองขุดตามธรรมชาติ เพื่อนำน้ำจากอ่างเก็บน้ำเข้าสู่อาคารรับน้ำ (อาจมีหรือไม่มีก็ได้) ก่อนส่งผ่านท่อส่งน้ำต่อไป ขนาดและรูปร่างของทางชักน้ำจะต้องสามารถรับน้ำที่ไหลเข้าอาคารรับน้ำได้อย่างเพียงพอ โดยขณะที่น้ำไหลจะต้องไม่เกิดตะกอน และไม่เกิดการกัดเซาะ การคำนวณปริมาณน้ำใช้สูตรของ Manning

2. **อาคารรับน้ำ (Intake Structure)** เป็นอาคารที่รับน้ำจากทางชักน้ำหรืออ่างเก็บน้ำส่งเข้าท่อส่งน้ำ ตำแหน่งของอาคารรับน้ำจะอยู่ใกล้กับลาดด้านหน้าตัวเขื่อน ระดับที่รับน้ำจะอยู่ที่ระดับน้ำต่ำสุด (ร.น.ต.) โดยทั่วไปเป็นอาคาร ค.ส.ล. รูปสี่เหลี่ยม เปิดรับน้ำทางด้านหน้า ด้านข้าง หรือด้านบน โดยจะมีตะแกรงกันสวะ (Trashrack) ปิดกั้นเพื่อป้องกันไม่ให้ซากของกิ่งไม้ ต้นไม้ ขยะ หรือสิ่งกีดขวางอื่นๆ ไหลเข้าไปทำอันตรายต่อท่อส่งน้ำ หรือเกิดการอุดตัน

3. **ท่อส่งน้ำ (Outlet Conduit)** เป็นส่วนที่รับน้ำจากอาคารรับน้ำ ส่งน้ำผ่านลอดตัวเขื่อนไปยังด้านท้ายน้ำ โดยทั่วไปเป็นท่อคอนกรีตกลม ท่อเหล็ก หรือท่อแอสเบสตอส วางอยู่บนฐานรากที่มีความมั่นคงแข็งแรง การไหลของน้ำในท่อส่งน้ำเป็นการไหลแบบเต็มท่อภายใต้แรงดัน โดยจะต้องพิจารณาแรงดันน้ำที่สูญเสียที่จุดต่างๆ เช่น ทางเข้า หรือแรงเสียดทานภายในท่อ ขนาดของท่อส่งน้ำหาได้จากสูตร

$$Q = A\sqrt{\frac{2gH_T}{K_L}}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำผ่านท่อ (ลบ.ม./วินาที)

g = อัตราเร่งของแรงดึงดูดของโลก (= 9.81 เมตร/วินาที^{2})

H_T = Total Head Losses (เมตร)

K_L = Total Losses Coefficient (เมตร)

A = ขนาดท่อส่งน้ำ

4. อาคารควบคุมน้ำ (Control House) เป็นส่วนที่ต่อจากท่อส่งน้ำโดยจะติดตั้งประตูน้ำสำหรับใช้เปิด – ปิด น้ำที่ส่งไปใช้งานทางด้านท้ายเขื่อน ประกอบด้วยบานประตู (Gate Valve) 2 ชุด ได้แก่

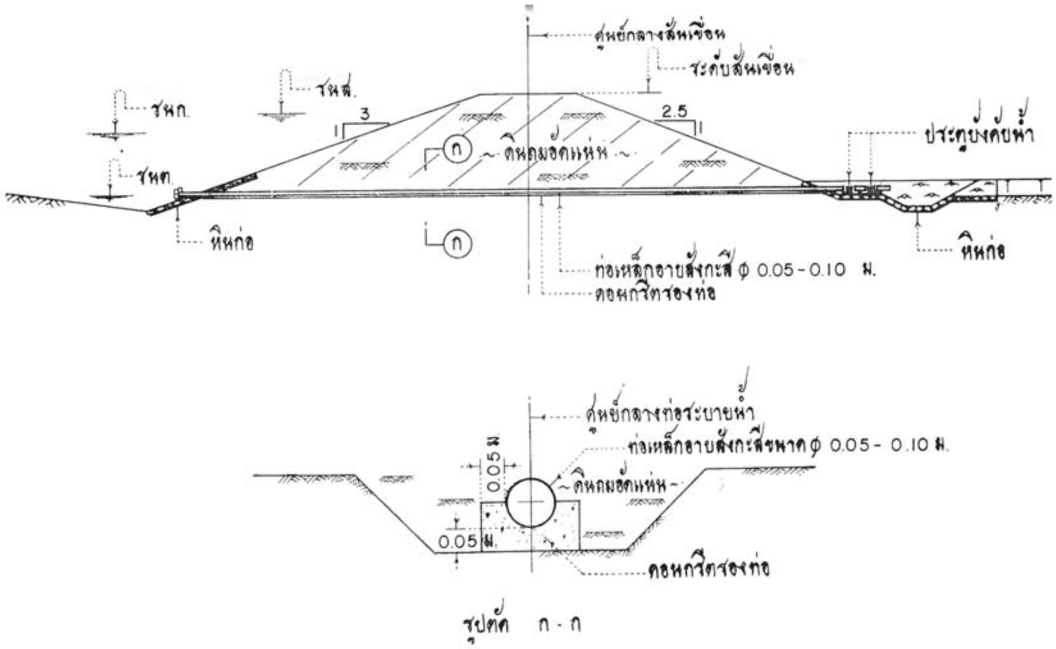
1. ประตูน้ำใช้งาน (Operating Gate) ทำหน้าที่ควบคุม (เปิด – ปิด) เพื่อการส่งน้ำจากอ่างเก็บน้ำ ไปยังด้านท้ายน้ำตามปริมาณความต้องการใช้น้ำ

2. ประตูน้ำฉุกเฉิน (Guard Gate) อยู่ด้านเหนือน้ำโดยปกติจะเปิดไว้ให้น้ำสามารถไหลผ่านได้ตลอดเวลา และจะปิดเพื่อการซ่อมแซมแก้ไข Operation Gate เท่านั้น

5. อาคารท้ายน้ำ (Terminal Structure) เป็นอาคารที่ต่อจากอาคารควบคุมการส่งน้ำหรือปลายท่อส่งน้ำ ทำหน้าที่สลายพลังงานของน้ำที่ไหลพุ่งออกจากท่อด้วยความเร็วสูงให้ลดลงจนไม่เกิดอันตรายต่อคลองส่งน้ำ หรือลำน้ำเดิมที่อยู่ด้านท้ายน้ำ

ความจำเป็นของส่วนประกอบต่างๆ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ต้องการระบายและตำแหน่งของอาคาร สำหรับเขื่อนขนาดเล็กที่มีปริมาณน้ำส่งไม่สูงมากนัก ส่วนประกอบบางอย่างอาจไม่จำเป็นและเพื่อให้ง่ายต่อการก่อสร้างมีข้อแนะนำดังนี้

1. ท่อส่งน้ำควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 5 เซนติเมตร ซึ่งอาจใช้ท่อเหล็กที่ฉาบผิวนอกด้วยวัสดุป้องกันสนิม วางอยู่บนฐานรากที่เป็นดิน มีคอนกรีตรองและหุ้มขึ้นมาถึงแนวกึ่งกลางท่อ แล้วจึงถมดินทึบน้ำให้ติดแน่นรอบผิวท่อไปตลอดความกว้างของเขื่อน ปลายท่อที่ยื่นพ้นลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำให้ติดตั้งตะแกรงหุ้มปิดปลายท่อ เพื่อป้องกันไม่ให้เศษไม้และหญ้าเข้าไปในท่อ ส่วนปลายท่อด้านท้ายเขื่อนให้ติดตั้งประตูบังคับน้ำแบบที่ใช้กับท่อประปาสำหรับควบคุมและปิดน้ำไว้ รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 8-7

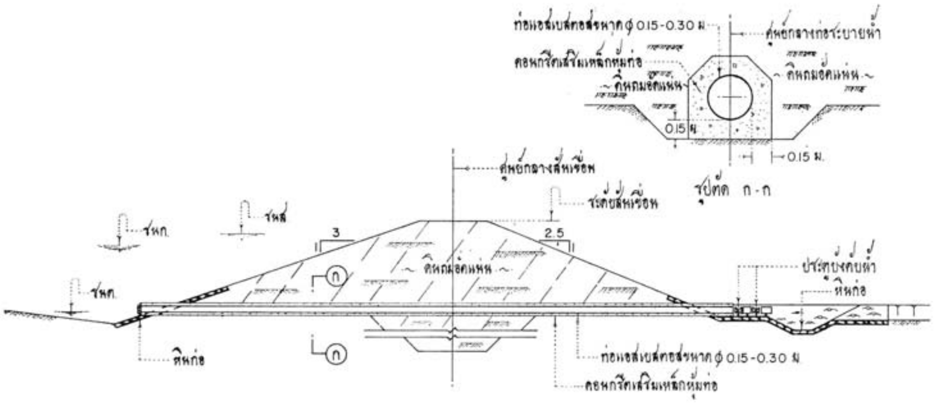


รูปที่ 8-7 รูปแบบทั่วไปของท่อระบายน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5-10 เซนติเมตร

2. ท่อส่งน้ำที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 10 เซนติเมตร อาจใช้ท่อเหล็กที่ฉาบผิวนอกด้วยวัสดุป้องกันสนิม หรือท่อแอสเบสตอสที่รับแรงดันน้ำสูงสุดได้ 15 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร รายละเอียดอื่นๆ เป็นไปตามที่กล่าวแล้วในข้อ 1.

3. ท่อระบายน้ำที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15-30 เซนติเมตร แนะนำให้ใช้ท่อแอสเบสตอสวางเป็นท่อด้านในแล้วหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กรอบท่อ มีความหนาประมาณ 15 เซนติเมตร (หน้าตัดสี่เหลี่ยม) เพื่อให้พื้นท่อระบายน้ำแนบสนิทแน่นกับดินฐานราก และสร้างผิวท่อด้านนอกให้มีแนวตั้งตรง เพราะสะดวกแก่การอัดดินข้างท่อให้แน่นตลอดความกว้างเขื่อน

ส่วนปลายท่อที่ยื่นเข้าไปในอ่างเก็บน้ำ ควรติดตั้งตะแกรงหุ้มปากทางเข้าไว้เช่นกัน และด้านทางออกที่จะติดตั้งประตูบังคับน้ำให้ติดตั้งอยู่กับท่อเหล็ก ซึ่งปลายข้างหนึ่งวางชิดกับท่อแอสเบสตอส แล้วหุ้มด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กยาวประมาณ 1 เมตรเพื่อป้องกันน้ำรั่วออก รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 8-8

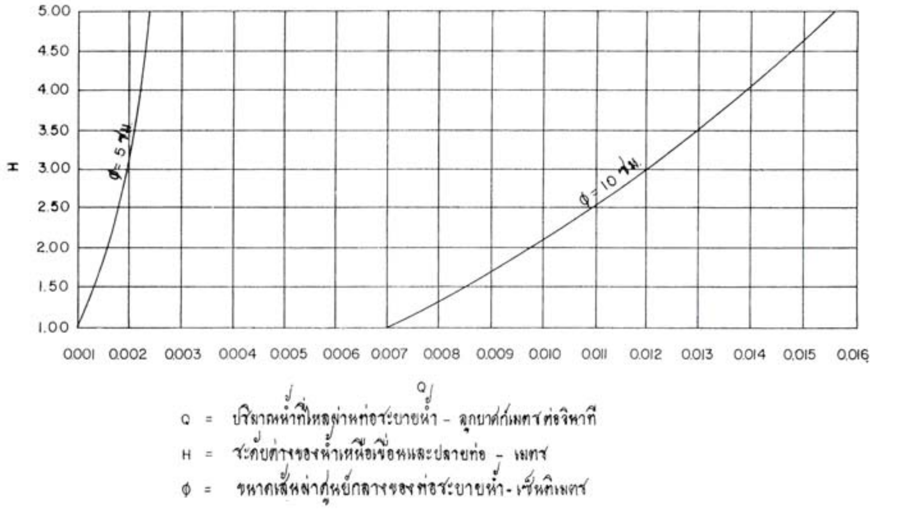


รูปที่ 8-8 รูปแบบทั่วไปของท่อระบายน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15-30 เซนติเมตร

4. ท่อส่งน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร สามารถส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกข้าวได้ไม่น้อยกว่า 800 ไร่ เมื่อระดับน้ำในอ่างสูงกว่าระดับปลายท่อปล่อยน้ำท้ายเขื่อนประมาณ 3.00 เมตร

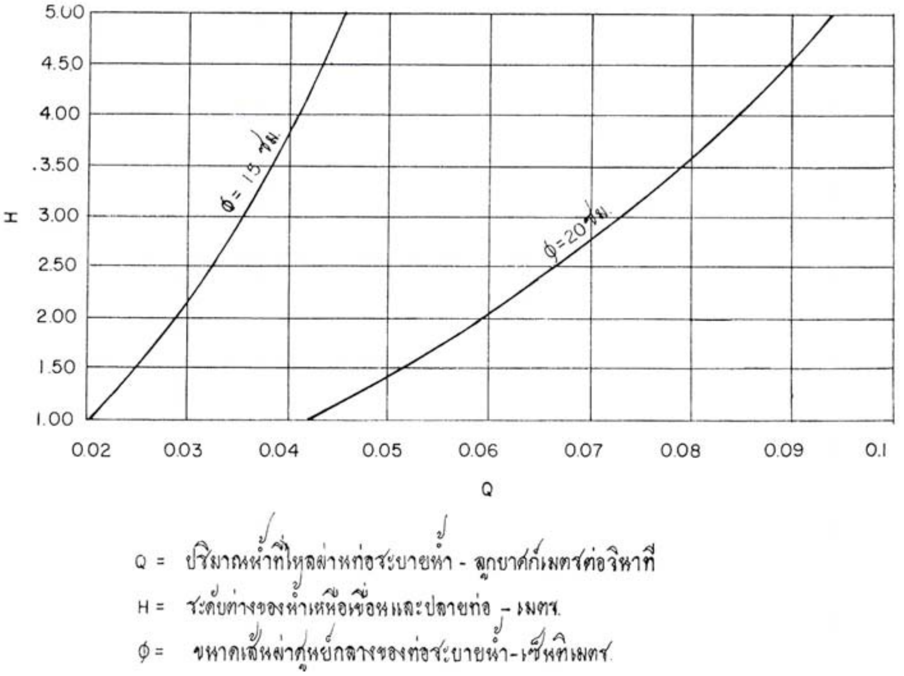
สำหรับท่อที่มีขนาดใหญ่กว่า 30 เซนติเมตร จะต้องให้วิศวกรออกแบบเป็นพิเศษ

5. ปริมาณน้ำที่สามารถไหลผ่านท่อขนาดต่าง ๆ ได้รวบรวมไว้สำหรับประกอบการใช้งาน แสดงในรูปที่ 8-9 ถึง รูปที่ 8-11

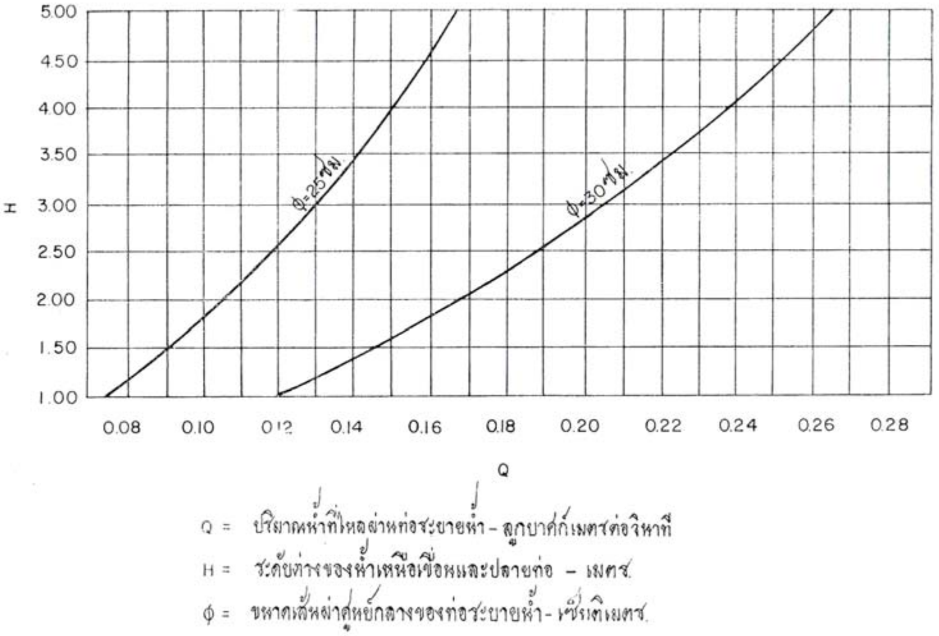


รูปที่ 8-9 ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อระบายน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 และ 10 เซนติเมตร

(คำนวณจากความยาวท่อ 45 เมตร)



รูปที่ 8-10 ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อระบายน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 และ 20 เซนติเมตร (คำนวณจากความยาวท่อ 45 เมตร)



รูปที่ 8-11 ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อระบายน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 และ 30 เซนติเมตร (คำนวณจากความยาวท่อ 45 เมตร)

8.4 การออกแบบโครงสร้างสำหรับอาคารประกอบเขื่อน

8.4.1 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

1. ทั่วไป

อาคารประกอบเขื่อนที่เป็นโครงสร้างคอนกรีต นอกจากจะต้องออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Load), น้ำหนักบรรทุกจร(Live Load) , แรงดันดิน(Earth Pressure), แรงดันน้ำ (Water Pressure) แล้วยังต้องมีความมั่นคง (Stability) และทนทาน (Durability) โดยต้องอยู่ในเกณฑ์กำหนดของสากล เช่น American Concrete Institute (ACI), U.S Bureau of Reclamation Design Standard (U.S.B.R) และต้องได้รับการยอมรับจากมาตรฐานของประเทศ เช่นสภาวิศวกร วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย มาตรฐานอุตสาหกรรมไทย(TIS) และมาตรฐานกรมชลประทาน (RID Standard)

2. คอนกรีต

คุณสมบัติของคอนกรีตล้วนและคอนกรีตเสริมเหล็ก จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีตของกรมชลประทาน (มีนาคม 2535)

กำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุการบ่ม 28 วันในกรณีที่ไม่ได้ระบุเป็นอย่างอื่น

คอนกรีตเสริมเหล็ก	=	210 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
คอนกรีตล้วน	=	140 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

3. เหล็กเสริมคอนกรีต

คุณสมบัติให้เป็นไปตามมาตรฐานของ มอก.-24-2536 สำหรับเหล็กข้ออ้อย และ มอก.-20-2543 สำหรับเหล็กกลม

หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมคอนกรีต

สำหรับเหล็กกลมชั้น SR24	=	1,200 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
สำหรับเหล็กข้ออ้อยชั้น SD30	=	1,500 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
โมดูลัสแห่งความยืดหยุ่น	=	2.4×10^{6} กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

4. เหล็กโครงสร้าง

การออกแบบเหล็กโครงสร้างให้เป็นไปตามมาตรฐานของ วสท.-1003-18 คุณสมบัติของเหล็กให้ใช้ชั้น FE-24 ตาม มอก.-116-2517

5. การเสริมเหล็กต้านทานการยืดตัวและหดตัว

การหาปริมาณเหล็กเสริมเพื่อป้องกันการแตกร้าวให้ขึ้นกับพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของคอนกรีต ถ้าหนามากกว่า 40 เซนติเมตรให้คิดเพียง 40 เซนติเมตรเท่านั้น

5.1 การเสริมเหล็กอย่างน้อยที่สุดของอาคาร

ให้ใช้ขนาด $\varnothing$ 12 มิลลิเมตร ที่ระยะห่าง 30 เซนติเมตร สำหรับส่วนที่ไม่สัมผัสอากาศหรือเสริมเหล็กสองชั้น

5.2 การเสริมเหล็กชั้นเดียวและมีรอยต่อห่างกันไม่เกิน 10.00 เมตร

(1) พื้นคอนกรีตที่ไม่สัมผัสโดยตรงกับแสงอาทิตย์ 0.25 %

(2) พื้นคอนกรีตที่สัมผัสโดยตรงกับแสงอาทิตย์ 0.30 %

(3) พื้นคอนกรีตที่มีความยาวมากกว่า 10.00 เมตร ระหว่างรอยต่อ

- ไม่สัมผัสโดยตรงกับแสงอาทิตย์ 0.35 %
- สัมผัสโดยตรงกับแสงอาทิตย์ 0.40 %

(4) กำแพงและส่วนอื่นๆ ของอาคาร จำนวนร้อยละรวมของเหล็กเสริมในแนวราบ จะต้องเท่ากับจำนวนรวมของเหล็กเสริมที่ผิวทั้งสองด้าน

5.3 การเสริมเหล็กสองชั้นและมีรอยต่อห่างกันไม่เกิน 10.00 เมตร

(1) ผิวหน้าสัมผัสกับดิน 0.10 %

(2) ผิวหน้าไม่สัมผัสกับดินและไม่ถูกกับแสงอาทิตย์ 0.15 %

(3) ผิวหน้าไม่สัมผัสกับดินและสัมผัสโดยตรงกับแสงอาทิตย์ 0.20 %

(4) ถ้าช่วงห่างรอบต่อเกิน 10.00 เมตร ในทิศทางใดๆ ที่ขนานกับการเสริมเหล็กจะต้องเพิ่มเหล็กเสริมในทิศทางนั้นๆ 0.05 %

(5) ถ้าพื้นคอนกรีตถูกยึดไว้ในแนวใดแนวหนึ่ง ระยะสองเท่าจากเส้นที่ถูกยึดถึงปลายที่ปล่อยอิสระ จะพิจารณาให้เสริมเหล็กที่ระยะของรอยต่อน้อยกว่า 10.00 เมตร หรือมากกว่า 10.00 เมตร ตามร้อยละที่กำหนดในหัวข้อ (1) ถึง (4)

6. การออกแบบความหนาของกำแพง

กำแพงยื่นจะต้องมีความหนาที่ฐานอย่างน้อย 20 เซนติเมตร สัดส่วนความหนาจริงของโคนกำแพงที่เพิ่มขึ้นจากเดิมทุกๆ 1 เมตร ให้เพิ่มขึ้น 10 เซนติเมตร การออกแบบกำแพงแบบนี้

