

คู่มือ
การบำรุงรักษา
เขื่อนดินและอาคารประกอบ



จัดทำโดย
คณะทำงานจัดทำคู่มือการบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ
กรมชลประทาน
กันยายน 2558



คำนำ

เขื่อนถือว่าเป็นสิ่งก่อสร้างทางวิศวกรรมที่มีความสำคัญต่อประเทศชาติ เพราะให้ผลประโยชน์ที่มนุษย์จะได้รับโดยตรงมีหลายประการ เช่น เพื่อการชลประทาน การผลิตกระแสไฟฟ้า การประปา การหนูนระดับน้ำและไล่น้ำเค็ม ส่วนผลประโยชน์ในทางอ้อมคือ น้ำที่เก็บกักอยู่ในอ่างหน้าเขื่อนสามารถใช้เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ปลา และเป็นแหล่งประมง นอกจากนี้ยังใช้เป็นเส้นทางสัญจรสำหรับการคมนาคมทางน้ำ การป้องกันอุทกภัยและใช้เป็นแหล่งท่องเที่ยวได้

ในการที่จะได้เขื่อนใหม่ขึ้นเขื่อนหนึ่งนั้น นับว่ามีขั้นตอนที่ยุ้งยากมากอีกทั้งต้องใช้เวลาที่ค่อนข้างยาวนาน เริ่มตั้งแต่การศึกษาความเหมาะสมไปจนถึงก่อสร้างแล้วเสร็จ ซึ่งอายุการใช้งานของเขื่อนนอกจากปริมาณตะกอนสะสมแล้ว อาจขึ้นอยู่กับปรากฏการณ์ธรรมชาติ ได้หลายอย่างเช่นการเกิดอุทกภัย (Floods) อย่างฉับพลันเป็นเหตุให้น้ำล้นสันเขื่อน การเกิดแผ่นดินไหว (Earthquake) อันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกตามรอยต่อและรอยเลื่อน (Fault) ต่าง ๆ ที่เป็น Active fault ในบริเวณที่เป็น Seismic Zone และหรืออาจขึ้นอยู่กับการเสื่อมสภาพของวัสดุรองรับตัวเขื่อน หรือวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ก่อสร้างเขื่อน ซึ่งต้องเสื่อมสภาพไปตามกาลเวลา นอกจากนี้แล้วอายุการใช้งานของเขื่อนอาจสั้นลง ถ้าหากมีการ Operate ที่บกพร่องหรือไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ

สภาพอาคารชลประทานในปัจจุบันส่วนใหญ่มีการก่อสร้างมาเป็นระยะเวลายาวนาน สภาพอาคารมีการเสื่อมสภาพไปตามระยะเวลา ดังนั้นเพื่อให้อาคารชลประทานมีสภาพความพร้อมต่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ การดูแลบำรุงรักษาอาคารชลประทานอย่างถูกวิธี และถูกต้องตามหลักวิชาการ จึงมีความสำคัญและจำเป็นที่จะต้องเข้ามามีบทบาท

คู่มือดูแลบำรุงรักษาเขื่อนและอาคารประกอบนี้ จะช่วยลดปัญหาในการดูแลบำรุงรักษาเขื่อนและอาคารประกอบได้เป็นอย่างดี โดยโครงการฯ สามารถนำวิธีการที่ได้จากคู่มือนี้ไปเป็นแนวทางการปฏิบัติในการดูแลบำรุงรักษาได้ด้วยตนเอง

คณะทำงานจัดทำคู่มือการบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ

กันยายน 2558



คำสั่งสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา

ที่ ๑๓ / ๒๕๕๗

เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำคู่มือการบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ

ตามที่ทีมงานจัดการความรู้ สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยาได้พิจารณาและเลือกองค์ความรู้ที่จำเป็นต่อการปฏิบัติราชการ ตามประเด็นยุทธศาสตร์การป้องกันและบรรเทาภัยจากน้ำ และนำมาจัดการองค์ความรู้ สำหรับปีงบประมาณ พ.ศ.๒๕๕๗ โดยได้เลือกองค์ความรู้ที่จำเป็นมาดำเนินการ คือ การบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ นั้น

ดังนั้น เพื่อให้การดำเนินงานจัดการความรู้ เรื่องการบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ เกิดประโยชน์ในการสนับสนุนการบริหารจัดการน้ำและการป้องกันและบรรเทาภัยจากน้ำ ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น รวมทั้งการลดอัตราความเสี่ยงต่อการวิบัติของเขื่อนดินและอาคารประกอบ ตลอดจนให้โครงสร้างเหล่านี้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานและเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้หลักการในการดำเนินการด้านบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ ในวงกว้าง จึงแต่งตั้งคณะทำงานจัดทำคู่มือ การบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ โดยมีองค์ประกอบและหน้าที่รับผิดชอบดังนี้

องค์ประกอบ

๑. นายทองเปลว กองจันทร์	ผส.บอ.	ที่ปรึกษาคณะทำงาน
๒. นายสมภพ สุจริต	ผชช.จช.๒	ที่ปรึกษาคณะทำงาน
๓. นายประวิติ มงคลเนาวรัตน์	ผชช.จช.๔	ที่ปรึกษาคณะทำงาน
๔. นายเพิ่มพร โสภณางกูร	ผปช.	ประธานคณะทำงาน
๕. นางสาวอัจฉรา ชุมวงศ์	กช.อบ.	คณะทำงาน
๖. นางสาวอรุณา เขียวคุณา	กท.ปช.	คณะทำงาน
๗. นายศรมิษฐ์ สิงห์คนอง	ผจน.คบ.เขื่อนป่าสักชลสิทธิ์	คณะทำงาน
๘. นายวรกร เจริญวงศ์	ผสบ.คบ.๑ เพชรบูรณ์	คณะทำงาน
๙. นายไตรทิพย์ มังกรโหทัย	กว.ปช.	คณะทำงาน
๑๐. นายจักรกริช นาควิโรจน์	วิศวกรชลประทานชำนาญการ	คณะทำงาน
๑๑. นายธีรพงษ์ พันทอง	วิศวกรชลประทานชำนาญการ	คณะทำงาน
๑๒. นายเอกพงษ์ แน่นอุดร	วิศวกรโยธาปฏิบัติการ	คณะทำงานและเลขานุการ
๑๓. นายดุขฎิ ศรีสุข	วิศวกรชลประทาน	คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

/อำนาจ..



อำนาจหน้าที่

๑. รวบรวม/ศึกษา โครงสร้าง/กลไกการวิบัติ/การบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ
 ๒. จัดทำคู่มือการใช้งานการบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ
 ๓. เผยแพร่ ชี้แจง สร้างความเข้าใจและแลกเปลี่ยนเรียนรู้การใช้งานบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ
- ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๒๙ เมษายน พ.ศ. ๒๕๕๗

(นายทองเปลว กองจันทร์)

ผู้อำนวยการสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา



สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1-1
- คำนิยาม	1-1
- อายุการใช้งานของเขื่อน	1-3
- สถิติการเสียหายของเขื่อน	1-4
- ปัญหาต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้เขื่อนพังหรือเสียหาย	1-7
- แนวทางการบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ	1-11
- การบริหารจัดการเพื่อความปลอดภัยเขื่อน	1-12
- การตรวจสอบสภาพเขื่อนดินและอาคารประกอบ	1-13
 บทที่ 2 โครงสร้างเขื่อนดินและอาคารประกอบ	 2-1
- เขื่อนดิน	2-1
- โครงสร้างเขื่อนดิน	2-1
- พฤติกรรมและจุดอ่อนของเขื่อนดิน	2-10
- อาคารประกอบ	2-13
- โครงสร้างอาคารระบายน้ำล้น	2-13
- พฤติกรรมและจุดอ่อนของอาคารระบายน้ำล้น	2-23
- โครงสร้างของอาคารทอส่งน้ำ	2-25
- พฤติกรรมและจุดอ่อนของอาคารทอส่งน้ำ	2-31
 บทที่ 3 การบำรุงรักษาเขื่อนดิน	 3-1
- แนวทางการบำรุงรักษาเขื่อนดิน	3-1
- ตัวอย่างปัญหาและการแก้ไข	3-11
 บทที่ 4 การบำรุงรักษาอาคารประกอบ	 4-1
- แนวทางการบำรุงรักษาอาคารประกอบ	4-1
- ตัวอย่างปัญหาและการแก้ไข	4-5

บรรณานุกรม



บทที่ 1

บทนำ

คำนิยาม

การบำรุงรักษา หมายถึง การซ่อมแซมและตกแต่งส่วนของอาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่ชำรุดเสียหายให้มีสภาพดีดังเดิม และรวมไปถึงการปรับปรุงในลักษณะต่าง ๆ เป็นต้นว่า การปรับปรุงตามรูปแบบเดิม เพิ่มเติมและแก้ไขอาคารเพียงบางส่วนหรือทั้งหมด เพื่อให้อาคารหรือสิ่งก่อสร้างนั้นใช้งานได้ตามจุดมุ่งหมาย และมีความปลอดภัย ซึ่งเป็นงานที่มีความสำคัญเท่าเทียมกับงานวางโครงการ สรรวจออกแบบและก่อสร้าง ซึ่งวิศวกรและนายช่างผู้ปฏิบัติงานด้านนี้จะต้องหมั่นตรวจสอบสภาพอาคารและสิ่งก่อสร้างสม่ำเสมอ มีความเข้าใจถึงการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อค้นหาสาเหตุของการชำรุดเสียหาย และจะต้องมีความสามารถในการวางแผนและกำหนดวิธีการซ่อมแซมหรือปรับปรุงให้เหมาะสมกับหลักวิธีการได้เป็นอย่างดีอีกด้วย

การซ่อมแซม

การซ่อมแซมแบ่งได้ 3 ลักษณะ ดังนี้

1. การซ่อมแซมเล็กน้อย หมายถึง การซ่อมแซมบำรุงหรือตกแต่งส่วนที่ตรวจพบว่าการชำรุดเสียหาย หรือมีความผิดปกติไปจากเดิมยังไม่มากนัก การซ่อมแซมเล็กน้อยควรปฏิบัติอย่างสม่ำเสมอ หรือกระทำทันทีเมื่อตรวจพบ โดยไม่ปล่อยทิ้งไว้ จนการชำรุดเสียหายนั้นลุกลามขยายตัวไปมาก การซ่อมแซมเล็กน้อยจะสามารถกระทำได้ดีและครบถ้วน ควรมีการตรวจสอบตัวเขื่อนและอาคารส่วนต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอเป็นประจำ เฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาสำคัญ เช่น ตอนช่วงฤดูฝน เมื่อเขื่อนดินกักกั้นน้ำสูงเต็มที่ และระหว่างหรือหลังจากมีน้ำจำนวนมากไหลผ่านอาคารระบายน้ำล้น เป็นต้น รวมทั้งความเอาใจใส่ของผู้ปฏิบัติงานและผู้รับผิดชอบด้วย

2. การซ่อมแซมประจำปี หมายถึง การซ่อมแซมใหญ่ประจำปี จนทั่วตลอดทั้งตัวเขื่อนและอาคาร ในบริเวณที่มีการชำรุดเสียหาย ให้มีสภาพดีเช่นเดิม

สำหรับเขื่อนดินและอาคารทุกแห่ง ควรจะมีการกำหนดแผนซ่อมแซมประจำปีไว้เสมอ เพื่อซ่อมแซมสิ่งบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจหลงเหลืออยู่ให้มีสภาพสมบูรณ์ครบถ้วนหรือใกล้เคียงกับสภาพตอนสร้างเสร็จใหม่ ๆ การละเลยต่อการซ่อมแซม กับส่วนใดส่วนหนึ่งของเขื่อนดินและอาคารประกอบซึ่งกำลังชำรุดเสียหายเป็นเวลาหลายปีติดต่อกัน มักเป็นสาเหตุสำคัญทำให้ต้องมีการก่อสร้างเพื่อปรับปรุงด้วยค่าใช้จ่ายสูง หรือด้วยวิธีการที่ยากลำบากยิ่งขึ้น ดังปรากฏให้เห็นในปัจจุบัน ซึ่งมีเขื่อนดินหลายแห่งกำลังมีการปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อแก้ไขให้พ้นจากสภาพในระดับอันตราย

3. การซ่อมแซมฉุกเฉิน หมายถึง การซ่อมแซมส่วนใดส่วนหนึ่งของตัวเขื่อนและอาคารประกอบที่ชำรุดเสียหายในทันทีทันใด เพราะถ้าหากปล่อยทิ้งไว้เขื่อนหรืออาคารประกอบนั้นจะได้รับอันตราย ซึ่งการซ่อมแซมลักษณะนี้อาจเป็นการซ่อมไว้เพียงชั่วคราวเพราะความเร่งด่วน หลังจากนั้นจึงจะกระทำการซ่อมแซมให้เรียบร้อย



การปรับปรุง

การปรับปรุงแบ่งได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

1. การปรับปรุงตามรูปแบบเดิม หมายถึง การก่อสร้างเพื่อปรับปรุงใหม่ทั้งหมด หรือเกือบทั้งหมดตามรูปแบบที่เคยมีการออกแบบไว้เดิม ในกรณีที่อาคารนั้นได้ก่อสร้างและใช้งานมานานจนหมดอายุ หรือเสื่อมโทรมไปมากตามอายุขัยของวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง การปรับปรุงลักษณะนี้มักไม่ค่อยพบ สำหรับงานเขื่อนดินเก็บกักน้ำและอาคารประกอบ

2. การปรับปรุงด้วยการก่อสร้างเพิ่มเติมและแก้ไข หมายถึง การปรับปรุงด้วยการก่อสร้างเพิ่มเติมหรือแก้ไขส่วนใดส่วนหนึ่ง หรือทำการก่อสร้างใหม่ทั้งหมดโดยเปลี่ยนรูปแบบไปจากเดิม

สำหรับงานเขื่อนดินและอาคารประกอบมักจะมีการปรับปรุงโดยการก่อสร้างเพิ่มเติมหรือแก้ไขเปลี่ยนแปลงเพียงส่วนใดส่วนหนึ่งเสมอ เพื่อให้ตัวเขื่อนและอาคารมีความมั่นคงแข็งแรงดีหรือเพื่อให้ใช้งานได้ตามที่วางโครงการไว้ ส่วนการปรับปรุงใหม่ทั้งหมดโดยการเปลี่ยนแปลงรูปแบบเดิม จะมีอยู่บ้างกับอาคารของโครงการเขื่อนเก็บกักน้ำบางแห่ง ในกรณีที่ Criteria ของการออกแบบได้กำหนดไว้ไม่สอดคล้องกับวิธีการ Operate ที่เหมาะสมหรือเมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงเค้าโครงงานส่วนใหญ่ของโครงการ

เขื่อนดินและอาคารประกอบ

1. เขื่อนเก็บกักน้ำ เป็นอาคารที่สร้างปิดกั้นลำน้ำหรือลำห้วยที่มีน้ำไหลผ่านเพื่อกั้นน้ำไว้ให้ได้ปริมาณตามที่ต้องการ เพื่อนำน้ำที่เก็บกักไว้ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ซึ่งโดยส่วนใหญ่เขื่อนเก็บกักน้ำของกรมชลประทาน จะนำน้ำไปใช้เพื่อการเพาะปลูกเป็นหลัก อย่างไรก็ตามยังสามารถใช้น้ำในกิจการอื่นๆได้อีกด้วย เขื่อนเก็บกักน้ำ มีหลายแบบหลายชนิด แต่ที่จะกล่าวในเอกสารฉบับนี้ เป็นชนิดเขื่อนดิน หรือเขื่อนดินถมบดอัดแน่น ซึ่งบางท่านอาจจะคุ้นเคยกับคำเรียกว่า ทำนบกิน ก็ได้ แต่ก็ถือว่าเป็นอาคารประเภทเดียวกัน ทั้งนี้ตามข้อบังคับสภาวิศวกร ว่าด้วยมาตรฐานการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม สาขาวิศวกรรมโยธา พ.ศ.2546 กำหนดให้เขื่อนดินและอาคารประกอบ ฝ่าย อุโมงค์ท่อระบายน้ำ หรือระบบชลประทาน ที่มีความสูงมากกว่า 1.50 เมตร หรือมีความจุตั้งแต่ห้าสิบลูกบาศก์เมตร หรือมีอัตราการไหลของน้ำตั้งแต่หนึ่งลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีขึ้นไป ถือว่าเป็นลักษณะของงานวิศวกรรมควบคุม สาขาวิศวกรรมโยธา

2. อาคารทางระบายน้ำล้น เป็นอาคารที่สร้างขึ้นบริเวณใกล้กับหรือที่ตัวเขื่อนเก็บกักน้ำ เพื่อให้สามารถระบายน้ำส่วนเกินนอกเหนือจากที่ต้องการเก็บกักไว้ให้ไหลล้นออกไปทางด้านท้ายน้ำเข้าสู่ลำน้ำเดิม โดยไม่ทำให้เกิดอันตรายหรือความเสียหายกับตัวเขื่อน ซึ่งจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า หากไม่มีอาคารชนิดนี้จะทำให้ไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำ และระดับน้ำได้ตามที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เนื่องจากระดับน้ำและปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำจะเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องไปเรื่อยๆ หากยังมีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ตลอดเวลา และมากกว่าปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำในที่สุด จะทำให้น้ำล้นขอบอ่างเก็บน้ำ หรือล้นข้ามสันเขื่อนและเกิดการกัดเซาะที่ตัวเขื่อน ซึ่งอาจจะเป็นอันตรายต่อความมั่นคงแข็งแรง จนถึงขั้นทำให้เกิดการวิบัติได้ในที่สุด หากปล่อยให้เหตุการณ์เช่นนั้นเกิดขึ้นจะทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของราษฎรที่อยู่ด้านท้ายน้ำ โดยอาจจะทำให้ไม่สามารถพัฒนาแหล่งน้ำในรูปแบบนี้ได้อีกต่อไป ดังนั้นจึงเห็นว่า มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดให้มีอาคารทางระบายน้ำล้นเป็นอาคารประกอบของตัวเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำ

3. อาคารท่อส่งน้ำ/ระบายน้ำ เป็นอาคารประกอบตัวเขื่อนอีกชนิดหนึ่งที่มีจำเป็นต้องมี โดยอาคารชนิดนี้จะทำหน้าที่นำน้ำที่เก็บกักไว้ในอ่างเก็บน้ำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ เช่น ด้านการเพาะปลูกท้ายน้ำ โดยการจัดส่ง



น้ำเข้าคลองชลประทานที่ได้จัดเตรียมไว้ สำหรับด้านการอุปโภคบริโภค และการรักษาสภาพลำน้ำเดิม ก็จะสามารถให้น้ำให้ไหลลงสู่ลำน้ำเดิม เป็นต้น

4. ถนนบำรุงรักษาท้ายเขื่อน เป็นอาคารประกอบเขื่อนอีกชนิดหนึ่ง ที่กำหนดไว้เพื่อใช้เป็นเส้นทางเข้าไปตรวจสอบสภาพเขื่อน เก็บข้อมูล บำรุงรักษาและใช้งานอาคารประกอบเขื่อนต่างๆ ตามที่ต้องการ เพื่อดูแลอาคารเหล่านั้นให้อยู่ในสภาพดี พร้อมทั้งจะใช้งานได้ตลอดเวลา

5. ถนนเข้าห้วยงาน เป็นเส้นทางที่ใช้สัญจรเข้าสู่โครงการที่ตัวเขื่อนหรือบริเวณที่ตั้งอาคารที่ทำการต่างๆ ที่อยู่ใกล้ตัวเขื่อน รวมทั้งใช้เป็นเส้นทางติดต่อกับหน่วยงานภายนอกด้วยเช่นกัน

6. ถนนทดแทนถนนเดิมที่ถูกน้ำท่วม เป็นเส้นทางที่กำหนดให้ราษฎรใช้สัญจรไปมาระหว่างหมู่บ้าน เช่นเดิม เหมือนในช่วงที่ยังไม่มีอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นถนนทดแทนถนนเดิมที่ถูกน้ำในอ่างเก็บน้ำท่วม และไม่สามารถใช้เป็นเส้นทางสัญจรได้อีกต่อไป

7. ถนนขึ้นสันเขื่อน เป็นถนนที่ใช้เพื่อขึ้นไปตรวจสอบสภาพเขื่อน ตลอดจนการบำรุงรักษาเขื่อนและอาคารประกอบ

8. ทำนบดินปิดช่องเขาขาด (หรือช่องเขาต่ำ) เป็นทำนบดินปิดช่องเขาบริเวณขอบอ่างเก็บน้ำที่มีระดับพื้นดินต่ำกว่าระดับน้ำสูงสุดเพื่อไม่ให้น้ำในอ่างเก็บน้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำ

9. อ่างเก็บน้ำ เป็นสภาพภูมิประเทศตามธรรมชาติที่เมื่อมีเขื่อนเก็บกักน้ำกั้นขวางทางน้ำเดิม จะทำให้น้ำเอ่อท่วมและถูกกักขังไว้จนได้ระดับและปริมาณตามที่ต้องการ โดยอ่างเก็บน้ำจะมีสภาพขอบอ่างโดยรอบที่มีระดับพื้นดินสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำ เพื่อเก็บกักน้ำไว้ไม่ให้ไหลล้นออกไปภายนอกอ่างเก็บน้ำได้

อายุการใช้งานของเขื่อน

โดยปกติแล้วอายุการใช้งานของเขื่อนคอนกรีตจะมากกว่า 100 ปี ขึ้นไปและสำหรับเขื่อนชนิดหินทิ้งและดินถมแบบต่าง ๆ ก็จะมีอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 60 ปี ขึ้นไปเช่นกัน หรือถ้ามองในแง่ของการออกแบบเขื่อนแล้วจะพบว่าเขื่อนหนึ่ง ๆ ที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถที่จะมีอายุการใช้งานได้นาน จนกระทั่งพบว่ามีตะกอนตกทับถมกันในส่วนที่ออกแบบไว้ให้เป็น Dead Storage เต็ม ซึ่งอาจจะกินเวลานานนับเป็นหลายร้อยปีก็เป็นได้ แต่ทั้งนี้เขื่อนนั้น ๆ จะต้องได้รับการดูแล, ตรวจสอบและการบำรุงรักษาที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ รวมทั้งต้องมีการ Operate ที่ถูกต้องและเหมาะสมด้วย

นอกจากนี้แล้วอายุการใช้งานของเขื่อน อาจขึ้นอยู่กับปรากฏการณ์ธรรมชาติ ได้หลายอย่างเช่นการเกิดอุทกภัย (Floods) อย่างฉับพลันเป็นเหตุให้น้ำล้นสันเขื่อน การเกิดแผ่นดินไหว (Earthquake) อันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกตามรอยต่อและรอยเลื่อน (Fault) ต่าง ๆ ที่เป็น Active fault ในบริเวณที่เป็น Seismic Zone และหรืออาจขึ้นอยู่กับสภาพของวัสดุรองรับตัวเขื่อน หรือวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ก่อสร้างเขื่อน ซึ่งต้องเสื่อมสภาพไปตามกาลเวลา นอกจากนี้แล้วอายุการใช้งานของเขื่อนอาจสั้นลง ถ้าหากมีการ Operate ที่บกพร่องหรือไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ



สถิติการเสียหายของเขื่อน

โดยทั่วไปแล้วเขื่อนแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมของการพังทลาย (Failure) หรือการเสียหายเป็นแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น เขื่อนชนิด Gravity Dam อาจล้มคว่ำ (Collapse) ได้ใน (Overstressed) เขื่อนชนิดมีครีบ (Buttress Dam) อาจพังทลายได้ในลักษณะต่อเนื่องกันไป เมื่อครีบตัวใดตัวหนึ่ง Fail ก็จะเป็นผลทำให้ครีบตัวอื่น ๆ พังทลายตามกันไปด้วย (Arch Dam) อาจเกิดรอยแตกได้ทันทีทันใด และพังทลายลงไปเลย ส่วนการพังทลายที่เกิดขึ้นกับเขื่อนชนิดดินถมหรือหินทิ้งแบบต่าง ๆ นั้นมักจะเกิดจากการกัดเซาะหรือการรั่วซึม (Seepage) เป็นส่วนใหญ่ซึ่งโดยปกติแล้วจะใช้เวลาค่อนข้างยาวนานจึงเกิดการพังทลายลงไป แต่ถ้าหากน้ำท่วมล้นสันเขื่อนก็อาจทำให้เขื่อนชนิดนี้พังทลายในเวลาสั้นได้

