

## บทที่ 7

### การออกแบบตัวเขื่อน

#### 7.1 ขั้นตอนในการออกแบบตัวเขื่อน

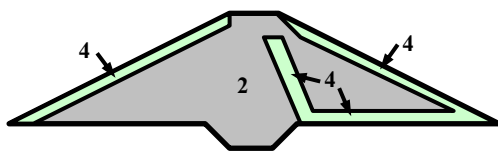
เมื่อกำหนดแนวแกนเขื่อนแล้วจะเป็นการออกแบบเขื่อน ซึ่งต้องมีการผสมผสานความรู้หลายสาขามาผนวกรวมกัน โดยเฉพาะด้านกลศาสตร์ของดิน ธรณีวิทยา และชลศาสตร์ ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. การรวบรวมข้อมูลเพื่อการออกแบบ ประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

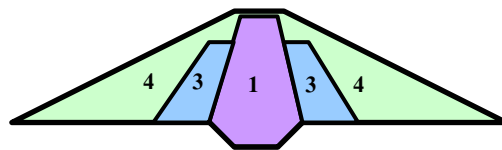
- ข้อมูลทางด้านธรณีสถาณารากเขื่อน
- ข้อมูลทางด้านวัสดุก่อสร้างตัวเขื่อน
- ข้อมูลจากแรงและน้ำหนักที่เกี่ยวข้อง
- ข้อมูลระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ

2. การกำหนดหน้าตัดเบื้องต้นของตัวเขื่อน จากการพิจารณาข้อมูลในข้อ 1. วิศวกรสามารถกำหนดหน้าตัดเขื่อนในเบื้องต้นได้ ส่วนมากจะกำหนดเป็นสองลักษณะคือเขื่อนดินเนื้อเดียว เมื่อมีวัสดุก่อสร้างส่วนมากเป็นดินชนิดเดียว หรือ เขื่อนดินแบ่งส่วนซึ่งประกอบด้วยดินหลายชนิด ดังแสดงในรูปที่ 7-1

เขื่อนดินเนื้อเดียว (Homogeneous earth dam)



เขื่อนดินแบ่งส่วน (Earth zoned dam)



1 หมายถึง ดินเหนียวที่บดน้ำ

2 หมายถึง ดินกึ่งที่บดน้ำ

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

- $\frac{D_{15F}}{D_{15S}} > 5$  (Drainage Requirement)

- $\frac{D_{15F}}{D_{85S}} < 5$  (Piping Requirement)

- $\frac{D_{50F}}{D_{50S}} < 25$  (Piping Requirement)

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

$D_{15S}, D_{50S}, D_{85S}$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของดินตัวเขื่อน หรือดินฐานรากที่เปอร์เซ็นต์ Finer 15, 50 และ 85 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

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

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

ตารางที่ 7-1 เกณฑ์กำหนดค่าสุดและมาตราส่วนความปลอดภัย

กรณีที่	สภาพการวิเคราะห์	อัตราส่วนความปลอดภัย
1	เพื่อก่อสร้างเสร็จ (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) แต่ถ้าหากเป็นเขื่อนขนาดใหญ่ จะต้องมีการคำนวณจากผลของการทดสอบการทรุดตัวของดินตัวเขื่อนโดยตรง

2. การกำหนดเครื่องมือวัดพฤติกรรมเพื่อตรวจสอบความปลอดภัย เขื่อนมีระยะเวลาการใช้งานยาวนานตามอายุของการออกแบบ (ประมาณ 50 - 100 ปี) ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดเครื่องมือที่เหมาะสมเพื่อตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อนทั้งในระหว่างการก่อสร้างและใช้งาน เช่น มาตรฐานวัดความดันน้ำ มาตรฐานการทรุดตัว มาตรฐานวัดปริมาณน้ำที่รั่วซึม เป็นต้น ซึ่งวิศวกรจะต้องพิจารณา กำหนดตามความจำเป็น

3. การเขียนแบบเขื่อนและเกณฑ์กำหนดด้านเทคนิคเพื่อการก่อสร้าง ขั้นตอนสุดท้ายของการออกแบบเขื่อน คือ การนำเอาผลการออกแบบมาเขียนรายละเอียดที่จำเป็นเพื่อการก่อสร้าง ประกอบคำอธิบายหรือเกณฑ์กำหนดทางด้านเทคนิคตามที่วิศวกรระบุให้ใช้ควบคู่กับแบบ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการควบคุมงานก่อสร้างให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบ ข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย

- แปลนแสดงที่ตั้งและองค์ประกอบเขื่อน
- ตำแหน่งของบ่อขุดดินและคุณสมบัติดิน
- ลักษณะของดินฐานรากจากการเจาะสำรวจ
- แปลนแสดงระดับการขุดฐานรากและร่องแกน
- แปลนการปรับปรุงฐานรากเขื่อน
- รูปตัดตามแนวแกนเขื่อนแสดงระดับสันเขื่อน ระดับการขุดร่องแกน
- รูปตัดตามขวางของหน้าตัดเขื่อนที่ตำแหน่งต่างๆ
- รายละเอียดของสันเขื่อนดินเขื่อนและชั้นกรอง
- 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. ดินที่บ้น้ำแกนเขื่อนและดินเหนียวรองใต้แกนเขื่อน
  - 2.1 ขอบเขตของงาน
  - 2.2 แหล่งของดินที่บ้น้ำ
  - 2.3 คุณสมบัติที่ต้องการของดินที่บ้น้ำ
  - 2.4 การทดสอบคุณสมบัติดินที่บ้น้ำ
  - 2.5 การปรับปรุงฐานรากใต้แกนเขื่อน
  - 2.6 วิธีถมดินและบดอัดดินที่บ้น้ำ
  - 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