ไม่ควรสูงเกิน 6 เมตร หากเกินกว่าที่กำหนดให้ออกแบบเป็นแบบ Counterfort ความกว้างของฐานกำแพงแบบ Counterfort ประมาณ 0.6-0.7 ของความสูงกำแพง ความหนากำแพงจะมีค่าประมาณ 0.12 เท่าของความสูง ส่วนความหนาของครีบและระยะห่าง ให้ตรวจสอบความมั่นคงและไม่เกินค่าหน่วยแรงที่กำหนด

7. การออกแบบกำแพงล่าง (Cutoff wall)

การออกแบบกำแพงล่างจะอยู่ปลายสุดของ Transition ของอาคารชลศาสตร์เพื่อลดการไหลซึมของน้ำลอดใต้อาคาร หรือเพื่อป้องการไถลเลื่อนของอาคาร

ข้อแนะนำการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของน้ำความลึกของกำแพงล่างและความหนาของกำแพง เป็นดังนี้

ความลึกของน้ำ (เมตร)	ความลึกของกำแพงล่าง (เมตร)	ความหนาของกำแพง (เมตร)
0.00-1.00	0.60	0.15
1.01-2.00	0.75	0.20
2.01-3.00	1.50	0.40
3.01-4.00	2.00	0.50

การเสริมเหล็กในแนวดิ่งของกำแพงล่างเหมือนกับเหล็กเสริมในแนวนอนในพื้นของช่วงต่อเชื่อม (Transition) ให้เสริมเพียงชั้นเดียวในแนวศูนย์กลางของกำแพงล่าง

8. รอยต่อของอาคารคอนกรีต

อาคารประกอบเขื่อนที่มีความยาวมากๆหรือเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ หรือช่วงต่างๆ อาจใช้เวลาในการก่อสร้างหลายวัน หรือมีการทรุดตัว แอ่นตัว จำเป็นต้องกำหนดให้มีรอยต่อเป็นช่วงๆ รอยต่อต่างๆ ประกอบด้วย

1. รอยต่อเพื่อการก่อสร้าง (Construction Joints)

เป็นรอยต่อที่ใช้กับส่วนที่เทคอนกรีตแล้วใช้เวลาเกินกว่าระยะเวลาแข็งตัวคอนกรีตหรือกรณีคอนกรีตปริมาณมาก การกำหนดรอยต่อชนิดนี้ควรกำหนดให้รอยต่อตรงกับตำแหน่งที่โมเมนต์ มีค่าน้อยที่สุด โดยเหล็กเสริมจะต้องวางต่อเนื่องกันไปไม่ตัดขาดออกจากกันเพื่อให้เกิดแรงยึดระหว่างโครงสร้าง

2. *รอยต่อเพื่อการหดตัว (Contraction Joints)*

รอยต่อยอมให้เกิดการแตกร้าว อันเนื่องจากการหดตัว

3. *รอยต่อเพื่อการขยายตัว (Expansion Joints)*

รอยต่อที่ยอมให้แต่ละชิ้นส่วนขยายหรือหดตัวตามยาวได้อย่างอิสระตามการเปลี่ยนแปลงและ/หรือจุดที่ยอมให้มีการทรุดตัวหรือเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง

รอยต่อเพื่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีทั้งการหดตัวและขยายตัว เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้คอนกรีตแตกหักเพราะแรงอัด หรือในทางกลับกันเมื่อคอนกรีตหดตัวจะทำให้แตกหักได้จากแรงดึง

ในงานชลประทานกำหนดให้ระยะห่างระหว่างรอยต่อไม่เกิน 10 เมตรและแต่ละรอยต่อกว้าง 1 เซนติเมตร หรือสามารถคำนวณได้จาก

ΔL = ความกว้างของรอยต่อ(เซนติเมตร)

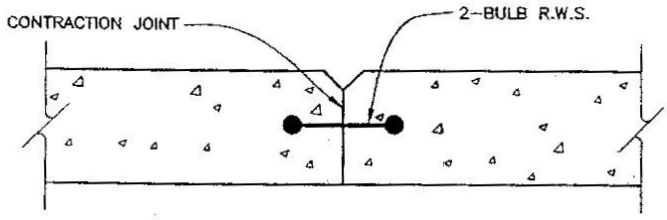
L = ระยะห่างระหว่างรอยต่อแต่ละช่วง (เซนติเมตร)

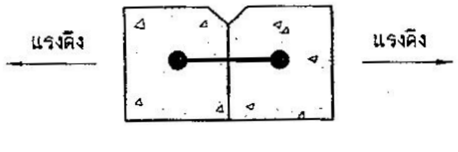
α = สปส. การขยายตัวตามเส้นของคอนกรีต (เซนติเมตร/องศาเซนเซียส)

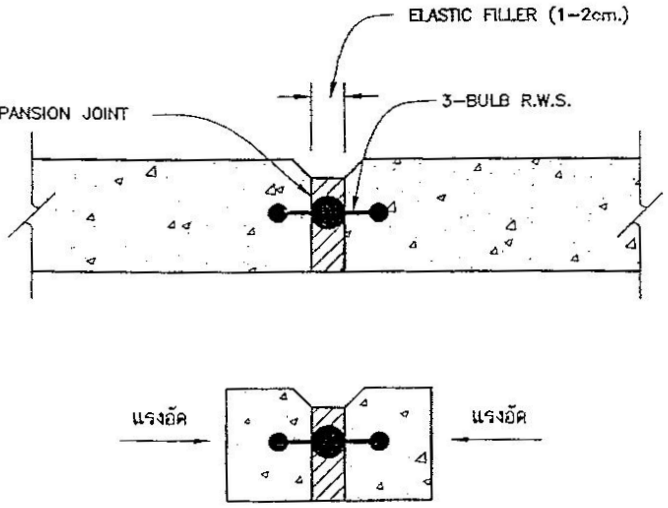
t = อุณหภูมิของอากาศที่สูงขึ้น(องศาเซนเซียส)

4. *รอยต่อควบคุม(Control Joints)*

รอยต่อที่ต้องการควบคุมไม่ให้น้ำรั่วไม่ว่าจะเป็นรอยต่อในข้อ 2 และ 3 จำเป็นต้องมีแผ่นยางกันน้ำ (Rubber Waterstop) ตลอดความยาวของรอยต่อ







รูปที่ 8-12 รายละเอียดของรอยต่อควบคุมทั้งในกรณี Contraction Joint และ Expansion Joint

8.4.2 การออกแบบทางโครงสร้างของอาคารทางน้ำล้น

อาคารทางน้ำล้นส่วนใหญ่ทำจากวัสดุที่หลากหลาย เช่น คสล .อิฐก่อ หินก่อ หรือหินกล่อง (gabions) แม้วัสดุที่ทำอาคารจะหลายหลายแต่หลักเกณฑ์ในการออกแบบทางโครงสร้างใช้หลักเกณฑ์ที่คล้ายกัน โดยแบ่งการออกแบบดังนี้

8.4.2.1 ตัวองค์อาคาร(Main structure)

(1) แรงที่กระทำกับองค์อาคาร

แรงภายนอกที่กับตัวองค์อาคารอันเป็นผลจากการไหลของน้ำประกอบด้วย

1. แรงดันจากน้ำ(static water pressure of the surface water)
2. แรงจากความดันยก(uplift water pressure)
3. แรงปฏิกิริยาของดินใต้ฐานขององค์อาคาร
4. แรงเสียดทานใต้ฐานอันเกิดจากการสมดุลย์ของแรงในแนวราบ
5. น้ำหนักขององค์อาคารและลิ่มน้ำที่กระทำกับอาคาร (weight of the structure and water wedges)

8.4.2.2 การพิจารณาความมั่นคงทั่วไปของตัวอาคาร

ข้อพิจารณาความมั่นคง 3 ประการคือ

1. ผลรวมของโมเมนต์ที่ตีนเขื่อนด้านท้ายน้ำ ต้องเป็นศูนย์

2. ผลรวมของแรงในแนวราบต้องเป็นศูนย์
3. ผลรวมของแรงในแนวดิ่งต้องเท่ากับศูนย์

ในทางปฏิบัติต้องพิจารณาแฟคเตอร์ความปลอดภัย 1.5-2.0

$$\left.\frac{\sum M.\text{ต้าน}}{\sum M.\text{ทำให้ล้มคว่ำ}}\right| > 1.5$$

และเพื่อหลีกเลี่ยงองค์อาคารเอียงหรือมีแรงดึงเกิดขึ้นในฐานแรงลัพธ์ของแรงภายนอก ควรกระทำผ่านmiddle third ของฐาน

$$eccentricity\ .e. < \frac{B}{6}.$$

นอกจากนี้ต้องออกแบบให้ต้านทานการไหลเลื่อนของอาคารอันเกิดจากแรงในแนวราบ จำเป็นจะต้องพิจารณา

$$\frac{\text{แรงภายนอกในแนวราบ}}{\text{แรงภายนอกในแนวดิ่ง}}. < .f$$

เมื่อ f คือสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างฐานกับฐานราก

สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานขึ้นกับวัสดุที่ใช้ก่อสร้างตัวอาคารกับฐานราก U.S Bureau of reclamation แนะนำให้ใช้ 0.35 กรณีอาคารคอนกรีตกับดินทั่วไป varshney แนะนำให้ใช้ 0.65 กรณี คอนกรีตกับอิฐก่อ

8.4.2.3 กรณีวิกฤติที่ต้องพิจารณา

สถิติการพังของอาคารน้ำล้นพบว่าไม่ได้เกิดจากการไม่เสถียรของอาคาร ในกรณีล้มคว่ำ หากแต่เกิดจากการม้วนกัดเซาะ (scour) ตัวอาคาร ดังนั้นการวิเคราะห์ความมั่นคง จึงมีความสำคัญในกรณีที่ตัวอาคารกับ apron แยกจากกันหรือใช้วัสดุต่างชนิดกัน กรณีที่ตัวอาคาร อยู่บนหินโดยไม่มีApron เช่นกัน

กรณีที่ต้องพิจารณาจึงแบ่งเป็น2 กรณีคือ

1. อาคารไม่ได้เป็นชิ้นเดียวกันกับพื้นอาคาร(Apron)

ลักษณะทั่วไปที่จะต้องพิจารณาในกรณีของอาคารที่มีหน้าลาด (Sloped) และหน้าแบบขั้นบันได (Stepped) โดยแสดงการพิจารณาแรงที่กระทำและโมเมนต์ ภายใต้เงื่อนไขดังนี้

1. น้ำซึมผ่านจากเหนือน้ำผ่านต้านฐานอาคารไปยังท้ายน้ำได้อย่างอิสระ
2. น้ำไม่ไหลข้ามอาคารและด้านท้ายน้ำไม่มีน้ำ

2. อาคารเป็นชิ้นเดียวกันกับพื้นอาคาร(Apron)

อาคารทางระบายน้ำล้นที่เป็นชิ้นเดียวกับพื้นทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำจะค่อนข้างเสถียรและไม่มีปัญหาในกรณีล้มคว่ำจากโมเมนต์

8.4.3 การออกแบบตัวอาคารทางระบายน้ำล้นและพื้นอาคาร (Apron)

การออกแบบตัวอาคารให้พิจารณาแยกออกเป็นส่วนๆและสามารถรับหน่วยแรงอันเกิดจากแรงภายนอก

1. ออกแบบตัวอาคาร(Spillway body) ตัวอาคารโดยปกติให้ออกแบบเป็นอาคารยื่น(Cantilever)ที่สามารถรับโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้น แต่อาคารส่วนใหญ่จะเป็นมวลขนาดใหญ่(Massive) ซึ่งค่อนข้างยากที่จะเสียหายเนื่องจากการเกิดหน่วยแรง(stress)เกิน แต่ถึงกระนั้นก็ตามในกรณีที่ตัวอาคารเป็นกำแพงบางในแนวดิ่งจำเป็นต้องตรวจสอบตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1.1 หาแรงเฉือนโมเมนต์ดัดและแรงตามแนวแกนที่จุดต่างๆบนตัวอาคาร

1.2 หาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดที่พิจารณา

$$P_1, P_2 = \frac{W}{A} + \frac{M._X}{b.d^2/6}$$

โดย $P_1, P_2 =$ หน่วยแรงอัดและหน่วยแรงดึงที่หน้าฝาย(แรงดึงด้านเหนือน้ำแรงอัดด้านท้ายน้ำ)

$W =$ น้ำหนักโครงสร้างเหนือจุดที่พิจารณา(X)

$b =$ ความกว้างของหน้าตัด ปกติใช้หนึ่งเมตร

$d =$ ความลึกของฝาย(ในทิศทางการไหล)

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นต้องไม่เกินหน่วยแรงที่ยอมให้ของวัสดุนั้น ในกรณีเช่นนี้แนะนำให้ใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กและออกแบบตามมาตรฐานการออกแบบคอนกรีตของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในกรณีทั่วไปที่เป็นอาคารแบบแรงโน้มถ่วง (gravity weir)การเสริมเหล็กในตัวอาคารจะเป็นเหล็กเสริมกันร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ

2. ออกแบบพื้นอาคารทางน้ำล้น(Apron)

แนวคิดสองประการในการพิจารณาความหนาของพื้นอาคารทางน้ำล้น ประการแรกสมมุติให้apron ประกอบด้วยโครงสร้างอิสระที่ไม่ได้เชื่อมต่อกัน และน้ำหนักของแต่ละส่วนต้องสมดุลย์กับแรงดันยก(uplift pressure) วิธีนี้ค่อนข้างปลอดภัย คำนวณได้ง่ายแต่โครงสร้างจะมีราคามากกว่าแนวคิดที่สอง

แรงดันยกใต้Apron ความหนาของApronเท่ากับแรงดันยกหารด้วยน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ทำApronในสถานะจมน้ำ

$$t = \frac{h_X}{(\gamma_f - 1)}$$ ....(หน่วยเมตริค)

โดย h_x = แรงดันยกที่จุด X (m). $h_X = \dfrac{H(L - L_X)}{L}$

t = ความหนาของพื้น (m)

γ_f = ความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ทำพื้น. (kg/m^3)

ในกรณีที่อาคารเป็นคอนกรีต การเสริมเหล็กในพื้น(Apron) ด้วยวิธีนี้เนื่องจากถือว่าไม่มีหน่วยแรงดึงหรือแรงอัดเกิดในพื้นให้เสริมเหล็กกันร้าวจากอุณหภูมิเท่านั้น

แนวคิดที่สองถือว่าพื้นเป็นชิ้นเดียวกันและพิจารณาโมเมนต์และแรงเฉือนที่เกิดขึ้นที่หน้าตัดวิกฤติที่ตีนอาคารด้านท้ายน้ำ

ผู้ออกแบบควรพิจารณาหน่วยแรงดึงและแรงอัดให้ดีว่าเกิดด้านใด ในกรณีตัวอย่างนี้เป็นคานยื่นแบบกลับด้านล่างพื้นจะเป็นหน่วยแรงดึง แต่ในกรณีที่มีปีกฝาย (wing wall) ยึดติดกับพื้น Apron จะกลายเป็น inverted slab ที่มีค้ำยัน3 ด้าน หน่วยแรงดึงจะกลับด้านกับที่กล่าวมาแล้ว

ในทางปฏิบัติที่ปลายของพื้น (apron) ควรมีความหนาไม่น้อยกว่า 30 ซม. เพื่อป้องกันการเกิด piping แม้จะถือว่าไม่มีแรงดันยก (uplift pressure)ก็ตาม

8.4.4 การออกแบบกำแพงกันดิน

ปีกของอาคารทางน้ำล้น(Wing walls) อาจทำจากผนังก่ออิฐ หินกล่อง(Gabions) หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก ขั้นตอนปกติในการออกแบบจำเป็นจะต้องหาแรงดันอันเนื่องมาจากดินถมหลังกำแพง ส่วนการวิเคราะห์ความมั่นคงหาด้วยวิธีเดียวกับตัวอาคาร

(1) แรงดันดินแบบ Active กับดินแบบ Cohesionless

เมื่อดินแบบอิ่มตัวและแห้งกระทำกับกำแพง สามารถหาแรงดันได้ตามกรณีดังนี้

1 กรณีกระทำบนผิวกำแพงเรียบ

แรงที่กระทำกับกำแพงหาได้จาก

$$P_a = K_a.\gamma_S.Z^2 / 2$$

เมื่อ P_a = แรงดันดินแบบ Active

γ_S = ความหนาแน่นของดิน

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) = \frac{1 - \sin.\phi}{1 + \sin.\phi}$$

ϕ = มุมของแรงเสียดทานภายในของดิน

(2) กรณีแรงดันดินแบบActive บนกำแพงผิวหยาบ

ปกติแล้วผิวกำแพงจะค่อนข้างหยาบ เพื่อให้ค่าที่ใกล้เคียงมีวิธีการอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมคือ Rebhann's และ Coulomb's methods

(3) กรณีดินแบบเชื่อมแน่น(Cohesive soils)

แรงดันดินแบบ Active โดยใช้ทฤษฎี Wedge theory สมมุติว่าดินมีรอยแตกเนื่องจากแรงดึงลึก Z_C (c) และ (a) แทนค่า soil cohesion และ unit adhesion

$$C_C = c \times l \qquad C_w = a \times h$$

เมื่อ l และ h คือความยาวของแนวพังทลายและความสูงของแนวที่สัมผัสกับกำแพง จากไดอะแกรมหาค่าสูงสุดของแรงดัน

สำหรับดินเหนียวอ่อนที่ค่าcohesion น้อยกว่า 4.5 t/sq.m ค่าwall adhesion (a) ให้ใช้เท่ากับค่าcohesion ถ้าค่า cohesion เกิน 4.5 t/sq.m .ให้ใช้ค่า (a) เท่า 4.5 t/sq.m

(4) แรงดันแบบPassive บนกำแพงกันดิน

ผลจากการเคลื่อนที่ของปีกกำแพงในทิศทางของแรง Active แรงดันที่กระทำกับดินถมหน้ากำแพงเรียกว่าแรงดันแบบ Passive และจะลดค่าโมเมนต์ที่ทำให้ล้มคว่ำ ในการออกแบบส่วนใหญ่ ไม่จำเป็นต้องพิจารณาแรงแบบนี้

โดยความจริงฐานรากของปีกกำแพงไม่ลึกมากและซับซ้อนในการที่จะหาค่าแรงต้านทานของดินและพื้นที่กระทำต้านแรง Active แนะนำให้ออกแบบโดยคิดโมเมนต์ที่ทำให้ล้มคว่ำที่ระดับพื้นมากกว่าที่ระดับตีนของกำแพง

(5) การวิเคราะห์เสถียรภาพของกำแพงกันดิน

1. กรณีกำแพงยึดติดกับพื้น

ในทางปฏิบัติสำหรับกรณีแบบนี้ เสถียรภาพของกำแพงไม่วิกฤต เนื่องจากกำแพงและพื้นยึดเป็นโครงข้อแข็ง แต่โมเมนต์ที่เกิดขึ้นจำเป็นต้องคำนวณเพื่อหาปริมาณเหล็กเสริมและหน้าตัดคอนกรีตที่เพียงพอ

เนื่องจาก โมเมนต์ที่เกิดขึ้นค่อนข้างน้อย ดังนั้นความหนาของพื้นหาจากน้ำหนักที่สมดุลย์กับแรงดันยกดังที่กล่าวมาแล้ว แต่ปริมาณเหล็กเสริมหาจากโมเมนต์ และตรวจสอบกับเหล็กเสริมกันร้าวจากอุณหภูมิ

2. กำแพงกันดินแบบโน้มถ่วง (Gravity wall)

กำแพงแบบนี้ส่วนใหญ่ทำจากอิฐก่อ หรือหินกล่อง (Gabions) ความมั่นคงและราคาจำเป็นจะต้องพิจารณาจากรูปทรง ปกติแล้วแรงที่ทำให้ไถลเลื่อนไม่วิกฤติ ถ้าฐานกำแพงต่ำกว่าApron แรงดันที่ฐานต้องตรวจสอบที่ส่วนบนของฐานว่าทำให้ตีนกำแพงแตกหักหรือมีหน่วยแรงดึงเกิดที่ฐานหรือไม่ ส่วนที่ระดับดินให้ตรวจสอบความต้านทานของดินด้วย

8.4.5 การออกแบบทางโครงสร้างของท่อส่งน้ำ

คลองชักน้ำมีหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นรูปแบบสะพาน ท่อส่งน้ำที่มีเครื่องมือควบคุมการส่งน้ำ ในกรณีสะพานจะออกแบบให้รับด้วยกำแพงหรือเป็นโครงข้อแข็งซึ่งเชื่อมด้วยพื้นในการรับน้ำการใช้ท่อเป็นคลองชักน้ำเป็นสิ่งที่พบเห็นทั่วไป ท่ออาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมหรือวงกลม โดยคำนึงถึงความยากง่ายในการระบายตะกอนทราย

(1) อาคารรับน้ำแบบสะพาน(Bridge-type intakes)

โดยทั่วไปจะมีสองลักษณะคือสะพานแบบพื้นบนกำแพง (Slab bridge on gravity walls) กับ ท่อลอด (Box culvert)

1) กรณี Slab bridge

พื้นสะพานออกแบบเป็นคานอย่างง่าย แรงที่กระทำบนกำแพงเนื่องจากสะพานจำเป็นต้องพิจารณาเสถียรภาพร่วมกับแรงอื่นที่กระทำ

2) กรณี Box culvert

การออกแบบ Box culvert .มีวิธีวิเคราะห์หลายวิธี แนะนำใช้วิธี Slope deflection methods

(2) ท่อส่งน้ำชนิดท่อกลม (Circular culvert)

ท่อส่งน้ำจะมีขนาดมาตรฐานผลิตและออกแบบจากโรงงาน อย่างไรก็ดีการพิจารณาเลือกใช้ท่อให้สอดคล้องกับน้ำหนักบรรทุก (AASHTO) เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผู้ออกแบบระบบส่งน้ำ โดยจะต้องพิจารณาในปัจจัยต่อไปนี้

1. ความแข็งแรงและน้ำหนักบรรทุกของท่อ
2. น้ำหนักบรรทุกอื่นๆบนท่อฝังดิน(Surcharge loads)
3. น้ำหนักบรรทุกจรบนท่อใต้ดิน
4. ชนิดของท่อส่งน้ำ

ท่อส่งน้ำมีหลายชนิดเช่นท่อคอนกรีต ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ท่อคอนกรีตอัดแรงท่อเหล็ก ท่อPVC เป็นต้น ท่อคอนกรีตไม่เสริมเหล็กควรมีขนาดไม่เกิน 0.60m เกินกว่านี้ให้ใช้ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก และให้ใช้ safety factor =1.50 ในการพิจารณาการรับน้ำหนักและชนิดการวางท่อ