จากข้อมูลและสถิติที่รวบรวมได้พบว่า เขื่อนชนิดดินถม (Earthfill) มีอัตราของการพังทลายหรือเกิดความเสียหายมากที่สุด รองลงมาคือเขื่อนชนิด Gravity Dam, เขื่อนหินทิ้ง (Rockfill) และเขื่อนแบบโค้ง (Arch Dam) ชนิด Multiple และ Single ตามลำดับ

จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลของวิศวกรชาวสเปน (Ref.7.1) เกี่ยวกับสถิติของการพังทลายและความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเขื่อนชนิดต่าง ๆ ซึ่งตีพิมพ์ลงในวารสาร ชื่อ “Revista Deobras Publicas” นั้นพบว่าจากจำนวนเขื่อนชนิดต่าง ๆ ทั่วโลก รวม 1,620 เขื่อน มีสาเหตุของการพังทลาย (Failure) และเกิดความเสียหายในรูปแบบต่าง ๆ กันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้คือ

สาเหตุของการพังทลาย/เสียหาย	คิดเป็นร้อยละ
1. การ Failure ที่ฐานรากเขื่อน (Foundation Failure)	40
2. อาคารระบายน้ำ (Spillway) มีความสามารถในการระบาย (Capacity) น้อยเกินไป	23
3. จากการก่อสร้างที่ไม่พอดี	12
4. จากการทรุดตัว	10
5. เกิดแรงดันน้ำ (Pore Pressure) สูงเกินขนาด	5
6. จากการทำสงคราม	3
7. การเลื่อนตัว (Slip) ของเขื่อน	2
8. ใช้วัสดุก่อสร้างไม่ดีพอ	2
9. การ Operate ไม่ถูกต้องตามหลักปฏิบัติ	2
10. จากการเกิดแผ่นดินไหว	1

จากรายงานของรัฐบาลญี่ปุ่น ซึ่งได้ทำการสำรวจหาสาเหตุของการพังทลายของเขื่อนชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในประเทศญี่ปุ่นระหว่างปี ค.ศ.1950 - ค.ศ.1965 พบว่าจากเขื่อนจำนวนทั้งหมด 118 เขื่อน ซึ่งมีความสูง 15 เมตร หรือมากกว่าได้เกิดการพังทลายหรือเสียหายโดยมีสาเหตุมาจาก

1. ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง (Inflow) มากเกินกว่าที่ออกแบบไว้ คิดเป็น 38 เปอร์เซ็นต์
2. จากแผ่นดินไหวคิดเป็นจำนวน 6 เปอร์เซ็นต์
3. จากน้ำหลาก (Extreme Flood) และความมั่นคงของ ลักษณะทางธรณีฐานรากเขื่อน คิดเป็น 56 เปอร์เซ็นต์



จากการสำรวจและศึกษาของ Biewas และ Chatterjee ใน ค.ศ.1971 ในหัวข้อเรื่อง “Dam Disasters and Assessment” จากเขื่อนทั่วโลกที่ได้พังทลายหรือเสียหายไปแล้วสามารถที่จะสรุปถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการพังทลาย/เสียหาย คิดเป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ของแต่ละกรณีได้ดังนี้คือ

1. มีจำนวน 35 เปอร์เซ็นต์ ที่พังทลายลงมาจากสาเหตุของน้ำหลาก (Flood) ซึ่งมีปริมาณมากเกินไปเกินกำลังของอาคารระบายน้ำล้น (Spillway Capacity)

2. จำนวน 25 เปอร์เซ็นต์ มีสาเหตุมาจากปัญหาที่ฐานราก เช่น เกิดการรั่วซึม, เกิด Piping เกิดแรงดันน้ำภายในสูงเกินขนาด (Excessive Pore Pressure) มาน้ำที่บ้น้ำไม่เพียงพอ เกิดการเลื่อนตัวของรอยแยก (Fault Movement) เกิดการทรุดตัวและการพังทลายของหิน (Rock slides) ไหล่เขื่อน

3. จำนวนที่เหลือ 40 เปอร์เซ็นต์ มีสาเหตุจากปัญหาทั่วไปอื่น ๆ เช่น การออกแบบและก่อสร้างไม่ถูกต้องและดีพอ , วัสดุที่ใช้ก่อสร้างเขื่อนเสื่อมสภาพ , ขาดคุณสมบัติทางวิศวกรรมเกิดแรงกระทำจากคลื่นของน้ำหน้าเขื่อนมากเกินไป , จากการทำสงครามและการ Operate ที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการและขาดการบำรุงรักษาที่ดีพอ เป็นต้น

จากการประชุม International Congress on Large Dams ครั้งที่ 13 ที่กรุงนิวเดลี ประเทศอินเดีย ค.ศ.1979 มีรายงานของวิศวกรชาวสเปน ที่กล่าวสรุปว่าจากเขื่อนจำนวนทั้งหมด 114 เขื่อน ในประเทศสเปนที่ได้พังทลายลงในรอบ 200 ปีที่ผ่านมา มีสาเหตุมาจากหลาย ๆ สาเหตุ เช่น

สาเหตุของการพังทลาย	จำนวนเขื่อนที่พังทลาย
1. จากน้ำไหลข้ามสันเขื่อนไป (Overtopping)	7 เขื่อน (เขื่อนคอนกรีต 4, เขื่อนหินทิ้ง 3 เขื่อน)
2. การกัดเซาะที่อาคารระบายน้ำ (Spillway)	5 เขื่อน
3. บานประตูระบายน้ำ (Spillway gates)	3 เขื่อน
พังทลาย	
4. ท่อรับน้ำและท่อระบายน้ำพังทลาย	5 เขื่อน
5. เกิดการรั่วซึมที่มากเกินไป	33 เขื่อน
6. เกิดการรั่วซึมและ Piping พร้อมกัน	9 เขื่อน (เป็นเขื่อนในข้อ 5 จำนวน 8 เขื่อน และเป็น Cofferdam 1 เขื่อน)
7. เกิดการจับตัวเป็นน้ำแข็ง (Freezing)	6 เขื่อน (เขื่อนคอนกรีต 5 , เขื่อนดิน 1)
8. เกิดการแตกร้าวโดยทั่วไป	11 เขื่อน (เขื่อนคอนกรีต 6 , เขื่อนหินทิ้งแกนดินเหนียว 2) เขื่อนหินทิ้งที่มี Protective Face แบบต่าง ๆ 3 เขื่อน
9. เกิดการทรุดตัวที่มากเกินไปทำให้เขื่อนเสียเสถียรภาพ	5 เขื่อน (เขื่อนดินถม 4 , เขื่อนคอนกรีต 1 เขื่อน)
10. เกิดการสูญเสียเสถียรภาพไปตามเวลา	8 เขื่อน
11. จากการก่อสร้างที่ไม่ดีพอ	22 เขื่อน
รวม	114 เขื่อน



ความจำเป็นในการตรวจสอบ

จากสถิติความเสียหายหรือการพังทลายของเขื่อนจากสาเหตุต่าง ๆ กันดังกล่าวไว้ในข้อ 1.4 นั้น ทำให้ทราบว่าเขื่อนแม้จะเป็นสิ่งก่อสร้างที่แข็งแรง ซึ่งได้รับการออกแบบ, ควบคุมการก่อสร้าง และบำรุงรักษาที่ดีก็ตาม ก็ยังมีโอกาสที่จะสูญเสียอย่างหนักได้ จากเหตุการณ์บางอย่างที่ไม่คาดคิด หรือจากเหตุการณ์ที่มนุษย์ไม่สามารถควบคุมได้ ความเสียหายในเชิงเศรษฐศาสตร์ ของเขื่อนหนึ่ง ๆ นั้น ทำให้ประเทศชาติต้องสูญเสียทั้งทรัพย์สิน ชีวิตมนุษย์ และผลประโยชน์ต่าง ๆ จากเขื่อนอย่างมหาศาล และไม่อาจประเมินค่าได้

ฉะนั้นการตรวจสอบเขื่อนและอาคารประกอบอย่างสม่ำเสมอ ตามระยะเวลาและถูกต้องตามหลักวิชาการและหลักปฏิบัติ นั้น จึงเป็นงานที่มีความสำคัญและความจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าเขื่อน อาคารประกอบและอ่างเก็บน้ำยังอยู่ในสภาพที่ปกติ และยังสามารถปลอดภัยดี สามารถที่จะใช้งานได้ยาวนาน ทั้งนี้การตรวจสอบและบำรุงรักษาต้องดำเนินตามขั้นตอน, ตามหลักการ และตามระยะเวลาที่กำหนดอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป ผลประโยชน์ที่จะได้รับโดยตรงจากการตรวจสอบนี้มีหลายประการ เช่น

ก. ทำให้ทราบพฤติกรรม (Behaviour) ทางวิศวกรรมของเขื่อนตลอดเวลาซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าตัวเขื่อนเองนั้นได้รับแรงดันน้ำตลอดอายุการใช้งานของมัน โดยเฉพาะในฤดูฝนซึ่งมีน้ำไหลเข้าอ่างมาก เขื่อนบางแห่งต้องรับแรงดันน้ำเป็นความสูงมากกว่า 100 เมตร คิดเป็นแรงดันที่กระทำต่อเขื่อนมากกว่า 100 ตัน/ตารางเมตร ซึ่งจะต้องแน่ใจว่าเขื่อนนั้นๆ ยังคงสามารถรับแรงต่าง ๆ ได้อย่างปกติ

ข. จากข้อมูลที่ได้รับจากการตรวจสอบนั้น ทำให้ทราบถึงความผิดปกติต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งจะใช้เป็นข้อพิจารณาและวิเคราะห์ต่อไป เพื่อหาวิธีการแก้ไขที่ถูกต้องและเหมาะสมโดยทันทีและทันเหตุการณ์ ทั้งนี้เป็นที่ทราบแล้วว่าความเสียหายของเขื่อนจากสถิติที่กล่าวมาข้างต้นแล้วนั้น มักจะเกิดจากสาเหตุเริ่มต้นที่จุดเล็ก ๆ แล้วจึงค่อย ๆ ขยายตัวออกไปเรื่อย ๆ จนเขื่อนพังไปในที่สุด

ค. ทำให้สามารถหาแนวทาง และวิธีการต่าง ๆ ที่เหมาะสมที่จะใช้เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อไปได้ (Plan Correlative Maintenance) (direct or indirect) และหามาตรการการเตือนภัย (Warning Systems) ต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉินจากความเสียหายของเขื่อน (Emergency Cases) ขึ้น



ปัญหาต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้เขื่อนพังหรือเสียหาย

การตรวจสอบพฤติกรรมต่าง ๆ ของตัวเขื่อน (Dam Performance) อย่างต่อเนื่อง ทำให้ทราบถึงความผิดปกติต่าง ๆ ที่จะเกิดสาเหตุทำให้เขื่อนเสียหาย หรือพังทลายต่อไปได้ ผู้ที่จะรู้ทำการตรวจสอบ หรือเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบในการบำรุงรักษาเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ ควรจะเป็นผู้ที่เอาใจใส่มีความเชี่ยวชาญ และรู้ถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสียหายรวมทั้งลักษณะของการชำรุดเสียหายเป็นอย่างดี ต้องหมั่นคอยสังเกตความผิดปกติต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ การศึกษาเรื่องความเสียหายรวมทั้งปัญหาที่ทำให้เกิดการสูญเสียของเขื่อนนั้น สามารถที่จะศึกษาได้จากเขื่อนที่ได้รับความเสียหาย หรือพังทลายมาแล้วในอดีต ซึ่งจะทำให้เกิดความรู้ความเข้าใจในมูลเหตุที่ทำให้เกิดเสียหายเหล่านั้นเป็นอย่างดี หัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงสาเหตุ และปัญหาสำคัญต่าง ๆ ที่เป็นต้นเหตุทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวเขื่อนและอาคารประกอบได้

1. ปัญหาที่ฐานรากเขื่อน (Foundation Problems)

ฐานรากเขื่อนเป็นบริเวณที่มีความสำคัญมากที่สุดส่วนหนึ่ง ทั้งนี้เพราะหากมีข้อบกพร่องหรือจุดอ่อนเกิดขึ้นในส่วนใดส่วนหนึ่งของฐานราก ก็อาจเป็นสาเหตุทำให้ตัวเขื่อนได้รับความเสียหายหรือพังทลายลงได้ ข้อบกพร่องหรือจุดอ่อนที่ฐานรากมีสาเหตุมาจากลักษณะและคุณสมบัติทางวิศวกรรมฐานรากว่ามีความแข็งแรงมากน้อยเพียงไร มีความที่บ้น้ำพอหรือไม่หรือได้รับการปรับปรุงฐานรากระหว่างการก่อสร้างเพียงพอหรือไม่ สิ่งบอกเหตุว่าอาจมีข้อบกพร่องที่ฐานรากเขื่อนเกิดขึ้นแล้ว ได้แก่ เกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน (Differential Settlement) ของตัวเขื่อน, เกิดการเลื่อน (Sliding) ของตัวเขื่อน, ค่าแรงดันน้ำในตัวเขื่อน (Pore Water Pressure) ขึ้นสูงผิดปกติ, มีปริมาณน้ำซึมหรือน้ำรั่ว (Seepage or Leakage) ผ่านตัวเขื่อนมากกว่าปกติ หรืออาจมีรอยแตก (Cracks) เกิดขึ้นที่บริเวณตัวเขื่อนเป็นต้น สิ่งต่าง ๆ ดังกล่าวนี้นี้ เป็นเครื่องบ่งชี้ให้ทราบว่า มีปัญหาเกิดขึ้นที่ฐานรากเขื่อนแล้ว

การทรุดตัวของเขื่อนและฐานราก หรือรอยแตกร้าวที่ตัวเขื่อน อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการยุบตัวของดินหรือฐานรากที่รับน้ำหนักมากเกินไปหรือดินชั้นล่างยุบตัวลงไปเมื่อถูกน้ำ ซึ่งลักษณะของการยุบตัวเช่นนี้ มักเกิดขึ้นกับฐานรากเขื่อนที่เป็นวัสดุจำพวกทราย หรือ Silt ที่มีความหนาแน่นน้อยและมีความชื้นต่ำ การทรุดตัวของเขื่อนเนื่องจากสาเหตุดังกล่าวนี้ อาจจะเป็นอันตรายมากยิ่งขึ้น หากวัสดุที่ใช้ก่อสร้างตัวเขื่อนเป็นดินที่มีค่าแรงยึดเกาะ (Cohesive Strength) ต่ำ

การรั่วซึมที่ฐานรากเขื่อน (Foundation Seepage) จะเป็นเหตุให้เกิดการกัดเซาะ (Erosion) วัสดุฐานรากเขื่อนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุเม็ดละเอียดจะถูกพัดพาไปทำให้ฐานรากเขื่อนอยู่ในสถานะที่ไม่มั่นคงที่จะรับน้ำหนักจากตัวเขื่อน วิศวกรสามารถจะตรวจสอบได้โดยการสังเกตปริมาณน้ำรั่วซึม (Seepage Water) ซึ่งต้องมีอัตราเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หรือการเก็บตัวอย่างน้ำ ไปวิเคราะห์องค์ประกอบของสารที่ปนมากับน้ำหรือผลทางเคมี เป็นต้น

การเลื่อนตัวของเขื่อน (Sliding) อาจเกิดขึ้นได้กับเขื่อนที่มีวัสดุฐานรากจำพวกที่รับแรงเฉือนได้ต่ำ หรือมีวัสดุจำพวกดินเหนียว หรือประเภท Bentonite แทรกตัวอยู่หรืออาจเกิดขึ้นได้กับเขื่อนที่มีวัสดุฐานรากประเภทที่น้ำซึมผ่านได้ (Pervious Materials) และไม่สามารถควบคุมอัตราการรั่วซึมและแรงยกตัว (Uplift Pressures) ให้น้อยลงหรืออยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ นอกจากนี้การเลื่อนตัวอาจเกิดขึ้นได้กับเขื่อน ที่ตั้งอยู่บนรอยเลื่อน (Shear zones) ของหินชั้นหรือหินแปรจำพวก Shale และ Schist เป็นต้น



2. ปัญหาจากการรั่วซึม (Seepage)

การรั่วซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนหรือฐานรากเขื่อน เป็นปัญหาที่สำคัญ ที่มีผลโดยตรงต่อความมั่นคงปลอดภัยของเขื่อน ไม่มีผู้ใดที่อาจทราบได้แน่นอน ถึงพฤติกรรมของฐานรากเขื่อนหลังจากการก่อสร้างและเริ่มเก็บกักน้ำแล้ว โดยทั่วไปแล้วการเก็บกักน้ำในอ่าง จะมีผลโดยตรงทำให้เกิดการซึมซาบ (Percolation) ของน้ำ และทำให้เกิดแรงดันน้ำ (Pore Pressures) ในฐานรากเขื่อนได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าอ่างนั้น ๆ มีความลึกมาก ๆ กรณีเช่นนี้จะเกิดขึ้นไม่เฉพาะแต่บริเวณฐานรากเขื่อนเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นได้กับพื้นที่รอบ ๆ ขอบอ่างด้วย

น้ำที่รั่วซึมผ่านไปแล้วจะพัดพาเอาส่วนประกอบของดินหรือหินติดไปด้วย ซึ่งมีผลทำให้ความมั่นคงของเขื่อนลดน้อยลง และอาจสังเกตได้จากน้ำที่ซึมผ่านออกมานี้จะมีลักษณะขุ่น ซึ่งแสดงว่าได้เกิดการกัดเซาะ (Erosion) ขึ้นภายในตัวเขื่อนหรือบริเวณฐานรากแล้ว การกัดเซาะนี้โดยทั่วไปแล้วจะมีอัตราเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เป็นลำดับ ทำให้ความมั่นคงของตัวเขื่อนลดลงตามไปด้วย

โดยทั่วไปแล้วน้ำที่รั่วซึมออกมานี้จะชะพาเอาสารประกอบต่าง ๆ ที่อัดตามรอยแตกของหินฐานเขื่อนออกไปด้วย ทำให้เกิดรูโพรงซึ่งจะขยายตัวใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ เป็นผลทำให้ฐานรากเขื่อนอ่อนตัวลง และทำให้การควบคุมอัตราการรั่วซึมเป็นไปได้ยากขึ้น ซึ่งต่อไปหินฐานรากจะมีลักษณะคล้ายกับรังผึ้ง (Honeycombed Structure) และถ้าเกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ ๆ ก็อาจจะทำให้เขื่อนนั้น ๆ พังทลายลงมาได้

การรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่เขื่อนดิน และเขื่อนชนิดหินทิ้งนั้นเป็นอันตรายอย่างมากทั้งนี้เพราะรูโพรงเล็กๆ ที่เกิดขึ้นในระยะเริ่มแรกนั้นจะถูกน้ำกัดเซาะให้ขยายตัวใหญ่ขึ้นได้อย่างรวดเร็วและจะทำให้เขื่อนพังทลายไปได้ในที่สุด การรั่วซึมของน้ำอาจเกิดขึ้นได้จากรอยแตกที่มีสาเหตุมากจากการหดตัวของเขื่อนเนื่องจากใช้วัสดุประเภท Weak Material ก่อสร้างเขื่อนนั้น ๆ หรืออาจเกิดจากการหดตัว (Shrinkage) ของแกนดินเหนียวเขื่อน ซึ่งเป็นวัสดุจำพวกยึดหยุ่นตัวสูง (Highly Plastic) นอกจากนี้การรั่วซึมผ่านเขื่อน อาจเกิดได้จากการขุดรูของสัตว์ต่าง ๆ รากไม้ที่เน่าเปื่อย หรือจากการรั่วซึมที่ท่อรับน้ำ/ท่อส่งน้ำที่ก่อสร้างไว้ภายในตัวเขื่อนก็ได้

การรั่วซึมที่เขื่อนดินหรือเขื่อนหินทิ้งนั้น จะทำให้เม็ดดินหรือหินถูกกัดเซาะหรือชะล้างออกไปทำให้เกิดช่องว่างหรือมีลักษณะเป็นรูกลวง (Piping) ขึ้นที่ตัวเขื่อนหรือฐานรากและทำให้เกิดแรงดันน้ำ (Pore Pressures) ภายในตัวเขื่อนขึ้นสูงผิดปกติ และเป็นผลต่อเนื่องทำให้วัสดุที่ใช้ทำเขื่อนอ่อนตัวลง (Weakening) แรงดันน้ำที่เกิดขึ้นสูงผิดปกติอาจเกิดขึ้นตั้งแต่ขั้นตอนระหว่างการก่อสร้างเขื่อนได้ กล่าวคืออาจทำการถมวัสดุตัวเขื่อนอย่างรวดเร็วเกินไปและบดอัดในลักษณะที่ดินเปียกกว่า Optimum water content หรืออาจจะเกิดการรั่วซึมของน้ำผ่านโซนของเขื่อนที่เป็น Pervious Material และหรือรั่วซึมผ่านรอยต่อที่ฐานราก เป็นต้น

ในกรณีของเขื่อนคอนกรีต จุดที่น้ำอาจซึมผ่านไปได้คือบริเวณแนวของ Contraction Joints และ Construction Joints หรือตามรอยแตก (Crack) ที่ผิวคอนกรีต การระบายน้ำที่ซึมผ่านนี้จะช่วยลดแรงดันภายในที่เกิดขึ้น ทำให้ลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อตัวเขื่อนได้

3. ปัญหาจากการกัดเซาะ (Erosion)

เขื่อนดินและเขื่อนหินทิ้ง เป็นเขื่อนที่อาจได้รับความเสียหายจากการถูกกัดเซาะได้โดยง่ายหากไม่มีการป้องกันที่ดีพอ โดยเฉพาะลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำจะถูกเซาะโดยกระแสน้ำหรือคลื่น ส่วนลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำจะถูกกัดเซาะโดยน้ำฝนที่ตกลงมาชะล้างผิวหน้าของลาด การป้องกันการถูกกัดเซาะทำได้โดยการเรียงหิน (Riprap) บนลาดด้านเหนือน้ำ ส่วนลาดด้านท้ายน้ำ อาจทำการเรียงหินหรือปลูกหญ้าคลุมไว้ และทำลาดให้มีลักษณะเป็นขั้นบันได (Berms) เพื่อกักน้ำและเปลี่ยนทางไหลของน้ำเป็นระยะ ๆ



บริเวณอื่น ๆ ที่อาจได้รับความเสียหายเนื่องจากน้ำกัดเซาะได้แก่บริเวณ Stilling basin, Spillway Channel และ Tailrace Channel ซึ่งควรได้รับการตรวจสอบเป็นประจำ

4. ปัญหาจากการเคลื่อนตัวของเขื่อน (Movement)

การคาดคะเนการเคลื่อนตัวของเขื่อนและการสูญเสียรูปร่างไป (Displacement and Deformation) ให้ได้ค่าอย่างถูกต้องนั้นกระทำได้ยากมาก ทั้งนี้เพราะผลขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ไม่มีข้อมูลที่ถูกต้องแน่นอนที่จะใช้อ้างอิง (Reference and Base Reading) ในช่วงของการก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเขื่อนเก่า ๆ ที่ก่อสร้างไว้นานแล้ว และ/หรือไม่อาจทราบได้แน่นอน ถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุก่อสร้างเป็นต้น สาเหตุสำคัญที่ทำให้เขื่อนมีการเคลื่อนตัวมากผิดปกติจนเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายขึ้นเท่าที่พบอยู่เสมอและควรให้ความสนใจเป็นพิเศษ มีดังนี้คือ

- ฐานรากมีความตึบแน่นไม่เพียงพอ
- เกิดรอยแยก (Crack) ในแกนตึบแน่น (Core zone) ของเขื่อน
- เกิดรอยแยกบริเวณแนวติดต่อกันของวัสดุชั้นต่าง ๆ ที่ใช้ถมเขื่อน
- ฐานรากประกอบด้วยหินที่ถูกน้ำชะล้างได้ เช่น พกยิบซัม
- ผนังกันน้ำหน้าเขื่อน (Impervious Membrane) (ถ้ามี) เสื่อมสภาพ
- การปรับปรุงฐานรากไม่เพียงพอ
- เกิดการหดตัวมากผิดปกติของแกนดินเหนียว ทำให้แตกร้าวได้
- ออกแบบเชิงลาดของเขื่อนไว้ชันเกินไปทำให้เกิดการ Slide ได้ง่าย
- เกิดการทรุดตัวไม่สม่ำเสมอ (Differential Settlement) ที่ฐานราก
- รอยต่อระหว่างตัวเขื่อนกับไหล่เขื่อน (Abutments) ไม่แข็งแรงพอ
- แสดงแนวโน้มที่จะเกิด “Quick Condition” ได้ถ้าเกิดแผ่นดินไหว