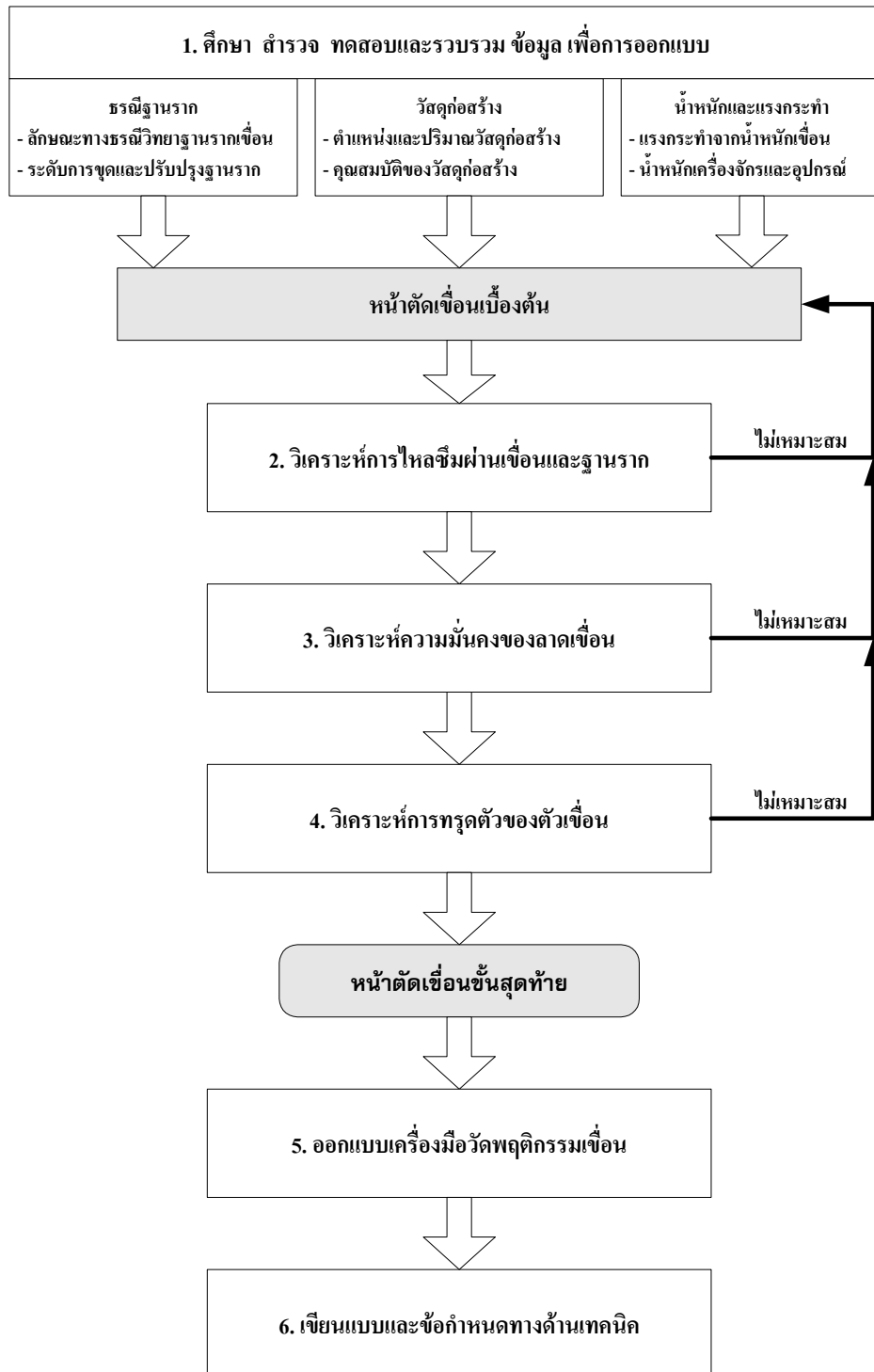
### 7.3 หลักการออกแบบโดยทั่วไป

การออกแบบและก่อสร้างเขื่อนดิน มีหลักเกณฑ์ทั่วไป ดังต่อไปนี้

1. ความมั่นคง (Stability) ของลาดเขื่อน ลาดเขาที่เขื่อนเกาะอยู่ และลาดดินขอบอ่างเก็บน้ำจะต้องมีเสถียรภาพไม่พังทลายในทุกสภาวะ ทั้งในขณะก่อสร้างและในระหว่างการใช้งาน
2. การไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนและใต้ฐานเขื่อน (Seepage) จะต้องมีการปิดกั้นและการควบคุมที่ดีเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียน้ำหรือการกัดเซาะพัดพาวัสดุตัวเขื่อนออกไปได้
3. การกระจายน้ำหนักของตัวเขื่อนสู่ฐานราก (Bearing Stress) จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักแบกทานของดิน หรือหินฐานรากใต้เขื่อน ไม่ให้เกิดการพังทลาย
4. สันเขื่อนจะต้องสูงกว่าระดับน้ำเก็บกักมากพอ (Freeboard) ที่จะป้องกันไม่ให้น้ำล้นสันเขื่อน อันเนื่องมาจากน้ำหลาก หรือคลื่นซึ่งเกิดจากลมหรือแผ่นดินไหวในอ่างเก็บน้ำ
5. ทางระบายน้ำล้น (Spillway) จะต้องมีความใหญ่พอที่จะระบายน้ำส่วนที่เกินความต้องการที่จะเก็บกักไว้ใช้ประโยชน์ 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