บทที่ 9
การก่อสร้างเขื่อน

ในการดำเนินการก่อสร้างเขื่อน ผู้ควบคุมงานจะต้องเข้าใจถึงลักษณะของดินที่จะนำมาใช้ถมตัวเขื่อนตาม Zone ต่างๆ เป็นอย่างดี เพื่อที่จะทำให้การแก้ไขปัญหาต่างๆ ในระหว่างดำเนินการก่อสร้างเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว สำหรับงานเขื่อนดินมีจุดสำคัญของงานก่อสร้างอยู่ที่การป้องกันการรั่วซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อน (Seepage Control) และการจัดทางน้ำให้ไหลได้โดยสะดวกที่บริเวณด้านท้ายเขื่อน (Downstream Drains)

9.1 การสำรวจเพื่อการก่อสร้าง

1) การเตรียมงานเบื้องต้น

- จัดเตรียมแบบก่อสร้างเขื่อนและอาคารประกอบพร้อมด้วยรายละเอียดอื่นๆ
- จัดเตรียมค่าพิกัด ค่าระดับ และหมายพยานของหมุดหลักฐานเดิมตามแนวศูนย์กลางเขื่อน และบริเวณหัวงาน หรือหมุดหลักฐานอื่นในบริเวณใกล้เคียง เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการโยงงานและตรวจสอบ

2) การเตรียมงานในสนาม

- ค้นหาหมุดหลักฐานเดิมที่ได้จัดเตรียมไว้
- โยงค่าพิกัดและค่าระดับจากหมุดหลักฐานเดิม และ/หรือหมุดหลักฐานในแนวศูนย์กลาง เข้าตรวจสอบกับหมุดหลักฐานข้างเคียงที่มีสภาพดีและน่าเชื่อถือ ถ้าหมุดในแนวศูนย์กลางสูญหายหรือไม่ตรงกับแบบให้วางแนวศูนย์กลางใหม่
- สร้างหมุดหลักฐานถาวร เพื่อเป็นหมุดหลักฐานหมายพยานของแนวศูนย์กลางเขื่อน โดยให้อยู่ในแนวศูนย์กลางออกไปทั้ง 2 ข้าง จนพ้นเขตก่อสร้างอย่างน้อยข้างละ 1 คู่ และ/หรือให้ตั้งฉากหรือขนานกับแนวศูนย์กลางอีกข้างละ 1 คู่
- สร้างหมุดหลักฐานถาวร เพื่อเป็นหมุดหลักฐานหมายพยานของแนวศูนย์กลางและระยะกิโลเมตรของเขื่อนและอาคารประกอบตามระยะที่เหมาะสมให้ขนานหรือตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางเขื่อน และให้อยู่นอกเขตก่อสร้าง

- โยงค่าพิกัดและค่าระดับจากหมุดหลักฐานข้างเคียงที่ตรวจสอบค่าแล้ว เข้ากับหมุดหลักฐานหมายพยานทั้งหมด โดยวิธีการวงรอบ (หรือการสามเหลี่ยม) และการระดับชั้นที่ 3
- ทำรั้วล้อมรอบหมุดหลักฐานถาวร พร้อมทั้งเขียนชื่อและค่าระดับของหมุด

3) การสำรวจวางแนวและรังวัดระดับ

- วางศูนย์กลางเขื่อนจาก กม.0+000 ไปจนสุดแนวปักหมุดไม้ทุกระยะ 20 ม. และทุกจุดที่ตั้งของอาคารประกอบ พร้อมกับเขียนเลขบอกระยะ กม. ไว้ทุกหมุดด้วย และรังวัดระดับโดยวิธีการระดับชั้นที่ 3
- วางแนวรูปตัดขวางให้ตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางเขื่อนที่ กม.0+000 และทุกระยะ 20 เมตร พร้อมกับต่อปีกรูปตัดออกไปจนพ้นขอบเขตงานขุดและงานถมอย่างน้อย 10 เมตร รังวัดระดับตามแนวรูปตัดขวางทุกระยะ 10 เมตร และทุกจุดที่ระดับเปลี่ยนแปลงมาก โดยนับระยะจากแนวศูนย์กลางเขื่อนออกไปทั้งสองข้าง สำหรับอาคารประกอบให้ปฏิบัติเช่นเดียวกันกับแนวเขื่อน

4) การเขียนแผนที่

- เขียนแผนที่รูปตัดตามยาวตามแนวศูนย์กลางเขื่อน มาตราส่วนทางตั้ง 1:100 และทางราบเท่ากับมาตราส่วนของแบบก่อสร้าง แสดงจุดระดับภูมิประเทศทุก 20 เมตร
- เขียนแผนที่รูปตัดขวางแนวศูนย์กลางเขื่อน มาตราส่วนทางตั้งและทางราบ 1:100 ให้ปีกรูปตัดด้านเหนือน้ำอยู่ทางด้านซ้ายของกระดาษ แสดงค่าระดับภูมิประเทศทุกจุดที่ทำการรังวัด เพื่อใช้คำนวณหาปริมาตรดิน

5) การกำหนดแนวและขนาดเพื่อการก่อสร้าง

- วางแนวศูนย์กลางเขื่อน ปักหลักไม้ทุกระยะ 20 เมตร ที่จุดขอบเขตงานขุดและงานถมของตัวเขื่อนทั้ง 2 ข้าง เพื่อถางป่าและเปิดหน้าดิน สำหรับงานก่อสร้างอาคารประกอบให้ปฏิบัติเช่นเดียวกัน
- วางแนวศูนย์กลางเขื่อน ปักหลักไม้ทุก 10 เมตร ในแนวตรง และทุก 5 เมตร ในแนวโค้ง กำหนดขนาดของร่องแกนไปจนตลอดแนวเขื่อน แล้วโรยปูนขาวไว้เพื่อการขุดลอกต่อไป สำหรับงานก่อสร้างอาคารประกอบ ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกัน
- วางแนวศูนย์กลางเขื่อน ปักหลักไม้ทุกระยะ 10 เมตรในแนวตรง และทุก 5 เมตร ในแนวโค้ง กำหนดขนาดเพื่อบดอัดชั้นดิน ก่อนและหลังการถมบดอัดชั้นดินทุกครั้งให้เป็นไปตามแบบก่อสร้าง

6) การกำหนดค่าระดับ

- รังวัดระดับรูปตัดขวางภายหลังการถางป่า และเปิดหน้าดินแล้วทุกระยะ 20 เมตรในแนวตรงและทุกระยะ 10 เมตรในแนวโค้ง ต่อปีกรูปตัดขวางไปจนถึงขอบเขตงานขุดและงานถมทั้ง 2 ข้างและแสดงค่าระดับตลอดแนวศูนย์กลางทุกระยะที่วางไว้หลังการเปิดหน้าดิน
- กำหนดค่าระดับดินตัดของร่องแกน ทุกระยะที่กำหนดในแบบ
- กำหนดค่าระดับดินถมบนหมุดไม้ที่ปัก ณ จุดขอบเขตงานขุดและงานถมของเขื่อนทั้ง 2 ข้าง หลังการถมร่องแกนเสร็จทุกระยะ 10 เมตรในแนวตรง และทุกระยะ 5 เมตรในแนวโค้งก่อนและหลังการถมบดอัดดินทุกครั้ง
- ตรวจสอบค่าระดับ ภายหลังถมบดอัดชั้นดินตัวเขื่อนแล้ว และตรวจสอบค่าระดับในการตั้งแบบก่อนและหลังเทคอนกรีตทุกบล็อกของแบบก่อสร้าง โดยวิธีการระดับชั้นที่ 3 สำหรับงานก่อสร้างอาคารประกอบ ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกัน

9.2 การผันน้ำระหว่างการก่อสร้าง

งานที่จะต้องรีบเร่งดำเนินการก่อสร้างให้แล้วเสร็จโดยเร็วที่สุดคือ งานสร้างอาคารผันน้ำระหว่างการก่อสร้างและทำนบดินชั่วคราวปิดกั้นลำน้ำ (Coffer Dam) ซึ่งมีลักษณะและวิธีการดังนี้

1) คลองผันน้ำ (Open Channel) โดยการขุดเป็นช่องทางให้น้ำจากลำน้ำเดิมไหลผ่านไปได้โดยสะดวก ซึ่งควรมีขนาดกว้างพอที่จะระบายน้ำในระหว่างการก่อสร้างได้ทัน เมื่อก่อสร้างอาคารท่อส่งน้ำเสร็จแล้วจะทำการผันน้ำผ่านอาคารดังกล่าว หลังจากนั้นขุดลอกและถมดินในส่วนที่เป็นฐานรากเขื่อนในบริเวณช่องทางผันน้ำชั่วคราวเพื่อปิดกั้นทางน้ำให้เป็นตัวเขื่อนต่อไป

2) ท่อผันน้ำ (Cut-and-Cover Conduit) เป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีขนาดใหญ่พอที่จะระบายน้ำได้ และสามารถใช้เป็นท่อสำหรับส่งน้ำ (Outlet Works) อีกด้วย โดยสร้างผ่านตัวเขื่อนและวางบนฐานรากที่ดีพอเพื่อป้องกันการทรุดตัว

วิธีการผันน้ำระหว่างก่อสร้างนี้ จะพิจารณาออกแบบตามความเหมาะสมของภูมิประเทศและส่วนประกอบอื่นๆ ว่าควรจะใช้วิธีใด ตัวอย่างแสดงการผันน้ำในระหว่างการก่อสร้างโดยวิธีขุดคลองผันน้ำดังแสดงในรูปที่ 9-1

รูปที่ 9-1 แสดงการขุดคลองผันน้ำ

9.3 การขุดและปรับปรุงฐานรากเขื่อน

1) **การขุดลอกหน้าดินฐานราก** ก่อนเริ่มงานก่อสร้างจะต้องโค่นต้นไม้ พุ่มไม้ ตอไม้ และวัชพืชในบริเวณตัวเขื่อนออกให้หมด แล้วจึงขุดลอกหน้าดิน โดยต้องขุดลอกให้กว้างกว่าบริเวณความกว้างของฐานเขื่อนทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำไม่น้อยกว่า 20 เมตร ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการดำเนินการก่อสร้าง ในการขุดลอกหน้าดินดังกล่าว ผู้ควบคุมจะต้องใช้ดุลยพินิจว่าจุดใดของพื้นที่ฐานรากเขื่อนมีดินไม่ดีพอที่จะเป็นฐานรากตัวเขื่อนได้ ก็จำเป็นที่จะต้องทำการขุดทิ้งให้หมด จนถึงชั้นดินที่รับน้ำหนักได้ดี และถ้าฐานรากของตัวเขื่อนเป็นชั้นหินที่มีชั้นดินหรือชั้นทรายปิดอยู่ไม่หนามาก ฐานรากทางด้านเหนือน้ำควรจะลอกเอาดินหรือทรายนั้นออกให้หมด โดยเริ่มจากแนวร่องแกนไปจนถึงแนวขอบฐานเขื่อนด้านเหนือน้ำ

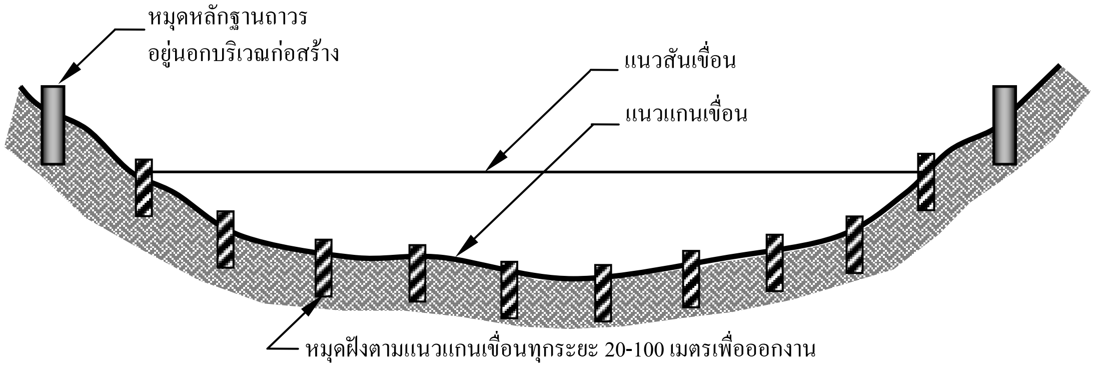
การขุดลอกหน้าดิน ควรปรับสภาพพื้นที่ดินเดิมที่มีสภาพสูงๆ ต่ำให้อยู่ในสภาพที่พร้อมจะถมตัวเขื่อนต่อไปได้

2) **การขุดร่องแกน (Cutoff Trench)** ทำการขุดให้ถึงชั้นดินหรือชั้นหินแข็ง ให้มีขนาดความกว้างและความลาดเอียงด้านข้างของร่องแกนตามที่กำหนดในแบบก่อสร้างซึ่งโดยมาก

มักจะกำหนดค่าความลาดเอียงไว้ 1:1 (ดิ่ง : ราบ) สำหรับความลึกของร่องแกน ถ้าหากขุดจนถึงระดับที่กำหนดให้ในแบบแล้วยังมีชั้นดินหรือชั้นหินที่ไม่สามารถรับน้ำหนักได้ปนอยู่อีก ก็ต้องขุดลงไปจนถึงชั้นดินหรือชั้นหินที่แน่นดีพอ ถ้ายังไม่แน่ใจก็ควรจะทำการทดลองกำลังรับน้ำหนักของดิน (Bearing Test) เพื่อหาค่ากำลังรับน้ำหนักของชั้นดินหรือชั้นหินนั้นว่ามีค่าตามที่แบบกำหนดไว้หรือไม่ และในแนวร่องแกนถ้ามีหินลอย (Boulder) อยู่ ก็ควรขุดออกให้หมด

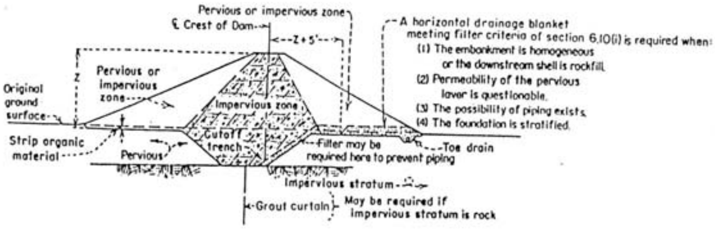
สำหรับดินในร่องแกนที่ขุดออก ควรพิจารณานำดินที่ขุดออกนั้นมาใช้ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติของดินนั้นว่าเป็นดินชนิดใด และจะใช้ถมส่วนใดของตัวเขื่อนได้บ้าง ตัวอย่างแสดงการขุดลอกหน้าดินและขุดร่องแกน ดังแสดงในรูปที่ 9-2

รูปที่ 9-2 แสดงการขุดลอกหน้าดินและขุดร่องแกน

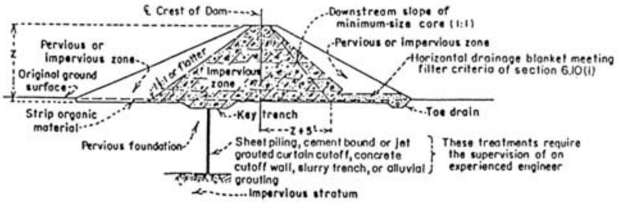


รูปที่ 9-3 การฝังหมุดตามแนวแกนเขื่อน

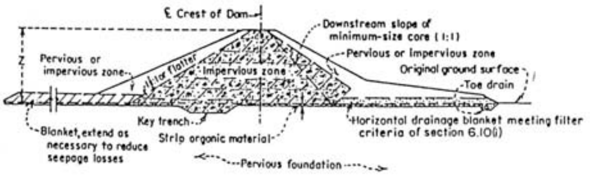
3) **งานปรับปรุงฐานรากเขื่อน (Foundation Treatment)** การปรับปรุงฐานรากโดยทั่วไปจะทำการขุดร่องแกนไปจนถึงชั้นดินทึบน้ำ ในกรณีที่ไม่สามารถดำเนินการได้ การปรับปรุงฐานรากอาจต้องทำการตอกเข็มพืด (Sheet Pile) หรือการปูชั้นดินทึบน้ำ (Impervious Blanket) ยื่นไปในอ่าง แทนการขุดร่องแกน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความลึกของชั้นดินทึบน้ำ การปูชั้นดินทึบน้ำจะต้องทำการขุดลอกหน้าดิน และทำการบดอัดดิน เช่นเดียวกับดินถมตัวเขื่อน การปรับปรุงฐานรากโดยวิธีการต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 9-4



(ก) กรณีฐานรากตื้น ให้ใช้การขุด



(ข) กรณีฐานรากมีความลึกปานกลาง ให้ใช้การอัดฉีดน้ำปูนหรือตอกเข็มพืด



(ค) กรณีฐานรากมีความลึกมาก ให้ใช้การปูดินทึบน้ำ

ที่ 9-4 แสดงการปรับปรุงฐานรากด้วยวิธีการต่างๆ

9.4 การถมบดอัดเขื่อน

การถมดินตัวเขื่อน เมื่อได้ทำการปรับปรุงฐานรากเขื่อนแล้ว ก่อนเริ่มงานถมดินควรจะมีการเตรียมงานต่างๆ ในสนาม และการถมบดอัดเขื่อน ดังนี้

1) การทดลองคุณสมบัติของดินในห้องทดลอง การทดลองดินในห้องทดลองก่อนการถมดิน ควรเก็บตัวอย่างดินจากบ่อยืมดินที่กำหนดไว้มาทดลองในห้องทดลองก่อน เพื่อจำแนกดินทางวิศวกรรมว่าเป็นดินชนิดใดตามระบบของ Unified Soil Classification System เพื่อที่จะสามารถแบ่งแปลงบ่อยืม (Borrow Area) ในเวลาถมดินได้โดยถูกต้อง เช่น แปลงบ่อยืม A ดินส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินเม็ดละเอียดมีคุณสมบัติเป็นดินทึบน้ำใช้ถมเป็นแกนเขื่อนได้ ก็กำหนดไว้ใน

แผนงานถมดินว่าเวลาถมดินแกนเขื่อนต้องใช้ดินจากแปลงบ่อยืม A ส่วนแปลงบ่อยืม B เป็นดินที่มีเม็ดหยาบปนมากกว่า เหมาะสำหรับใช้ถมที่ส่วนเปลือกของเขื่อน ก็ให้กำหนดว่าเวลาถมส่วนเปลือกของเขื่อนต้องใช้ดินจากแปลงบ่อยืม B นอกจากนี้ควรนำตัวอย่างดินจากแปลงบ่อยืมที่กำหนดทำการทดลองบดอัดตามวิธี Standard Proctor Compaction Test เพื่อหาค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) และค่าความแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) ไว้ก่อน เพื่อใช้ในการควบคุมการให้น้ำที่บ่อดินและในสนาม

นอกจากนี้ยังมีดินเหนียวอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า ดินกระจายตัว (Dispersive Clay) ซึ่งจะกระจายและสลายตัวเมื่อถูกน้ำ ควรเก็บตัวอย่างดินส่งให้ห้องทดลองเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ด้วย เพราะผลการตรวจสอบดินทางกายภาพและทางวิศวกรรมทั่วๆ ไปไม่สามารถบอกได้ว่าดินเป็นดินกระจายตัวหรือไม่ ในสนามเราอาจใช้การทดลองตามวิธี Emersion Crumb Test เพื่อเป็นการทดสอบเบื้องต้นก่อน หลังจากนั้นก็ควรจะเก็บตัวอย่างดินที่สงสัยส่งทดสอบในห้องทดลองต่อไป เพื่อให้ได้ผลการทดลอง ที่แน่นอนและเป็นหลักฐานในการทำงาน

2) การเตรียมแปลงบ่อยืมดิน ดินที่เราจะนำมาใช้ถมตัวเขื่อน ต้องเป็นดินที่ได้รับการคัดเลือกคุณภาพแล้วว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมตามที่กำหนดในแบบ เช่น ดินที่ถมเป็นแกนเขื่อนควรเป็นดินเม็ดละเอียด ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นดินทึบน้ำ ส่วนดินที่ใช้ถมส่วนเปลือกของเขื่อนควรเป็นดินเม็ดหยาบกว่าดินที่ใช้เป็นแกนเขื่อน และควรจะมีค่าความเหนียว (Plasticity Index,PI) ประมาณ 10-20 ซึ่งดินที่มีค่าความเหนียวในช่วงนี้จะเป็นดินที่ให้น้ำและบดอัดให้แน่นได้สะดวกกว่าดินที่มีค่าความเหนียวสูง แต่ถ้าหากไม่สามารถหาดินที่มีค่าความเหนียวตามนี้ได้ก็ควรควบคุมชนิดของดินให้เป็นไปตามที่กำหนดทางวิศวกรรม (Specification) โดยทั่วไปจะหาแหล่งดินจากในบริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำ แปลงบ่อยืมดินควรจะอยู่ใกล้ตัวเขื่อนให้มากที่สุด เพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการขนดิน เมื่อหาแหล่งดิน ที่เหมาะสมได้แล้ว ก่อนที่จะนำดินมาใช้งานจะต้องขุดลอกหน้าดินจนถึงชั้นดินที่นำมาใช้ถมตัวเขื่อน แล้วทดลองหาความชื้นของดินตามธรรมชาติที่แปลงบ่อยืม (Borrow Area)ว่ามีความชื้นกี่เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับค่า Optimum Moisture Content ของดินชนิดนั้น ถ้าความชื้นของดินที่บ่อดินยังมีไม่พอ หรือดินมีลักษณะแห้งไปควรเพิ่มความชื้นในดินโดยการรดน้ำ (Sprinkler) ให้น้ำกับดินที่บ่อดินก่อน (Pre-Wet) โดยการแบ่งเป็นแปลง แล้วใช้รถดันดิน (Bulldozer) ลง Ripper ที่ดินให้เป็นร่อง เพื่อน้ำจะได้ซึมลงไปถึงดินชั้นล่างได้ เมื่อดินมีความชื้นใกล้เคียงประมาณ $\pm$ 2% ของจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสม จึงนำมาใช้งานถมดินตัวเขื่อนต่อไป

3) การเตรียมงานที่ไหล่เขา (Abutment) ที่ไหล่เขาทั้ง 2 ข้างของตัวเขื่อน ก่อนเริ่มการถมดิน ถ้าไหล่าเขามีความลาดชันมาก ควรใช้รถดันดินหรือเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ แต่งให้มีความลาดชันลดลง เพื่อขณะถมดินจะได้บดทับบริเวณรอยต่อระหว่างไหล่เขากับดินถมได้แน่น เพราะจุดที่เป็นรอยต่อระหว่างไหล่เขาและดินถมนั้น ถ้ามีความลาดชันมาก เครื่องจักรที่ใช้ในการบดทับจะไม่สามารถบดอัดดินบริเวณรอยต่อได้แน่นเพราะเข้าไม่ถึง