สำหรับเขื่อนดินถม/หินทิ้ง ที่มีไหล่เขื่อนเป็นหินนั้นมีแนวโน้มที่จะเกิดการเคลื่อนตัวได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของการเก็บกักน้ำ ทั้งนี้เพราะเชิงลาดหน้าเขื่อนส่วนใหญ่จะเลือกใช้วัสดุประเภท Granular Material ซึ่งจะยอมน้ำไว้ทำให้อิ่มตัว เป็นผลทำให้บริเวณสันเขื่อนด้านที่ติดกับไหล่เขื่อน (Abutments) เกิดแรงดึงและ Tension Strain ขึ้น ส่วนบริเวณกลางเขื่อนจะได้รับแรงกด (Compression) ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการแตกร้าว (Transverse Cracking) เป็นแนวยาวขนานตามแนวสันเขื่อนได้

การที่ตัวเขื่อนและฐานรากเกิดการเคลื่อนตัวไปนี้ จะส่งผลต่อเนื่องทำให้เกิดอันตรายกับโครงสร้างประกอบอื่น ๆ ของเขื่อนได้ เช่น

- ผนัง Cut off wall คอนกรีตที่บริเวณไหล่เขื่อนจะแตกร้าว หรือถูก Shear
- เกิดแรงดึง (Tensile Stress) ขึ้นที่ผิวท่อ (Conduits) ต่าง ๆ ที่ฝังตัวอยู่ที่ตัวเขื่อน และ อาจทำให้รอยต่อ (Joints) ต่าง ๆ แยกตัวออก
- ทำให้ Shaft , อุโมงค์ หรือท่อต่าง ๆ ที่อยู่แนวตั้งภายในตัวเขื่อนบิดงอไปเป็นต้น

5. ปัญหาที่อาคารระบายน้ำล้นและอาคารระบายน้ำ (Spillway and Outlets)

จากสถิติที่ผ่านมาพบว่า การพังทลายของเขื่อนที่มีสาเหตุจากน้ำไหลล้นผ่าน ข้ามสันเขื่อนไป (Overtopping) นั้นเพราะมาจากอาคารระบายน้ำล้น (Spillway) และท่อระบายน้ำต่าง ๆ (Outlet) มีความสามารถในการระบายน้ำไม่เพียงพอ ซึ่งกรณีนี้มักจะเกิดขึ้นกับเขื่อนดิน และเขื่อนหินทิ้งโดยทั่วไป ดังนั้น



ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ จึงต้องพิจารณาคำนวณออกแบบอาคารระบายน้ำล้นให้มีขนาดและประสิทธิภาพในการระบายอย่างเพียงพอ ในกรณีฉุกเฉินหากระบายน้ำทางอาคารระบายน้ำล้นไม่ทันการเนื่องจากปริมาณน้ำไหลลงอ่าง (Inflow) มากกว่าเกณฑ์ที่ออกแบบไว้ ก็อาจจะใช้อาคารระบายน้ำเพื่อการชลประทาน (Irrigation Outlet) ช่วยระบายน้ำได้ ฉะนั้นความสามารถในการระบายน้ำของอาคารทั้งสองดังกล่าว จึงเป็นองค์ประกอบสำคัญ ที่กำหนดขอบเขต หรือ ประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณของน้ำในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งควรจะต้องมีการศึกษาและทบทวน Spillway Design Flood เพื่อทบทวนและกำหนดกฎเกณฑ์ในการ เปิด - ปิด อาคารระบายน้ำล้นและอาคารระบายน้ำ เพื่อการชลประทาน ให้เหมาะสมกับสภาวะปัจจุบัน อยู่เสมอ และควรตรวจสอบบันทึกการใช้งานของอาคารทั้งสองที่ผ่านมาในอดีตว่ามีอุปกรณ์ส่วนใด บกพร่องหรือไม่ ผลของการใช้งานเป็นที่น่าพอใจเพียงใด เป็นต้น

สิ่งสำคัญอันดับต่อมาที่ต้องพิจารณาอย่างละเอียด นอกเหนือไปจากกำลังความสามารถในการระบายน้ำของอาคารระบายน้ำล้นทั้งสองดังกล่าวแล้วก็คือ การตรวจสอบสภาพโดยทั่วไปด้วย เช่น มีการเลื่อนไถล (Slide) ของเชิงลาดบริเวณอาคารระบายน้ำหรือไม่ มีเศษวัสดุหรือตะกอนตกค้าง และกีดขวางทางระบายน้ำ (Spillway Channel) หรือไม่มีการกัดเซาะ (Erosion) รอบ ๆ อาคารระบายน้ำหรือไม่ ตรวจหาว่ามีรอยแตกที่ผิวคอนกรีตตามด้านข้างของทางระบายน้ำ และตรวจสอบอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ทั้งทางเครื่องกลไฟฟ้าว่ายังสามารถใช้งานได้หรือไม่ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจว่าอาคารทั้งสองอยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานตลอดเวลา

สาเหตุที่อาจทำให้บายประตูระบายน้ำ , วาล์วควบคุมและอุปกรณ์ระบบเครื่องกล/ไฟฟ้าที่ใช้ควบคุม ติดขัดและใช้งานไม่ได้ ซึ่งต้องทำการตรวจสอบตามเกณฑ์กำหนดและระยะเวลาได้แก่

- เกิดการเลื่อนตัว (Displacement) ของอาคารระบายน้ำ
- เกิดสนิม , ขึ้นสนิมบางส่วนอย่างฉีกขาดหรือแตกร้าว หรือเสื่อมสภาพไป
- ขึ้นสนิมทางระบบเครื่องกลบางอย่างเคลื่อนตัวไปจากตำแหน่งเดิม
- เกิดการติดขัดเนื่องจากไม่เคยใช้งานมาเป็นเวลานาน
- ขาดการดูแลใส่น้ำมันหล่อลื่น
- การ Operate ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ
- ระบบไฟฟ้าหรือเครื่องกลบกพร่อง

6. ปัญหาที่อ่างเก็บน้ำ

สาเหตุหรือสถานการณ์ที่เกิดขึ้น ภายในบริเวณอ่างเก็บน้ำ ที่อาจเป็นสาเหตุทำให้เขื่อนเสียหายได้แก่ แผ่นดินเลื่อน (Sliding) , คลื่นที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นดินไหวหรือแผ่นดินเลื่อน, การกัดเซาะของน้ำบริเวณขอบอ่างเก็บน้ำ หรืออ่างเก็บน้ำไม่อยู่เนื่องจากน้ำซึมออกไปได้ เป็นต้น

การตรวจสอบว่าอ่างเก็บน้ำเกิดความเสียหาย หรือมีข้อบกพร่องอย่างไร หรือไม่กระทำโดยใช้อากาศยานทางอากาศ ภาพถ่ายจากดาวเทียม, แผนที่ทางธรณีวิทยาของบริเวณนั้น,แผนที่ภูมิประเทศ และรายงานวิจัยที่จัดทำโดยวิศวกรที่ปรึกษา ก่อนการก่อสร้างเขื่อนขึ้นนี้ต้องทำการตรวจสอบสภาพจริง ๆ รอบอ่างเก็บน้ำด้วย

โดยปกติแล้วน้ำในอ่างเก็บน้ำย่อมรั่วซึมออกไปบ้าง การที่จะตรวจสอบหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการรั่วซึมว่ามากขึ้นเพียงไรนั้นเป็นงานที่ค่อนข้างยากมาก การรั่วซึมของอ่างนั้น จะเกิดกับพื้นดินก้นอ่างที่มีลักษณะค่อนข้างอ่อนตัว หรือเป็นหินที่เกิดจากการตกตะกอนของดิน หรือทราย เช่น พวกหินปูน สิ่งที่จะเป็นเครื่องชี้ว่าเกิดการ



รั่วซึมมากผิดปกติคือ วัดปริมาณการรั่วซึมได้มากขึ้น ระดับน้ำใต้ดินเปลี่ยนแปลงอย่างผิดสังเกต, ระดับน้ำในอ่างลดลงผิดปกติ หรือมีบ่อน้ำพุเกิดขึ้นใหม่ในบริเวณข้างเคียง เป็นต้น

การกัดเซาะของน้ำตามตลิ่งรอบ ๆ อ่างเก็บน้ำ เป็นเรื่องปกติธรรมดาที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาร้ายแรงนัก อย่างไรก็ตามคลื่นที่กัดเซาะฝั่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ดินบนฝั่งถูกกัดเซาะพังลงมา และเป็นเหตุให้เกิดการเลื่อนไถล (Landslides) ของดินริมฝั่งได้ เป็นต้น

7. ปัญหาจากการเกิดแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหว อาจมีผลกระทบต่อเขื่อน อาคารประกอบ หรือ Slopes ดินและหินต่าง ๆ ได้ โดยเฉพาะอาคารที่อยู่ในบริเวณ Tectonic Zone เช่น ประเทศญี่ปุ่น รัฐแคลิฟอร์เนียในสหรัฐ ซึ่งถ้าความรุนแรงเกินกว่า ที่อาคารถูกออกแบบให้รับแรงจากแผ่นดินไหวไว้ ก็อาจเกิดความเสียหาย หรือเกิดจุดอ่อนขึ้นที่พร้อมจะชำรุดเสียหายในโอกาสต่อไปถ้าอาคารเหล่านั้นมีบางแห่งลดความแข็งแรงลงไป หลังจากการใช้งานอาคารที่ตั้งอยู่ในบริเวณ Tectonic ส่วนใหญ่จะต้องพิจารณาออกแบบให้รับแรงจากแผ่นดินไหวได้อย่างเพียงพอในแง่วิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์หรือในบริเวณที่ไม่ใช่ Tectonic Zone ก็ควรต้องพิจารณาแนวโน้มที่อาจเกิดขึ้นและออกแบบเผื่อไว้ การเก็บน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ บางแห่งที่มีลักษณะฐานรากไม่ดีพอ ก็อาจทำให้เกิดแผ่นดินไหวได้ แต่ความรุนแรงโดยทั่วไปแล้วไม่มากและมักจะเกิดในช่วงแรกของการเก็บน้ำ

แนวทางการบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ

การบำรุงรักษาเขื่อนและอาคารประกอบ มีวิธีการหลายอย่างที่สามารถพิจารณานำมาใช้ในการแก้ปัญหาได้ ปัจจัยสำคัญ ๆ ที่จะนำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกวิธีการแก้ไขและบำรุงรักษาที่ต้นนั้นมีหลายประการ เช่น

- ต้องทราบสาเหตุของความเสียหายนั้น ๆ ที่แท้จริง
- วิเคราะห์และสรุปผลของปัญหา/ข้อบกพร่องต่าง ๆ
- เลือกใช้วัสดุก่อสร้างที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นและราคาไม่แพงนัก
- พิจารณาลักษณะวิธีการก่อสร้าง/ซ่อมแซม และเครื่องมือ/อุปกรณ์ที่จะใช้

การบำรุงรักษาทั่วไป

- ทำระบบการระบายน้ำเพิ่มเติมให้กับเชิงลาดของขอบอ่างที่มักพังทลายเป็นประจำ
- แก้ไขตบแต่งเชิงลาดใหม่เพื่อลดแรงกระทำ และ/หรือหาวิธีการก่อสร้างอื่น ๆ ที่จะช่วยค้ำยันให้เชิงลาดของอ่างอยู่ในสมดุลให้ได้
- พิจารณาอัดฉีดน้ำปูนเพิ่มเติมที่ฐานรากเขื่อน
- พิจารณาจัดทำแผ่นพื้นกันน้ำซึมตลอดได้เขื่อน (Impervious Blanketing)
- พิจารณาจัดทำม่านทึบน้ำ (Cutoffs) และ/หรือร่องทึบน้ำ (Slurry Trench Curtains)
- พิจารณาทำช่องทางระบายน้ำในแนวขวางที่บริเวณไหล่เขื่อน (Abutments)
- พิจารณาเจาะช่องทางระบายน้ำในแนวตั้งที่บริเวณฐานรากเขื่อนเพิ่มเติม
- พิจารณาเจาะอุโมงค์ระบายน้ำ (Drain Tunnels)
- พิจารณาจัดทำระบบระบายน้ำที่ตีนเขื่อน (Toe drains)
- สำหรับหินฐานรากเขื่อนบางส่วนที่ไม่อยู่ในสมดุลให้พิจารณาจัดทำ Rock Bolting
- พิจารณาเคลื่อนย้ายสิ่งกีดขวางทางระบายน้ำออกให้หมด



การจัดการและการบำรุงรักษาเขื่อนและอาคารประกอบ ควรต้องมีการจัดทำแผนเพื่อให้มีหลักประกันในเรื่องความปลอดภัยของเขื่อนและอาคารประกอบและให้มีสภาพพร้อมใช้งาน

แผนที่ประสิทธิภาพควรมีข้อมูลและข้อปฏิบัติที่ชัดเจน ให้ผู้ปฏิบัติงานที่เข้าตรวจสอบการณ้ก็สามารถปฏิบัติได้ ซึ่งการเตรียมการที่ดีนี้จะเป็นประโยชน์แก่เจ้าของเขื่อน ดังนี้

- เขื่อนและอ่างเก็บน้ำสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องด้วยความมั่นใจด้านความปลอดภัย
- จำกัดความรับผิดชอบด้านกฎหมายและการเงิน
- ลดการสูญเสียของน้ำเนื่องจากสามารถควบคุมได้ตลอดเวลา
- ประหยัดงบประมาณซ่อมแซมเขื่อน
- ยืดอายุของเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ

การบริหารจัดการเพื่อความปลอดภัยเขื่อน

การเก็บน้ำ

ระดับน้ำเก็บกัก คือ ระดับผิวน้ำปกติเมื่อฝนหยุดตก และการไหลของน้ำลงอ่างเก็บน้ำอยู่ในระดับปกติสำหรับอ่างเก็บน้ำทั่วไป ระดับน้ำเก็บกักจะอยู่ที่ระดับสันฝายของอาคารระบายน้ำล้น ซึ่งจะเป็นตัวบอกปริมาณความจุของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งในการออกแบบระยะฝื่อนของสันเขื่อนและความสามารถในการระบายของอาคารระบายน้ำล้นก็จะอ้างอิงจากระดับน้ำเก็บกักนี้

ผู้ปฏิบัติงานอ่างเก็บน้ำต้องรู้ว่าจะต้องระบายน้ำอย่างไรและเมื่อใด ในเวลาปกติและฤดูน้ำหลาก ต้องมีการระบายอย่างชัดเจนถึงวิธีการและผู้รับผิดชอบ ควรกำหนดอัตราการระบายน้อยสุดเพื่อรักษาระบบนิเวศ และมากที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดน้ำท่วมหรือความเสียหายด้านท้ายน้ำ อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำที่จะไม่สร้างความเสียหายด้านเหนือน้ำด้วย ซึ่งโดยทั่วไปจะมีการกำหนดระดับน้ำสูงสุดในสภาวะฉุกเฉินไว้ด้วย

ระดับน้ำเก็บกักของอ่างเก็บน้ำ ส่วนใหญ่จะควบคุมโดยอาคารระบายน้ำล้น หรือบานระบาย ซึ่งทั่วไปแล้วต้องควบคุมไม่ให้มีการลดระดับน้ำเร็วเกินกว่า 30 เซนติเมตรต่อวัน ซึ่งการลดระดับน้ำเร็วเกินไปอาจจะส่งผลให้ลาดเขื่อนซึ่งยังคงอึดตัวด้วยน้ำอยู่ประกอปกกับไม่มีน้ำเป็นตัวค้ำยัน เกิดการเคลื่อนตัวหรือเลื่อนไถลได้ ยกเว้นลาดดินด้านเหนือน้ำนั้นมีความลาดเอียงมากๆ และวัสดุถมมีคุณสมบัติยอมให้น้ำผ่านได้ดี

การบันทึกข้อมูลและประวัติ

ข้อมูลสำคัญสำหรับใช้ประกอบการพิจารณาซ่อมแซมและปรับปรุงเขื่อนดินและอาคารประกอบที่ควรบันทึกรวบรวมไว้เป็นอันดับแรก ได้แก่ข้อมูลด้านวิชาการตามที่ได้วางโครงการ ออกแบบและก่อสร้าง

จนเมื่อก่อสร้างเสร็จแล้วโอนงานทั้งหมดให้กับฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาดำเนินการข้อมูลที่ควรบันทึกเก็บไว้ด้วย ได้แก่ ผลของการตรวจสอบประจำปี รวมทั้งหากมีการซ่อมแซมอะไรบริเวณใด และด้วยวิธีการอย่างไร ไม่ว่าจะเป็นการซ่อมแซมเล็กน้อยหรือการซ่อมแซมประจำปีก็ต้องบันทึกประวัติการซ่อมแซมปรับปรุงทุกครั้งไว้ให้ครบถ้วน

รายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลและประวัติการซ่อมแซมของตัวเขื่อนและอาคารประกอบต่าง ๆ จะมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับใช้ประกอบการตรวจสอบสภาพ ใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของการชำรุดเสียหายซึ่ง



อาจจะเกิดขึ้นอีกในอนาคตตลอดจนใช้ประกอบการวางแผน และกำหนดวิธีการซ่อมแซมในปีต่อ ๆ ไป ดังแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลและประวัติของเขื่อนดินและอาคารประกอบที่เสนอเป็นตัวอย่าง

การตรวจสอบสภาพเขื่อนดินและอาคารประกอบ

การบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบมีสิ่งสำคัญซึ่งควรจะต้องดำเนินการ ได้แก่ “การตรวจสอบสภาพ” เพื่อให้ทราบว่าส่วนหนึ่งส่วนใดหรือบริเวณใด เริ่มชำรุดเสียหายอยู่หรือไม่ หลังจากนั้นจะได้วางแผนและจัดการซ่อมให้มีสภาพดีดังเดิม

แผนการตรวจสอบสภาพควรปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ ดังนี้

1. การตรวจสอบสภาพอย่างสม่ำเสมอ ได้แก่ การตรวจสอบเป็นประจำวัน ตรวจสอบทุกสัปดาห์ หรือทุกเดือน โดยเน้นเฉพาะส่วนที่สำคัญหรือบริเวณที่เป็นจุดอ่อนของเขื่อนและอาคาร ตามแผนที่จัดไว้ให้เหมาะสม เช่น

- ตรวจสอบสภาพลาดเขื่อนดินทุกวัน ตอนช่วงฤดูฝนตกหนัก
- ตรวจสอบสภาพดินธรรมชาติบริเวณท้ายเขื่อน ในขณะที่เขื่อนกำลังเก็บกักน้ำสูงเต็มที่
- ตรวจสอบหาความผิดปกติของอาคารท่อปากคลองส่งน้ำ ขณะมีการส่งน้ำเต็มที่
- ตรวจสอบหาความผิดปกติของอาคารระบายน้ำล้นขณะที่น้ำไหลผ่านอาคาร
- ตรวจสอบหาความผิดปกติของอาคารระบายน้ำออกจากอ่างเต็มที่ เป็นต้น

2. การตรวจสอบสภาพประจำปี ผลการตรวจสอบที่ได้ดำเนินการไว้อย่างสม่ำเสมอ สรุปเป็นการตรวจสอบสภาพประจำปีได้ แต่ถ้ายังมีบริเวณหรือส่วนใดที่ไม่เคยได้รับการตรวจสอบเป็นประจำ ก็ควรดำเนินการทั้งตัวเขื่อนและอาคารประกอบตลอดจนอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ทั่วถึงทุกแห่งอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง ตามแผนและช่วงเวลาที่กำหนดให้เหมาะสม โดยมีนายช่างหรือวิศวกรผู้ชำนาญงานจากสำนักชลประทานตรวจสอบผลการตรวจสอบประจำปีด้วย หลังจากนั้นจึงจะวินิจฉัยและตัดสินใจว่าควรซ่อมอะไรบ้าง อย่างไร ในแผนการซ่อมประจำปี

การตรวจสอบสภาพเขื่อนดิน

การตรวจสอบสภาพเขื่อนดิน พร้อมทั้งการวิเคราะห์เพื่อค้นหาสาเหตุและการกำหนดแนวทางแก้ไขให้เหมาะสมที่หลักเกณฑ์ทางวิชาการรวมกันหลายด้านที่มีผู้ปฏิบัติงานผู้ตรวจสอบผลการตรวจสอบ ตลอดจนผู้กำหนดแผนและวิธีการซ่อมแซม ควรจะได้ทำความเข้าใจให้ถ่องแท้ เป็นต้นว่า ควรตรวจสอบอะไร ต้องตรวจสอบอย่างไรบ้างจึงจะละเอียดถี่ถ้วน การบันทึกผล และรวมไปถึงการค้นหาข้อมูลเหตุแห่งความเสียหายที่พบจากการตรวจสอบสภาพด้วย ซึ่งจะขอกล่าวถึง รายการและวิธีการตรวจสอบสภาพที่ควรทราบเป็นลำดับแรก ดังนี้