4) การเตรียมงานฐานราก ก่อนถมดินต้องเตรียมงานฐานรากให้เรียบร้อย และตกแต่งให้พร้อมก่อนที่จะถมดินตัวเขื่อน ดังนี้

4.1) กรณีฐานรากที่ขุดถึงชั้นดินธรรมชาติ ควรตรวจสอบดูว่าดินเดิมที่ก้นร่องแกนและฐานรากทั่วไป มีความแน่นและความชื้นตามที่กำหนด โดยการทดสอบความแน่นในสนาม (Field Density Test) ซึ่งความชื้นในดินเดิมก่อนการถมดินควรมากกว่าจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสม แต่ไม่ควรเกิน 2% ถ้าความแน่นและความชื้นของดินเดิมยังไม่ได้ตามกำหนดต้องให้น้ำเพิ่มเติม แล้วบดอัดดินเดิมด้วย ลูกกลิ้งตีนแกะ (Sheepsfoot) จนได้ความแน่นไม่น้อยกว่า 95% ของความแน่นแห้งสูงสุดตามวิธี Standard Proctor Compaction Test

4.2) กรณีฐานรากขุดถึงชั้นหิน ก่อนถมดินร่องแกนจะต้องล้างทำความสะอาดผิวหน้าหินด้วยการใช้คนเก็บเศษหิน ดังแสดงในรูปที่ 9-5 ร่วมกับการฉีดน้ำที่มีแรงดันสูง หรือใช้กำลังลมพ่นให้หิน กรวด ทราย และเศษวัสดุต่างๆ หมดไปจากบริเวณร่องแกน หน้าหินที่ทำความสะอาดแล้วดังแสดงในรูปที่ 9-6 ต้องสะอาดปราศจากเศษหินหลุดร่วงแต่หากพบว่าหน้าหินยังมีรอยแตกแยกหรือหลุมบ่ออยู่อีก ควรทำการตกแต่งด้วยการอุดด้วยปูน ทรายหรือทำคอนกรีตพ่น (Shotcrete) เมื่อตกแต่งผิวหน้าหินเรียบร้อยแล้ว ต้องทำให้ผิวหน้าหินมีความชื้นพอเหมาะ เพื่อให้รอยต่อระหว่างดินถมใหม่และผิวหน้าหินแนบสนิทดีจนป้องกันน้ำซึมผ่านได้

รูปที่ 9-5 แสดงการทำความสะอาดผิวหน้าหิน

รูปที่ 9-6 แสดงหน้าหินที่ทำความสะอาดแล้ว

5) **การถมดินบดอัดแน่น** การถมดินตัวเขื่อนนั้น ดินที่จะนำมาใช้ควรมีความชื้น (Moisture Content) ใกล้เคียงจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสมประมาณ $\pm$ 2% แต่ควรให้ดินมีความชื้นมากกว่าจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสม เพราะว่าดินที่มีความชื้นทางด้านเปียก (Wet) จะสามารถกันน้ำไหลซึมได้ดีกว่าดินที่ความแน่นเดียวกันแต่มีความชื้นทางด้านแห้ง (Dry) ซึ่งโครงสร้างภายในของดินเหนียวจะมีลักษณะการเกาะตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ (Flocculent) โดยดินที่มีความชื้นทางด้านเปียก (Wet) โครงสร้างภายในของดินเหนียวจะมีลักษณะการเกาะตัวกันอย่างเป็นระเบียบ (Dispersed)

5.1) การถมดินในร่องแกน หลังจากที่เตรียมงานฐานรากเสร็จเรียบร้อย ให้เริ่มการถมดินในร่องแกน ควรดำเนินการดังนี้

5.1.1) ฐานรากที่เป็นดิน

- ควรทำให้ผิวหน้าดินมีความขรุขระ และฉีดน้ำก่อนการเทดินชั้นแรก เพื่อให้รอยต่อระหว่างชั้นดินเดิมและดินที่นำมาถมประสานเป็นเนื้อเดียวกัน
- ดินที่นำมาถมต้องเป็นดินที่มีความชื้นใกล้เคียงกับจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสม และเป็นดินที่คัดเลือกแล้วว่าเหมาะสำหรับนำมาใช้ถมอยู่ในร่องแกน
- นำดินที่จะใช้บดอัดมาเทเกลี่ยให้เป็นชั้นในแนวราบความหนาของดินแต่ละชั้นก่อนการบดอัดไม่ควรหนาเกินกว่า 30 เซนติเมตร เมื่อใช้ลูกกลิ้งตีนแกะ (Sheepfoot) ในการบดอัด ดินที่บดอัดแล้วแต่ละชั้นต้องไม่หนามากกว่า 15 เซนติเมตร ถ้าใช้เครื่องกระทุ้งความหนาดินแต่ละชั้นเมื่ออัดแน่นแล้วต้องไม่หนากว่า 10 เซนติเมตร
- ถ้าดินที่นำมาทำการบดอัดมีความชื้นน้อยกว่าที่กำหนดต้องเพิ่มความชื้นให้ได้ตามเกณฑ์ โดยการพ่นน้ำเป็นฝอยพรมลงบนดินอย่างสม่ำเสมอ ณ ที่ทำการบดอัด ถ้าดินมีความชื้นมากกว่ากำหนดต้องหยุดรอจนกว่าความชื้นจะลดลงมาอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดจึงจะทำการบดอัดต่อไป วิธีการเร่งให้ดินแห้งเร็วจนถึงระดับความชื้นที่ต้องการ อาจทำโดยการไถคราดผิวหน้าดินหรือทำการขุดลอกผิวหน้าที่เปียกมากเกินไปออกเสียก่อน
- ทุกกรณีก่อนที่จะถมบดอัดดินแต่ละชั้นต่อไป ผิวหน้าดินชั้นล่างที่เป็นดินถมหรือดินธรรมชาติก็ดี จะต้องทำการคราดผิวหน้าดินให้มีความขรุขระเสียก่อนทุกครั้ง ทั้งนี้เพื่อให้ดินชั้นใหม่และชั้นเก่าจับตัวประสานเป็นเนื้อเดียวกัน

- บริเวณที่ไม่สามารถใช้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ขนาดใหญ่ทำการบดอัดดินได้ เช่น บริเวณรอบๆอาคารคอนกรีตท่อส่งน้ำหรือบริเวณที่มีความลาดชันมาก ต้องใช้เครื่องกระทุ้งดิน (Tamper) ทำการบดอัดแทนเพื่อให้ได้ความแน่นตามกำหนด
- การบดอัดดินด้วยเครื่องจักรและอุปกรณ์สำหรับแนวการบดทับ ต้องให้เครื่องจักรวิ่งในทิศทางขนานกับแนวศูนย์กลางของเขื่อน เพื่อป้องกันเรื่องการบดอัดผิดพลาด ซึ่งอาจทำให้น้ำผ่านชั้นหรือแนวที่ไม่ได้บดอัดได้

5.1.2) ฐานรากที่เป็นหิน

- ก่อนถมบดอัดดินชั้นแรกจะต้องทำการปูดินเหนียวรองใต้แกนเขื่อน ความหนาประมาณ 15 เซนติเมตร การบดอัดใช้แรงคนหรือรถบดล้อเรียบขนาดเล็ก บดอัดแน่นไม่น้อยกว่า 93% ของความแน่นแห้งสูงสุด ความชื้นในดินมากกว่าจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสมประมาณ 3% ถึง 5% การปูดินเหนียวรองใต้แกนเขื่อนแสดงในรูปที่ 9-7

รูปที่ 9-7 แสดงการปูดินเหนียวรองใต้แกนเขื่อน

- ดินที่นำมาถมชั้นแรกต้องเป็นดินที่มีความชื้นมากกว่าจุดปริมาณน้ำที่เหมาะสมแต่ไม่ควรเกิน 2% และเป็นดินที่ได้คัดเลือกแล้วว่าเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ถมในร่องแกน
- นำดินที่จะใช้บดอัดมาเทเกลี่ยให้เป็นชั้นใน แนวราบความหนาของดินก่อนการบดอัดไม่ควรหนาเกินกว่า 30 เซนติเมตร
- การบดอัดดินชั้นแรกๆ ต้องใช้รถบดล้อยาง (Pneumatic Tired Rollers) ทำการบดอัด เพราะถ้าใช้ลูกกลิ้งตีนแกะบดอัดในชั้นแรกจะตะกุยดินขึ้นมาทำให้ดินที่บดอัดไม่แนบสนิทกับพื้นหินฐานราก ควรใช้ลูกกลิ้งตีนแกะบดอัดก็ต่อเมื่อปูดินไปจนมีความหนาพอที่ลูกกลิ้งตีนแกะ จะไม่ทำให้ผิวดินถมชั้นแรกหลุดติดขึ้นมา
- การบดอัดดินชั้นต่อไปดำเนินการเหมือนกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อการถมดินร่องแกนเมื่อฐานรากเป็นดิน

5.2) การถมดินตัวเขื่อน เมื่อได้ถมดินในร่องแกนจนสูง ขึ้นมาเสมอพื้นฐานเขื่อนแล้วก็ทำการถมดินตัวเขื่อนต่อไป ซึ่งมีวิธีดำเนินการเหมือนกับการถมดินในร่องแกนแต่มีการดำเนินการเพิ่มเติมอีกดังนี้

- ถ้าเป็นเขื่อนแบบเขื่อนดินแบ่งส่วน ให้ปักหมุดแสดงถึงแนวที่ถมเป็นส่วนต่างๆ ให้ชัดเจน
- ต้องถมดินตัวเขื่อนให้เกินจากขอบเขตของลาดเขื่อนทั้งทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำไม่น้อยกว่า 50 เซนติเมตร เพื่อให้การบดอัดดินแน่นไปตลอดจนถึงลาดเขื่อน และดินส่วนที่ถมเกินไว้นั้น ให้ถากแต่งออกให้เข้ากับลาดตัวเขื่อนในภายหลัง
- ขนาดของพื้นที่ที่จะถมดินบดอัดแน่นแต่ละชั้นควรมีขอบเขตให้กว้างมากที่สุด เท่าที่จะทำได้ เพื่อลดรอยต่อให้น้อยที่สุด ระดับพื้นผิวของดินแต่ละชั้นควรจะรักษาให้อยู่ในแนวราบเป็นอย่างน้อยหรือมีความลาดชันประมาณ 2-4% ในทิศทางที่สะดวกในการระบายน้ำฝน
- ความลาดชันตรงจุดรอยต่อในส่วนของแกนเขื่อนไม่ควรเกิน 3:1 (ดิ่ง : ราบ) ซึ่งผิวสัมผัสตรงรอยต่อจะต้องขุดตัดออกให้เป็นรอยใหม่ โดยเอาดินส่วนที่หลุดหลวมออกให้หมด และไถคราดทำผิวให้ขรุขระ การบดอัดดินให้แน่นต้องทำการบดอัดเลยลึกเข้าไปในเขตที่บดอัดแล้วจนตลอดแนวรอยต่อเป็นระยะไม่น้อยกว่า 1.00 เมตร
- การบดอัดดินในชั้นหนึ่งๆ ควรจะใช้เครื่องจักรเครื่องมือชนิดเดียวกันและมีน้ำหนักเท่ากันโดยตลอด รูปแสดงการถมบดอัดดินตัวเขื่อน แสดงในรูปที่ 9-8

รูปที่ 9-8 แสดงการบดอัดดินตัวเขื่อน

6) **การปูวัสดุกรอง (Filter)** วัสดุกรองแนวเอียง (Chimney Drain) และวัสดุกรองแนวราบ (Blanket Drain) ที่ใส่ในตัวเขื่อน เพื่อเป็นทางให้น้ำไหลได้สะดวกจนไปเชื่อมกับระบบระบายน้ำทางด้านท้ายเขื่อน (Downstream Drain) ต้องจัดหาให้มีขนาดส่วนคละ (Gradation) ตามที่กำหนดไว้ในแบบ

6.1) วัสดุกรองแนวราบ ต้องปูลงบนพื้นดินเดิมแทรกอยู่ในตัวเขื่อนทางด้านท้ายน้ำ โดยปูตามขนาดความกว้างและความยาวที่กำหนดในแบบ ควรปูทีละชั้นให้แต่ละชั้นหนาไม่เกิน 30 เซนติเมตร แล้วฉีดน้ำเพื่อช่วยในการบดทับ ซึ่งอาจใช้รถล้อยางที่ทำงานอยู่หรือเครื่องมือบดทับแบบสั่นสะเทือนให้ได้ความแน่นสัมพัทธ์ (Relative Density) ไม่ต่ำกว่า 70% โดยทดลองตามมาตรฐาน ASTM D 2049 จนได้ความหนาทั้งหมดตามที่กำหนดในแบบ

6.2) วัสดุกรองแนวเอียง เมื่อปูวัสดุกรองแนวราบจนได้ความหนาตามที่กำหนดแล้ว ให้เทดินปิดทับแล้วบดอัดให้แน่นจนมีระดับสูงประมาณ 1.50 เมตร จากผิวบนของวัสดุกรองแนวราบ เมื่อมีดินร่วงลงไปต้องเอาออกให้หมดก่อนใส่วัสดุกรองลงไปในร่อง เมื่อใส่วัสดุกรองลงไปจนเต็มร่องแล้วให้ฉีดน้ำ และใช้เครื่องสั่นสะเทือนหรือจะใช้รถบดสั่นสะเทือนขนาดเล็กบดทับให้ได้ความแน่นสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่า 70% ขั้นต่อไปปูดินปิดแล้วบดอัดจนได้ระดับความสูงประมาณ 1.50 เมตร จากผิวของวัสดุกรองที่ใส่ในร่องครั้งแรก แล้วดำเนินการตามวิธีที่กล่าวมาจนถึงระดับที่กำหนด

น้ำที่ซึมผ่านมาถึงด้านท้ายเขื่อนจะไหลไปลงระบบระบายน้ำที่ตีนเขื่อน (Toe Drain) ซึ่งการก่อสร้างระบบระบายน้ำที่ตีนเขื่อน ให้ทำตามที่แบบกำหนด

7) งานปูวัสดุรองพื้น (Bedding) และหินทิ้ง (Riprap) งานปูวัสดุรองพื้นและหินทิ้งหากปล่อยให้ถมดินจนมีความสูงมากแล้วค่อยดำเนินการ จะทำให้สิ้นเปลืองแรงงานและวัสดุมากกว่า และการแต่งหินทิ้งให้เข้ากับลาดตัวเขื่อนจะทำได้ยากลำบากกว่าอีกด้วย จึงควรดำเนินการปูวัสดุรองพื้นและหินทิ้งในขณะที่การถมดินตัวเขื่อนยังไม่สูงจากระดับพื้นดินเดิมมากนัก เมื่อถากดินแต่งลาดตัวเขื่อนจนได้ความลาดเอียงของลาดเขื่อนตามกำหนดแล้ว ควรปูวัสดุรองพื้นและหินทิ้งทันที เพื่อป้องกันลาดตัวเขื่อนจากการกัดเซาะของน้ำฝน ถ้าปล่อยไว้นาน น้ำในอ่างอาจมีระดับสูงขึ้นทำให้ทำงานยากลำบาก หรืออาจต้องปล่อยน้ำทิ้งไปเพื่อให้ระดับน้ำลดลง ซึ่งทำให้เสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์

8) เครื่องจักรและอุปกรณ์สำหรับการถมบดอัดแน่นดินตัวเขื่อน การถมและบดอัดแน่นดินตัวเขื่อน โดยมากจะใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

8.1) ลูกกลิ้งตีนแกะ (Sheepfoot Roller or Tamping Roller) ลูกกลิ้งตีนแกะ 1 ลูกจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.50 เมตร ความยาวไม่น้อยกว่า 1.20 เมตร จำนวนตีนแกะมีอย่างน้อยที่สุด 1 อัน ต่อพื้นที่ผิวลูกกลิ้ง 645 ตารางเซนติเมตร ความยาวของตีนแกะประมาณ 0.23 เมตร หรือ 9 นิ้ว พื้นที่หน้าตัดของตีนแกะมีขนาดไม่น้อยกว่า 45 ตารางเซนติเมตร และไม่มากกว่า 65 ตารางเซนติเมตร ภายในลูกกลิ้งจะบรรจุด้วยทรายหรือน้ำซึ่งมีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 6,000 กิโลกรัมต่อความยาวของลูกกลิ้ง 1 เมตร ในการทำงานมักนิยมใช้ลูกกลิ้งตีนแกะแบบ 2 ลูก ซึ่งในขณะทำงานบดอัดดินโดยการลากจูงหรือด้วยอุปกรณ์ในตัวเอง จะใช้ความเร็วไม่เกิน 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ลูกกลิ้งตีนแกะนี้เหมาะที่สุดสำหรับการบดอัดดินเหนียว (Cohesive Soils)

8.2) รถบดล้อยาง (Pneumatic-tired Roller) รถบดล้อยางชนิดลากจูงจะประกอบด้วยล้อยางชนิดสูบลมไม่น้อยกว่า 4 เส้น ล้อยางแต่ละเส้นรับน้ำหนักได้ประมาณ 11,400 กิโลกรัม (25,000 ปอนด์) ส่วนประกอบทั้งชุดของรถบดล้อยางจะต้องสามารถเลี้ยวกลับเป็นมุม 180 องศา รถบดล้อยางชนิดเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง (Self-Pro-pelled Rubber Tires Roller) จะต้องมีล้อจำนวน 9 หรือ 10 ล้อ มีขนาดความกว้างของหน้าบดอัด (Rolling Width) ตั้งแต่ 1.75-2.15 เมตร ในขณะปฏิบัติงานต้องมีน้ำหนักระหว่าง 12,000 ถึง 13,600 กิโลกรัม ในขณะทำการบดอัดจะต้องใช้ความเร็วไม่เกิน 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

8.3) รถบดสั่นสะเทือน (Vibratory Roller) มีหลายแบบหลายขนาด สามารถบดอัดได้ความหนาแน่นสูง จึงนิยมใช้บดอัดพวกทรายหรือกรวดปนทราย ซึ่งต้องการความหนาแน่นสูงมาก ความสามารถในการบดอัดของรถนอกจากจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของรถแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความถี่และความเร็วอีกด้วย

การบดอัดวัสดุที่ไม่มีดินเหนียวปน เช่น กรวดและทราย ควรใช้รถบดแบบเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง ซึ่งมีความถี่ในการสั่นสะเทือนสูงประมาณ 2,100-3,000 รอบต่อนาที ส่วนวัสดุที่มีดินเหนียวปนมากควรใช้รถบดที่มีขนาดหนักและมีความถี่ต่ำราว 1,000-2,100 รอบต่อนาที

8.4) เครื่องกระทุ้งดิน (Tamper) มีทั้งแบบใช้ลมและแบบใช้เครื่องยนต์ ซึ่งทำงานภายใต้การควบคุมด้วยมือ (Hand-operated Mechanical Equipment) เพื่อใช้กับงานบดอัดดินบริเวณรอบๆ หรือชิดติดกับอาคาร หรือบริเวณที่เครื่องจักรขนาดใหญ่ไม่สามารถเข้าไปบดอัดได้ สำหรับดินเหนียวเมื่อใช้เครื่องกระทุ้งบดอัด ควรปูดินแต่ละชั้นก่อนการบดอัดไม่ให้หนามากกว่า 20 เซนติเมตร

9.5 การเตรียมฐานรากอาคารประกอบเขื่อน

การทำงานฐานราก งานฐานรากจะต้องดำเนินการเป็นอันดับแรกก่อนการก่อสร้างเขื่อนดินและอาคารต่างๆ ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้

1. ให้สร้างหมุดหลักฐานสำหรับแนวศูนย์กลางเขื่อนและอาคาร และหมุดหลักฐานระดับก่อน หมุดดังกล่าวควรหล่อด้วยคอนกรีตแล้วฝังลงดินให้มั่นคงแข็งแรงในบริเวณที่จะไม่ถูกรบกวนขณะมีการทำงาน

2. ปักหมุดไม้เล็กๆ เพื่อกำหนดเขตแสดงความกว้างของฐานเขื่อน และหมุดแสดงความก้าวหน้าของก้นร่องแกนเป็นระยะตลอดแนวเขื่อน

3. ทำการถากเปิดหน้าดินตอไม้และรากไม้บริเวณฐานที่จะรองรับตัวเขื่อนให้หมดด้วยแทรกเตอร์และรถหน้าดิน แล้วขนย้ายดินที่ถากออก ตอไม้ และรากไม้รวมกองไว้ทางด้านท้ายน้ำนอกเขตตัวเขื่อน เพื่อรอการนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นต่อไป

สำหรับเขื่อนดินที่มีขนาดความสูงไม่มากนัก ผิวดินฐานรากที่ถากออกจะหนาประมาณ 30-50 เซนติเมตร

4. ในการขุดร่องแกนของเขื่อน ควรจะขุดให้ได้ขนาดความกว้างและความลึกตามที่กำหนดในแบบ ซึ่งโดยส่วนใหญ่ก้นร่องแกนที่ก่อสร้างด้วยเครื่องจักร จะกว้างประมาณ 4 เมตรเป็นอย่างน้อย และกว้างไม่น้อยกว่า 2 เมตร สำหรับการขุดด้วยแรงคน ส่วนความลึกของร่องแกนจะให้หยั่งลงไปถึงชั้นดินทึบหรือดินดานที่มีอยู่ด้านล่างเสมอ เพื่อจะได้ถมดินประเภทเดียวกับตัวเขื่อนลงไปจนเต็มสำหรับป้องกันไม่ให้น้ำไหลผ่านใต้เขื่อนได้ง่าย ดังนั้นร่องแกนของตัวเขื่อนที่จะขุดลงไปถึงระดับใด ควรจะต้องพิจารณาถึงลักษณะดินที่ก้นร่องแกนนั้นประกอบด้วยเสมอ

5. ควรให้ลาดด้านข้างของร่องแกนให้เอียงประมาณ ตั้ง : ราบ เท่ากับ 1 : 1 ทั้งนี้เพื่อให้ดินบริเวณข้างร่องแกนทรงตัวอยู่ได้โดยไม่เลื่อนทลายลง และเพื่อให้ดินที่ถมกลับลงไปในร่องแกนนั้นสามารถบดทับได้แน่นแนบกับลาดร่องแกนดี

6. กรณีที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้ผิวดิน หรือการขุดร่องแกนที่บริเวณลำน้ำ น้ำในดินมักจะไหลออกมาทำให้ขุดดินออกไปได้ลำบากยิ่งขึ้น หรือลาดของร่องแกนอาจจะพังทลายลงได้ จึงจำเป็นต้องหาทางลดระดับน้ำใต้ดินทั่วบริเวณนั้นให้ต่ำลงเสียก่อน เช่น ควรสร้างบ่อดักน้ำที่ด้านเหนือและด้านท้ายน้ำของร่องแกนและบริเวณอื่นๆ อีกตามความจำเป็น บ่อดังกล่าวจะมีระดับก้นบ่ออยู่ต่ำกว่าพื้นร่องแกนที่จะขุดถึงแล้วสูบน้ำออกจากบ่อเพื่อรักษาระดับน้ำให้ต่ำอยู่ตลอดเวลา ซึ่งน้ำใต้ดินในบริเวณข้างเคียงจะลดระดับลงและสามารถขุดดินออกจากร่องแกนต่อไปได้จนถึงระดับที่ต้องการ

งานฐานรากจัดว่าเป็นงานที่มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะเขื่อนที่ต้องขุดร่องแกนให้ลึกลงไปถึงชั้นดินทึบน้ำผ่านดินปนทรายหรือดินทรายชั้นบน ซึ่งถ้าหากทำการขุดดินทรายออกไม่ถึงชั้นทึบน้ำ แล้วถมดินแบบเดียวกับตัวเขื่อนลงไป อาจไม่สามารถกั้นน้ำที่จะลอดผ่านใต้เขื่อนได้

หรือเมื่อได้เก็บกักน้ำไว้ที่ระดับสูง น้ำอาจจะไหลลอดผ่านใต้เขื่อนออกไปทำให้เกิดอันตรายอย่างยิ่งแก่ตัวเขื่อนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

9.6 การก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้น

การก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้นจะกล่าวเฉพาะการก่อสร้างอาคารระบายน้ำแบบทางระบายน้ำ และแบบรางเท มีแนวทางการดำเนินงาน ดังนี้

1. ปักหมุดแสดงแนวและเขตความกว้างทางน้ำ หรือบ่อก่อสร้างที่จะขุดดินออกให้ได้ระดับ พร้อมไปกับการเริ่มงานก่อสร้างตัวเขื่อน

2. ขุดดินทางระบายน้ำ หรือบ่อก่อสร้างของอาคารระบายน้ำล้นแบบรางเทให้ลึกถึงระดับที่ต้องการ โดยให้มีลาดด้านข้างและแนวตามที่กำหนด

   ดินที่ขุดออกนั้น ควรคัดหน้าดินที่เป็นทรายทิ้งไป แล้วนำดินที่มีคุณภาพดีไปถมตัวเขื่อนที่บริเวณท้ายเขื่อนด้านนอกให้หมด

3. สำหรับอาคารระบายน้ำล้นแบบทางระบายน้ำ ควรแต่งพื้นทางระบายน้ำให้เรียบและมีความลาดตามที่กำหนด ซึ่งอาจใช้กล้องส่องระดับมือช่วยตรวจสอบความถูกต้องด้วย หลังจากนั้นจึงนำหญ้าเป็นแผ่นมาปลูกให้เต็มพื้นที่ที่ลาดด้านข้างและพื้นที่ระบายแล้วหมั่นรดน้ำให้หญ้าขึ้นจนงอกงาม ซึ่งจะช่วยป้องกันการกัดเซาะทางระบายน้ำได้ดีพอสมควร

4. สำหรับอาคารระบายน้ำแบบรางเท เมื่อได้ขุดดินบริเวณร่องฝาย บ่อรางเทและพื้นท้ายรางเทจนได้ระดับและมีลาดด้านข้างตามที่กำหนดแล้ว ขั้นต่อไปควรตกแต่งผิวดินให้เรียบก่อนที่จะเริ่มงานหินก่อหรือคอนกรีตล้วนต่อไป

5. การทำงานหินก่อ ควรเริ่มจากพื้นส่วนล่างที่ต่อจากปลายรางเทให้เสร็จ แล้วจึงปูหินก่อตามลาดของรางเทขึ้นไปหาช่องฝายและลาดตลิ่งทั้งสองฝั่ง ต่อจากนั้นจึงปูหินก่อบนพื้นฝายและลาดด้านข้างเหนือช่องฝายเป็นอันดับสุดท้าย

   การทำงานหินก่อ ควรดำเนินการด้วยความประณีตที่สุด ให้ได้หินก่อที่มีความทึบแน่นดีเช่นเดียวกับคอนกรีต เพราะไม่ต้องการให้น้ำใต้พื้นรางเทตอนล่างและพื้นส่วนล่างที่ต่อท้ายรางเทซึมผ่านออกมา บางกรณีอาจใช้คอนกรีตแทนหินก่อได้ แต่จะต้องบ่มคอนกรีตด้วยการขังหรือฉีดน้ำไว้หลายๆ วัน เพื่อไม่ให้คอนกรีตร้าวในขณะกำลังแข็งตัว

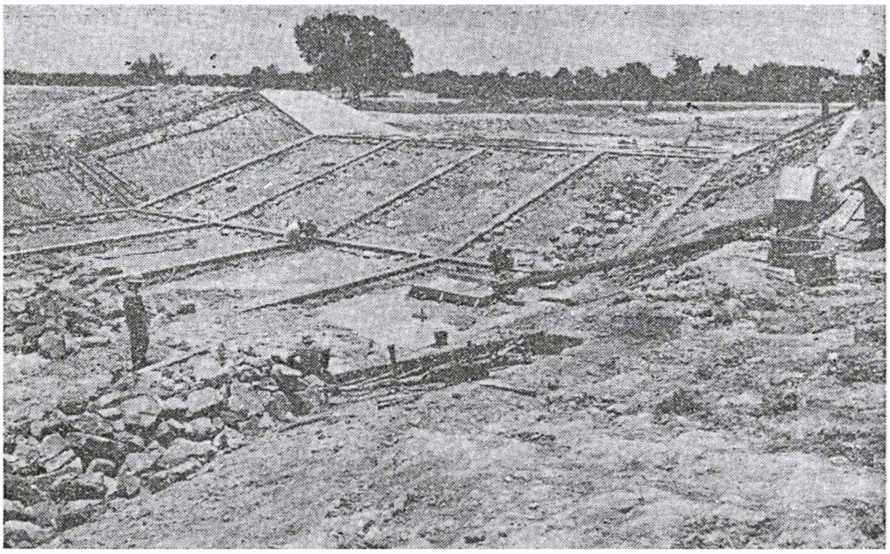
6. ท้ายอาคารระบายน้ำล้นแบบรางเท จะต้องขุดทางระบายน้ำที่มีความลึกไปจนบรรจบกับลำน้ำธรรมชาติ โดยขุดให้ได้ขนาด และเลือกดินที่มีคุณภาพดีไปถมตัวเขื่อน หลังจากนั้นจึงทิ้งหินที่ท้องน้ำและลาดตลิ่งสองฝั่งสำหรับป้องกันการกัดเซาะ

9.7 การติดตั้งประตูน้ำและบานระบาย

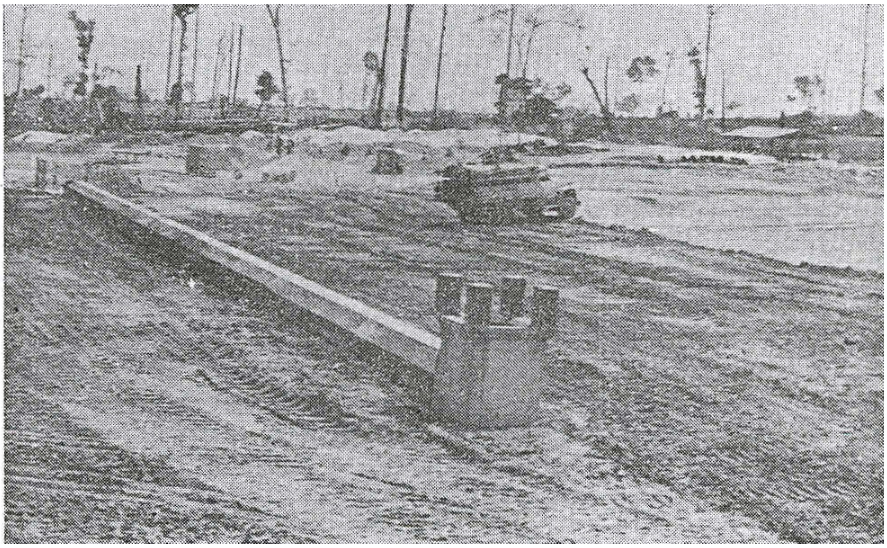
การติดตั้งประตูน้ำและบานระบายน้ำ จะเป็นงานเกี่ยวกับการก่อสร้างท่อระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำ มีวิธีดำเนินการดังนี้

1. งานก่อสร้างท่อระบายน้ำ ควรจะก่อสร้างให้เสร็จก่อนการถมดินตัวเขื่อนในบริเวณนั้นเพื่อไม่ให้งานถมดินตัวเขื่อนต้องหยุดรอ
2. ท่อระบายน้ำส่วนใหญ่ จะวางอยู่ต่ำกว่าผิวดินธรรมชาติเล็กน้อย หรือวางอยู่บนฐานรากของเขื่อนที่ได้ขุดถากจนถึงดินแข็งตามที่ต้องการ
3. ปักหมุดตามแนวศูนย์กลางอาคารให้เรียบร้อย แล้วเริ่มขุดร่องและแต่งพื้นที่จะวางท่อให้เรียบ
4. ท่อระบายน้ำที่มีขนาดเล็กตามแบบในรูปที่ 9-9 จะเทคอนกรีตจากพื้นหุ้มขึ้นมาถึงแนวศูนย์กลางท่อ โดยวางท่อบนแท่นคอนกรีตเล็กๆ ให้ได้แนวและระดับตามที่ต้องการก่อนแล้วจึงเทคอนกรีตที่พื้นให้แทรกเข้าไปใต้ท่อ และสูงขึ้นมาถึงแนวศูนย์กลาง
5. เมื่อคอนกรีตแข็งตัวดีแล้ว จึงถมดินรอบท่อให้แน่นที่สุด ตลอดความกว้างเขื่อนที่ท่อผ่าน
6. ส่วนการก่อสร้างท่อระบายน้ำ ที่มีขนาด 15-30 เซนติเมตร ตามแบบในรูปที่ 9-10 นั้นหลังจากขุดร่องจนได้ระดับและตกแต่งพื้นจนราบเรียบดีแล้ว ให้วางท่อแอสเบสตอลบนแท่นคอนกรีตเล็กๆ ให้ได้แนวและระดับที่ต้องการ แล้วจึงผูกเหล็กเสริมพร้อมกับตั้งแบบด้านนอกเพื่อเตรียมเทคอนกรีตต่อไป
7. ท่อระบายน้ำที่มีคอนกรีตหุ้มนั้น คอนกรีตส่วนล่างใต้จะแนบติดแน่นกับฐานไปตลอดความกว้างของเขื่อน ทำให้น้ำไม่ไหลแทรกไปตามรอยสัมผัส ส่วนดินถมข้างท่อสามารถกระทุ้งอัดแน่น ได้สะดวกจนแนบสนิทกับผิวคอนกรีตไปตลอดเช่นกัน
8. หลังจากก่อสร้างตัวท่อเสร็จเรียบร้อยดีแล้ว จึงติดตั้งตะแกรงหุ้มปลายท่อที่ยื่นเข้าไปในอ่างเก็บน้ำ และติดตั้งประตูบังคับน้ำที่ปลายท่อด้านท้ายเขื่อนให้เรียบร้อย

9. บริเวณต่อจากปลายท่อด้านท้ายเขื่อน ควรสร้างบ่อพักน้ำก่อนที่จะปล่อยน้ำให้ไหลเข้าไปยังคูน้ำทันที โดยมีขนาดก้นบ่อประมาณ 1 เมตร x 1 เมตร เป็นอย่างน้อย และมีลาดข้างบ่อประมาณ 1:1 ส่วนระดับก้นบ่อนั้นก็ควรจะต่ำกว่าระดับก้นคูส่งน้ำน้อยกว่า 50 เซนติเมตร เมื่อได้ขุดบ่อและแต่งผิวดินเรียบร้อยแล้วให้ปูหินก่อหรือดาดคอนกรีตไว้เพื่อป้องกันน้ำกัดเซาะแล้วจึงขุดคูส่งน้ำออกไปตามแนวและขนาดที่ต้องการ



รูปที่ 9-9 งานก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้นแบบรางเท



รูปที่ 9-10 งานก่อสร้างท่อระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำ

9.8 การตรวจสอบคุณภาพการก่อสร้าง

การควบคุมคุณภาพของงานในระหว่างการก่อสร้างเขื่อนดินแบ่งออกเป็น

1) การควบคุมคุณภาพงานดิน

1.1) ดินที่นำมาใช้ถมตัวเขื่อนต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมตรงตามข้อกำหนด ต้องบันทึกการนำดินจากบ่อยืมดินมาถมว่าเป็นดินจากบ่อไหน นำมาถมส่วนใดของตัวเขื่อน ตรงกับที่กำหนดไว้ในแผนงานหรือไม่

1.2) ดินถมแต่ละชั้นต้องบดอัดให้มีความแน่นและความชื้นไม่ต่ำกว่าที่กำหนด การถมดินตัวเขื่อน จะกำหนดค่าความแน่นของดินไว้ไม่น้อยกว่า 95% ของค่าความแน่นสูงสุดเมื่อดินแห้ง จากการบดอัดที่ระดับความชื้นที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) และความชื้นไม่เกินกว่า ± 2% โดยการทดสอบตามวิธี Standard Proctor Compaction Test

สำหรับการหาความแน่นของดินในสนามใช้วิธี Sand-cone Method ตาม Earth Manual E24 ซึ่งจะได้ความแน่นของดินเปียก (Wet Density) ในสนาม แล้วนำตัวอย่างดินมาหาความชื้นโดยใช้เตา Microwave ตามมาตรฐาน ASTM D4643-93 เพื่อใช้คำนวณหาความแน่นแห้ง (Dry Density) แล้วนำไปเปรียบเทียบกับความแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การบดอัด รูปแสดงการทดสอบหาความแน่นดินในสนามดังแสดงในรูปที่ 9-11

รูปที่ 9-11 แสดงการทดสอบความแน่นดินในสนาม

1.3) ถ้าผลการทดลองปรากฏว่าความแน่นหรือความชื้นไม่ได้ตามกำหนด ต้องทำการแก้ไข แล้วทดลองหาความแน่นและความชื้นใหม่

1.4) ถ้าผลการทดลองต่ำกว่าข้อกำหนดมากและไม่สามารถแก้ไขได้ ให้รื้อดินถมชั้นนั้นออกทั้งชั้นแล้วดำเนินการบดอัดใหม่

1.5) การตรวจสอบเพื่อควบคุมความแน่นของการบดอัดดิน ควรจะถือเกณฑ์ดังต่อไปนี้

- ทำการตรวจสอบทุกวันที่มีการบดอัดดิน
- ทำการตรวจสอบความแน่นทุกชั้น
- ทำการตรวจสอบความแน่นทันทีในบริเวณที่สงสัยว่าความแน่นหรือความชื้นจะต่ำกว่ากำหนด
- ทำการตรวจสอบความแน่นในจุดที่มีการถมบดอัดพิเศษ (Special Compaction) เช่น ที่บริเวณลาดชันหรืองานดินถมข้างอาคารท่อส่งน้ำ

1.6) บริเวณที่ควรจะตรวจสอบความแน่น

- บริเวณที่สงสัยว่าจะปูดินหนากว่าที่กำหนด
- บริเวณที่สงสัยว่าความชื้นของดินไม่ถูกต้องตามข้อกำหนดทางวิศวกรรม
- บริเวณที่สงสัยเกี่ยวกับจำนวนเที่ยวที่บดอัด
- บริเวณที่เป็นจุดเลี้ยวกลับของลูกกลิ้งตีนแกะและเครื่องกระทุ้งดิน
- บริเวณที่มีการควบคุมการบดอัดพิเศษ เช่น บริเวณที่ลาดชัน บริเวณรอบๆ อาคารคอนกรีตและบริเวณที่เป็นจุดเชื่อมระหว่างไหล่เขากับดินถม เป็นต้น

1.7) ต้องจัดทำรายงานผลการตรวจสอบความแน่นทุกเดือน ซึ่งควรมีผลการทดลองดังนี้

- ผลการทดลองการตรวจสอบความแน่นของทุกจุด
- ผลการทดลองการบดอัดของดินที่นำมาถม
- การจำแนกชนิดของดินที่นำมาถม
- ผลการทดลองความซึมน้ำในสนาม

1.8) วัสดุกรองน้ำ วัสดุรองพื้นและหินทิ้ง ที่นำมาใช้งานต้องมีการตรวจสอบคุณภาพให้ได้ตามข้อกำหนด

- วัสดุกรองน้ำต้องบดอัดให้ได้ความแน่นสัมพัทธ์ไม่น้อยกว่า 70%

2) การควบคุมคุณภาพงานคอนกรีต

2.1) ควบคุมวัสดุที่นำมาใช้งานให้ได้คุณภาพตามข้อกำหนดทางวิศวกรรม

2.2) ควบคุมส่วนผสมของคอนกรีตให้ได้ตามข้อกำหนดวิศวกรรม

2.3) ควรทำการทดสอบการยุบตัว (Slump Test) เพื่อควบคุมจำนวนน้ำในคอนกรีต

2.4) กรณีใช้สารเคมีผสมคอนกรีต ต้องวัดอากาศในคอนกรีตโดยเครื่องมือวัดฟองอากาศ (Air-Meter)

2.5) ต้องเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปทดลองแรงอัด โดยการหล่อแท่งคอนกรีต ϕ 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร จากคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างนั้น จำนวน 6 แท่ง ซึ่งเก็บในเวลาเดียวกัน และมีความเหลวเท่ากัน โดยเก็บวันละ 1 ชุด เป็นอย่างน้อย

2.6) การพิจารณากำลังของคอนกรีตจะพิจารณาที่อายุ 28 วัน

2.7) ผลการทดลองแรงอัดของคอนกรีตต้องรายงานและเก็บไว้เป็นหลักฐาน

3) การตรวจสอบปริมาณงาน

ในระหว่างการดำเนินงานก่อสร้าง จะต้องตรวจสอบปริมาณงานที่ได้ดำเนินการของงานก่อสร้างทุกประเภท เพื่อเปรียบเทียบกับแผนงานก่อสร้างที่วางไว้ว่าบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่วางแผนไว้หรือไม่ หากปริมาณงานที่ได้มีความก้าวหน้าน้อยกว่าที่วางแผนไว้ จะต้องหาสาเหตุที่ทำให้งานก่อสร้างล่าช้า แล้วรีบดำเนินการแก้ไขทันที เพื่อให้งานก่อสร้างแล้วเสร็จตามแผนงาน

การตรวจสอบผลงาน แบ่งออกได้เป็นขั้นตอนดังนี้

3.1) การตรวจสอบผลงานประจำวัน เช่น งานดินจะต้องมีการบันทึกจำนวนเที่ยวดินที่ขนเพื่อคำนวณปริมาณงานดินถมอัดแน่นที่สามารถทำได้แต่ละวัน โดยหักค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของดินออก แล้วตรวจสอบกับปริมาณงานดินที่กำหนดในแผนงานถมดินตัวเขื่อน เพื่อเป็นการควบคุมการทำงานดิน เช่น ถ้าหากการทำงานดินมีความคืบหน้าของงานมากกว่าเป้าหมายที่วางไว้ ควรตรวจสอบถึงผลที่ต่อเนื่องต่อไปด้วยว่า งานก่อสร้างอื่นจะดำเนินการตามทันหรือไม่ และควรตรวจสอบค่าใช้จ่ายที่ใช้ด้วยว่าเพิ่มขึ้นเท่าใด เพื่อควบคุมค่าใช้จ่ายได้ตามงบประมาณ

3.2) การตรวจสอบผลงานประจำเดือน สำหรับงานดินถมจะต้องตรวจสอบ Profile และ Cross Section เพื่อหาปริมาณดินถมที่เพิ่มขึ้นจริงเปรียบเทียบกับรายงานผลงานประจำวัน เพื่อตรวจสอบผลงานที่ทำได้ สำหรับงานก่อสร้างส่วนอื่นต้องมีการตรวจสอบถึงผลงานประจำเดือนด้วยเช่นกัน เพื่อใช้ในการปรับปรุงแก้ไขแผนงานให้เข้ากับสภาพความเป็นจริง

การตรวจสอบประจำเดือน ควรรวมถึงงานทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับโครงการก่อสร้าง เช่น

- จำนวนเงินค่าใช้จ่ายที่ใช้ในแต่ละเดือน
- จำนวนวัสดุที่ใช้และที่คงเหลืออยู่
- จำนวนเครื่องจักรที่สามารถทำงานได้ และที่อยู่ระหว่างการซ่อม
- จำนวนคนงานที่มีและอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

ทั้งหมดนี้เป็นวิธีการและหลักการทำงานเพียงบางส่วนของงานก่อสร้างเขื่อนดินเท่านั้น ไม่ได้เน้นว่าเป็นงานทำเองหรืองานจ้างเหมา ถ้าเป็นงานจ้างเหมา หลักการในการควบคุมใกล้เคียงกับที่กล่าวมาแล้ว แต่จะมีรายละเอียดปลีกย่อยอยู่ที่การวัดปริมาณงานที่ทำได้เพื่อจ่ายเงินตามงวดงานให้แก่ผู้รับจ้าง ซึ่งรายละเอียดจะต้องพิจารณาจากข้อกำหนดทางวิศวกรรมที่กำหนดไว้ในแต่ละงานนั้น

บทที่ 10

การตรวจสอบความปลอดภัยและการบำรุงรักษา

การตรวจสอบสภาพเขื่อนและการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอจะช่วยลดอันตรายเนื่องจากการพิบัติของเขื่อนและลดความสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ นอกจากนั้น การตรวจสอบและการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องจะช่วยยืดอายุการใช้งาน และรักษาประสิทธิภาพของเขื่อนและอ่างเก็บน้ำได้อีกด้วย ข้อดีของการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องคือ การตรวจสอบพบความผิดปกติหรือชำรุดเสียหายตั้งแต่ต้นและจัดการซ่อมแซมได้ทันเวลาก่อนที่จะลุกลามทำให้เขื่อนเสียหายมาก เนื้อหาในบทนี้จึงได้เน้นถึงการตรวจสอบทั้งจากการตรวจสอบด้วยวิธีที่ใช้ค่าใช้จ่ายไม่สูง ได้แก่ การตรวจสอบด้วยสายตา และวิธีที่ต้องลงทุนในระยะต้น ตลอดจนการบำรุงรักษาและข้อจำกัดในการใช้งานด้วย