การตรวจสอบสภาพพื้นดินบริเวณท้ายเขื่อน

รายการ	วิธีการตรวจสอบสภาพ
ก) ตรวจสอบสภาพพื้นดินบริเวณท้ายเขื่อน ในขณะที่มีการเก็บกักน้ำไว้สูง ตรวจสอบ พื้นดินท้ายเขื่อนว่ามีความมั่นคงแข็งแรง เพียงพอในขณะที่น้ำไหลซึมออกมา หรือไม่ คือ - ตรวจสอบการรั่วซึมของน้ำไหลผ่าน ฐานรากตลอดได้ตัวเขื่อนออกมามีหรือไม่ - ถ้ามี น้ำที่รั่วซึมหรือไหลพุดออกมา แล้วจะมีบริเวณใดหรือไม่ ที่เกิดทรายและ ตะกอนทรายรวมทั้งอนุภาคดินเหนียวถูกน้ำ พัดหลุดลอยตามน้ำ - ถ้าไม่มีน้ำไหลซึมออกมาให้เห็นแล้ว พื้นดินท้ายเขื่อนในบริเวณใด มีความอ่อนตัว เพราะถูกแรงดันน้ำข้างใต้กระทำหรือไม่ - อีกทั้งเมื่อเกิดน้ำรั่วซึมออกมาแล้วจะมี จำนวนมากน้อยประมาณใด	1) ตรวจสอบทุกวันหรือสัปดาห์ละหนึ่งครั้งตามความเหมาะสมซึ่งช่วง เวลาที่ควรตรวจสอบสภาพคือในขณะที่เขื่อนเก็บกักน้ำสูงเต็มที่ หรือเมื่อ พบบริเวณที่มีน้ำไหลซึมออกมา 2) เดินตรวจให้ทั่วบริเวณท้ายเขื่อน และตรวจบริเวณที่น้ำไหลพุด ออกมาให้ละเอียดเป็นพิเศษ 3) จาก 2 วิธีการตรวจสอบสภาพบริเวณหรือหลุมที่น้ำไหลพุดออกมา นั้นคือการตรวจและสังเกตด้วยตาว่าน้ำที่ไหลออกมา มีอนุภาคดิน เหนียวปนมากกับน้ำหรือไม่ (น้ำขุ่น) หรือเป็นน้ำใส ขั้นต่อไป ให้ใช้ไม้แหลมกดลงไปได้ง่ายและลึก ลักษณะนี้แสดงว่า หลุมน้ำไหลออกดังกล่าวอยู่ในชั้นอันตรายมาก ให้จัดการซ่อมแซม ป้องกันแบบฉุกเฉินทันที แต่ถ้ากดไม่ลงไปได้ไม่มาก เนื่องจากมีกรวด และทรายในระดับไม่ลึกนัก แสดงว่ามีกรวดทรายจัดเรียงตัวเองเป็น Filter ตามธรรมชาติไว้แล้วอันตรายย่อมน้อยลงไป และ filter ดังกล่าวสามารถรองอนุภาคดินละเอียดไว้ได้บ้างแล้ว น้ำจึงไหลออก มาลักษณะใส แต่ควรวางแผนซ่อมแซมป้องกันโดยด่วนเช่นกัน 4) ฝ้าตรวจขนาดของหลุม (หากยังไม่ได้ซ่อมป้องกัน หรือวินิจฉัยว่ายัง ไม่มีอันตรายนัก) ทุกวัน ว่ามีการขยายตัวใหญ่ขึ้นไปอีกหรือไม่แล้ว นำผลไปประกอบการพิจารณาเกี่ยวกับการซ่อมป้องกันฉุกเฉิน 5) นอกจากการตรวจสอบสภาพหลุมน้ำพุดดังกล่าวแล้ว บริเวณทั่วไปที่ไม่ ปรากฏน้ำไหลออก ก็ต้องเดินตรวจดูให้ทั่ว เพื่อค้นหาบริเวณพื้นดิน อาจกำลังอ่อนตัวยุบไป - มา เมื่อพบให้บันทึกไว้ แล้ววางแผนรีบ จัดการซ่อมแซมเพื่อป้องกันอันตรายโดยด่วนต่อไปด้วย 6) หากบริเวณท้ายเขื่อนมีน้ำไหลซึมในจำนวนมากพอสังเกตได้และต้อง การทราบจำนวนน้ำแน่นอน ให้ชุดทางรวมน้ำเล็ก ๆ ชักน้ำไปสูงทาง น้ำรวม แล้วสร้างฝายวัดปริมาณน้ำแบบ V - notch ที่ทำด้วยแผ่น เหล็กปักขวางทางน้ำ พร้อมกับวัดความสูงน้ำที่ไหลข้ามสันฝายทุกวัน แล้วจะสามารถคำนวณหาอัตราปริมาณน้ำรั่วซึมทั้งหมดได้ในแต่ละวัน
ข) ตรวจสอบสภาพดินท้ายเขื่อน เฉพาะอย่างยิ่งที่ บริเวณใกล้กับเขื่อน ว่ามีดินที่พื้นในลักษณะ ถูกอัดตัวจนอุดขึ้นมาสูงขึ้นหรือไม่ (เนื่องจาก ลาดเขื่อนมีการเลื่อนทลาย)	1) ตรวจสอบเป็นครั้งคราว นับตั้งแต่การเริ่มเก็บกักน้ำสูงปีแรกและทุกปี เมื่อเขื่อนเก็บกักน้ำเต็ม 2) เดินตรวจสอบสภาพพื้นดินทั่วไป เพื่อค้นหาบริเวณที่อาจเกิดขึ้น เฉพาะ อย่างยิ่งบริเวณท้ายเขื่อนตรงที่เขื่อนมีความสูงมากที่สุด
ค) ตรวจสอบว่ามีแหล่งน้ำขังเนื่องจากสัตว์เลี้ยง เช่น ควายนอนแช่นเป็นหลุมบ่อหรือไม่	1) ตรวจสอบเป็นครั้งคราวทุกปี สำหรับเขื่อนที่มีน้ำซึมผ่านฐานราก ออกมาซึ่งและที่บริเวณท้ายเขื่อน 2) เดินตรวจสอบสภาพ และควรตรวจค้นหาหลุมน้ำที่อาจจะเกิดร่วมด้วย ด้วยวิธีการดังที่กล่าวมาแล้ว หากพบว่ามีกรวดที่ท้ายเขื่อน ควรหาทางป้องกันไม่ให้สัตว์ ใหญ่ เช่น วัว ควาย เข้ามาในบริเวณท้ายเขื่อนอีกต่อไปโดยการล้อม รั้วปิดกั้นเป็นต้น



การตรวจสอบสภาพลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ

รายการ	วิธีการตรวจสอบสภาพ
ก) ตรวจสอบสภาพการถูกน้ำฝนกัดเซาะดินลาดเขื่อน - เมื่อป้องกันลาดเขื่อนด้วยการปลูกหญ้า	1) เดินตรวจสอบสภาพดินตามลาดเขื่อน หญ้าที่ปลูกและสังเกตสภาพของบริเวณที่ถูกน้ำกัดเซาะ ให้ทั่วสัปดาห์ละหนึ่งครั้งหรือเป็นครั้งคราวในช่วงฤดูฝน ตั้งแต่ปีแรกที่สร้างเขื่อนเสร็จ 2) เกี่ยวกับหญ้าที่ปลูกไว้ ตรวจสอบสภาพว่ามีบริเวณใดที่ปลูกหญ้าไม่ขึ้นหรือปลูกแล้วแต่ตายไปแล้วบันทึกบริเวณและขนาดของพื้นที่ 3) เกี่ยวกับบริเวณที่ปลูกหญ้าไม่ขึ้นหรือปลูกแล้วตายเป็นแห่ง ๆ ไปนั้นให้ตรวจสอบสาเหตุ - วิธีการปลูกหญ้าอย่างไร เป็นแบบปลูกเต็มพื้นที่ลักษณะปูพรม ปิดผิวดิน หรือปลูก ไร่เป็นหย่อม ๆ - ก่อนการปลูกหญ้าได้ใช้ดินผิวหน้า (Top Soil) ความหนา 10 - 15 เซนติเมตร ปูทับดินลาดเขื่อนไว้ด้วยหรือไม่ - การปลูกหญ้า ได้ปลูกตอนปลายฤดูแล้งให้เสร็จหมด หรือทำการปลูกระหว่างฤดูฝน - ฤดูกาลปลูกหญ้าที่ควรปฏิบัติ ควรดำเนินการให้เสร็จสิ้นก่อนฤดูฝน เมื่อปฏิบัติเช่นนี้แล้ว ได้จัดการรดน้ำหญ้าที่ปลูกตามสมควร เพื่อเลี้ยงหญ้าที่ปลูกใหม่จนถึงฝนเริ่มตกหรือไม่ การปลูกหญ้าระหว่างฤดูฝน ดินลาดเขื่อนมักจะถูกน้ำกัดเซาะจนเป็นร่องเล็ก ๆ ก่อน แล้วถ้าปลูกหญ้าปิดทับร่อง น้ำฝนยังคงไหลลงตามร่องได้ผ่านหญ้าเมื่อฝนตกหนักกัดเซาะร่องให้ใหญ่ขึ้นได้ ทำให้หญ้าที่ปลูกไม่ได้ผลตามที่ต้องการ - ดินตามลาดของเขื่อนหากเป็นดินร่วนซุยจะเนื่องมาจากก่อสร้างดินบดอัดแน่นใกล้กับลาดเขื่อนไว้ไม่ถูกต้อง โดยไม่ได้บดอัดแน่นดินเพื่อให้เกินจากเขตลาดของเขื่อนที่ต้องการ แล้วตัดดินส่วนที่ถมเกินในภายหลังให้ถึงดินแน่นตลอดลาดเขื่อนไป เป็นเช่นนั้นหรือไม่ - ลักษณะของดินลาดเขื่อนเป็นอย่างไร ส่วนใหญ่เป็นดินทรายหรือเป็นดินซึ่งมีดินเหนียวผสม 4) สำหรับบริเวณซึ่งดินถูกน้ำกัดเซาะไปจนเป็นหลุมเป็นบ่อแล้วให้ตรวจสอบอย่างละเอียด แล้วบันทึกไว้ - ลักษณะดินตามลาดเขื่อนที่ถูกน้ำกัดเซาะเป็นอย่างไร - ขนาดความกว้างและความลึกของหลุมบ่อต่าง ๆ พร้อมกับแสดงตำแหน่งที่ชำรุดเสียหายทุกแห่ง - หมั่นตรวจสอบหลุมบ่ออย่างใกล้ชิดในฤดูฝน เพราะหลุมและบ่ออาจลุกลามมีขนาดใหญ่มากขึ้นจนเป็นอันตรายกับตัวเขื่อน รายละเอียดการตรวจสอบดังกล่าวข้างต้นต้องดำเนินการให้ครบถ้วนเพื่อประกอบการค้นหาวិธีแก้ไขที่เหมาะสมซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



รายการ	วิธีการตรวจสอบสภาพ
ข) ตรวจสอบสภาพการถูกน้ำฝนกัดเซาะดินลาดเขื่อน	1) เดินตรวจสอบสภาพลาดเขื่อนให้ทั่ว เพื่อค้นหาบริเวณที่หินมีการยุบตัว เพราะดินข้างใต้ถูกน้ำกัดเซาะเป็นร่องลึก รวมทั้งการตรวจสอบสภาพของ bedding ที่รองอยู่ใต้หินซึ่งว่ามีสภาพอย่างไร การตรวจควรดำเนินการเป็นครั้งคราวในฤดูฝน ตั้งแต่ปีแรกที่สร้างเขื่อนเสร็จ 2) หินที่สร้างป้องกันน้ำฝนกัดเซาะดินลาดเขื่อนนั้น หากสร้างไว้อย่างถูกต้องแล้ว จะรักษาสภาพลาดเขื่อนให้มีความมั่นคงแข็งแรงดีไปได้ตลอด แต่ที่พบว่ามีปัญหาจนต้องทำการบำรุงรักษาซ่อมแซมสำหรับเขื่อนเก็บกักน้ำบางแห่ง มีสาเหตุเนื่องมาจาก - ใช้หินทิ้งที่มีขนาดสม่ำเสมอ bedding (เป็นกรวดผสมทราย) จะเกิดช่องว่างระหว่างก้อนหินมีขนาดใหญ่จนไม่สามารถกอง bedding ไม่ให้เลื่อนไหลตามที่ต้องการได้ จึงปรากฏกรวดและทรายนั้นถูกน้ำชะพาออกไปกองอยู่ที่ลาดเขื่อนตอนล่าง หินที่ใช้ตามความหนาที่กำหนด ต้องมีขนาดใหญ่คละกันไปตั้งแต่ขนาดเล็กมากจนถึงขนาดใหญ่ (ประมาณ 15 ซม.) หรือกล่าวได้ว่าควรใช้หินขนาดเล็กใหญ่คละกันตามที่ระบุดได้ โดยมีขนาดใหญ่ไม่เกิน 15 เซนติเมตร ดังกล่าวแล้วจึงจะต้อง - ไม่มี Bedding รองพื้นใต้หินทิ้ง - มี Bedding เป็นกรวดล้วนซ้อนค้ำสม่ำเสมอจะเกิดช่องว่างระหว่างก้อนกรวดที่มีขนาดใหญ่เกินไป จึงไม่สามารถรองดินเมื่อถูกน้ำฝนที่ไหลลงมาตามลาดเขื่อนชะพาออกมานั้นได้ จึงทำให้ลาดเขื่อนปรากฏเป็นร่องหลุมแล้ว Bedding และหินทิ้งจึงยุบตามลงไปที่สุดในที่สุด 3) ควรตรวจสอบตามรายละเอียดที่กล่าวในข้อ 2) ว่า ลักษณะของหินทิ้งและ Bedding ที่มีอยู่เป็นอย่างไรบ้าง ถ้าพบร่องหรือโพรงแล้วตรวจสอบอย่างละเอียด แล้วบันทึกไว้ - ความกว้าง ความยาว และความลึกของร่องและโพรง โดยประมาณ ตลอดจนแสดงตำแหน่งที่ชำรุดเสียหายทุกแห่ง - หมั่นตรวจสอบร่องและโพรงอย่างใกล้ชิดในฤดูฝน เพราะอาจลุกลามมีขนาดใหญ่มากขึ้นจนเป็นอันตรายกับตัวเขื่อน การตรวจสอบดังกล่าวข้างต้นควรดำเนินการให้ครบถ้วน เพื่อประกอบการค้นหาวិธีแก้ไขที่เหมาะสม ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป
ค) ตรวจสอบสภาพลาดเขื่อนว่ามีน้ำซึมผ่านตัวเขื่อนมา จนดินที่ลาดเปียกและมากน้อยอย่างไร	1) ขณะที่เขื่อนเก็บกักน้ำขนาดใหญ่ ให้เดินตรวจสอบลาดเขื่อนท้ายน้ำจนตลอดความยาวเขื่อน เป็นครั้งคราวตามความเหมาะสมตั้งแต่ปีแรกที่เก็บกักน้ำ เฉพาะอย่างยิ่งบริเวณลาดเขื่อนตอนล่าง เพื่อตรวจสอบว่าจะมีบริเวณใดหรือไม่มีที่ดินลาดเขื่อนเปียกและเนื่องจากน้ำซึมผ่านตัวเขื่อนออกมา 2) เมื่อปรากฏลาดเขื่อนและเนื่องมาจากน้ำซึมผ่านตัวเขื่อนแล้วให้ตรวจสอบอย่างละเอียด แล้วบันทึกไว้ - แนวบนที่น้ำเริ่มเปียกและมีระดับสูงจากพื้นดินด้านท้าย



รายการ	วิธีการตรวจสอบสภาพ
	เขื่อนเท่าใด พร้อมกับบันทึกระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำขณะทำการตรวจสอบด้วย - ดินลาดเขื่อนที่เปียกและชื้น ถูกน้ำกัดเซาะจนเว้าแหว่งหรือไม่ ถ้าหากดินลาดเขื่อนเป็นหลุม บ่อ หรือร่องน้ำจากน้ำไหลกัดเซาะแล้ว ให้บันทึกความกว้าง ความยาวและความลึกตลอดจนตำแหน่งไว้ - ดินลาดเขื่อนที่เปียกและเลื่อนทลายลงแล้วหรือไม่ ดินลาดเขื่อนทลาย ให้บันทึกถึงความเสียหาย เช่น ระดับน้ำสูงสุดที่ดินเริ่มเลื่อนตัว จำนวนน้ำที่ไหลออกและลักษณะดิน เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อประกอบการจัดการซ่อมแซมตามแผนเร่งด่วน ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีการในหัวข้อต่อไป - เมื่อยังไม่จัดการซ่อมแซม ต้องเฝ้าตรวจบริเวณนั้นเป็นประจำทุกวันขณะน้ำในอ่างมีระดับสูง เพื่อสังเกตว่าการเลื่อนทลายของดินและปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเขื่อนมานั้น มีการเพิ่มขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงในทางเลวร้ายอันอาจเป็นอันตรายต่อตัวเขื่อนหรือไม่ พร้อมทั้งรายงานสภาพให้ผู้รับผิดชอบทราบตลอดเวลาด้วย
ง) ตรวจสอบสภาพลาดเขื่อนว่ามีดินเลื่อนทลายลงจนชำรุดเสียหายหรือไม่	1) นอกจากการเลื่อนทลายของดินลาดเขื่อนด้วยเหตุ น้ำผ่านตัวเขื่อน ดังได้กล่าวในข้อ ค. แล้ว บริเวณทั่วไปของลาดเขื่อนอาจปรากฏดินเลื่อนทลายเนื่องจากสาเหตุอื่น จึงควรเดินตรวจสอบสภาพลาดเขื่อนจนตลอดความยาวเป็นครั้งคราวตามความเหมาะสม 2) ดินของลาดเขื่อนที่มีการเลื่อนทลาย จะปรากฏสภาพให้เห็นภายนอกได้ดังนี้ - มีรอยแตกแนวยาวที่ลาดเขื่อนตอนบน ซึ่งเป็นแนวส่วนบนสุดที่เลื่อนลงไป หากดินเลื่อนลงไป หากดินเลื่อนทลายลงได้พอสมควรแล้วขอบรอยแตกด้านล่างจะปรากฏยุบตัวลงให้เห็นชัด - ลาดเขื่อนตอนล่างหรือที่พื้นดินธรรมชาติไถลกลับตัวเขื่อนอาจเห็นดินอุดตัวจนโป่งหรือบวม 3) หากได้ติดตั้งหมุดวัดการยุบตัวของเขื่อนไว้ตรงบริเวณที่ลาดเขื่อนเลื่อนทลาย จะพบหมุดนี้เคลื่อนไปทั้งแนวตั้งและแนวนอน (เขื่อนที่ติดตั้งหมุดดังกล่าว ควรมีการวัดการเคลื่อนของผิวดินลาดเขื่อนตามแนวนอนและแนวตั้งเป็นครั้งคราวเสมอ) 4) เมื่อพบลาดเขื่อนบริเวณใดเลื่อนทลาย ให้ตรวจสอบสภาพอย่างละเอียดว่าจะมีอันตรายกับตัวเขื่อนมากน้อยเพียงใด โดยบันทึกตำแหน่ง แนวบนที่ดินเริ่มเลื่อน ความลึกของรอยแตกโดยการหยั่งวัดด้วยไม้ ความกว้างของรอยแตก ความยาวของบริเวณดินเลื่อนทลายและการยุบตัวของดินที่เลื่อน บริเวณใกล้กับรอยแตกนั้น เป็นต้น แล้วรายงานสภาพให้ผู้รับผิดชอบทราบ เพื่อจัดการซ่อมแซมโดยด่วน



การตรวจสอบสภาพลาดเขื่อนด้านเหนือ

รายการ	วิธีการตรวจสอบ
ก) ตรวจสอบสภาพหินทิ้งที่ลาดเขื่อน	หินทิ้งที่ลาดเขื่อนด้านเหนือมีจุดประสงค์สำคัญ เพื่อป้องกันเลื่อนกตเซาะดินลาดเขื่อน การตรวจสอบควรดำเนินการดังนี้ 1) เดินตรวจสอบหินทิ้งตามลาดเขื่อน เพื่อสังเกตสภาพหินบริเวณใดบ้างที่ชำรุดเสียหายโดยการทรุดยุบลงไป ให้ทั่วปีละครั้งเมื่อระดับน้ำในอ่างยุบลงไปต่ำ 2) หินทิ้งที่สร้างป้องกันเคลื่อนไม่ให้กตเซาะดินลาดเขื่อนนั้น หากสร้างไว้อย่างถูกต้องจะรักษาสภาพลาดเขื่อนให้มีความมั่นคงแข็งแรงดีไปได้ตลอด แต่ที่พบว่ามีปัญหาจนต้องทำการบำรุงรักษาซ่อมแซมสำหรับเขื่อนเก็บกักน้ำบางแห่ง มีสาเหตุเนื่องมาจาก - ใช้หินทิ้งที่มีขนาดสม่ำเสมอ ซึ่งเมื่อปูปิดทับ Bedding จะเกิดช่องว่างระหว่างก้อนหินมีขนาดใหญ่ จนไม่สามารถ Bedding ไม่ให้เลื่อนไหลตามที่ต้องการได้ จึงปรากฏว่ากรวดและทรายนั้นถูกน้ำจากคลื่นไหลลงตามลาดเขื่อน หรือน้ำฝน ซะพาลงไปกองอยู่ที่ลาดเขื่อนตอนล่าง หินทิ้งตามขนาดที่กำหนด ต้องมีขนาดเล็กใหญ่คละกันไป ตั้งแต่ขนาดเล็กมาก จนถึงหินขนาดใหญ่ (ประมาณ 2/3 เท่าของความหนาหินทิ้ง จำนวนประมาณ 50 % โดยน้ำหนักของจำนวนใช้ทั้งหมด โดยมีขนาดใหญ่ที่สุดจำนวนรวมทั้งสิ้นดังกล่าวแล้ว จึงจะต้อง - ไม่มี Bedding รองใต้พื้นหินทิ้ง - มี Bedding เป็นกรวดล้วนขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ จะเกิดช่องว่างระหว่างก้อนกรวดที่มีขนาดใหญ่เกินไป จึงไม่สามารถรองดินเมื่อถูกน้ำฝนหรือน้ำจากคลื่นซึ่งไหลมาตามลาดเขื่อนชะพาวอกมานั้นได้ จะทำให้ลาดเขื่อนปรากฏเป็นร่องหลุม แล้ว Bedding และหินทิ้งจึงยุบตามลงไปที่สุดในที่สุด 3) ควรตรวจสอบตามรายละเอียดที่กล่าวในข้อ 2) ว่า ลักษณะของหินทิ้งและ Bedding ที่มีอยู่เป็นอย่างไรบ้าง ถ้าพบร่องหรือโพรงแล้วให้ตรวจสอบอย่างละเอียด แล้วบันทึกไว้ - ความกว้าง ความยาวและความลึกของร่องและโพรง โดยประมาณตลอดจนตำแหน่งที่ชำรุดเสียหายทุกแห่ง - หมั่นตรวจสอบร่องและโพรงอย่างสม่ำเสมอ เพราะอาจลุกลามมีขนาดใหญ่มากขึ้นจนเป็นอันตรายกับตัวเขื่อน การตรวจสอบดังกล่าวข้างต้น ควรดำเนินการให้ครบถ้วน เพื่อประกอบการค้นหาวិธีแก้ไขที่เหมาะสม ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป



รายการ	วิธีการตรวจสอบสภาพ
ข) ตรวจสอบสภาพการกัดเซาะดินลาดเขื่อน - เมื่อป้องกันลาดเขื่อนด้วยการปลูกหญ้า	เขื่อนดินขนาดเล็กบางแห่ง อาจมีการป้องกันลาดเขื่อนด้านอ่างเก็บน้ำไม่ให้อุทกคลื่นกัดเซาะจนเสียหายด้วยการปลูกหญ้า การตรวจสอบควรดำเนินการดังนี้ 1) เดินตรวจสอบสภาพลาดเขื่อนที่ระดับผิวน้ำ เพราะอาจถูกคลื่นกัดเซาะจนเว้าแหว่ง ตลอดความยาวเขื่อนเป็นครั้งคราวตามความเหมาะสม 2) เมื่อระดับน้ำในอ่างลดลง บันทึกบริเวณที่ถูกคลื่นกัดเซาะจนเป็นร่อง ได้แก่ ความลึกของร่อง ความกว้างและสภาพของหญ้าที่งอกเติบโตขึ้นมาใหม่ ตลอดจนลักษณะของดินลาดเขื่อนบริเวณนั้น เป็นต้น
ค) ตรวจสอบสภาพลาดเขื่อนว่าเลื่อนทลายลงจนชำรุดเสียหายหรือไม่	1) เดินตรวจสอบสภาพเป็นครั้งคราวตามความเหมาะสม เฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดระดับลงอย่างรวดเร็วมากกว่า 30 เซนติเมตร ต่อวัน 2) ลาดเขื่อนที่มีการเลื่อนทลาย จะปรากฏสภาพภายนอกให้เห็นได้ คือมีรอยแตกแนวยาวที่ลาดเขื่อนตอนบน หากลาดเขื่อนเป็นหินทั้ง ๆ จะยุบลงให้เห็น ส่วนลาดเขื่อนที่ปลูกหญ้าอาจเห็นเป็นรอยแตกแยกออกชัดเจน 3) หากได้ติดตั้งหมุดวัดการยุบตัวของเขื่อนไว้ตรงบริเวณที่ลาดเขื่อนเลื่อนทลาย จะพบหมุดนี้เคลื่อนไปทั้งแนวตั้งและแนวราบ (เขื่อนที่ติดตั้งหมุดดังกล่าวควรมีการวัดการเคลื่อนของผิวดินลาดเขื่อนตามแนวราบและแนวตั้งเป็นครั้งคราวเสมอ) 4) เมื่อพบลาดเขื่อนบริเวณใดเลื่อนทลาย ให้ตรวจสอบสภาพอย่างละเอียดว่า จะมีอันตรายกับตัวเขื่อนมากน้อยเพียงใด โดยบันทึกตำแหน่งแนวบนที่ดินเริ่มเลื่อน ความลึกของรอยแตกโดยหยั่งวัดด้วยไม้ ความกว้างของรอยแตก ความยาวของบริเวณที่ดินเลื่อนทลาย และการยุบตัวของลาดเขื่อนบริเวณใกล้รอยแตกนั้น เป็นต้น แล้วรายงานสภาพให้ผู้รับผิดชอบทราบเพื่อจัดการซ่อมแซมโดยด่วน