10.1 การตรวจสอบด้วยตา

การตรวจสอบความปลอดภัยด้วยสายตาเป็นวิธีที่สะดวกและมีค่าใช้จ่ายน้อย ค่าดัชนีสภาพการตรวจสอบสภาพเขื่อนด้วยสายตานั้น จะนำไปสู่การคำนวณ (Condition Index) เพื่อให้ทราบถึงสภาพปัจจุบันของเขื่อนและความเร่งด่วนในการบำรุงรักษา การปฏิบัติการตรวจสอบสภาพเขื่อนด้วยสายตา ควรตรวจสอบโดยการเดินจากจุดเริ่มต้นของเขื่อนไปตามแนวสันเขื่อน โดยบันทึกสภาพของเขื่อนตามหลักกิโลเมตรหรือระยะตามแนวสันเขื่อน อย่างไรก็ตามหากพบจุดที่มีปัญหาและไม่มีผู้เชี่ยวชาญให้บันทึกภาพ ระบุระยะทางและสภาพความเสียหายให้ได้มากที่สุดเพื่อดำเนินการปรึกษาส่วนราชการที่เกี่ยวข้อง เช่น กรมชลประทานต่อไป

การตรวจสอบสภาพเขื่อนควรตรวจสอบองค์ประกอบที่สำคัญของเขื่อน แต่เนื่องจากเขื่อนแต่ละแห่งมีองค์ประกอบแตกต่างกันไป จึงกำหนดลักษณะการตรวจสอบดังนี้

10.1.1 การตรวจสอบสภาพสันเขื่อน

1. รอยแตก

รอยบนสันเขื่อนบ่งบอกถึงความเป็นไปได้ในการเกิดการไหลของคันดินทางด้านข้าง รอยแตกที่กว้างหรือลึกย่อมอันตรายกว่ารอยแตกที่แคบและตื้น รอยแตกในแนวขวางหรือตั้งฉากกับสันเขื่อนจะทำให้เกิดการรั่วซึมเป็นอันตรายต่อเขื่อน

2. การกัดเซาะ

การกัดเซาะของน้ำผิวดินจนทำให้สันเขื่อนเสียรูปหรือการกัดเซาะจนทำให้เกิดร่องตามแนวของลาดชันอาจก่อให้เกิดการเสียระดับการกักเก็บ การกัดเซาะที่อันตรายคือการกัดเซาะแนวตั้งฉากกับสันเขื่อนและต่อเนื่องลงไปตามลาดชันด้านเหนือน้ำ การกัดเซาะลักษณะนี้อาจทำให้น้ำไหลท่วมสันเขื่อนได้

3. การทรุดตัว

การทรุดตัวที่อันตรายได้แก่ การยุบตัวเนื่องจากอาจเกิดโพรงภายในตัวเขื่อน หรือการยุบตัวเนื่องจากเกิดการลื่นไถลของคันดิน

4. ร่องล้อ

ร่องล้อที่มีความลึกจนเป็นแอ่งน้ำขัง ทำให้การระบายบนสันเขื่อนไม่ดีและอาจจะก่อให้เกิดการกัดเซาะภายในตัวเขื่อนได้

5. วัชพืช

ไม่ควรมีวัชพืชปกคลุมเพราะ จะทำให้ปิดบังร่องรอยต่างๆ ที่บ่งบอกถึงโอกาสเกิดการพิบัติได้ นอกจากนั้นต้นไม้ที่มีรากลึก ไม่ควรปล่อยให้ขึ้นในตัวเขื่อนโดยเด็ดขาด เนื่องจากรากอาจจะชอนไชทำให้เขื่อนรั่วได้

ตัวอย่างตารางตรวจสอบสภาพเขื่อนเพื่อประเมินความปลอดภัยและบำรุงรักษา แสดงไว้ในภาคผนวก ก

10.1.2 การตรวจสอบสภาพลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ

1. <u>คุณสมบัติของหิน</u>

หินด้านเหนือน้ำมีหน้าที่ป้องกันการกัดเซาะ เนื่องจากคลื่นภายในอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นจึงควรมีการเรียงตัวอยู่ในสภาพที่ขัดกันดี และมีขนาดคละที่ดี เพื่อให้เกิดช่องว่างน้อยที่สุด สภาพที่อันตรายคือ สภาพที่หินถูกกัดเซาะและผุกร่อนจนเริ่มเห็นดินตัวเขื่อน

2. <u>การกัดเซาะโดยคลื่น</u>

การกัดเซาะโดยคลื่นที่อันตรายคือ สภาพที่เกิดการกัดเซาะจนถึงเนื้อเขื่อนและเกิดไหล่ดินบนลาดชัน

3. <u>การกัดเซาะโดยน้ำฝน</u>

สภาพที่อันตรายคือการกัดเซาะโดยน้ำฝนในบริเวณลาดชันเป็นร่องลึก ทำให้สูญเสียเนื้อเขื่อนและอาจนำไปสู่การรั่วซึมภายในตัวเขื่อนได้อีกด้วย และหินป้องกันคลื่นอาจเกิดการยุบตัวทำให้เกิดการเสียรูปของตัวเขื่อนและทำให้เสถียรภาพของลาดชันลดลง

4. <u>วัชพืช</u>

ไม่ควรมีวัชพืชปกคลุม เพราะจะทำให้ปิดบังร่องรอยต่างๆ ที่บ่งบอกถึงโอกาสเกิดการพิบัติได้ นอกจากนั้นไม่ควรปล่อยให้ต้นไม้ที่มีรากลึกขึ้นในตัวเขื่อนโดยเด็ดขาด เนื่องจากรากอาจจะชอนไชทำให้เขื่อนรั่วได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้นไม้ตาย

5. <u>การทรุดตัว</u>

การทรุดตัวหรือยุบตัวเป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อเขื่อน เนื่องจากอาจเกิดโพรงภายในตัวเขื่อน หรือเกิดการลื่นไถลของดินลาดชัน นอกจากนั้นการทรุดตัวยังทำให้เสถียรภาพของลาดชันลดลง

6. <u>การเลื่อนไถล</u>

การเลื่อนไถลของดินบนลาดชัน เป็นอันตรายอย่างมากต่อเขื่อน การลื่นไถลอาจก่อให้เกิดการแตกร้าวบนสันเขื่อนหรือบนลาดชัน ควรดำเนินการแก้ไขโดยเร่งด่วน

7. <u>การขุดรื้อย้าย</u>

ตัวเขื่อนไม่ควรถูกขุดนำดินไปใช้เนื่องจากจะทำให้เสถียรภาพต่ำลง

8. <u>คุณสมบัติของหญ้า</u>

สำหรับเขื่อนที่ปลูกหญ้าบนลาดชัน หญ้าไม่ควรมีความสูงจนปิดบังร่องรอยที่อาจจะก่อให้เกิดการพิบัติ ความหนาแน่นของหญ้าควรสม่ำเสมอ ควรสังเกตบริเวณที่หญ้าหรือวัชพืชขึ้นสูงผิดปกติ เพราะบริเวณดังกล่าวอาจมีการไหลซึมของน้ำ

9. <u>รอยแตก</u>

รอยแตกบนลาดชันที่อันตรายคือ รอยแตกที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนระดับของลาดชัน รอยแตกด้านบนลาดชันต่อเนื่องถึงด้านล่างเป็นครึ่งวงกลม บ่งบอกถึงสัญญาณของการวิบัติของลาดชัน

10.1.3 สภาพพื้นที่ฐานรากและพื้นที่ท้ายน้ำ

1. การไหลซึม

การไหลซึมของน้ำออกจากตัวเขื่อนหรือฐานรากในจุดที่ไม่ได้เป็นจุดออกแบบสำหรับระบายน้ำ อาจก่อให้เกิดการพิบัติของเขื่อนได้ ลักษณะที่อันตรายและควรดำเนินการแก้ไขโดยด่วนคือ สภาวะน้ำที่ไหลซึมมีอัตราการไหลสูงหรือน้ำที่ไหลออกมีสีขุ่น เนื่องจาก นำพาดินจากตัวเขื่อนหรือฐานรากออกมาด้วย ซึ่งทำให้เกิดโพรงและเกิดการยุบตัวของเขื่อนในที่สุด การไหลซึมอาจเกิดปรากฏให้เห็นเป็นลักษณะของน้ำพุ หรือน้ำผุดออกมาจากพื้นดินและอาจเกิดห่างออกจากตีนเขื่อนในระยะไกลพอสมควรด้วย

2. การกัดเซาะ

การกัดเซาะบริเวณฐานราก และพื้นที่ท้ายน้ำอาจเกิดจากการขาดระบบระบายน้ำผิวดินที่ดี การกัดเซาะจะทำให้เสถียรภาพของลาดชันลดลง

3. การทรุดตัว

การทรุดตัวที่ฐานรากหรือพื้นที่ท้ายน้ำอาจเกิดจากโพรงภายในฐานราก ลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะที่อันตราย การทรุดตัวอาจเกิดห่างจากตีนเขื่อนออกไปได้ไกล ส่วนใหญ่การทรุดตัว จะเกิดขึ้นเพราะการไหลซึมใต้ฐานเขื่อน

10.1.4 สภาพของประตูระบายน้ำ

ประตูระบายสำหรับอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก ควรอยู่ในสภาพที่สามารถจะเปิด-ปิดบานระบายได้สะดวก ไม่มีการแตกร้าวของคอนกรีตบริเวณประตูและร่องระบาย โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กควรอยู่ในสภาพที่ไม่แตกจนเห็นเหล็กภายใน ไม่มีน้ำไหลซึมด้านล่างหรือโดยรอบ รวมทั้งรางระบาย และประตูระบายไม่มีสิ่งกีดขวางหรืออุดตัน

10.2 การตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน

เครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนจะทำหน้าที่และยังประโยชน์ที่สำคัญ 3 ประการ คือ

1) เตือนภัยในกรณีที่มีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นในตัวเขื่อน เพื่อจะได้มีการแก้ไขได้ทันท่วงทีก่อนที่จะเกิดมหันตภัย

2) แสดงพฤติกรรมจริงที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเป็นข้อมูลในการนำมาแก้ไขปรับปรุงแบบแปลนและสมมุติฐานการก่อสร้างที่กำหนดไว้ล่วงหน้าให้ถูกต้องตามข้อเท็จจริง ทำให้การก่อสร้างเขื่อนมีความมั่นคงแข็งแรงและประหยัด

3) แสดงเสถียรภาพของตัวเขื่อนในกรณีเร่งการก่อสร้าง โดยดูจากความดันน้ำและการเคลื่อนตัวที่เกิดจากการบดอัดไม่ให้สูงเกิน จนทำให้อาจเกิดอันตรายได้

โดยปกติแล้วเครื่องมือวัดอาจใช้ในช่วงต่างๆ ของโครงการตามความจำเป็น เริ่มตั้งแต่ช่วงก่อนการก่อสร้าง (Prior to Construction) ในระหว่างการก่อสร้าง และช่วงภายหลังการก่อสร้าง หรือ ระหว่างการใช้งานไปแล้วประมาณ 2-5 ปี คือ

1) ก่อนการก่อสร้าง (Prior to Construction) ได้แก่ช่วงการสำรวจ การสำรวจออกแบบ และทดสอบในสนาม เพื่อหาข้อมูลสภาพชั้นดินและชั้นหิน เช่น แรงดันดินธรรมชาติ แรงดันน้ำ เป็นต้น

2) ในระหว่างการก่อสร้าง (During Construction) ได้แก่ การตรวจสอบพฤติกรรมในระหว่างการดำเนินการก่อสร้างตั้งแต่เริ่มต้น เพื่อการควบคุมงานก่อสร้าง การตรวจสอบความถูกต้องของการออกแบบ และความปลอดภัยในระหว่างการก่อสร้าง

3) ภายหลังการก่อสร้าง (After Construction) เป็นช่วงที่มีการตรวจสอบต่อเนื่องภายหลังจากก่อสร้างเสร็จเพื่อประเมินความปลอดภัยในระหว่างการใช้งาน และศึกษาพฤติกรรมของเขื่อนในระยะยาว

10.2.1 เครื่องมือวัดความดันน้ำในมวลดิน (Pore Pressure Transducer)

ความดันของน้ำในมวลดินชื้นหรือดินอิ่มตัว จะมีอิทธิพลต่อพฤติกรรมต่างๆ ต่อโครงสร้างที่มีดินเป็นวัสดุก่อสร้าง หรือชั้นดินหรือฐานราก เช่น ความมั่นคงแข็งแรง การทรุดตัว การรั่วซึมเป็นต้น ซึ่งในเขื่อนดินความดันน้ำภายในมวลดินของตัวเขื่อนและฐานราก จะถือเป็นคุณสมบัติหลักที่จะต้องทำการวัดและติดตามเป็นอันดับแรก เครื่องมือที่ใช้วัดความดันน้ำเรียกชื่อได้หลายอย่าง เช่น Piezometer, Pore Pressure Transducer, Water Pressure gage, Observation Well หรือแม้แต่ Tensionmeter ซึ่งใช้วัดความดันน้ำที่เป็นลบ ทั้งรูปร่างลักษณะและการติดตั้งจะแตกต่างกันไปเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะงาน และชนิดของดินที่แตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตาม เครื่องมือวัดความดันน้ำที่ดีจะต้องแสดงค่าความดันน้ำที่ถูกต้องใกล้เคียง (Accuracy) กับความดันน้ำที่เกิดขึ้นบริเวณชั้นดินที่เกิดขึ้น โดยรอบหัววัด ภายในระยะเวลาที่สั้นที่สุด (Sensitive) ภายหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงความดันน้ำ

พิโซมิเตอร์ (Piezometer)

คือ เครื่องมือที่ใช้วัดความดันน้ำในมวลดิน (Pore Pressure) หรืออาจจะเรียกชื่อว่ามาตราวัดความดันน้ำ นับเป็นเครื่องมือลำดับแรกที่จะต้องพิจารณาติดตั้งในตัวเขื่อน เนื่องจากสามารถบอกถึงพฤติกรรมการไหลซึมของน้ำผ่านเขื่อนและฐานราก การกัดเซาะ การปิดกั้น การระบาย และความมั่นคงของตัวเขื่อนได้

ในระบบเครื่องมือวัดความดันไม่ว่าชนิดใด ๆ ก็ตาม จะต้องการปริมาณน้ำส่วนหนึ่งที่ต้องไหล เข้าไปในหัววัด เพื่อจะให้เกิดการอ่านค่าได้ ดังนั้นประสิทธิภาพการวัดของพิโซมิเตอร์ขึ้นกับอิทธิพล 2 ปัจจัย คือ

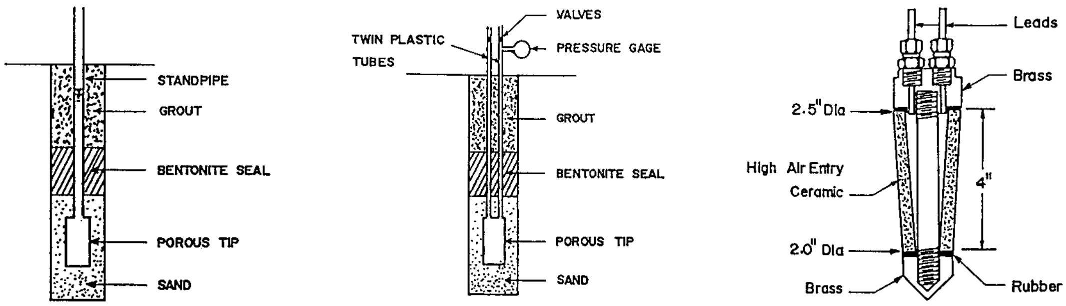
1) Volume Factor (V) ซึ่งบอกถึงปริมาณน้ำที่ต้องการให้เข้าสู่หัวพิโซมิเตอร์ ถ้าต้องการปริมาณน้ำที่ต้องไหลเข้ามาจากมวลดินน้อย ความสามารถในการอ่านค่าความดันน้ำที่เปลี่ยนแปลงได้เร็ว ความไวจะสูง

2) Shape Factor (F) ซึ่งบอกถึงพื้นที่รับน้ำเข้าสู่หัวพิโซมิเตอร์ ถ้ามีพื้นที่รับน้ำมากปริมาณน้ำก็จะไหลเข้าได้เร็ว ความไวจะสูง

ดังนั้น เหตุผลประกอบการเลือกพิโซมิเตอร์ที่ดีอย่างหนึ่งก็คือ ความไวในการวัด ซึ่งสามารถบอกได้ด้วยอัตราส่วนของ $\frac{V}{F}$ ต้องให้มีค่าน้อย เวลาที่จะอ่านค่าได้จึงจะเร็วใกล้เคียงกับการเปลี่ยนแปลงของความดันน้ำจริงมากที่สุด รูปที่ 5-1 แสดงให้เห็นค่าที่อ่านได้จากพิโซมิเตอร์แบบต่าง ๆ เปรียบเทียบกัน ซึ่งได้จากการทดสอบในห้องทดลอง ซึ่งเรียกว่า "Response Curve"

ระบบพิโซมิเตอร์มีอยู่ 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1) Hydraulic type เป็นแบบที่ความดันน้ำสามารถวัดได้จากความสูงของระดับน้ำในท่อ (Standpipe) ซึ่งอาจเรียกว่า "ระบบเปิด" หรืออ่านจากมาตรวัดความดัน (Pressure Gage) และอ่านจากระดับปรอทที่แตกต่างกันในหลอดแก้วตัว "U" (Manometer) ซึ่งอาจจะเรียกว่า "ระบบปิด" เพราะน้ำซึ่งเป็นตัวกลางในการวัดค่า ถูกปิดกั้นไว้ด้วยระบบการวัดที่ปลายทางดังแสดงในรูปที่ 10-1



Open standpipe Piezometer   Twin tube hydraulic Piezometer   Porous yip

รูปที่ 10-1 พิโซมิเตอร์ระบบ Hydraulic

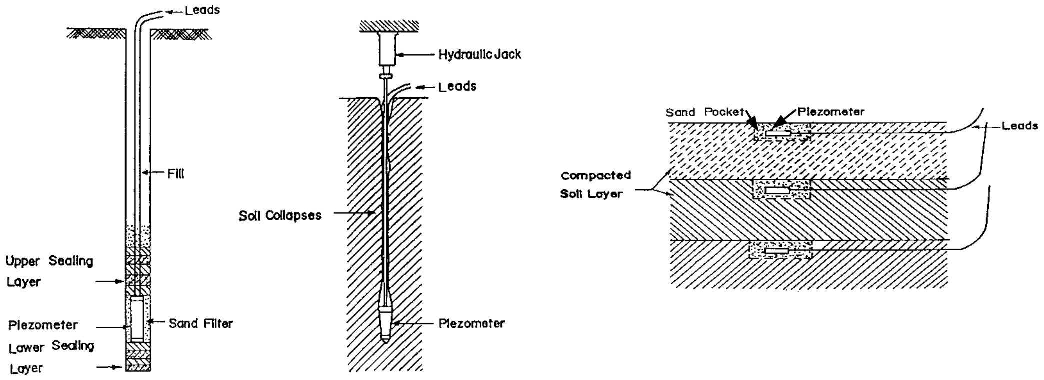
2) Pneumatic type เป็นระบบพิโซมิเตอร์ที่อาศัยความดันลมในการวัดค่าโดยความดันของน้ำในมวลดินจะเข้ามาสู่หัววัดผ่านแผ่นยางบาง ๆ (Diaphram) ซึ่งจะรับแรงดันน้ำด้านหนึ่งและจะถูกดันกลับด้วยอากาศที่ถูกปล่อยออกมาจากเครื่องวัด เมื่อความดันของอากาศหรือลมเท่ากับแรงดันน้ำ จะมีวาล์วปล่อยให้ลมส่วนหนึ่งผ่านออกไปยังระบบวัดด้านบนเพื่อเป็นสัญญาณให้ทำการอ่านค่าความดันลมที่สมดุลย์กับความดันน้ำที่หัวพิโซมิเตอร์

3) Electric type ในระบบนี้ ความดันน้ำจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าใน 2 รูปแบบคือ Voltage ของ Strain gage ที่ติดไว้ที่แผ่นโลหะบาง ซึ่งจะแอ่นตัวไปเป็นสัดส่วนกับแรงดันน้ำที่มากระทำ ในขณะที่อีกแบบหนึ่งจะใช้วัดด้วยความถี่ในการสั่นของเส้นลวดที่ขึงตรึงระหว่างแผ่นโลหะรับแรงได้และจุดคงที่ (Vibrating Wire) ในระบบนี้ เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นเส้นลวดจะหย่อนลงทำให้ความถี่ลดลง ในแบบหลังนี้จะมีข้อดีตรงค่าที่วัดได้ไม่ต้องมีการปรับแก้ความยาวของสายจากหัววัดไปยังเครื่องวัด เพราะไม่ได้นำเอาความต้านทานของเส้นลวดในสายมาคิด

การติดตั้งพิโซมิเตอร์ แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะคือ

1) ติดตั้งในหลุมเจาะ (Boring) ใช้ในกรณีที่ต้องการวัดความดันน้ำในชั้นดินหรือชั้นหินเดิมตามธรรมชาติ เช่น หินฐานรากเขื่อน ชั้นน้ำใต้ดิน เป็นต้น จึงจำเป็นต้องมีการเจาะหลุมลงไปยังตำแหน่งที่ต้องการวัด แล้วติดตั้งหัวพิโซมิเตอร์ลงในหลุมเจาะ ส่วนมากมักมีการปิดหลุมช่วงบนไว้เพื่อมิให้ความดันน้ำจากชั้นดินส่วนอื่นๆ เข้าไปรบกวนจุดที่กำลังวัดอยู่ ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2 พิโซมิเตอร์ที่ติดตั้งในลักษณะนี้ส่วนมากจะอยู่ใต้ระดับใต้ดินอยู่ตลอดเวลา แต่การติดตั้งระบบนี้จะต้องคอยระมัดระวังเรื่อง การทำความสะอาดก้นหลุมก่อนการติดตั้งไม่ให้มีโคลนหรือตะกอนที่เกิดจากการเจาะไปอุดตันหัวพิโซมิเตอร์ได้