การตรวจสอบสภาพสันเขื่อน

รายการ	วิธีการตรวจสอบสภาพ
ก) ตรวจสอบสภาพทรุดตัว	เขื่อนดินทุกแห่งย่อมมีการทรุดตัว เนื่องจากการทรุดตัวของฐานราก (กรณีสร้างเขื่อนบนฐานรากเป็นดิน) ร่วมกับการทรุดของดินตัวเขื่อน การทรุดของสันเขื่อนเป็นการทรุดของเขื่อนและฐานรากรวมกัน จะมีผลกับเขื่อน คือทำให้ Freeboard ที่จัดไว้ลดลง ดังนั้นในการออกแบบและก่อสร้างจะมีการถมดินเพื่อให้สันเขื่อนสูงกว่าระดับที่ต้องการเสมอ การทรุดตัวของเขื่อนเฉพาะบริเวณใต้บริเวณหนึ่งจนมากเกินขอบเขต (เช่น บริเวณลำน้ำซึ่งดินฐานรากอ่อน) โดยส่วนอื่นทรุดลงน้อย อาจทำให้ตัวเขื่อนชำรุดหรือแตกร้าว การทรุดตัวของเขื่อนดินนี้เกิดจาก Consolidation ของฐานรากและตัวเขื่อน เนื่องจากดินฐานรากและดินถมอัดแน่นตัวเขื่อนที่แต่ละระดับถูกน้ำหนักเขื่อนกดทับ จึงถูกบีบให้มีปริมาตรน้อยลง
	ทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินถูกบีบจนเล็กลงด้วย แล้วเกิด Pore Water Pressure ซึ่งเป็นแรงดันของน้ำและอากาศที่พยายามจะแทรกหนีออกไปจากช่องว่างของดินนั้น ด้วยเหตุนี้ฐานรากและตัวเขื่อนจึงมีการทรุดลงทีละน้อยตลอดเวลา จนกว่า Pore Water Pressure ดังกล่าวนั้นสูญหายหมดไป เขื่อนจึงจะไม่ทรุดอีก การตรวจสอบสภาพทรุดตัวให้ได้ผลถูกต้อง จำเป็นต้องติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดไว้ที่เขื่อน มีอยู่ 2 แบบ ได้แก่ ก) หมุดวัดการทรุดตัว - ติดตั้งภายนอก ติดตั้งอยู่ที่สันเขื่อน และที่ลาดเขื่อน เป็นแนวตามความเหมาะสม สำหรับวัดการทรุดตัวของเขื่อนและฐานรากรวมทั้งหมด ข) เครื่องมือวัดการทรุดตัว - ติดตั้งภายใน เป็นเครื่องมือที่ติดตั้งภายในตัวเขื่อน ตั้งแต่ฐานรากผ่านเขื่อนขึ้นมาจนถึงสันเขื่อน สำหรับวัดการทรุดตัวเฉพาะฐานรากและตัวเขื่อนแต่ละช่วงความสูงตลอดจนการทรุดตัวรวมทั้งหมดด้วย การตรวจสอบสภาพการทรุดของสันเขื่อนหรือการทรุดตัวรวมทั้งหมดควรดำเนินการดังนี้ 1) ติดตั้งหมุดวัดการทรุดตัวตามข้อ ก. ไว้ที่ขอบสันเขื่อนด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้าน เป็นระยะไปตามความเหมาะสม พร้อมกับหาค่าระดับประจำหมุดตอนครั้งแรกเมื่อสร้างเสร็จใหม่ ๆ 2) วัดหาค่าระดับ (โดยกล้องส่องระดับ) ของหมุดที่ติดตั้งทุกแห่ง เดือนละหนึ่งครั้งสำหรับช่วงปีแรกหลังจากสร้างเขื่อนเสร็จ ส่วนปีต่อไปให้เว้นระยะนานตามความเหมาะสม ตามสภาพของการทรุดตัวที่เกิดขึ้นน้อยลงไปในัน คำนวณหาค่าการทรุดตัวไปจากเดิมในแต่ละครั้งที่ตรวจสอบ แล้วนำมาพล็อตเป็นกราฟที่สัมพันธ์กับช่วงเวลาขณะตรวจสอบ เพื่อเก็บไว้เป็นข้อมูลต่อไป



รายการ	วิธีการตรวจสอบสภาพ
	3) สำหรับเขื่อนดินที่ติดตั้งเครื่องมือวัดการทรุดตัว – ติดตั้งภายใน ให้วัดระยะทรุดตัวของฐานรากและตัวเขื่อนแต่ละระดับ ความลึกเดือนละครั้ง หรือช่วงเวลาที่เหมาะสมตามหลักเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้น พร้อมกับบันทึกการทรุดตัวของแต่ละครั้งไว้
ข) ตรวจสอบรอยแตกร้าว	บริเวณสันเขื่อนอาจเกิดรอยแตกร้าวเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ การตรวจสอบควรดำเนินการดังนี้ 1) ตรวจสอบสภาพสันเขื่อนและลาดเขื่อนส่วนบนเป็นครั้งคราวตามความเหมาะสม หลังจากสร้างเขื่อนเสร็จใหม่ ๆ และเป็นประจำตลอดไป 2) เมื่อตรวจพบรอยแตก ให้บันทึกสภาพและบริเวณที่มีรอยแตกไว้อย่างละเอียด 3) รอยแตกร้าวที่บริเวณสันเขื่อนที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากสาเหตุแตกต่างกันนั้นสามารถวินิจฉัยได้ ดังนี้ - รอยแตกร้าวเป็นแนวไม่มีรูปแบบ เป็นแห่ง ๆ หรือพบในบริเวณสันเขื่อนทั่วไป เกิดขึ้นเพราะความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำให้น้ำระเหยออกจากผิวดิน และมักเกิดรอยแตกลึกเมื่อดินส่วนนอกเป็นดินเหนียวจัดและไม่มีดินลูกรัง (ประเภททรุดและทรายที่มีดินเหนียวน้อย) คลุมปิดสันเขื่อน - สำหรับสันเขื่อนที่มีดินลูกรังบดทับแน่นและดินตัวเขื่อนส่วนนอกไม่มีดินเหนียวผสมมากนัก จะไม่ปรากฏรอยแตกดังกล่าวให้เห็นเด่นชัด - รอยแตกร้าวเป็นแนวยาวตามสันเขื่อน เกิดขึ้นเนื่องจากลาดเขื่อนด้านใดด้านหนึ่งกำลังจะเริ่มเลื่อนทลาย และถ้าปรากฏว่าสันเขื่อนนับจากรอยแตกไปถึงขอบลาดเขื่อนยุบต่ำกลงไปแล้ว ก็สามารถยืนยันได้อย่างชัดยิ่งขึ้น - ให้บันทึกสภาพอย่างถี่ถ้วนทั้งบริเวณสันเขื่อนและที่ลาดเขื่อนว่ามีการชำรุดเสียหายมากน้อยเพียงไร พร้อมทั้งรายงานให้ผู้รับผิดชอบทราบ เพื่อจัดการซ่อมแซมโดยด่วน - รอยแตกร้าวเป็นแนวตรงขวางสันเขื่อน เกิดขึ้นเนื่องจากการทรุดตัวของดินตัวเขื่อนบริเวณนั้นมีความแตกต่างกัน เช่น ในกรณีถมดินบดอัดแน่นข้างอาคารระบายน้ำล้นไม่แน่น เป็นเหตุให้มีการทรุดตัวมากกว่าตัวเขื่อนทั่วไป จึงเกิดรอยแตกที่สันเขื่อนใกล้กับอาคารนั้น หรือในกรณีที่ฐานรากบริเวณลำนน้ำไม่แข็งแรงเมื่อเทียบกับบริเวณทั่วไป ซึ่งเป็นหิน เมื่อต้องรับน้ำหนักตัวเขื่อนตอนที่สูงที่สุด ฐานรากบริเวณนี้ก็อาจจะทรุดตัวมากกว่าบริเวณอื่น เป็นผลให้สันเขื่อนยุบแอ่นลงและอาจปรากฏรอยแตกทางขวางให้เห็น
ค) ตรวจสอบภาพรูปร่าง	สันเขื่อนบางแห่งอาจมีรูปร่างปรากฏ เฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณขอบสันเขื่อนและลาดเขื่อนตอนบน ซึ่งรูปร่างดังกล่าวมักเกิดขึ้นเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ กัน ดังนี้ - ดินเป็นทรายและตะกอนทราย โดยไม่มีดินลูกรังหรือหญาปลุกปกคลุมผิวจนน้ำฝนกัดเซาะเป็นร่องลึกและรูโหว่ - มีดินเหนียวลักษณะหนึ่งซึ่งถูกน้ำแล้วสลายตัวไม่เกาะอยู่กับดินละลายตามน้ำออกมา หลังจากนั้นจะทำให้ตะกอนทรายและทรายถูกน้ำเซพาออกไปได้จนเป็นรูโหว่และหลุม ดินดังกล่าวเรียกว่า “Dispersive Soil” มีดินเหนียวประเภท



รายการ	วิธีการตรวจสอบ
	Dispersive Clay ผสมอยู่ ซึ่งการเป็นรูโพรงเพราะดินเป็น Dispersive Soil นี้พบกับเขื่อนดินหลายแห่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น เขื่อนลำลำลายและเขื่อนลำเชียงไกร จังหวัดนครราชสีมา เขื่อนห้วยสวาย จังหวัดบุรีรัมย์ และเขื่อนอำปือ จังหวัดสุรินทร์ เป็นต้น โดยตรวจพบรูโพรงที่บริเวณสันเขื่อนตอนบนจำนวนมาก เนื่องมาจากดินนั้นมี Dispersive Clay ผสม เมื่อฝนตกจนมีน้ำขังอยู่ในรอยแตกที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนจากแสงแดด ทำให้ดินเหนียวกระจายตัวไม่เกาะกับดินหลุดออกมา แล้วรอยแตกขยายตัวออกอย่างรวดเร็วโดยตะกอนและทรายไหลตามน้ำออกมาตามรอยแตกที่เชื่อมโยงถึงกันนั้นจนเป็นรูโพรงขนาดใหญ่ที่สุด ปัจจุบันเขื่อนดังกล่าวได้ซ่อมแซมปรับปรุงให้อยู่ในสภาพดีแล้ว การตรวจสอบควรดำเนินการดังนี้ 1) ตรวจสอบสันเขื่อน และลาดเขื่อนส่วนบนเป็นครั้งคราวตามความเหมาะสม หลังจากเขื่อนสร้างเสร็จใหม่ ๆ และเป็นประจำตลอดไป 2) เมื่อพบการกัดเซาะลักษณะรูโพรง ควรตรวจสอบเบื้องต้นว่าดินบริเวณนั้นเป็น Dispersive Soil หรือไม่ โดยนำดินก้อนเล็ก ๆ ที่ผ่นรูโพรงใส่ลงในแก้วน้ำสะอาด แล้วสังเกตก้นดินในน้ำนั้นว่ามีตะกอนขุ่นขาวกระจายออกมาจากก้นดินคล้ายเมฆอยู่โดยรอบหรือไม่ ถ้ามีแสดงว่าดินมี Dispersive Clay คืออนุภาคดินเหนียวที่ฟุ้งกระจายแขวนลอยอยู่ในน้ำลักษณะคล้ายเมฆนั้น 3) ตรวจสอบและบันทึกขนาดของรูโพรง พร้อมกับเก็บตัวอย่างดินไปตรวจสอบคุณภาพทางเคมีต่อไป แล้วรายงานเรื่องนี้ให้ผู้รับผิดชอบทราบโดยด่วน 4) ขณะที่ยังไม่ได้จัดการซ่อมแซมปรับปรุง ให้เฝ้าตรวจสอบทุกวันเมื่อมีฝนตกว่ามีรูโพรงลุกลามขยายตัวใหญ่ขึ้นอีกหรือไม่ เพียงไร



การตรวจสอบสภาพอาคารระบายน้ำล้น

อาคารระบายน้ำล้นโดยทั่วไป จะออกแบบให้มีรูปร่างและลักษณะแตกต่างกัน ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ และสามารถระบายน้ำจำนวนมากที่สุดซึ่งอาจจะเกิดมีขึ้นออกไปได้ ตลอดจนให้เหมาะสมกับลักษณะฐานราก วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง และค่าก่อสร้างที่เหมาะสม

หลักจากอ่างเก็บน้ำได้เต็มถึงระดับที่ต้องการเก็บกักแล้วมีน้ำไหลผ่านอาคารระบายน้ำล้นครั้งแรกในแต่ละครั้งต่อไป ควรจะได้มีการตรวจสอบสภาพอาคารและบริเวณข้างเคียง ในขณะที่น้ำกำลังไหลผ่านอาคารและภายหลังเมื่อน้ำหยุดไหลแล้วทุกครั้ง เพื่อตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติซึ่ง

รายการ	วิธีการตรวจสอบ
ก) ตรวจสอบความสามารถในการระบายน้ำ	1) ในช่วงเวลาที่น้ำไหลผ่านอาคารทุกครั้ง ให้ตรวจวัดและบันทึกระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ รวมทั้งความลึกน้ำขณะไหลข้ามสันทางระบายของอาคารน้ำล้นเป็นประจำทุกวัน 2) ตรวจสอบระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำของแต่ละปีว่ามีสภาพเช่นไร หากมีสภาพใกล้เคียงกับระดับน้ำสูงสุดมากกว่า 1 ในรอบ 5 ปี หรือ 10 ปีที่ตรวจสอบ ควรรายงานให้เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิชาการทราบ 3) ในปีใดปีหนึ่ง หากเป็นปีฝนตกหนักมากจนปรากฏว่าน้ำในอ่างเก็บน้ำมีระดับสูงขึ้นอย่างรวดเร็วถึงระดับน้ำสูงสุดที่กำหนดไว้ และยังไม่มีการท่วมน้ำหรือตัวเนื่องจากอาคารระบายน้ำล้นไม่สามารถระบายน้ำออกไปได้ทัน ให้เฝ้าตรวจสอบอย่างใกล้ชิดตลอดเวลาพร้อมกับรายงานด่วนที่สุดให้ผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายทราบ เพื่อกำหนดมาตรการป้องกันตัวเขื่อนฉุกเฉินที่เหมาะสมต่อไป
ข) ตรวจสอบรอยแตกร้าวของผิวคอนกรีต	ตรวจสอบสภาพส่วนต่าง ๆ ของอาคาร ดังต่อไปนี้ 1) ตรวจสอบสภาพในขณะที่มีกำลังแรงดันภายนอกมากที่สุด เป็นต้นว่า เมื่อมีน้ำไหลผ่านอาคารจำนวนมาก หรือเมื่อน้ำในอ่างเสมอระดับน้ำเก็บกัก 2) รอยแตกร้าวของผิวคอนกรีตมีหลายลักษณะ ได้แก่ - รอยแตกร้าวเป็นแนวยาวตามผิวคอนกรีตด้านที่รับแรงดึง เนื่องจากเหล็กเสริมเพื่อรับแรงดึงมีจำนวนน้อยเกินไป จนไม่สามารถรับแรงดันของดินและน้ำที่กระทำได้ - รอยแตกร้าวเป็นแนวยาวตามผิวคอนกรีตเนื่องมาจากการขยายและหดตัวเพราะอุณหภูมิ โดยเหล็กเสริมสำหรับการขยายตัวของคอนกรีตมีจำนวนไม่เพียงพอ - รอยแตกร้าวเป็นลายงา เกิดขึ้นตามผิวคอนกรีตเป็นรอยร้าว เล็ก ๆ เนื่องมาจากผิวคอนกรีตได้รับความร้อน ให้บันทึกลักษณะ ความยาว ความกว้างและความลึก ตลอดจนตำแหน่งของรอยแตกร้าว พร้อมทั้งแนวที่เกิดในทิศทางเช่นไร เช่นเป็นแนวตามยาวหรือตามขวางของอาคาร
ค) ตรวจสอบผิวคอนกรีตที่ถูกน้ำไหลกัดเซาะ	เนื่องจากน้ำที่ไหลผ่านทางน้ำล้น รางเท และใน Stilling basin ของอาคารระบายน้ำล้น มักมีความเร็วสูงและบางแห่งมีกระแสน้ำปั่นป่วนอาจเป็นเหตุให้ผิวคอนกรีตบริเวณซึ่งไม่แข็งแรงเพียงพอถูกกระแสน้ำกัดเซาะจนเป็นหลุมหรือเว้าแหว่ง ควรมีการตรวจสอบผิวคอนกรีตดังต่อไปนี้ 1) ตรวจสอบสภาพตามผิวที่พื้นและกำแพงตลอดจนส่วนต่าง ๆ เป็นครั้งคราวตามความเหมาะสม หรือประมาณปีละหนึ่งครั้ง



รายการ	วิธีการตรวจสอบสภาพ
	2) บันทึกบริเวณที่ผิวคอนกรีตถูกกัดเซาะทั้งหมด แล้ววางแผนซ่อมแซมพื้นที่หลังจากได้ตรวจพบ
จ) ตรวจสอบหินทิ้งท้าย Stilling basin สภาพทางระบายน้ำ	ด้านท้าย Stilling basin ของอาคารระบายน้ำล้นซึ่งพื้นและลาดด้านข้างของทางระบายน้ำมีการป้องกันน้ำกัดเซาะไว้ด้วยการทิ้งหินขนาดใหญ่ควรทำการตรวจสอบสภาพดังต่อไปนี้ 1) หลังจากน้ำไหลผ่านอาคารระบายน้ำล้นจำนวนมากแต่ละครั้งหรือหลังจากไม่มีน้ำไหลผ่านอาคารแล้วทุกปี ควรตรวจสอบหินทิ้งทั้งหมดว่าถูกกระแสน้ำพัดหายไปบ้างหรือไม่ และเป็นจำนวนมากน้อยเท่าใด 2) บันทึกสภาพหินที่ถูกน้ำพัดพาไป ทั้งที่บริเวณท้องน้ำและตามลาดตลิ่ง พร้อมทั้งหาสาเหตุว่า หินที่ใช้อยู่มีขนาดเล็กเกินไปหรือมีความหนาไม่เพียงพอ 3) ตรวจสอบความยาวของแนวหินทิ้ง มีความยาวมากพอในการป้องกันน้ำไหลกัดเซาะพื้นท้องน้ำและตลิ่งหรือไม่ โดยการตรวจสอบดินต่อจากแนวหินทิ้งเกี่ยวกับการถูกคลื่นกัดเซาะ
ฉ) ตรวจสอบบานระบายและเครื่องกว้าน	อาคารระบายน้ำล้นแบบประตูระบายน้ำ จะมีบานระบาย (แบบโค้ง) พร้อมด้วยเครื่องกว้าน สำหรับควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำและเปิดระบายน้ำทิ้งไปตามที่ต้องการ ควรทำการตรวจสอบดังต่อไปนี้ 1) ขณะปิดบานระบายเพื่อกักกั้นน้ำ ควรตรวจสอบการรั่วซึมลอดใต้บานตอนล่างและที่ด้านข้างของบานซึ่งติดกับต่อมอ มีจำนวนน้ำรั่วออกมาจำนวนมากน้อยเพียงไร 2) ทุกปีที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงต่ำกว่าระดับสันทางน้ำล้น ในช่วงฤดูแล้ง ควรทำการตรวจสอบบายระบายให้ทั่วโดยตลอดรวมทั้งเครื่องกว้านและสลิงดึงบานอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง 3) วิธีการตรวจสอบส่วนต่าง ๆ ควรดำเนินการดังนี้ - สำหรับบานระบาย ให้ตรวจสอบการผูกרון การเป็นสนิมสีป้องกันสนิม แล้วบันทึกสภาพชำรุดเสียหายให้ครบถ้วน - ตรวจสอบน้ำรั่วตามขอบบานระบาย ควรตรวจสอบการผูกרוןของ gate seat ที่ทางน้ำล้น ตรวจสอบ guide plate ที่ด้านขวาต่อมอ และตรวจสอบ rubber seat ว่าสามารถปะกั้นแน่นกับ guide plate ได้ดีหรือไม่ หรือมีการฉีกขาดบริเวณใด - ตรวจสอบเครื่องกว้าน เกี่ยวกับการสึกหรอของเฟืองต่าง ๆ ตรวจสอบจาระบีหรือน้ำมันหล่อลื่น ตลอดจนการผูกרוןและการเป็นสนิม เป็นต้น - ตรวจสอบสลิงดึงบายระบาย มีบริเวณใดที่สึกหรอหรือขาดแหงไปหรือไม่ ตรวจสอบจาระบีหรือน้ำมันหล่อลื่นที่ม้วนสลิง และในส่วนที่จมน้ำอยู่เสมอให้ตรวจสอบสภาพเกี่ยวกับการผูกרוןและสนิมซึ่งอาจเกิดขึ้นโดยง่าย 4) เมื่อตรวจพบบริเวณชำรุดเสียหายหรือมีสิ่งใดสึกหรอไป ควรบันทึกให้ละเอียด แล้ววางแผนซ่อมให้เสร็จตอนช่วงฤดูแล้งในขณะที่ยังไม่มีการใช้งานนั้น ไม่ควรปล่อยทิ้งไว้เพราะอาจชำรุดเสียหายเพิ่มมากขึ้นหรือใช้งานไม่สะดวก

**การตรวจสอบสภาพอาคารท่อปากคลองส่งน้ำ**

ท่อปากคลองส่งน้ำเป็นอาคารสำคัญที่ควรจะได้มีการตรวจสอบสภาพ และมีการซ่อมบำรุงให้มีสภาพดีอยู่เสมอ ซึ่งการตรวจสอบสภาพควรจะทำให้ทั่วทั้งอาคารและบริเวณข้างเคียงในขณะมีการส่งน้ำ เพื่อตรวจสอบหาสิ่งผิดปกติอันอาจเกิดขึ้น ดังรายการและวิธีการตรวจสอบที่สำคัญดังนี้

รายการ	วิธีการตรวจสอบ
ก) ตรวจสอบความสามารถในการส่งน้ำ	ในปีแรกของการเริ่มส่งน้ำ ควรตรวจสอบความสามารถของการส่งน้ำขณะที่น้ำในอ่างเก็บน้ำมีระดับสูงและตามระยะของการเปิดบานต่างๆ ว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร โดยทำการตรวจวัดปริมาณน้ำซึ่งไหลผ่านท่อส่งน้ำมาในแต่ละขณะได้ด้วยการใช้ current meter วัดความเร็วของน้ำไหลที่คลองส่งน้ำด้านท้ายอาคารท่อปากคลองส่งน้ำนั้น ผลคูณระหว่างความเร็วของน้ำไหลกับพื้นที่หน้าตัดของน้ำไหลในคลอง คือ จำนวนน้ำไหลเป็นปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยเวลา (เช่น ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที) ผ่านอาคารซึ่งจะสามารถคำนวณหาออกมาได้โดยมีความสัมพันธ์กับการเปิดบานระบายขึ้นและกับระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ (หรือระดับน้ำต่างกันระหว่างระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำกับระดับน้ำในท่อตั้งบริเวณหน้าอาคาร ซึ่งเป็นแบบ CHO.ถ้ามี) หลังจากนั้นจะสามารถจัดทำกราฟเพื่อใช้ประกอบการเปิดบานระบายน้ำตามจำนวนปริมาณน้ำมากหรือน้อยที่ต้องการส่งเข้าคลองส่งน้ำได้
ข) ตรวจสอบสภาพรอยแตกร้าวของผิวคอนกรีต	ควรตรวจสอบสภาพผิวคอนกรีตที่ส่วนต่าง ๆ ของอาคาร ดังวิธีการเช่นเดียวกับการตรวจสอบสภาพรอยแตกร้าวของอาคารระบายน้ำล้นในข้อ 5.2
ค) ตรวจสอบน้ำไหลซึมที่ด้านข้างอาคาร	อาคารท่อปากคลองส่งน้ำทุกแห่งจะสร้างแนวต่ำ ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีดินถมบดอัดแน่นที่ด้านข้างและส่วนบนของท่อแล้วก็ตาม อาจจะมีน้ำไหลซึมมาตามข้างท่อได้ สมควรตรวจสอบเป็นครั้งคราวตามวิธีการเช่นเดียวกับการตรวจสอบน้ำไหลซึมด้านข้างอาคารระบายน้ำล้นในข้อ 5.2
ง) ตรวจสอบหินทิ้ง stilling basin หรือพื้นคลองส่งน้ำ	ด้านท้าย stilling basin ของอาคารที่ระบายน้ำอาจส่งเป็นคลองส่งน้ำอาจสร้างเป็นคลองดินธรรมดาแล้วมีหินทิ้งไว้ป้องกันกระแสน้ำไหลกัดเซาะ หรือสร้างเป็นคลองลาดด้วยคอนกรีตเชื่อมต่อกับท้าย stilling basin โดยตรง ซึ่งบริเวณดังกล่าวควรจะได้มีการตรวจสอบสภาพเกี่ยวกับการกัดเซาะเป็นครั้งคราว ดังต่อไปนี้ 1) ตรวจสอบอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง 2) ถ้าด้านท้าย stilling basin มีการป้องกันไว้ด้วยหินทิ้ง ให้ตรวจสอบหินทิ้งทั้งหมดว่าถูกน้ำไหลพัดพาไปบ้างหรือไม่ และเป็นจำนวนมากน้อยเท่าใด บันทึกสภาพหินที่ถูกน้ำพัดพาไปทั้งที่บริเวณท้องคลองส่งน้ำและตามลาดตลิ่ง พร้อมทั้งหาสาเหตุ เช่น หินทิ้งมีขนาดเล็กเกินไปหรือไม่ พร้อมกันนี้เกี่ยวกับความยาวของหินทิ้งสำหรับการป้องกันคลื่น ความยาวมากพอหรือไม่ โดยทำการตรวจสอบดินต่อจากแนวหินทิ้งทั้งที่คลองส่งน้ำและตามลาดตลิ่งเกี่ยวกับการถูกคลื่นกัดเซาะ



รายการ	วิธีการตรวจสอบ
	3) ถ้ำด้านท้าย stilling basin สร้างเป็นคลองลาดด้วยคอนกรีต ให้ตรวจสอบคอนกรีตซึ่งอาจชำรุดเสียหายเนื่องมาจากกระแสน้ำไหลปั่นป่วนนั้น แล้วบันทึกสภาพชำรุดเสียหายเพื่อดำเนินการซ่อมแซมโดยด่วนต่อไป
จ) ตรวจสอบบานระบายและเครื่องกั้น	อาคารท่อปากคลองส่งน้ำของเขื่อนเก็บกักน้ำ ส่วนใหญ่จะมีทั้งการติดตั้งบานระบายปิดปากท่อทางด้านอ่างเก็บน้ำ หรือติดตั้งบานระบายไว้กับตัวท่อทางด้านท้ายอาคาร ควรทำการตรวจสอบดังต่อไปนี้ 1) ขณะที่บานระบายปิดกั้นน้ำ ควรบันทึกสภาพการไหลร่วนของน้ำว่ามีจำนวนมากน้อยเพียงใด เพื่อเป็นข้อมูลในการตรวจสอบบานระบายที่ติดตั้งไว้ทางด้านเหนือน้ำตอนที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดต่ำลงมาก 2) สำหรับท่อปากคลองส่งน้ำที่ติดตั้งบานระบายไว้ด้านเหนือน้ำในบางปี เมื่อระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำลดลงถึงระดับต่ำ สุดตอนปลายฤดูแล้ง ให้รีบทำการตรวจสอบบานระบายน้ำทั้งหมด แล้วซ่อมบำรุงส่วนที่ชำรุดสึกหรอเสียตอนช่วงเวลานั้น 3) วิธีการตรวจสอบส่วนต่าง ๆ ของบานระบายและเครื่องกั้นที่ติดตั้งไว้ทางด้านเหนือน้ำ ควรดำเนินการดังนี้- - การตรวจสอบบานระบาย ควรตรวจสอบการผูกเรือนและการเป็นสนิมแล้วบันทึกสภาพการชำรุดเสียหายให้ครบถ้วน - ตรวจสอบการผูกเรือนของ gate seat และ guide plate - ตรวจสอบการผูกเรือนของแกนเหล็กสำหรับยกบานระบายและการตั้งตรงได้ศูนย์ในแนวตั้งหรือไม่ - ตรวจสอบเครื่องกั้น เกี่ยวกับการสึกหรอของเฟือง สภาพจาระบี หรือน้ำมันหล่อลื่น ตลอดจนสีป้องกันสนิม 4) สำหรับบานระบายที่รับแรงดันน้ำสูงควมคุมการเปิดและปิดด้วยระบบไฮดรอลิก หรือแบบ gate valve ชนิดใช้กับงานประปาติดตั้งไว้กับท่อทางด้านท้ายอาคาร ควรดำเนินการตรวจสอบดังนี้ ก) บานระบายที่รับแรงดันน้ำสูงควมคุมการเปิดและปิดด้วยระบบไฮดรอลิก ควรมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ - ตรวจสอบการรั่วไหลของน้ำขณะที่ operating gate ปิดสนิท - ตรวจสอบการรั่วไหลของน้ำมันจากระบบท่อ หากพบควรซ่อมแซมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่ทันที - ตรวจสอบสีป้องกันสนิมของท่อเหล็กและอุปกรณ์ต่าง ๆ ข) บานระบายแบบ gate valve ควรตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ เช่นกัน - ตรวจสอบการรั่วไหลของน้ำ เฉพาะอย่างยิ่งการรั่วออกตามแกนหมุนบาน - ตรวจสอบสีป้องกันสนิม และการผูกเรือนของ valve 5) บันทึกสภาพชำรุดเสียหายหรือส่วนที่สึกหรอไป แล้ววางแผนซ่อมให้เสร็จตอนช่วงฤดูแล้งนั้น ไม่ควรปล่อยทิ้งไว้เพราะอาจทำให้ชำรุดเสียหายเพิ่มมากขึ้น



การตรวจสอบสภาพอาคารที่ระบายน้ำลงลำน้ำด้านท้ายเขื่อน

อาคารที่ระบายน้ำลงลำน้ำด้านท้ายเขื่อนโดยทั่วไปจะก่อสร้างผ่านใต้เขื่อนในแนวต่ำ ซึ่งตัวท่ออาจออกแบบให้น้ำไหลแบบ **pipe flow** แล้วติดตั้งบานระบายกับตัวท่อทางด้านท้ายอาคาร แล้วควบคุมการเปิดและปิดด้วยระบบ ไฮดรอลิก หรือเป็นอาคารที่ลักษณะอื่นตามที่ออกแบบให้เหมาะสม

การตรวจสอบสภาพอาคารที่ระบายน้ำลงลำน้ำด้านท้ายเขื่อนที่สามารถทำได้ ส่วนใหญ่จะเป็นการตรวจสอบระบบไฮดรอลิกควบคุมการเปิดปิดบานระบาย ดังวิธีการที่กล่าวในข้อ 5.3 นอกจากนั้นบริเวณสำคัญ ซึ่งควรมีการตรวจสอบเป็นครั้งคราวตามความเหมาะสม ได้แก่ พื้นลำน้ำด้านท้าย **stilling basin** ซึ่งมักมีการป้องกันกระแสน้ำไหลกัดเซาะไว้ด้วยหินทิ้ง ควรตรวจสอบหินทิ้งทั้งหมดถูกน้ำพัดพาไปบ้างหรือไม่เพียงไร อีกทั้งบริเวณป้องกันการกัดเซาะด้วยหินทิ้งนั้นมีความยาวไปตามลำน้ำมากเพียงพอหรือไม่อีกด้วย

ส่วนการไหลซึมของน้ำมาตามข้างตอก็อาจเกิดขึ้นได้ ควรตรวจสอบด้วยวิธีการเหมือนกับอาคารท่อปากคลองส่งน้ำดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



บทที่ 2

โครงสร้างเขื่อนดินและอาคารประกอบ

เขื่อนดิน

โครงสร้างเขื่อนดิน

การแบ่งชนิดของเขื่อนดินถม โดยทั่วไป จะพิจารณาจากลักษณะโครงสร้างของตัวเขื่อน และชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ก่อสร้างตัวเขื่อนที่เป็นแหล่งดินถมในบริเวณที่จะทำการก่อสร้างซึ่งสามารถแบ่งชนิดของเขื่อนดินถมออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เขื่อนดินถมชนิดเนื้อเดียว (Homogeneous Dam) และเขื่อนดินถมชนิดแบ่งส่วน (Zoned Type Dam) การแบ่งชนิดของเขื่อนดินอย่างชัดเจน จะทำให้สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวเขื่อนได้อย่างถูกต้อง และสามารถป้องกันหรือบรรเทาผลเสียที่จะเกิดตามมาได้ตั้งแต่เริ่มต้นการคำนวณออกแบบ อีกทั้งยังเป็นการใช้วัสดุก่อสร้างให้เหมาะสมกับวัสดุที่หาได้อีกด้วย

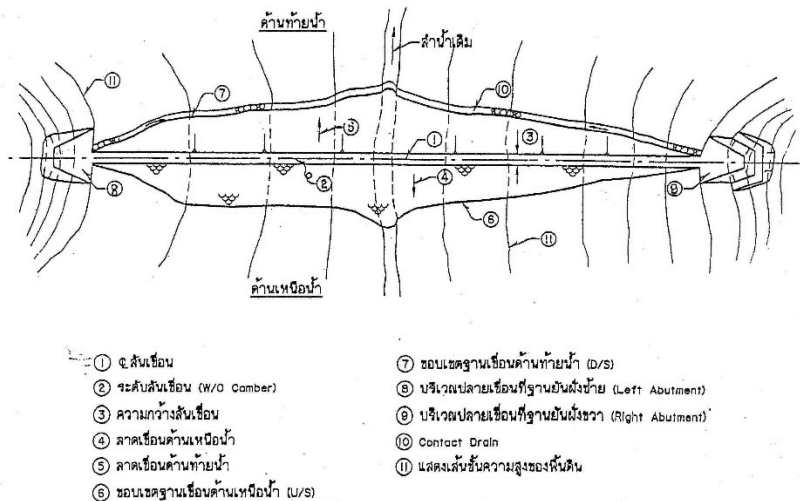
ส่วนประกอบของเขื่อนดิน หมายถึง ส่วนต่างๆ ที่ประกอบกันเป็นรูปร่างเขื่อนดิน ซึ่งส่วนประกอบแต่ละส่วนจะทำหน้าที่แตกต่างกันไป หรืออีกนัยหนึ่งเป็นการกำหนดรายละเอียดทางโครงสร้างของตัวเขื่อน เพื่อให้ตัวเขื่อนสามารถทำหน้าที่ต่างๆ ได้อย่างสมบูรณ์ครบถ้วนตามที่กำหนดไว้ โดยทั่วไปเขื่อนดินจะมีส่วนประกอบต่างๆ ได้แก่ สันเขื่อน ระบายน้ำ (Freeboard) ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำที่ป้องกันการกัดเซาะด้วยหินทิ้ง (Riprap) กรวดทรายรองพื้น (Bedding) ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำที่ป้องกันการกัดเซาะด้วยหินเรียงหรือการปลูกหญ้าบนหน้าดิน (Top Soil) แกนเขื่อน (Core Zone) ส่วนเปลือกนอก (Random Zone) ส่วนร่องแกน (Cutoff Trench) ส่วนที่เป็นขานพัก (Berm) เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของตัวเขื่อนในกรณีที่เขื่อนมีความสูงค่อนข้างมาก หรือดินที่นำมาก่อสร้างตัวเขื่อนมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมไม่ดีนัก ส่วนของระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อน ซึ่งได้แก่ Chimney Drain, Blanket Drain หรือ Horizontal Drain, Finger Drain, Rockfill Toe และ Toe Drain เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีส่วนของระบบระบายน้ำผิวดินซึ่งได้แก่ Contact Drain และ Open Drain หรือ Gutter เป็นต้น ส่วนของบริเวณปลายเขื่อนทั้งสองฝั่งที่มักจะออกแบบให้เป็นทึกลับรถ ส่วนเพื่อการหลุดตัวของสันเขื่อนที่เรียกว่า Camber

ส่วนประกอบต่างๆ ของตัวเขื่อนตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2 - 1 ถึงรูปที่ 2 - 3 มีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

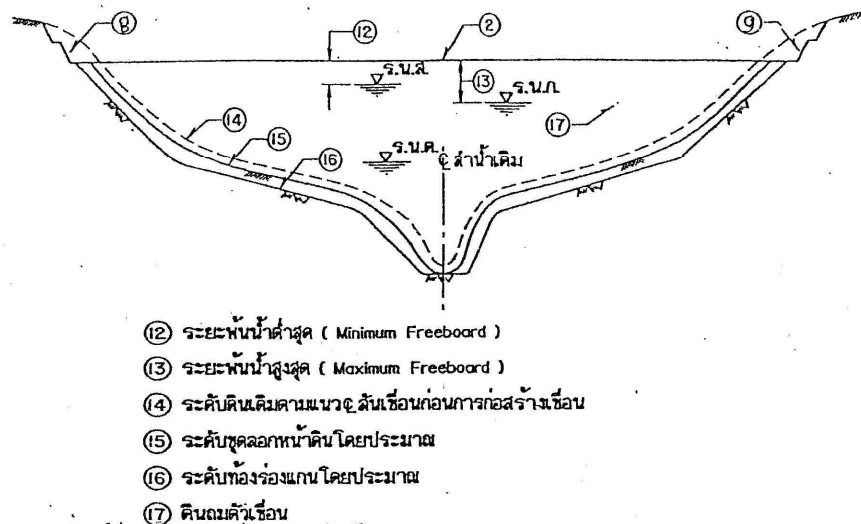
(1) ร่องแกน (Cutoff Trench) เป็นส่วนของดินชุดที่อยู่ต่ำกว่าระดับขุดลอกหน้าดิน หรือระดับดินเดิม โดยทั่วไปจะขุดเป็นร่องรูปสี่เหลี่ยมคางหมู มีก้นร่องแกนกว้างตั้งแต่ 4.0 เมตรขึ้นไป ก้นร่องแกนมักจะวางอยู่บนชั้นฐานรากที่มีความแน่นแข็งสามารถรับน้ำหนักของตัวเขื่อนได้ดี โดยทั่วไปหากระดับชั้นหินไม่ลึกมากจะออกแบบให้วางไว้ที่ระดับชั้นหิน เรียกว่า Full Cutoff Trench แต่ถ้าระดับชั้นหินอยู่ลึกมากจนไม่เหมาะสมที่จะขุดร่องแกนลงไปถึงชั้นหิน จะออกแบบให้ร่องแกนวางอยู่บนชั้นดินที่มีความแน่นแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้ เรียกว่า Partial Cutoff Trench ร่องแกนจะทำหน้าที่หลักสองประการคือ เป็นส่วนที่บีบน้ำเพื่อป้องกันน้ำซึมผ่านชั้นฐานรากที่เป็นดินและเป็นส่วนถ่ายน้ำหนักของตัวเขื่อนดินลงสู่ชั้นฐานรากที่มีความแน่นแข็งแรงกว่า



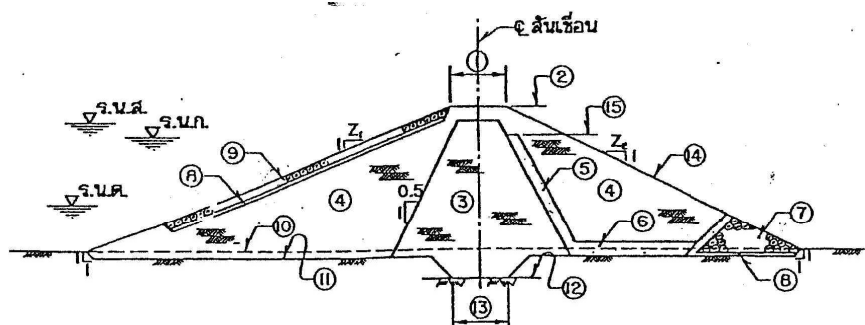
(2) การขุดลอกหน้าดิน (Stripping) เป็นการขุดผิวหน้าดินเดิมบริเวณใต้ฐานเขื่อนที่อยู่ในเขตรากพืชหรือเศษวัสดุอื่นที่อาจจะมีการผุสลายหรือมีความอ่อนตัวได้ออกไป โดยทั่วไปจะทำการขุดลอกหน้าดินใต้ฐานเขื่อนตั้งแต่ความลึก 0.50 เมตรจนถึง 1.00 เมตร แต่ถ้าหากบริเวณใดเป็นดินอ่อนก็อาจจะขุดลอกออกไปลึกมากกว่า 1.00 เมตรก็ได้ ซึ่งเขื่อนบางแห่งอาจจะทำการขุดลอกดินอ่อนออกถึง 5.00 เมตร



รูปที่ 2-1 แผนแสดงส่วนประกอบของเขื่อนดินถม



รูปที่ 2-2 รูปตัดตามยาวตามแนวศูนย์กลางสันเขื่อน แสดงส่วนประกอบเขื่อนดินถม



① ความกว้างสันเขื่อน	⑨ หินทิ้ง (Riprap)
② ระดับสันเขื่อน (W/O Camber)	⑩ ระดับดินเดิม
③ ดินถมแกนกลาง (Core Zoned)	⑪ ระดับชุดลอกหน้าดิน
④ ดินถมเปลือกนอก (Random)	⑫ ระดับชั้นหิน
⑤ Chimney Drain	⑬ ความกว้างร่องแกน
⑥ Blanket Drain	⑭ ปลุกหญ้าบนดิน Topsoil
⑦ Rockfill Toe	Z ₁ ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ
⑧ กรวดทรายรองพื้น (Bedding)	Z ₂ ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ

รูปที่ 2-3 รูปตัดขวางตัวเขื่อน (จากรูปที่ 2 - 2)

(3) ดินถมแกนเขื่อน (Core Zoned) เป็นดินถมบดอัดแน่นตัวเขื่อนเพื่อทำหน้าที่เป็นส่วนที่บดน้ำที่ส่วนกลางของตัวเขื่อนโดยปกติเป็นดินเม็ดละเอียดที่บดน้ำ (Impervious Soil) ที่มีค่าความซึม (Permeability , k) ต่ำกว่า 10^{-5} ซม.ต่อวินาที กำหนดให้ถมบดอัดแน่นไม่น้อยกว่า 98% Standard Proctor Compaction Test (SPCT) ดินถมแกนเขื่อนถูกกำหนดให้ทำหน้าที่ลดการซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อน ดังนั้นยังดินถมส่วนนี้มีค่าความที่บดน้ำต่ำมากเท่าไร จะยิ่งลดการซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนลงได้มากด้วยเท่านั้น ขอบเขตของดินถมแกนเขื่อนจะถูกกำหนดให้มีความหนาพอเพื่อป้องกันการแตกร้าวโดยทั่วไปจะให้ส่วนฐานกว้างประมาณ 0.5 ถึง 1.5 เท่าของความสูงตัวเขื่อนขึ้นกับปริมาณดินถมแกนเขื่อนว่าจะมีมากหรือน้อย โดยมีส่วนบนกว้างน้อยกว่าความกว้างสันเขื่อน ลาดด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำกำหนดไว้ 1:1 หรือชันกว่าก็ได้

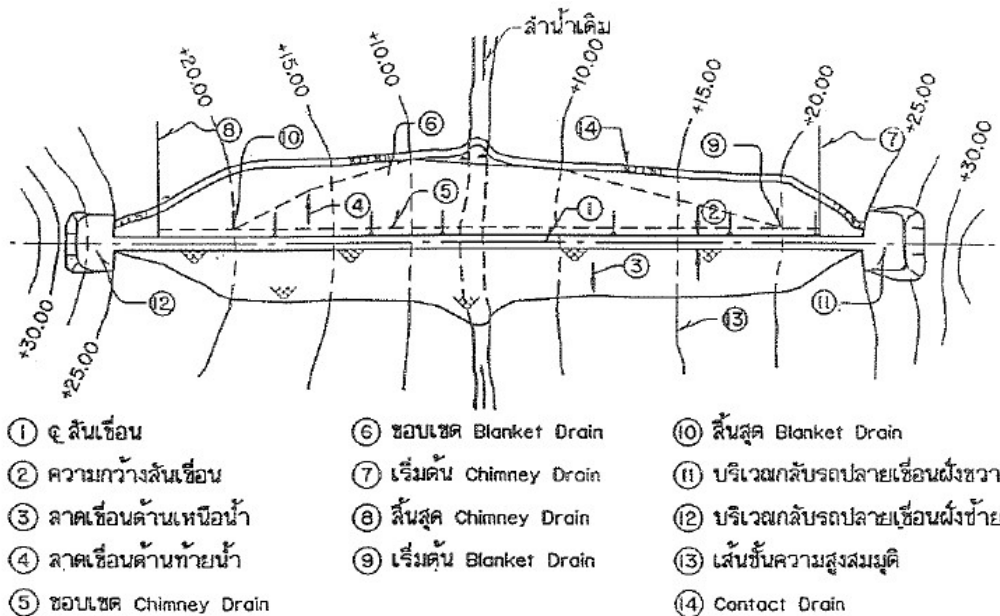
(4) ดินถมเปลือกนอก (Random Zone) เป็นดินถมบดอัดแน่นตัวเขื่อนส่วนที่หุ้มแกนเขื่อนไว้ทั้งด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำ โดยทั่วไปจะมีคุณสมบัติที่บดน้ำโดยสามารถระบายน้ำได้ดีกว่าส่วนที่เป็นแกนเขื่อน ดินถมตัวเขื่อนส่วนนี้จะมีความซึมมากกว่าดินถมแกนเขื่อนตั้งแต่ 10 เท่าขึ้นไป และที่ดีควรมีค่าความซึมที่แตกต่างกันประมาณ 100 เท่า ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการระบายน้ำออกจากตัวเขื่อนได้ดี ดินถมส่วนนี้จะทำการบดอัดแน่นไม่น้อยกว่า 95% Standard Proctor Compaction Test โดยทำหน้าที่ให้ลาดเขื่อนมีความมั่นคงแข็งแรงไม่เลื่อนไหล (Slide) ได้โดยง่าย

(5) Chimney Drain ทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อน โดยรับน้ำจากดินถมแกนเขื่อน ลักษณะวางเอียงไปตามขอบเขตของลาดดินถมแกนเขื่อนด้านท้ายน้ำ วัสดุที่ใช้เป็นกรวดทรายที่มีขนาดละเอียด



เหมาะสมเพื่อการระบายน้ำได้ดีและป้องกันการพัดพาเม็ดดินละเอียดจากดินถมแกนเขื่อนออกไปทางด้านท้ายน้ำด้วย โดยทั่วไปกำหนดความหนาไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร สำหรับเขื่อนขนาดกลางขึ้นไป โดยมีส่วนบนสุดกำหนดไว้ที่ระดับน้ำเก็บกัก ทั้งนี้เพื่อเป็นการเผื่อไว้สำหรับกรณีการก่อสร้างที่ชั้นรอยต่อระหว่างดินถมตัวเขื่อนมีปัญหา ซึ่งอาจจะทำให้มีน้ำไหลไปตามรอยต่อนั้นแล้วทะลุออกทางลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำโดยจะมี Chimney Drain ดักไว้ การกำหนดให้มีส่วนประกอบนี้จะช่วยทำให้ดินถมเปลือกนอกด้านท้ายน้ำค่อนข้างแห้ง ตัวเขื่อนจึงมีความเสถียรมากขึ้น

(6) Blanket Drain ทำหน้าที่เป็นส่วนหนึ่งของระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อน โดยรับน้ำจากดินถมแกนเขื่อน Chimney Drain และฐานราก ลักษณะวางราบบนดินฐานเขื่อนที่ทำการขุดลอกหน้าดินออกแล้ว โดยด้านเหนือน้ำเชื่อมต่อกับ Chimney Drain ส่วนปลายด้านท้ายน้ำจะเชื่อมต่อกับ Rockfill Toe และหรือ Toe Drain หรือวางระบายน้ำที่ตีนเขื่อนด้านท้ายน้ำ แล้วระบายน้ำจากตัวเขื่อนและฐานรากออกทางอาคารวัดน้ำ (Seepage Flow Meter) หรือลำน้ำเดิมต่อไป วัสดุที่ใช้เป็นกรวดทรายที่มีขนาดเหมาะสมเช่นเดียวกับ Chimney Drain โดยทั่วไปกำหนดความหนาไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร สำหรับเขื่อนขนาดกลางขึ้นไป



รูปที่ 2-4 แสดงแปลนซอบเขต Blanket Drain

(7) หินถมตีนเขื่อน (Rockfill Toe) อยู่บริเวณตีนเขื่อนด้านท้ายน้ำในบริเวณร่องน้ำลึกและเลยขึ้นมาบนตลิ่งจนถึงระดับที่ต้องการ ทำหน้าที่ป้องกันการกัดเซาะตัวเขื่อนในกรณีที่ระดับน้ำในร่องน้ำด้านท้ายเขื่อนล้นตลิ่ง อันเนื่องมาจากการระบายน้ำออกจากตัวเขื่อนและหรือเนื่องจากมีฝนตกหนักจนระดับน้ำในลำน้ำล้นตลิ่ง รวมทั้งยังช่วยในเรื่องของการระบายน้ำออกจาก Blanket Drain และเพิ่มความมีเสถียรภาพของลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำอีกด้วย ประกอบด้วย หินใหญ่ที่มีขนาดเหมาะสมและวางอยู่บนกรวดทรายที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 0.20 เมตร รวมทั้งที่บริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่างหินถมตีนเขื่อนกับตัวเขื่อนดินจะต้องปูวัสดุรองพื้นหรือวัสดุกรอง (Filter Material) เป็นส่วนเชื่อมต่อด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการพัดพาวัสดุละเอียดจากตัวเขื่อนเข้าสู่ Rockfill Toe



(8) กรวดทรายรองพื้น (Bedding Material) เป็นวัสดุประเภทกรวดและทรายที่มีขนาดเหมาะสม ใช้ปูลงบนพื้นดินก่อนการนำหินคละขนาดใหญ่มาวางทำหน้าที่หลักเป็นวัสดุรองพื้นสำหรับหินเรียงและหินทิ้งเพื่อป้องกันไม่ให้หินจมลงในดิน นอกจากนั้นยังทำหน้าที่รองช่วยป้องกันการพัดพาวัสดุดินเม็ดละเอียดไหลลอดออกมา ขณะเกิดคลื่นหรือขณะที่น้ำได้ดินสูงกว่าระดับน้ำด้านนอกหินทิ้งหรือหินเรียง ส่วนประกอบโดยทั่วไปเป็นกรวดหรือหินย่อยผสมทรายมีขนาดเหมาะสม โดยจะปูหนาประมาณ 0.20 เมตรขึ้นไป

(9) หินทิ้ง (Dumped Rock Riprap) ก่อสร้างตามลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ ตั้งแต่ระดับน้ำต่ำสุดจนถึงระดับสันเขื่อนโดยวางลงบนกรวดทราย ทำหน้าที่เพื่อป้องกันการกัดเซาะลาดตัวเขื่อนอันเนื่องมาจากแรงกระทำของคลื่นในอ่างเก็บน้ำ โดยมีความหนาตั้งแต่ 0.50 เมตรขึ้นไป ความหนาจะมากหรือน้อยขึ้นกับขนาดความสูงของคลื่นที่จะเกิดขึ้น หินทิ้งจะต้องมีขนาดใหญ่และเล็กคละกันอย่างเหมาะสมเพื่อให้เกิดช่องว่างน้อยที่สุดเมื่ออยู่ในที่แล้ว และเพื่อให้ให้เกิดการขัดกัน (Inter Lock) อย่างแข็งแรงแน่นหนา หินทิ้งจะต้องมีความแข็งแรง ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดีและต้องมียาน้ำหนักมาก มีลักษณะเป็นเหลี่ยม ไม่แบน ก่อสร้างโดยเทหินจากรถบรรทุกลงไปในลาดเขื่อนแล้วใช้เครื่องจักรกลที่เหมาะสมหรือแรงคนเกลี่ยให้ได้ระดับความแน่นและความหนา



Figure 6-46.—Riprap on upstream slope of an earthfill dam. Dam is in excellent condition after 50 years of service. The structure is Cold Springs Dam, which forms an offstream reservoir on the Umatilla Project in Oregon. IO-2194.