2) การติดตั้งโดยการดันลงในชั้นดิน (Pushing) วิธีนี้เหมาะสำหรับชั้นดินเหนียวอ่อน เช่น ดินในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งสามารถใช้หัวพิโซมิเตอร์ที่มีปลายแหลม กดลงจากผิวดินไปยังตำแหน่งที่ต้องการวัดค่า แล้วถอนก้านกดออก ชั้นดินส่วนบนจะค่อยๆเบียดตัวเข้าไปปิดรูที่หัวถูกกดผ่าน และจะทำหน้าที่เป็นชั้นปิดกั้นน้ำส่วนบนไปในตัว หัวพิโซมิเตอร์แบบนี้จะต้องออกแบบพิเศษให้มีความแข็งแรงสามารถทนแรงกดได้ และมักจะมีปลายแหลมเพื่อให้ง่ายต่อการแทรกลงไปในชั้นดิน แต่ก็มีข้อจำกัดที่ว่าไม่สามารถจะติดตั้งในชั้นดินแข็ง หรือชั้นกรวดหรือทรายได้ เพราะจะกดไม่ลง ตัวอย่างการติดตั้งแสดงในรูปที่ 10-2



ติดตั้งในหลุมเจาะ (Boring) ดันลงในชั้นดิน (Pushing) วางลงในชั้นดิน (Placing)

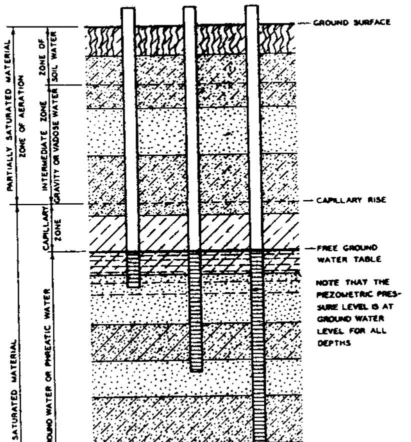
รูปที่ 10-2 การติดตั้งพิโซมิเตอร์

3) การติดตั้งโดยการวางลงในชั้นดิน (Placing) ที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ในการบดอัดเป็นตัวเขื่อนหรือคันถนน การติดตั้งหัวพิโซมิเตอร์ทำได้โดยการวางลงไปในชั้นดินบดอัด ณ ตำแหน่งที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 10-2 โดยจะต้องระมัดระวังตัวหัวและสายวัดมิให้เสียหายจากการทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ในการบดอัด หรือเครื่องจักรหนักอื่นๆ ดังนั้นจึงมักทำการติดตั้งในหลุมที่ขุดต่ำกว่าระดับบดอัดแล้วไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร และเนื่องจากความดันน้ำในชั้นดินบดอัดมักเป็นค่าลบในช่วงแรก เพราะมวลดินไม่อิ่มตัว ดังนั้นหัวพิโซมิเตอร์แบบนี้จึงต้องมีชั้นกรองเป็นเซรามิค ที่มีขนาดช่องว่างเล็กมาก (High air entry) ซึ่งสามารถจะวัดความดันน้ำที่เป็นลบ (แรงดึง) โดยไม่ยอมให้ฟองอากาศจากภายนอกเข้าไปในส่วนภายในของหัววัดได้

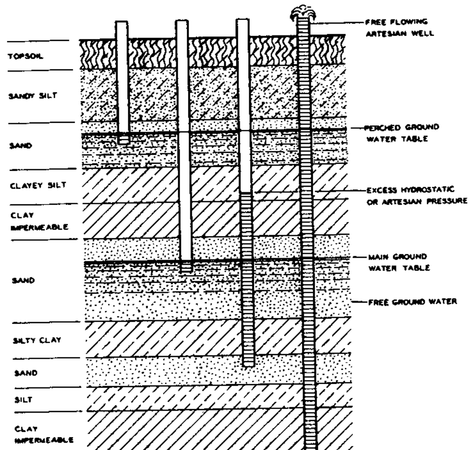
นอกจากการติดตั้งในสามแบบข้างต้นแล้ว พิโซมิเตอร์บางอย่างยังออกแบบพิเศษไว้สำหรับการติดตั้งที่ผิวของเสาเข็มเพื่อจะติดตั้งไปพร้อมๆ กับการตอกเข็ม หรืออาจติดตั้งด้วยการขันเป็นใบสว่านลงไปในชั้นดินได้อีกด้วย

บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well)

ในช่วงเวลาของการศึกษาพฤติกรรมของเขื่อน โดยเฉพาะความดันน้ำในตัวเขื่อนและฐานราก ปัจจัยที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีต่อความดันน้ำที่วัดได้ คือ ระดับน้ำใต้ดิน (Ground Water Level) ซึ่งใช้เป็นฐานบอกถึงปริมาณความดันน้ำส่วนเกิน (Excess Pore Pressure) ที่วัดได้จากพิโซมิเตอร์ Hvorslev (1949) ได้ให้คำนิยามของระดับน้ำใต้ดินไว้ว่า " เป็นระดับผิวของระดับน้ำใต้ดินอิสระ ซึ่งสัมผัสอยู่ล่างสุดของชั้น Capillary Zone" โดยทั่วไปมักมีระดับเดียว นอกจากกรณีที่มีอิทธิพลจากชั้นทึบน้ำกั้นให้ระดับสูงกว่าปกติ (Perched Water Table) หรือมีแรงดันที่กักไว้ในระหว่างชั้นทึบน้ำ (Artesian Water Table) ดังแสดงในรูปที่ 10-3



ระดับน้ำใต้ดินสภาพปกติ



ระดับน้ำใต้ดินภายใต้ความดันสูงกว่าปกติ

รูปที่ 10-3 ระดับน้ำใต้ดินลักษณะต่างๆ

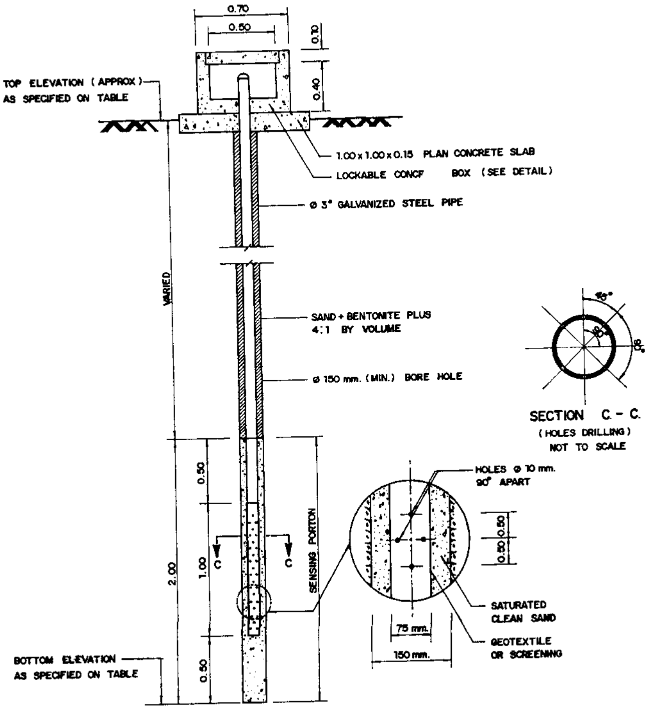
ระดับน้ำใต้ดินจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาในช่วงการก่อสร้างและการใช้งานของเขื่อนเนื่องจากสาเหตุดังต่อไปนี้

ก) การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลเนื่องจากน้ำฝนและการระเหย

ข) ระดับน้ำจากลำน้ำข้างเคียงที่เปลี่ยนแปลง

ค) เกิดการไหลซึมของน้ำจากการปั๊มหรือเก็บกักน้ำในบ่อ

ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวัดค่าระดับน้ำใต้ดินตลอดเวลา โดยเครื่องมือที่เรียกว่า "บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน" โดยจะทำการเจาะลึกกว่าระดับน้ำใต้ดินปกติ 2-5 เมตร แล้วฝังท่อพรุน (Perforated pipe) ไว้ เพื่อให้น้ำไหลเข้ามาในท่อเท่ากับระดับน้ำใต้ดิน แล้วใช้เครื่องมือวัดระดับน้ำหย่อนลงวัดระดับผิวในท่อเปรียบเทียบกับปลายบนของท่อ ซึ่งจะสามารถหาระดับน้ำใต้ดินได้ ดังแสดงในรูปที่ 10-4 โดยหลักการวัดเช่นเดียวกับ พิโซมิเตอร์ชนิด Openstandpipe โดยที่ส่วนรับน้ำอาจมีความยาวประมาณ 1.0 เมตร และความกว้างของหลุมประมาณ 10-15 เซนติเมตร และขนาดท่อประมาณ 5-10 เซนติเมตร ส่วนรับน้ำโดยรอบท่อมักจะกรุรอบด้วยกรวดทราย เพื่อให้น้ำไหลเข้าได้สะดวก ในขณะที่ช่วงบนจะปิดกั้นด้วยวัสดุทึบน้ำ เช่น ทรายผสมเบนโทไนท์ เพื่อป้องกันมิให้น้ำจากส่วนบนไหลลงไประหว่างท่อวัดทำให้ระดับน้ำใต้ดินไม่ถูกต้อง ตำแหน่งที่ติดตั้งบ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน ควรเป็นระยะห่างตีนเขื่อนด้านท้ายน้ำออกไปเพียงพอที่จะไม่เกิดความดันน้ำส่วนเกินจากน้ำหนักตัวเขื่อนที่กดทับอยู่ และควรห่างกันตามแนวแกนเขื่อนไม่เกิน 500 เมตร หรือเพียงพอที่จะแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินตลอดตัวเขื่อน



รูปที่ 10-4 บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well)

10.2.2 เครื่องมือวัดอัตราการไหลซึมของน้ำในดิน (Seepage Measuring Devices)

ในเขื่อนหรือโครงสร้างทางชลศาสตร์อื่นๆ ที่มีน้ำไหลซึมผ่านอยู่ตลอดเวลา และมีโอกาสที่จะเกิดการกัดเซาะภายในอันเกิดการพัดพาเอาเม็ดดินขนาดเล็กออกมาตามน้ำได้นั้น (Piping Erosion) ถึงแม้ว่าจะมีการออกแบบชั้นกรอง (Filter) เอาไว้เพื่อกันการกัดเซาะดังกล่าวแล้วก็ตาม จากสถิติการพิบัติของเขื่อนทำให้ทราบว่า การกัดเซาะเนื่องจากน้ำที่ซึมผ่านตัวเขื่อนและฐานรากเป็นสาเหตุใหญ่ทำให้ตัวเขื่อนพัง ดังนั้นการวัดปริมาณน้ำและคุณภาพน้ำตลอดทั้งอุณหภูมิและคุณสมบัติอื่นๆ ของน้ำที่ซึมผ่านโครงสร้างทางชลศาสตร์ ย่อมทำให้ทราบถึงพฤติกรรมที่แท้จริง และอาจตรวจพบความผิดปกติและทำการแก้ไขก่อนที่จะเกิดอันตรายร้ายแรงได้

10.2.3 เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัว (Deformation Measuring Devices)

เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวในเขื่อนมีหลากหลายชนิด จากแบบง่ายๆ ราคาถูก เช่น หมุดสำรวจ ไปจนกระทั่งเครื่องมือที่ละเอียดยุ่งยากและให้ความแม่นยำสูง เช่น Extensometer ดังนั้นการเลือกใช้จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของข้อมูล

ลักษณะการวัดก็อาจมีทั้งการวัดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง แนวราบ หรือแนวทแยงเฉพาะทิศทางที่ต้องการ และอาจกระทำได้ทั้งในตัวเขื่อน (Internal deformation) เช่น จากสันเขื่อนลงไปถึงฐานราก หรือเฉพาะผิวนอกตัวเขื่อน (External deformation) เช่น บนสันเขื่อน ลาดเขื่อนทั้งสองด้าน

วัตถุประสงค์ของเครื่องมือชนิดนี้ นอกจากจะเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของเขื่อนแล้ว อาจจะเป็นเครื่องมือที่ช่วยในเรื่องความปลอดภัยได้อย่างชัดเจนโดยเฉพาะการเคลื่อนพังของลาดเขื่อน

กลุ่มของเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวในเขื่อนและอาคารประกอบอาจแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ได้ 6 กลุ่มย่อย ดังนี้

1) เครื่องมือสำรวจ ด้วยกล้องหรือเครื่องมือวัดระยะ
2) Vertical Settlement Point: ใช้วัดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง
3) Remote Settlement Gage: ใช้วัดการเคลื่อนตัวจากระยะห่าง
4) Inclinometer: ใช้วัดการเคลื่อนตัวด้านข้าง
5) Extensometer: ใช้วัดการเคลื่อนตัวในแนวใด ๆ
6) Surface Monuments and Benchmarks: ใช้วัดการเคลื่อนตัวของเขื่อน โดยติดตั้ง ณ บริเวณผิวเขื่อน

การวัดการเคลื่อนตัวภายนอกที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า สามารถทำได้ง่ายๆ โดย การใช้เครื่องมือสำรวจทั่วไป อันได้แก่ กล้องวัดมุม และกล้องระดับเป็นหลัก โดยต้องมีหมุดหลักฐาน (Reference benchmark) เตรียมไว้ให้อยู่ภายนอกอิทธิพลการเคลื่อนตัวของตัวเขื่อน และต้องอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ที่เมื่อตั้งกล้องสำรวจ แล้วสามารถส่องเห็นบริเวณเขื่อน ได้เป็นพื้นที่กว้างพอสมควร ปกติ BM. (Benchmark) สำหรับงานวัดพฤติกรรมเขื่อน (Instrumentation) ในเขื่อนนั้น จำเป็นต้องมีอยู่แล้ว เพื่อใช้อ้างอิงกับการวัดการเคลื่อนตัว โดยวิธีอื่นๆ ทั้งหมด สำหรับการตรวจสอบตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือต่างๆ บริเวณต่อไปนี้ เป็นจุดที่แนะนำให้มีการติดตั้ง BM. เพื่อให้พ้นบริเวณการทรุดตัวจากน้ำหนักเขื่อน คือ

1. บนไหล่เขา เหนือสันเขื่อนขึ้นไปเล็กน้อย ทั้งปีกซ้ายและขวาของตัวเขื่อน
2. บนไหล่เขาด้านเหนือน้ำ ที่มีระดับสูงกว่าระดับเก็บกักปกติ
3. บนไหล่เขาและที่ราบด้านท้ายน้ำที่ห่างจากตีนเขื่อนไม่น้อยกว่า 20 เมตร

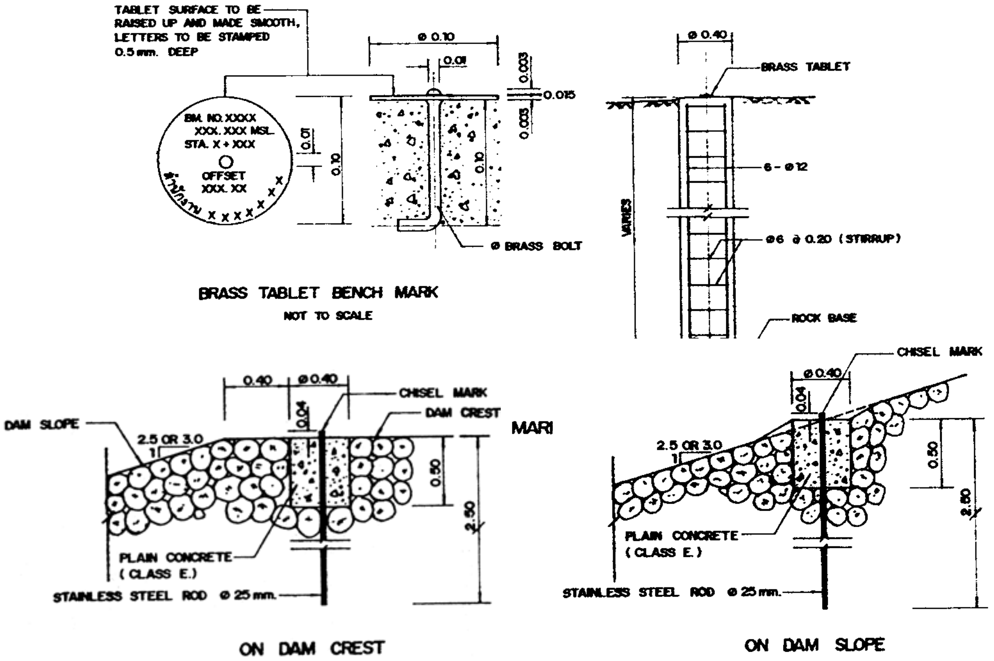
ปกติ B.M. จะต้องเป็นเสาคอนกรีตที่จะต้องหยั่งลึกถึงหน้าหิน หรือชั้นดินแข็ง และมีแผ่นโลหะพร้อมหมุดบอกค่าพิกัดและระดับอย่างชัดเจน

สำหรับจุดวัดบนตัวเขื่อนนั้น จะมีการติดตั้งหมุดวัดที่ผิวดิน (หรือหินทิ้ง) ซึ่งเรียกว่า "Surface monument” ซึ่งส่วนมากเป็นแกนโลหะไร้สนิมยาว 1.5-2.0 เมตร ฝังไว้บนสันเขื่อน หรือลาดเขื่อน แล้วหุ้มรอบด้วยคอนกรีตที่ส่วนบน เพื่อยึดติดกับดินบริเวณนั้น ดังแสดงในรูปที่ 10-5

วิธีวัดการเคลื่อนตัว ก็จะใช้วิธีการของการสำรวจชนิดความแม่นยำสูง โดยการ

ก. การเคลื่อนตัวในแนวราบ
- Triangulation survey
- Traverse survey
- Offset survey

ข. การเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง
- Traverse leveling



DETAIL OF SURFACE BENCH MARKS

รูปที่ 10-5 หมุดหลักฐานและ Surface Monument

10.3 การบำรุงรักษาและข้อจำกัดในการใช้งาน

หลังจากที่ได้ก่อสร้างเขื่อนดินเสร็จจนใช้งานได้แล้ว ควรมีการตรวจสอบสภาพและซ่อมแซมส่วนที่อาจชำรุดเสียหายอยู่เป็นประจำ เพื่อป้องกันและรักษาเขื่อนและอาคารต่างๆ ให้มีสภาพมั่นคงแข็งแรงตลอดไป

การตรวจสอบและการบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ ควรจะดำเนินการดังนี้

1. ทำการตรวจสภาพและมีการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะที่เริ่มทำการเก็บกักน้ำไว้สูงเต็มที่ และในช่วงเวลาที่มีฝนตกชุก

2. ควรจะมีการตรวจสภาพและทำการซ่อมใหญ่ ทั้งเขื่อนและอาคารประกอบ ที่มีการชำรุดเสียหายให้มีสภาพดีเช่นเดิม อย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง

3. ขณะที่ทำการเก็บกักน้ำไว้จนสูงเต็มที่ ให้หมั่นตรวจสอบสภาพดินธรรมชาติบริเวณท้ายเขื่อนอยู่เสมอว่ามีน้ำรั่วซึมลอดใต้เขื่อนผ่านดินฐานรากจนพัดพาดินตะกอนทรายให้หลุดลอยไปในลักษณะคล้ายกับน้ำพุบ้างหรือไม่ หากพบที่บริเวณใดให้รีบทำการป้องกันทันที โดยการปูทับ

ด้วยทรายหยาบผสมหินเกล็ดหนาประมาณ 30 เซนติเมตร ให้ทั่วบริเวณนั้นแล้วจึงทับชั้นทรายด้วยหินย่อยและหินใหญ่ที่มีขนาดต่างๆ กัน หนาประมาณ 30 เซนติเมตร ซึ่งจะสามารถป้องกันดินและตะกอนทรายไม่ให้ถูกน้ำชะพาหลุดออกไปได้ ส่วนน้ำจะซึมออกมาตามปกติแต่ไม่เป็นอันตรายต่อตัวเขื่อนแต่อย่างใด

4. ที่ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำบริเวณตอนล่าง จนถึงพื้นดินธรรมชาติอาจจะเปียกแฉะหรือมีสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำที่ซึมผ่านเขื่อน หากปล่อยทิ้งไว้นานลาดเขื่อนบริเวณนั้นอาจจะเลื่อนทลายลงแล้วลุกลามสูงขึ้นไป ควรรีบทำการแก้ไขโดยด่วน ด้วยการปูทับลาดเขื่อนบริเวณที่มีน้ำซึมไปจนถึงพื้นดินธรรมชาติด้วยทรายหยาบผสมหินเกล็ด ให้มีความหนาประมาณ 20 เซนติเมตร แล้วปูทับด้วยหินย่อยและหินใหญ่ที่มีขนาดต่างๆ อีกหนาประมาณ 30 เซนติเมตร จึงจะสามารถป้องกันดินที่ลาดเขื่อน ไม่ให้มีน้ำเปียกแฉะอีกต่อไปได้

5. ให้หมั่นตรวจสอบสภาพลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำที่ระดับผิวน้ำ เพราะอาจถูกคลื่นกัดเซาะจนเว้าแหว่ง ควรใช้หินที่มีขนาดใหญ่คละกันปูทับบริเวณที่เว้าแหว่งนั้นให้เต็ม หรือให้มีความหนาประมาณ 30 เซนติเมตร

6. ให้ปลูกหญ้าไว้ตามลาดเขื่อนเพื่อป้องกันน้ำฝนกัดเซาะ ถ้าหากพบว่าบริเวณใดไม่มีหญ้าหรือหญ้าตายก็ควรปลูกซ่อมก่อนที่จะเข้าฤดูฝน

7. ถ้าตรวจพบว่าดินตามลาดเขื่อนถูกน้ำกัดเซาะเป็นร่อง ควรจะถมดินกลบร่องให้เต็มแล้วปลูกหญ้า ไม่ควรปล่อยทิ้งไว้ เพราะร่องต่างๆ เหล่านั้นจะขยาย และมีขนาดใหญ่มากขึ้นอย่างรวดเร็วในฤดูฝน ซึ่งจะทำให้การซ่อมแซมต่อไปมีความยากลำบาก หรือต้องเสียค่าใช้จ่ายแพงขึ้นอีกโดยไม่จำเป็น

8. บนสันเขื่อนควรจะมีการปูปิดทับด้วยดินลูกรังบดอัดแน่น ให้มีความหนาประมาณ 20 เซนติเมตร ตลอดแนวเขื่อนเพื่อป้องกันสันเขื่อนแตก และไม่ให้น้ำฝนไหลลงไปขังหรือกัดเซาะให้เป็นรูโพรง สำหรับกรณีที่ใช้สันเขื่อนเป็นทางสำหรับรถวิ่งควรจะหมั่นดูแล เพิ่มดินลูกรังไม่ให้สันเขื่อนเกิดหลุมหรือเป็นแอ่ง