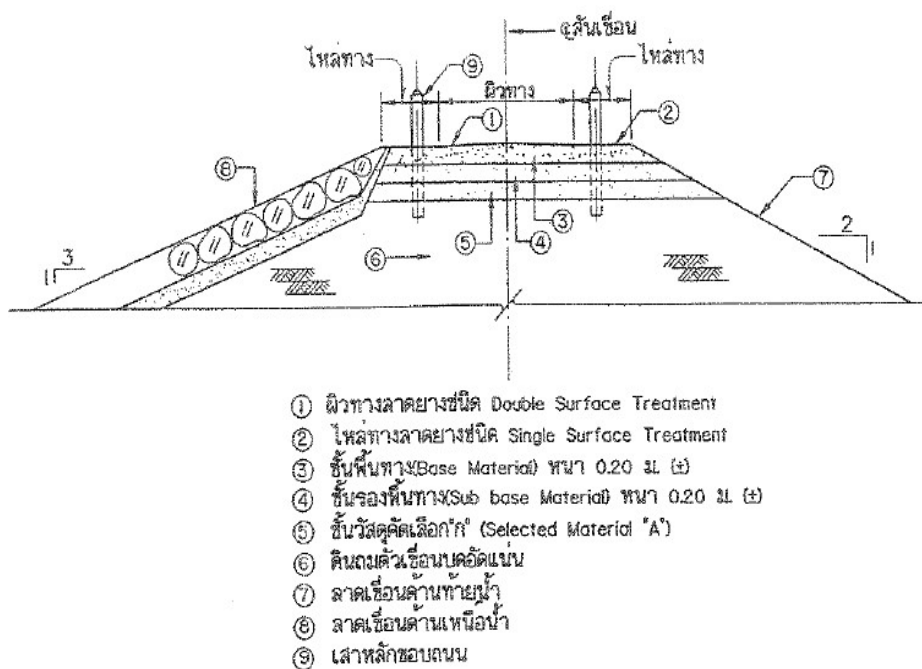
รูปที่ 2-5 แสดงภาพหินทิ้ง (Dumped Rock Riprap)

(10) หินเรียง (Hand Placed Rock Riprap) ก่อสร้างไว้ตามลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำตั้งแต่สันเขื่อนจนถึงระดับสันเขื่อน โดยวางอยู่บนกรวดทราย ทำหน้าที่ป้องกันการกัดเซาะลาดตัวเขื่อนอันเนื่องมาจากฝนตก โดยมีความหนาประมาณ 0.30 เมตร และมีขนาดเล็กละกันอย่างเหมาะสม เพื่อให้มีช่องว่างน้อยที่สุดและมีการเรียงตัวขัดกันให้เกิดความแข็งแรงแน่นหนา ก่อสร้างโดยการเรียงหินด้วยแรงงานคนให้ได้ความหนา ระดับ แนวที่ต้องการ



(11) ปลุกหญ้า ทำการออกแบบก่อสร้างไว้ตามลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ และหรือตามลาดดินชุดข้างอาคาร เพื่อป้องกันการกัดเซาะดินลาดตัวเขื่อน และหรือลาดดินชุดอันเนื่องมาจากฝนตกหนัก โดยจะต้องปลุกหญ้าให้ขึ้นงอกงามตามลาดเขื่อน หรือลาดดินชุด ก่อนปลุกหญ้าให้ปูหน้าดิน (Top Soil) ที่มีความอุดมสมบูรณ์ด้วยธาตุอาหารพืชหนาไม่น้อยกว่า 0.15 เมตร เพื่อให้เป็นอาหารของหญ้า

(12) สันเขื่อน (Crest of Dam) เป็นส่วนบนสุดของตัวเขื่อนมีความกว้างตั้งแต่ 5.00 เมตรขึ้นไป โดยให้ความกว้างเพียงพอที่จะปฏิบัติงานก่อสร้างและบำรุงรักษาได้ ออกแบบให้ทำหน้าที่เป็นถนนบนสันเขื่อนเพื่อใช้ในการตรวจสอบและบำรุงรักษาตัวเขื่อน สันเขื่อนจะถูกออกแบบให้มีระดับสูงกว่าระดับน้ำเก็บกักไม่น้อยกว่า 3.50 เมตร และหรือสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดไม่น้อยกว่า 2.00 เมตร สำหรับเขื่อนขนาดกลางขึ้นไป ซึ่งเรียกว่าระยะพื้นน้ำ (Freeboard) ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดคลื่นในอ่างเก็บน้ำกระโจนล้นข้ามสันเขื่อนได้ มิเช่นนั้นจะทำให้เกิดการกัดเซาะที่สันเขื่อนและตามลาดท้ายเขื่อน รวมทั้งเป็นส่วนความปลอดภัยของตัวเขื่อนป้องกันน้ำในอ่างล้นข้ามสันเขื่อน ขณะที่น้ำไหลเข้าอ่างปริมาณมากผิดปกติ นอกจากนั้นบนสันเขื่อนยังอาจจะมีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อนบางประเภทอีกด้วย เช่น Surface Settlement Point และ Inclinator และ Instrument House ของ Piezometer เป็นต้น

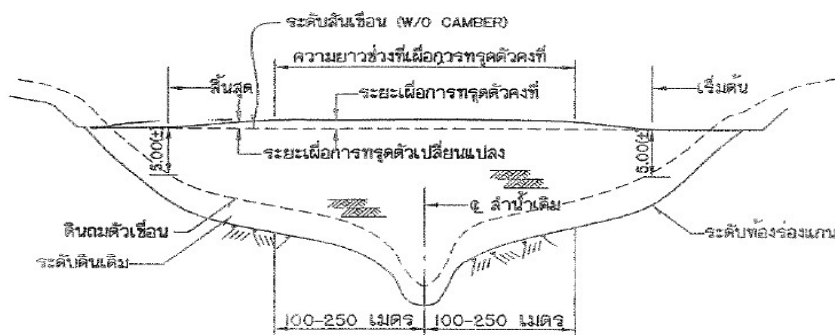


รูปที่ 2-6 แสดงรูปตัดรายละเอียดสันเขื่อน

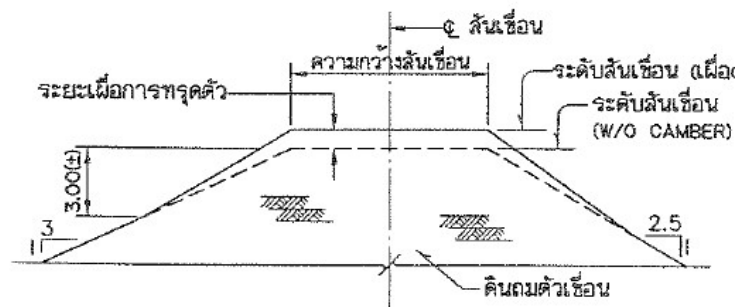
(13) ระยะเผื่อการทรุดตัว (Camber) เป็นระยะความสูงของสันเขื่อนดินจากระดับสันเขื่อนปกติที่ไม่เผื่อการทรุดตัว (Dam's Crest Without Camber หรือ ระดับสันเขื่อน W/O Camber) ทั้งนี้เนื่องจากวัสดุดินถมตัวเขื่อนจะมีการทรุดตัวตามปกติ ดังนั้นจึงเผื่อระดับสันเขื่อนให้สูงขึ้นมากกว่าที่ต้องการตามความสูงของตัวเขื่อน



ซึ่ง USBR แนะนำให้เผื่อไว้ไม่น้อยกว่า 1% ของความสูงตัวเขื่อนที่จุดพิจารณา เช่น เขื่อนดินมีความสูง 20.00 เมตร จะมีการเผื่อระยะทรุดตัวไม่น้อยกว่า 0.20 เมตร ดังนั้นหากกำหนดระดับสันเขื่อนไว้ที่ +200.00 ม.(รทก.) (W/O Camber) จะต้องกำหนดระดับสันเขื่อนที่เผื่อการทรุดตัวไว้ที่ + 200.20 ม.(รทก.) ซึ่งผู้ก่อสร้างจะต้องก่อสร้างสันเขื่อนที่จุดกำหนดไว้ที่ระดับ +200.20 ม.(รทก.) ด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามการทรุดตัวของตัวเขื่อนจะประกอบด้วย การทรุดตัวของฐานราก และการทรุดตัวของดินถมตัวเขื่อน ซึ่งเป็นลักษณะของการทรุดตัวจากการคายน้ำ (Consolidation Settlement) จึงจำเป็นต้องการคำนวณค่าการทรุดในลักษณะดังกล่าวด้วย หากค่าที่คำนวณได้น้อยกว่า 1% ของความสูงตัวเขื่อนก็ให้ใช้ 1% แต่ถ้าคำนวณได้มากกว่าก็ให้ใช้ค่าที่คำนวณได้ไปกำหนดระยะเผื่อการทรุดตัวต่อไป



ก. รูปตัดตามแนว ค. สันเขื่อนแสดงการกำหนดระยะเผื่อการทรุดตัว

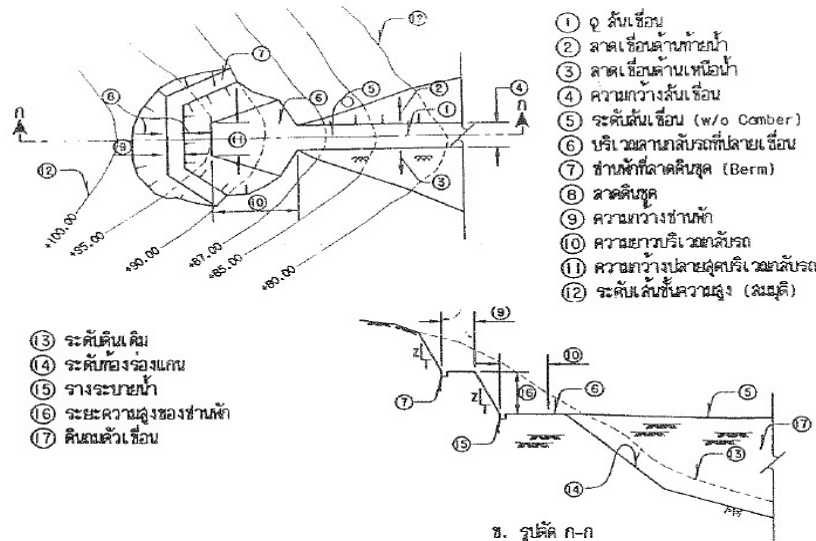


ข. รูปตัดขวางสันเขื่อนแสดงระยะเผื่อการทรุดตัว

รูปที่ 2-7 แสดงการเผื่อ Camber บนสันเขื่อน

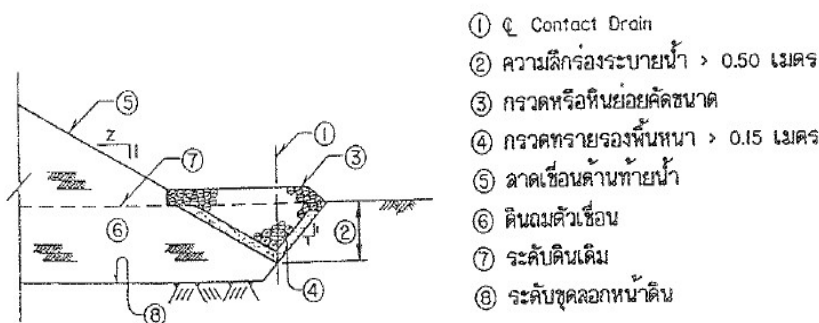


(14) ฐานยันเขื่อน (Abutment) คือบริเวณไหล่เขาและระดับสันเขื่อนมาบรรจบกัน หรือบริเวณที่เป็นจุดสิ้นสุดของตัวเขื่อนไปชนกับดินเดิมบริเวณไหล่เขาทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวา บริเวณนี้จะทำการขุดเปิดลาดเชิงเขาออกไปให้มีพื้นที่กว้างพอสมควรที่จะเชื่อมกับสันเขื่อน เพื่อใช้เป็นบริเวณกลับริดและ หรือเป็นพื้นที่พักยานพาหนะที่ใช้ในการตรวจสอบสภาพและบำรุงรักษาตัวเขื่อน โดยทั่วไปจะเป็นดินเดิมที่มีการขุดดินหรือระเบิดหินออกให้เป็นลานกว้างเพื่อวัตถุประสงค์ตามที่กล่าวไว้ บริเวณนี้จะมีการตัดลาดเชิงเขาออกไปด้วย



รูปที่ 2-8 แสดงบริเวณฐานยันเขื่อน

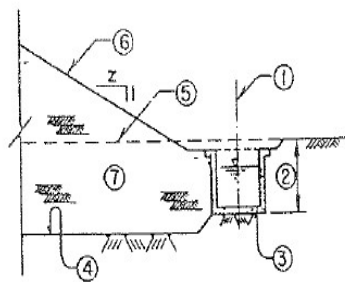
(15) Contact Drain เป็นระบบระบายน้ำที่ติดตั้งด้านท้ายน้ำ กำหนดให้เริ่มตั้งแต่ฐานยันเขื่อนลงมา โดยกำหนดในบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดชันมาก องค์ประกอบของ Contact Drain เป็นหินใหญ่เคลือบขนาดกลมกลับลงในร่องระบายน้ำที่บริเวณสันเขื่อน ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลในบริเวณพื้นที่ลาดชัน ให้มีความเร็วไม่มากนัก เพื่อลดการกัดเซาะลง โดยทั่วไปจะระบายน้ำผิวดินที่เกิดจากน้ำฝนเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามหากปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเขื่อนและฐานเขื่อนมีมากก็สามารถระบายออกทาง Contact Drain ได้ด้วยเช่นกัน แต่โอกาสเช่นนี้ก็ยังมีไม่มากนัก นอกจากนั้นยังอาจจะมีการออกแบบการระบายน้ำที่สันเขื่อนตลอดทั้งเขื่อนก็ได้ แต่ค่อนข้างจะมีราคาแพง



รูปที่ 2-9 แสดงรูปทั่วไป Contact Drain



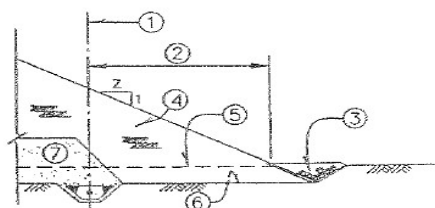
(16) รางระบายน้ำ (Open Drain) เป็นระบบระบายน้ำที่ติดตั้งด้านท้ายน้ำเชื่อมต่อกับ Contact Drain โดยทั่วไปจะกำหนดในบริเวณพื้นที่ราบของตัวเขื่อน ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วกระแส น้ำจะไม่ไหลเร็วมากนัก โดยมีลาดของรางที่เหมาะสมไปยังจุดต่ำเพื่อให้สามารถระบายน้ำได้ดี รูปแบบทั่วไปอาจจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู หรือรูปสามเหลี่ยมก็ได้ ทำการลาดผิวล่างที่เป็นดินด้วยคอนกรีต หรือทำหินเรียงก็ได้ การทำเป็นรางเปิดจะทำให้เห็นการไหลของน้ำได้อย่างชัดเจน ทำให้เห็นได้ว่ามีน้ำมากน้อยแค่ไหน ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดขนาดของรางให้ใหญ่พอที่ระบายน้ำได้เป็นอย่างดี หากมีขนาดเล็กไปจะทำให้ น้ำล้นนอกกรางแล้วกระจายออกไปโดยทั่ว ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความไม่สวยงามและเกิดความเสียหายขึ้นได้



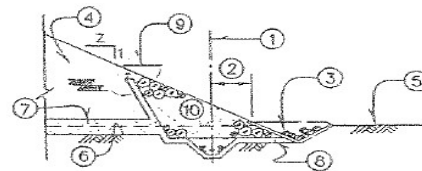
- ① ราง Open Drain
- ② ความลึกรางระบายน้ำ ≈ 0.40 เมตร
- ③ รางระบายน้ำ ค.ส.ล.
- ④ ระดับซูดลอกหน้าดิน
- ⑤ ระดับดินเดิม
- ⑥ ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ
- ⑦ ดินถมตัวเขื่อน

รูปที่ 2-10 แสดงรูปทั่วไปรางระบายน้ำที่ตีนเขื่อน

(17) ท่อระบายน้ำที่ตีนเขื่อน (Toe Drain) เป็นระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนที่ติดตั้งไว้บริเวณ Rockfill Toe หรือตีนเขื่อนด้านท้ายน้ำเชื่อมต่อกับ Blanket Drain ประกอบด้วย การขุดร่องในดินให้มีขนาดเหมาะสม ลึกต่ำกว่าระดับ Blanket Drain (เพื่อดึงระดับน้ำให้ต่ำลงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้) มีท่อระบายน้ำเจาะรู พร้อมกรวดทรายละเอียดขนาดที่เหมาะสมหุ้มรอบท่อ โดยทั่วไปกำหนดขนาดท่อระบายน้ำตั้งแต่ขนาด 0.20 เมตร ขึ้นไป ท่อระบายน้ำนี้จะต้องมีลาดตามแนวยาวที่เกือบขนานกับตัวเขื่อนอย่างเหมาะสม เพื่อให้เกิดการระบายน้ำที่ดี แล้วไปปล่อยน้ำทิ้งที่จุดต่ำสุดของตัวเขื่อน



(ก) การออกแบบ Toe Drain ไว้ที่ปลาย Blanket Drain



(ข) การออกแบบ Toe Drain ไว้ที่บริเวณใต้ฐาน Rockfill Toe

- | | | |
|------------------------|----------------------|----------------------|
| ① ราง Toe Drain | ⑤ ระดับดินเดิม | ⑨ ระดับ Rockfill Toe |
| ② ระยะห่างจากฐานเขื่อน | ⑥ ระดับซูดลอกหน้าดิน | ⑩ Rockfill Toe |
| ③ Contact Drain | ⑦ Blanket Drain | |
| ④ ดินถมตัวเขื่อน | ⑧ กรวดทรายรองพื้น | |

รูปที่ 2-11 แสดงท่อระบายน้ำที่ตีนเขื่อน



พฤติกรรมและจุดอ่อนของเขื่อนดิน

ด้วยวัสดุส่วนใหญ่ที่ใช้ในการก่อสร้างเขื่อนดิน เป็นดินประเภทต่างๆ ที่มีความเหมาะสมตามที่ได้กล่าวมาในตอนต้นแล้ว ในส่วนของฐานรากเขื่อนดินก็มักจะเป็นดินหรือชั้นหินที่ร่องแกนของตัวเขื่อนวางอยู่ ดังนั้นเมื่อเขื่อนดินต้องรองรับแรงดันจากน้ำในอ่างเก็บน้ำ จะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นกับความลึกน้ำด้านหน้าตัวเขื่อน รวมทั้งจะต้องรับน้ำหนักจากตัวเขื่อนดินเอง และรับแรงที่เกิดขึ้น เนื่องจากการเกิดแผ่นดินไหวจากสาเหตุต่างๆ จะทำให้เขื่อนดินมีพฤติกรรมต่างๆ เกิดขึ้น ซึ่งขออธิบายโดยสรุปดังนี้

(1) เกิดการทรุดตัว แม้ว่าจะมีการบดอัดดินเป็นอย่างดีในระหว่างการก่อสร้างตัวเขื่อนดินแล้วก็ตาม แต่เนื่องจากคุณสมบัติของดินที่นำมาถมตัวเขื่อน จึงทำให้ตัวเขื่อนเกิดการทรุดตัวขึ้นทั้งในระหว่างการก่อสร้าง ภายหลังก่อสร้างและใช้งานอาคารแล้ว การทรุดตัวของเขื่อนดินมิได้เกิดขึ้นเฉพาะในตัวเขื่อนแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังเกิดขึ้นในส่วนของฐานรากที่เป็นชั้นดินเดิมด้วยเช่นกัน การทรุดตัวที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อย ขึ้นกับคุณสมบัติดินและความสูงของตัวเขื่อน ตลอดจนคุณภาพในการก่อสร้างบดอัดตัวเขื่อน ดังนั้นผู้ออกแบบจึงกำหนดให้มีระยะเผื่อการทรุดตัว (Camber) ไว้ที่สันเขื่อนด้วย โดยทั่วไปจะกำหนดไว้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของความสูงเขื่อน ณ จุดที่พิจารณา ซึ่งเป็นไปตามคำแนะนำของ USBR ที่กล่าวไว้ในเอกสารอ้างอิง อย่างไรก็ตาม ผู้ออกแบบจะทำการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าผลการทดสอบ Consolidation ของดินถมตัวเขื่อนด้วย ลักษณะของระยะเผื่อการทรุดตัว จะกำหนดเริ่มจากบริเวณใกล้เคียงกับฐานยันเขื่อนฝั่งขวา (Right Abutment) แล้วไปสิ้นสุดลงที่บริเวณใกล้เคียงกับฐานเขื่อนฝั่งซ้าย (Left Abutment) โดยบริเวณจุดลึกสุดของตัวเขื่อนจะกำหนดให้มีระยะเผื่อการทรุดตัวมากที่สุด เช่น เขื่อนสูง 30 เมตร จะกำหนดระยะเผื่อการทรุดตัวต่ำสุดเท่ากับ 0.30 เมตร โดยกำหนดให้ระดับสันเขื่อนบริเวณที่ต้องการเผื่อการทรุดตัวมีระดับสูงกว่าระดับกำหนด (Without Camber , W/O Camber) อีก 0.30 เมตร เป็นต้น