9. ควรตรวจสอบสภาพของร่องน้ำท้ายอาคารระบายน้ำล้นทุกปีเพราะอาจจะถูกน้ำไหลกัดเซาะจนเป็นอันตรายต่อพื้นอาคาร การซ่อมแซมนิยมทิ้งหินขนาดใหญ่จนทั่วบริเวณที่ถูกน้ำกัดเซาะ

10. คอนกรีตของอาคารส่วนที่เป็นร่องน้ำบางแห่งอาจจะถูกกระแสน้ำกัดเซาะจนชำรุดเสียหาย ควรหมั่นซ่อมให้มีสภาพมั่นคงแข็งแรงดีอยู่เสมอ

บทที่ 11

การประมาณราคาค่าก่อสร้าง

ก่อนที่จะเริ่มการก่อสร้างเขื่อนและอาคารประกอบตามที่ได้ออกแบบไว้ จะทำการคำนวณหาปริมาณงาน (วัสดุ) แต่ละชนิดที่จะใช้ในการก่อสร้าง แล้วประมาณราคาค่าก่อสร้างของงานแต่ละประเภท รวมทั้งราคาค่าก่อสร้างทั้งหมด เพื่อนำไปใช้ประกอบการพิจารณาความเหมาะสมของโครงการว่าเหมาะสมที่จะก่อสร้างหรือไม่ นอกจากนี้ข้อมูลของปริมาณวัสดุยังใช้สำหรับการวางแผนการจัดหาวัสดุให้ทันเวลาและประกอบการวางแผนงานก่อสร้างให้เหมาะสม

11.1 การคำนวณหาปริมาณงาน

11.1.1 การคำนวณปริมาตรดินถมอัดแน่นของตัวเขื่อน

ปริมาตรดินถมอัดแน่นของตัวเขื่อนจะสามารถคำนวณได้จากแบบซึ่งจะแสดงระดับดินบริเวณฐานเขื่อนตลอดแนว ตลอดจนขนาดและรูปร่างของตัวเขื่อนไว้ มีตัวอย่างวิธีการคำนวณ ดังนี้

1. จากรูปที่ 11-1 ซึ่งได้แบ่งรูปตัดขวางของตัวเขื่อนให้ได้ระยะห่างที่ความลาดเทของผิวดินฐานราก หลังจากได้ขุดลอกหน้าดินออกแล้วที่เป็นแนวตรงมากที่สุด คือ รูปตัดที่ 1,2,3,4 และ 5

2. คำนวณหาขนาดพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมูของรูปตัดเขื่อนที่รูปตัดที่ 1,2,3,4 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งตามรูป 11-1 (ข.) ที่แสดงเป็นรูปร่างมาตรฐาน จะเท่ากับ $\frac{(2C+5.5h)h}{2}$ โดย h จะเท่ากับความสูงของตัวเขื่อนของแต่ละรูปตัดดังกล่าว และ C คือความกว้างของสันเขื่อน

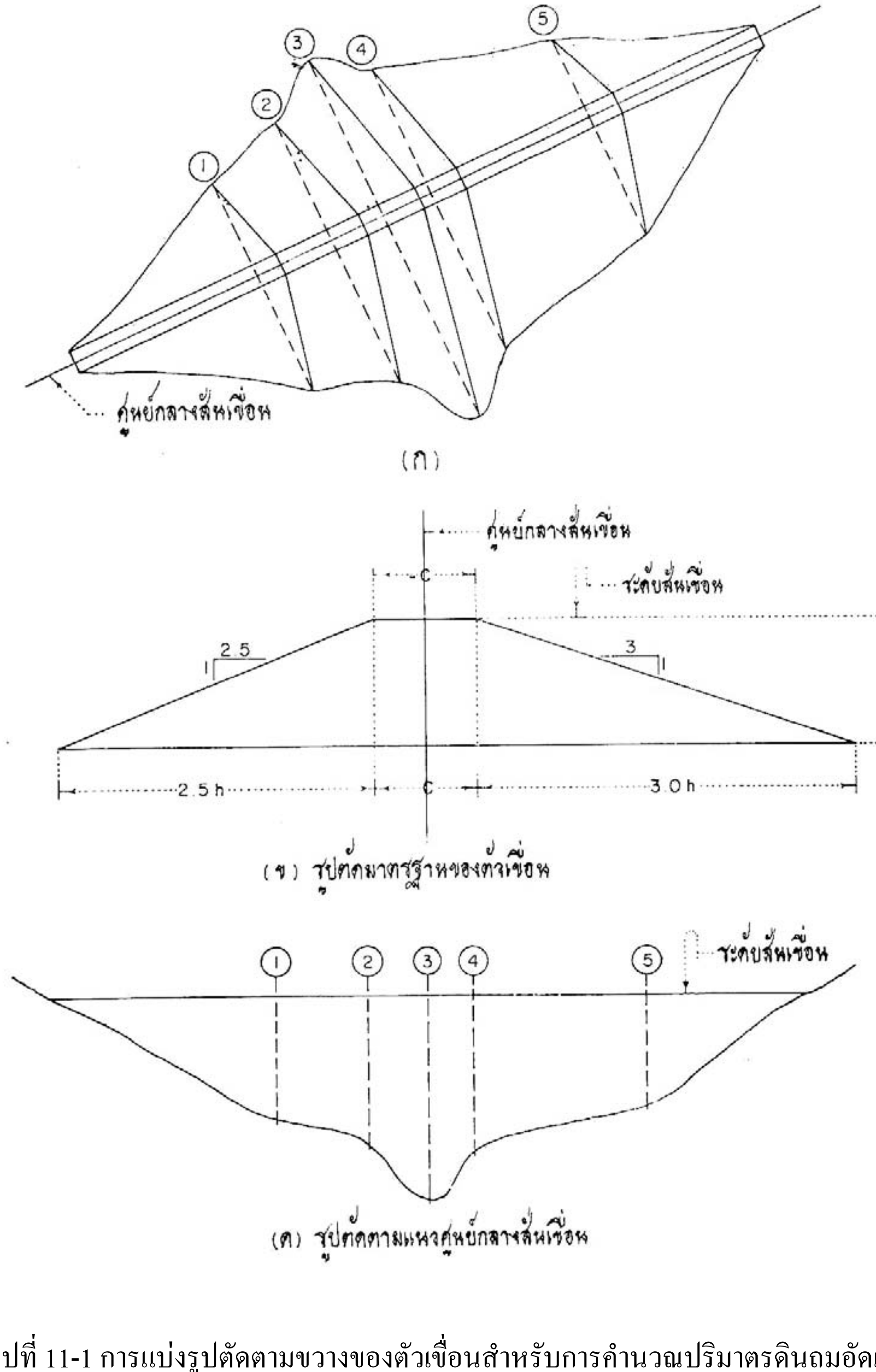
3. ปริมาตรดินถมอัดแน่นระหว่างรูปตัดแต่ละคู่ จะเท่ากับค่าพื้นที่เฉลี่ยของรูปตัดทั้งสองคูณด้วยระยะห่างระหว่างรูปตัดทั้งสองนั้น

นั่นคือ ปริมาตรระหว่างรูปตัดที่ 1 และรูปตัดที่ 2 จะเท่ากับ

$$\frac{\left(\text{พื้นที่ของรูปตัดที่}1+\text{พื้นที่ของรูปตัดที่}2\right)\times\text{ระยะห่างระหว่างรูปตัดทั้งสอง}}{2}$$

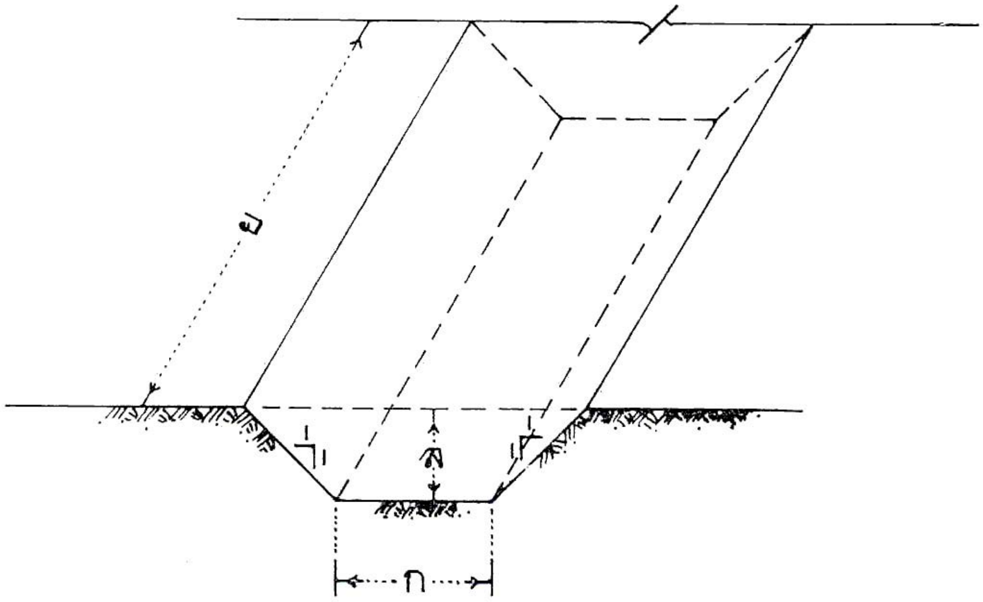
4. ปริมาตรดินถมอัดแน่นระหว่างปลายเขื่อนแต่ละฝั่งจนถึงรูปตัดรูปแรก ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 11-1 ดังกล่าวนั้น จะเท่ากับ $\frac{\textit{พื้นที่ของรูปตัดที่}\,1}{2}\times$ ระยะห่างระหว่างรูปตัดที่ 1 ถึงปลายเขื่อน และ $\frac{\textit{พื้นที่ของรูปตัดที่}\,5}{2}\times$ ระยะห่างระหว่างรูปตัดที่ 5 ถึงปลายเขื่อน

5. ปริมาตรดินถมอัดแน่นของตัวเขื่อนตามรูปที่ 11-1 ทั้งหมด จะเท่ากับปริมาตรที่จะคำนวณได้ระหว่างรูปตัดแต่ละคู่ตามข้อ 3 และข้อ 4 รวมกันตลอดความยาวของเขื่อน



รูปที่ 11-1 การแบ่งรูปตัดตามขวางของตัวเขื่อนสำหรับการคำนวณปริมาตรดินถมอัดแน่น

11.1.2 การคำนวณปริมาตรดินขุดร่องแกน



รูปที่ 11-2 รูปประกอบตัวอย่างการหาปริมาตรดินขุดร่องแกน

ปริมาตรดินขุดร่องแกน คำนวณได้ดังนี้

ปริมาตรดินขุด = ล x ย x (ก+ล)

ตัวอย่างเช่น ระยะ "ย" เท่ากับ 100 เมตร ความกว้าง "ก" เท่ากับ 5 เมตร และความลึก "ล" เท่ากับ 3 เมตร

ปริมาตรดินขุด = 3 x 100 x (5+3)

= 2,400 ลูกบาศก์เมตร

สำหรับดินถมอัดแน่นของร่องแกนเขื่อน จะเท่ากับปริมาตรดินขุดจำนวนนี้ด้วย

11.1.3 การคำนวณปริมาตรคอนกรีต

ปริมาตรคอนกรีตทั้งหมดของอาคารจะสามารถคำนวณได้จากแบบซึ่งกำหนดความกว้าง ความยาวความสูง และความหนาของคอนกรีตไว้ โดยให้คำนวณหาปริมาตรของอาคารแต่ละส่วน เช่น พื้นราบ พื้นลาด และกำแพง ฯลฯ แล้วจึงหาปริมาตรรวมของคอนกรีตทั้งหมด

ตัวอย่างสูตรสำหรับหาปริมาตรรูปทรงต่างๆ ดังนี้

1. ปริมาตรของแท่งทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ลูกบาศก์)

   = $(\text{ความยาวของด้าน})^3$

2. ปริมาตรของแท่งทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

   = กว้าง x ยาว x สูง (หรือหนา)

3. ปริมาตรของแท่งปริซึมทรงสามเหลี่ยม

   = ½ x กว้าง x สูง x ยาว (หรือหนา)

4. ปริมาตรของแท่งรูปปิระมิด

   = 1/3 x พื้นที่ฐาน x สูง (หรือหนา)

   (พื้นที่ฐานอาจจะเป็นพื้นที่ของสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผืนผ้า หรือสามเหลี่ยม)

5. ปริมาตรของแท่งทรงกระบอกกลม

   = 22/7 x $(\text{รัศมีของวงกลม})^2$ x สูง

11.1.4 การคำนวณปริมาตรหินก่อ

หินก่อที่ก่อสร้างจะใช้วัสดุซึ่งประกอบด้วยหินขนาดใหญ่ หินย่อย ทราย และซีเมนต์ ซึ่งการทำงานหินก่อ จะก่อเรียงเป็นชั้นจนได้ขนาดและความหนาที่ต้องการ คล้ายกับการก่ออิฐ แต่หินก่อจะต้องเทอัดปูนก่อ (ซีเมนต์ผสมทรายและน้ำ) บรรจุลงไปในช่องว่างของหินใหญ่ ซึ่งมีหินย่อยแซมอยู่บ้างเล็กน้อยจนเต็มช่องว่างทุกแห่งโดยตลอด และหินก่อดังกล่าวจะต้องมีความทึบน้ำจะซึมผ่านไม่ได้เช่นเดียวกับคอนกรีตด้วย

ปริมาตรของหินก่อที่ต้องการใช้งานทั้งหมด จะสามารถคำนวณได้ จากงานแต่ละส่วนของอาคาร แล้วคำนวณรวมเป็นปริมาตรทั้งหมด เช่นเดียวกับการคำนวณปริมาตรของคอนกรีตดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

สำหรับปริมาตรของซีเมนต์ ทราย หินย่อย และหินขนาดใหญ่ ที่จะใช้ทำหินก่อจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตร โดยทั่วไปของการทำงานในสนามจะใช้ซีเมนต์ 4 ถุง ทราย 0.25 ลูกบาศก์เมตร หินย่อย 0.3 ลูกบาศก์เมตร และหินใหญ่ประมาณ 1.15 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเมื่อทราบจำนวนหินก่อทั้งหมด ก็จะสามารถคำนวณ หาปริมาตรของวัสดุแต่ละชนิดที่ต้องการใช้งานทั้งหมดได้

11.1.5 การคำนวณปริมาตรหินเรียงและหินทิ้ง

ปริมาตรหินเรียงและหินทิ้ง มีรายละเอียดการคำนวณ ดังนี้ :-

1. หินเรียง หมายถึง หินขนาดใหญ่ ที่นำมาเรียงกันเป็นชั้นให้เป็นระเบียบจนได้ความหนาที่ต้องการ โดยในช่องว่างระหว่างหินใหญ่นั้นจะอัดแซมด้วยหินย่อย หรือกรวดขนาดต่างๆ และทรายให้เต็มช่องว่างด้วย

สำหรับหินเรียงจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งได้เผื่อการสูญเสียในขณะทำงานไว้แล้ว จะต้องใช้หินขนาดใหญ่ประมาณ 1.15 ลูกบาศก์เมตร ทราย 0.3 ลูกบาศก์เมตร และหินย่อยหรือกรวดอีก 0.5 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นเมื่อทราบจำนวนหินเรียงทั้งหมด ก็สามารถที่จะคำนวณหาปริมาตรวัสดุที่จะใช้แต่ละชนิดทั้งหมดได้

2. หินทิ้ง หมายถึง หินที่ได้นำมาปูเรียงด้วยแรงคน หรือทิ้งจากรถขนหินในบริเวณที่ต้องการให้ได้ความหนาที่กำหนด โดยไม่ต้องแซมหินย่อย หินที่ใช้ควรจะเป็นหินใหญ่ที่มีขนาดคละกัน โดยมีขนาดใหญ่ที่สุดไม่เกิน 2/3 ของความหนาที่ต้องการจะปู จำนวนหินทิ้งสามารถคำนวณได้จากแบบโดยเผื่อการสูญเสียในขณะทำงานไว้บ้างเล็กน้อย

ตารางที่ 11-1 แสดงตัวอย่างแบบรายการราคาค่าก่อสร้างอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก โดยไม่รวมค่าดำเนินการ

ลำดับ	รายการ	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	ปริมาณงาน	ราคางาน (บาท)
1	**งานก่อสร้างเขื่อนดิน**				
	1.1 งานถากถางและล้มต้นไม้	ตร.ม.			
	1.2 งานขุดเปิดหน้าดิน	ลบ.ม.			
	1.3 งานดินขุดและขนย้าย	ลบ.ม.			
	1.4 งานดินถมบดอัดแน่นตัวเขื่อน	ลบ.ม.			
	1.5 งานกรวดทรายกรองน้ำ	ลบ.ม.			
	1.6 งานหินก่อ	ลบ.ม.			
	1.7 งานหินเรียง	ลบ.ม.			
	1.8 งานหินทิ้ง	ลบ.ม.			
	1.9 งานกรวดทรายรองพื้น	ลบ.ม.			

ลำดับ	รายการ	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	ปริมาณงาน	ราคางาน (บาท)
2	**งานอาคารประกอบเขื่อน**				
	2.1 งานดินขุดและขนย้าย	ลบ.ม.			
	2.2 งานคอนกรีตโครงสร้าง	ลบ.ม.			
	2.3 งานเหล็กเสริมคอนกรีต	ลบ.ม.			
	2.4 งานท่อเหล็กอาบสังกะสี				
	- ขนาด dia.2"	เมตร			
	- ขนาด dia.4"	เมตร			
	- ขนาด dia.6"	เมตร			
	2.5 งานท่อพีวีซี				
	- ขนาด dia.150 มม.	เมตร			
	- ขนาด dia.200 มม.	เมตร			
	2.6 งานท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก				
	- ขนาด dia.300 มม.	เมตร			
	- ขนาด dia.400 มม.	เมตร			
	- ขนาด dia.500 มม.	เมตร			
	2.7 งานประตูบังคับน้ำ				
	- ขนาด dia.2"	ชุด			
	- ขนาด dia.4"	ชุด			
	- ขนาด dia.6"	ชุด			
	- ขนาด dia.8"	ชุด			
	- ขนาด dia.12"	ชุด			
	- ขนาด dia.16"	ชุด			
	- ขนาด dia.20"	ชุด			

รายชื่อเอกสารที่เกี่ยวข้อง

1. กรมชลประทาน, **มาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีต**, 2535.

2. Razgar Baban. **Design of Diversion Weirs**, JOHN WILEY & SONS,1995.

3. กองวิทยาการธรณี กรมชลประทาน, 2531. **มาตรฐานการสำรวจทางวิทยาการธรณีเขื่อนกักเก็บน้ำและอาคารประกอบ**.

4. เกษตรศาสตร์, 2541. **โครงการฐานข้อมูลเขื่อนเพื่อประเมินความปลอดภัยและบำรุงรักษาของสำนักงาน ชลประทานที่** 9, รายงานสรุปโครงการ.

5. คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานเขื่อนเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ, **แนวทางและหลักเกณฑ์การออกแบบเขื่อนเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ**, 2545.

6. ปราโมทย์ ไม้กลัด, 2524. **คู่มืองานเขื่อนดินขนาดเล็กและฝาย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. นนทบุรี : สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน.

7. ปราโมทย์ ไม้กลัด, 2526. **การบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ**, เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการทำงานชลประทาน.

8. วรากร ไม้เรียง, 2542. **วิศวกรรมเขื่อนดิน**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ไลบรารี่นาย.

9. วรากร ไม้เรียง, 2546. **เอกสารการสอนชุดวิชา เทคนิคการก่อสร้างขนาดใหญ่ หน่วยที่ 16 งานเขื่อน**.

10. วรากร ไม้เรียง, 2547. **โครงการงานศึกษาความเหมาะสมโครงการปรับปรุงเขื่อนลำปาว จังหวัดกาฬสินธุ์**, รายงานความก้าวหน้า.

11. ส่วนสำรวจภูมิประเทศ, 2542. **หลักการสำรวจและทำแผนที่**. สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา กรมชลประทาน. กรุงเทพฯ.

ที่ปรึกษา

1. นายสาโรช	คัชมาตย์	อธิบดีกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น
2. นายชุมพร	พลรักษ์	รองอธิบดีกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น
3. นายธวัชชัย	ฟักอังกูร	รองอธิบดีกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น
4. นายวัลลภ	พริ้งพงษ์	รองอธิบดีกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น
5. รศ.ต่อตระกูล	ยมนาค	นายกสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
6. ดร.สุขุม	สุขพันธ์โพธาราม	เลขาธิการสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

คณะผู้จัดทำในส่วนของกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น

1. นายธวัชชัย	ฟักอังกูร	รองอธิบดีกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น
2. นายอำนวย	ตั้งเจริญชัย	ผู้อำนวยการสำนักมาตรฐานการบริหารงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น
3. นางราตรี	รัตนไชย	ผู้อำนวยการส่วนมาตรฐานการบริหารงานท้องถิ่น
4. นายศิริวัฒน์	บุปผาเจริญ	ผู้อำนวยการส่วนมาตรฐานการบริการท้องถิ่น
5. นายประสูตร	เหลืองสมานกุล	เจ้าพนักงานปกครอง 7 ว
6. นายศิวพล	บัวสงค์	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์นโยบายและแผน 7 ว
7. นายอวยชัย	พัศดุรักษา	เจ้าพนักงานปกครอง 6 ว
8. นายพีรวิทย์	พงค์สุรชีวิน	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์นโยบายและแผน 4
9. นายกิตติธัช	เกิดขวัญ	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์นโยบายและแผน 3
10. นายธรินทร์	นวลฉวี	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์นโยบายและแผน 3
11. นางสาวจุฑามาศ	บุญเนื่อง	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์นโยบายและแผน 3
12. ว่าที่ ร.ต.ก้องเกียรติ	นัยนาประเสริฐ	เจ้าพนักงานปกครอง 3

-

คณะผู้จัดทำในส่วนของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ มาตรฐานอ่างเก็บน้ำและเขื่อนขนาดเล็ก

1.	รศ.ดร.วรากร	ไม้เรียง	ประธานอนุกรรมการ
2.	นายสุรสิทธิ์	อินทรประชา	รองประธานอนุกรรมการ
3.	นายวรวุฒิ	ปิณฑะบุตร	อนุกรรมการ
4.	นางสาวพนารัตน์	ขำวงฆ้อง	อนุกรรมการ
5.	ดร.สุทธิศักดิ์	ศรลัมพ์	อนุกรรมการและเลขานุการ