(2) เกิดการแตกร้าว ด้วยคุณสมบัติของดินโดยทั่วไปจะเกิดการแตกร้าวได้โดยง่ายเมื่อความชื้นในดินระเหยออกไป เนื่องจากเกิดแรงดึงระหว่างเม็ดดินสูงด้วยกับการหดตัวของเนื้อดิน นอกจากนั้นการแตกร้าวยังอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุอื่นได้อีก เช่น การทรุดตัวไม่เท่ากัน การเคลื่อนตัวของตัวเขื่อน เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ผู้ออกแบบได้กำหนดให้มีการถมบดอัดดินให้แน่นประมาณร้อยละ 98 ของ Standard Proctor Compaction Test , SPCT) สำหรับแกนเขื่อน (Core Zone) และบดอัดแน่นร้อยละ 95 ของ SPCT สำหรับส่วนที่เป็นเปลือกหุ้ม (Random Zone) ซึ่งผู้ก่อสร้างมักจะทำการบดอัดดินตัวเขื่อนไปทางด้านเปียกเล็กน้อย (Wet Side) ของค่า Optimum Moisture Content จึงทำให้ลดการแตกร้าว เนื่องจากการระเหยของน้ำในดินตัวเขื่อนลงได้มาก

(3) เกิดการเคลื่อนตัว เมื่อเขื่อนต้องรองรับแรงดันจากน้ำในอ่างหรือจากแรงกระทำจากแหล่งอื่นจะเกิดการเคลื่อนตัวตามแนวราบ (การเคลื่อนตัวของตัวเขื่อนมี 2 ลักษณะ คือ การทรุดตัวตามแนวตั้ง และการเคลื่อนตัวตามแนวราบ) อย่างไรก็ตาม การเคลื่อนตัวตามแนวราบอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุอื่นก็ได้ เช่น ในช่วงระหว่างการก่อสร้างที่มีการถมดินด้านเหนือหน้าและท้ายน้ำของตัวเขื่อนไม่เท่ากัน หรือดินมีปริมาณความชื้นมากเกินไปซึ่งทำให้แรงดันน้ำในดิน (Pore Water Pressure) สูง หรือเกิดจากแผ่นดินไหว หรือเกิดจากความไม่มีเสถียรภาพของลาดตัวเขื่อน หรือฐานรากที่ไม่สามารถรับแรงได้ นอกจากนั้นยังอาจเกิดจากคุณสมบัติของดินที่นำมาถมบดอัดก่อสร้างตัวเขื่อนต่ำกว่าที่กำหนดก็ได้



(4) เกิดการรั่วซึม ด้วยคุณสมบัติของดินที่นำมาใช้ในการก่อสร้างเขื่อนดินอีกเช่นกันที่น้ำ สามารถซึมผ่าน ได้ทำให้ตัวเขื่อนและฐานรากมีน้ำซึมผ่านออกมา โดยทั่วไปผู้ออกแบบจะพิจารณาเลือกดินที่นำมาก่อสร้างแกน เขื่อน (Core Zone) เป็นดินเหนียวที่บน้ำที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่าน (Coefficient of Permeability , k) ไม่ มากกว่า 10^{-5} ซม.ต่อวินาที และค่า k สำหรับเปลือกนอก (Random Zone) มีค่าไม่น้อยกว่า 10^{-3} ซม.ต่อวินาที ซึ่งทำให้ลดปริมาณการไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนลงได้มาก แต่ก็ยังมีปริมาณน้ำไหลซึมผ่านตัวเขื่อนพอสมควร โดยขึ้นกับความลึกของน้ำในอ่างด้วย กล่าวคือ หากน้ำลึกมาก ปริมาณน้ำซึมผ่านจะมากตามไปด้วย นอกจากนั้น หากตัวเขื่อนมีความยาวมาก ก็จะทำให้มีปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเขื่อนมากด้วยเช่นกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 - 12

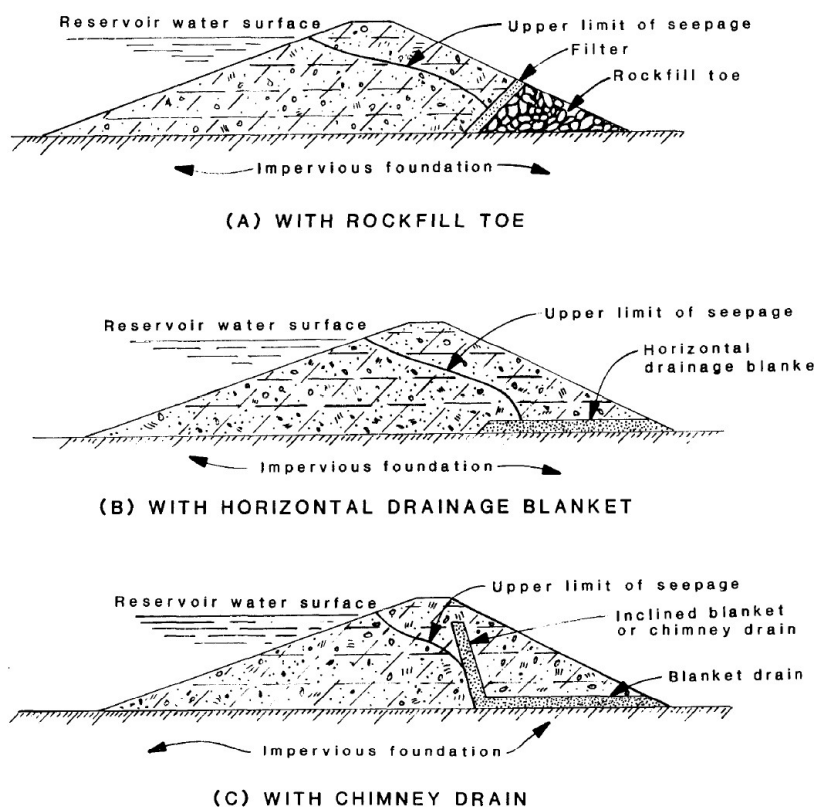


Figure 6-5.—Seepage through modified homogeneous dams. 103-D-1827.

รูปที่ 2-12 แสดงการไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อน

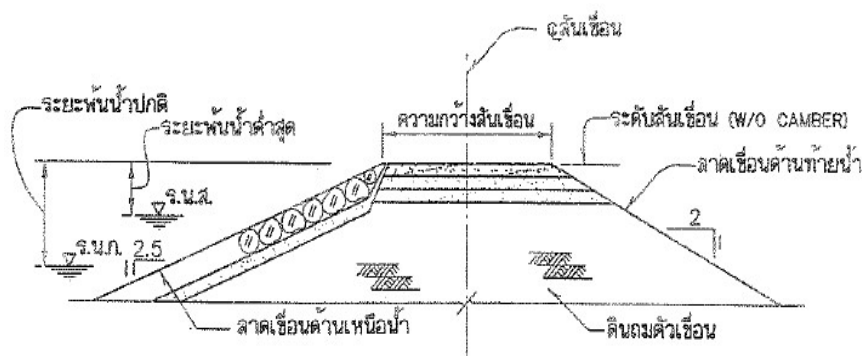
นอกเหนือจากการซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนตามปกติแล้ว ภายในตัวเขื่อนและฐานรากยังมีแนวโน้มที่จะ เกิดการรั่ว (Leakage) ขึ้นได้ ทั้งนี้เนื่องจากแรงดันน้ำจากอ่างเก็บน้ำที่กระทำกับเม็ดดิน (Soil Particle) ที่เป็นดิน ถมตัวเขื่อน หากเม็ดดินดังกล่าวเกิดการเคลื่อนตัวถูกพัดพาออกไปทางด้านท้ายน้ำที่บริเวณลาดเขื่อน หรือดินเดิม ฐานเขื่อน หรือบริเวณอื่นก็ตามจะทำให้เกิดรูโพรงขึ้น เรียกว่า การเกิด Piping ซึ่งหากไม่ตรวจสอบติดตามและ แก้ไขอย่างทันการแล้วรูโพรงเล็กจะพัฒนาขึ้นจนทำให้ตัวเขื่อนเกิดการวิบัติขึ้นต่อไปได้



อย่างไรก็ตาม ผู้ออกแบบได้ทำการออกแบบระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนไว้แล้ว ซึ่งประกอบด้วย Chimney Drain และ Blanket Drain และหรือ Finger Drain เพื่อรองรับปริมาณน้ำซึมผ่านตัวเขื่อนและฐานราก พร้อมทั้งช่วยป้องกันการพัฒนาเม็ดดินละเอียดของตัวเขื่อนและฐานราก หลุดลอยออกไปด้านท้ายน้ำไว้พร้อมแล้ว ซึ่งหากมีการออกแบบและการก่อสร้างดีตามที่กำหนดสอดคล้องกับขนาดเม็ดดินถมตัวเขื่อนแล้วจะช่วยป้องกันและลดปัญหาการรั่วซึมลงได้ในระดับที่พอใจ

วัสดุที่ใช้ทำระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนดังกล่าว ส่วนใหญ่เป็นกรวดทรายคละขนาดวางอยู่ภายในตัวเขื่อนด้านท้ายน้ำ ตลอดความยาวเขื่อน (ที่ระดับน้ำเก็บกัก) มีความหนาประมาณ 2.00 เมตร โดยจะไปเชื่อมต่อกับและปล่อยออกที่จุดต่ำสุดท้ายเขื่อน ซึ่งเขื่อนดินหลายแห่งมี Rockfill Toe และ Toe Drain ก็จะไปเชื่อมต่อกับ Blanket Drain ระบายน้ำออกไปจากตัวเขื่อน ระบบระบายน้ำภายในตัวเขื่อนนี้ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญที่จะควบคุมความมีเสถียรภาพและความปลอดภัยของตัวเขื่อน ดังนั้น จะต้องมีการออกแบบ ก่อสร้าง และดูแลใช้งานด้วยความระมัดระวัง เอาใจใส่เป็นพิเศษ

(5) เกิดการกัดเซาะ เมื่อดินถูกกระทำจากลม และแสงแดด ซึ่งจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพจากเปียกเป็นแห้ง ประกอบกับมีแรงต้านทานต่อการกัดเซาะน้อย ดังนั้นเมื่อมีแรงกระทำจากลม คลื่น หรือน้ำฝน จะทำให้ดินถมตัวเขื่อนเกิดการกัดเซาะขึ้นได้ จะมากหรือน้อยขึ้นกับความรุนแรงที่กระทำ รวมทั้งขึ้นกับคุณสมบัติของดินเดิมด้วย ดังนั้นจึงมีการออกแบบและก่อสร้างเพื่อป้องกันการกัดเซาะผิวดินด้วยการทิ้งหินบริเวณตามลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ และปลูกหญ้าหรือเรียงหินที่ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำไว้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 – 13 ซึ่งผู้ใช้งานอาคารควรตรวจสอบติดตามว่าการป้องกันการกัดเซาะดังกล่าวยังอยู่ในสภาพใช้งานได้ดีหรือไม่ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเวลาเปลี่ยนไปวัสดุที่นำมาใช้ป้องกันดังกล่าว อาจจะผุพัง สลายตัวไปบ้าง หรือเกิดการหลุดหล่นหายไปจากที่เดิม ทำให้เกิดช่องว่างและจุดอ่อนให้ตัวเขื่อนเกิดการกัดเซาะได้



รูปที่ 2-13 แสดงการป้องกันการกัดเซาะลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ



อาคารประกอบ

โครงสร้างอาคารทางระบายน้ำล้น

อาคารทางระบายน้ำล้น (Spillway) เป็นอาคารประกอบห้วงงานเขื่อนเก็บกักน้ำอาคารหนึ่งที่ทำหน้าที่ระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ เมื่อระดับน้ำในอ่างเกินจากระดับน้ำที่กำหนด ซึ่งโดยทั่วไปจะกำหนดไว้ที่ระดับน้ำเก็บกัก (Retention or Normal Water Level) นั่นก็คือ ถ้าระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำสูงมากกว่าระดับน้ำเก็บกัก จะถูกระบายออกทางอาคารแห่งนี้ ซึ่งการระบายออกจะปล่อยให้ระบายออกไปเองโดยอิสระ (Free Overflow) หรือปล่อยออกทางประตูระบายน้ำ (Regulation Flow) ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันมิให้ระดับน้ำในอ่างสูงเกินกว่าระดับน้ำสูงสุดที่กำหนดไว้ (Maximum or Highest Water Level) จนกระทั่งไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping) และเป็นอันตรายกับตัวเขื่อนจนทำให้เกิดการวิบัติขึ้นได้ สำหรับเขื่อนดินโดยทั่วไปจะวางอาคารชนิดนี้อยู่บริเวณฐานยันเขื่อน (Abutment) ฝั่งซ้ายหรือฝั่งขวาเป็นหลัก เพื่อมิให้เกิดจุดอ่อนขึ้นที่ตัวเขื่อน ในหัวข้อนี้จะได้อธิบายหลักการโดยสังเขปเกี่ยวกับ หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น ลักษณะอาคารตามการใช้งาน ลักษณะรูปแบบอาคาร ลักษณะทางโครงสร้างของอาคาร ส่วนประกอบของอาคาร พฤติกรรมและจุดอ่อนของอาคาร และการออกแบบวิเคราะห์คำนวณอาคาร ดังต่อไปนี้

1. หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น ในการออกแบบอาคารทางระบายน้ำล้น จะพิจารณาถึงรูปร่างลักษณะที่ใช้งานได้ดี ตลอดจนตำแหน่งที่ตั้งของอาคารที่ให้ความปลอดภัยในการใช้งานได้ทุกกรณี ตลอดอายุการใช้งาน ทั้งในระหว่างการก่อสร้างและภายหลังจากก่อสร้างแล้วเสร็จ พร้อมทั้งก่อสร้างง่าย ประหยัด และสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศ โดยทั่วไปจะพิจารณาในเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

(1) สามารถระบายน้ำได้ตามปริมาณและระดับที่กำหนดไว้

(2) กำหนดที่ตั้งอาคาร ให้เกี่ยวข้องกับตัวเขื่อนน้อยที่สุด (ในกรณีที่เป็นเขื่อนดินถมหรือหินถม) เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบด้านการก่อสร้างที่จะมีต่อไป เว้นแต่มีความจำเป็นที่ต้องวางลำเข้าไปในตัวเขื่อนจะต้องพิจารณารายละเอียดต่างๆ เป็นกรณีพิเศษ

(3) แนวที่กำหนดจะพิจารณาให้มีระยะทาง การก่อสร้างตัวอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กสั้นที่สุด เพื่อให้มีราคาก่อสร้างต่ำ

(4) อาคารทั้งหมดโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ส่วนที่เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก จะกำหนดให้วางอยู่บนชั้นดินเดิมหรือชั้นหินที่มีความแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักอาคารได้โดยไม่เกิดการทรุดตัว

(5) จุดที่ตั้งอาคารรับน้ำ จะพิจารณาชนิดของอาคารรับน้ำ ให้สอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศในบริเวณดังกล่าว และส่วนของอาคารรับน้ำ ต้องมีน้ำหนักเพียงพอที่จะต้านทานการลอยตัวของอาคาร เนื่องจากแรงยกของน้ำ หรือต้องมีการยึดรั้งอาคารรับน้ำกับฐานรากไม่ให้เกิดการลอยตัวได้

(6) ความลึกของน้ำที่ไหลในรางเท (Chute) และแอ่งน้ำนิ่ง จะต้องไม่ให้ไหลล้นข้ามสันกำแพงกันดินด้านข้าง



(7) สภาวะการไหลของน้ำในรางเททุกช่วงตั้งแต่จุดควบคุม (Control Section) ลงไปจนถึงแอ่งน้ำนิ่ง กำหนดให้เป็นการไหลชนิด Supercritical Flow (8) จะต้องพิจารณาป้องกันการกัดเซาะจากการไหลปั่นป่วนของกระแสน้ำที่บริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างแอ่งน้ำนิ่ง และคลองระบายน้ำ (9) คลองระบายน้ำของอาคารทางระบายน้ำล้น จะต้องเชื่อมต่อกับลำน้ำเดิมให้มีความกลมกลืนกันไม่เกิดขวางการไหลของน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดเซาะในบริเวณจุดตัดของคลองระบายน้ำและลำน้ำเดิมได้ (10) จะต้องพิจารณาให้ลาดดินชุดและดินถม ตลอดแนวอาคารทางระบายน้ำล้น มีความมั่นคงต่อการเลื่อนตัว และการวิบัติของลาดดินชุดและดินถม ตลอดอายุการใช้งาน โดยมีอัตราส่วนความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด (11) จะต้องพิจารณาออกแบบให้อาคารมีความแข็งแรงทนทาน ประหยัดค่าก่อสร้าง ตลอดจนก่อสร้างได้ง่าย ถูกต้องตามหลักวิชาการ พร้อมทั้งกำหนดวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างจากแหล่งที่ใกล้เคียงกับห้วงงานให้มากที่สุด

การออกแบบให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น เป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยให้เกิดความมั่นคงปลอดภัยตลอดอายุการใช้งานของอาคารทางระบายน้ำล้น แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับวิธีการก่อสร้างและวิธีการควบคุมงานระหว่างการก่อสร้างตลอดจนการใช้งานและการบำรุงรักษาด้วยเช่นกัน

2. ลักษณะของอาคารระบายน้ำล้น หากแบ่งตามการใช้งานจะแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ อาคารระบายน้ำล้นใช้งาน (Service Spillway) เป็นอาคารหลักที่ใช้ในการระบายน้ำส่วนเกินออกจากอ่างเก็บน้ำ อาคารระบายน้ำฉุกเฉิน (Emergency Spillway) เป็นอาคารรองในการระบายน้ำส่วนเกินออกจากอ่าง โดยส่วนใหญ่จะใช้ประกอบกับอาคารระบายน้ำล้นประเภทควบคุมการระบายน้ำด้วย ประตูระบายน้ำ (Gated Control Spillway) อย่างไรก็ตาม อาจจะนำไปใช้กับอาคารระบายน้ำล้นแบบระบายออกเองโดยอิสระ (Free Overflow) ก็ได้ และอาคารระบายน้ำล้นเสริม (Auxiliary Spillway)

หากแบ่งตามลักษณะที่ตั้งและรูปแบบอาคารจะมีได้หลายแบบ ได้แก่ (1) อาคารระบายน้ำล้นผ่านสันเขื่อน (Spillway Dam) (2) อาคารระบายน้ำล้นที่ช่องเขาขาด (Saddle Dam) (3) อาคารระบายน้ำล้นแบบฝายสันตรง (Overflow Spillway) (4) อาคารระบายน้ำล้นแบบไหลด้านข้าง (Side Channel Spillway) (5) อาคารระบายน้ำล้นแบบติดตั้งประตูบนสันฝาย (Gated Spillway) (6) อาคารระบายน้ำล้นแบบสันฝายหยัก (Labyrinth Spillway) (7) อาคารระบายน้ำล้นแบบกาลักน้ำ (Siphon Spillway) (8) อาคารระบายน้ำล้นแบบปากแตร หรือ ดอกผักบึง (Morning Glory Spillway) (9) อาคารระบายน้ำล้นแบบอุโมงค์ระบายน้ำ (Tunnel Spillway) และ (10) อาคารระบายน้ำล้นแบบทางน้ำเปิด (Earth Spillway) ตามที่แสดงรูปร่างทั่วไปไว้ใน รูปที่ 2 – 14 ถึงรูปที่ 2 - 23

ข้อมูลหลักที่ใช้ประกอบการออกแบบ ได้แก่ แผนที่ภูมิประเทศบริเวณห้วงงานหรือบริเวณที่ตั้งอาคาร ข้อมูลลักษณะทางอุทกวิทยา ข้อมูลรูปตัดตามยาวและรูปตัดขวางลำน้ำเดิม และข้อมูลธรณีวิทยาสถานรากตามแนวอาคาร เป็นต้น

การคำนวณออกแบบอาคารชนิดนี้ ผู้ออกแบบจะทำการพิจารณาวางแผนและเลือกรูปแบบอาคารที่เหมาะสมกับสภาพข้อมูลข้างต้น รวมทั้งให้มีผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ให้มีความมั่นคงแข็งแรงทนทาน มีความปลอดภัย มีอายุการใช้งานนาน มีการใช้งานและก่อสร้างง่าย รวมทั้งให้มีราคาค่าก่อสร้างต่ำ หลังจากนั้นจะ



ทำการคำนวณออกแบบทั้งด้านชลศาสตร์ (Hydraulic Design) เพื่อกำหนดขนาดความกว้างยาว และระดับของอาคารให้สอดคล้องกับปริมาณน้ำที่จะไหลผ่านตัวอาคาร ซึ่งมักจะกำหนดปริมาณน้ำที่รอบการเกิด (Return Period) รอบ 500 ปี หรือมากกว่าสำหรับโครงการขนาดกลางขึ้นไป และทำการคำนวณออกแบบด้านโครงสร้าง (Structural Design) เพื่อกำหนดขนาดองค์อาคารและการเสริมเหล็กในอาคารที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งนี้เพื่อด้านทานแรงต่างๆ ที่กระทำกับตัวอาคาร รวมทั้งเพื่อตรวจสอบความมั่นคง แข็งแรงและความปลอดภัย ตลอดจนความมีเสถียรภาพด้านต่างๆ เช่น การต้านทานต่อแรงดันน้ำใต้พื้นหรือฐานอาคาร การเลื่อนตัว (Sliding) การล้มคว่ำ (Overturning) ของอาคาร เป็นต้น ต่อจากนั้นจึงนำผลการคำนวณออกแบบในแต่ละส่วนไปใช้ประกอบการเขียนแบบและจัดทำแบบแปลน เพื่อนำไปใช้ในการก่อสร้างต่อไป

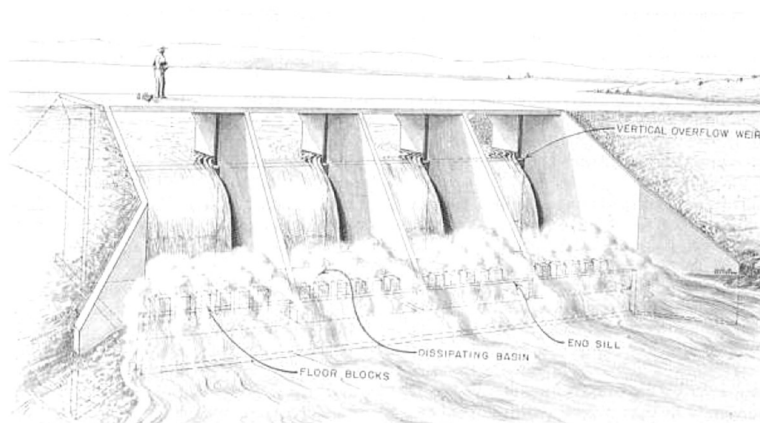
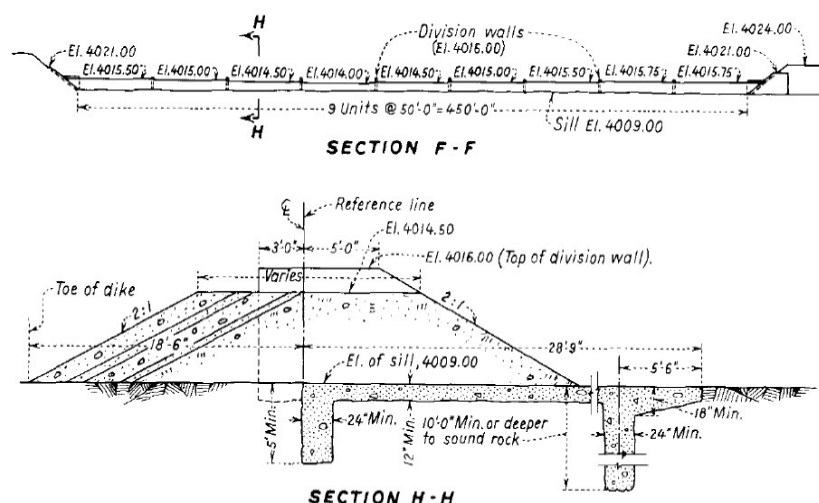


Figure 9-11.—Typical straight drop spillway installation for small heads. 288-D-2899.

รูปที่ 2-14 แสดงอาคารระบายน้ำล้นแบบผ่านสันเขื่อน



รูปที่ 2-15 แสดงอาคารระบายน้ำล้นทอของเขื่อน

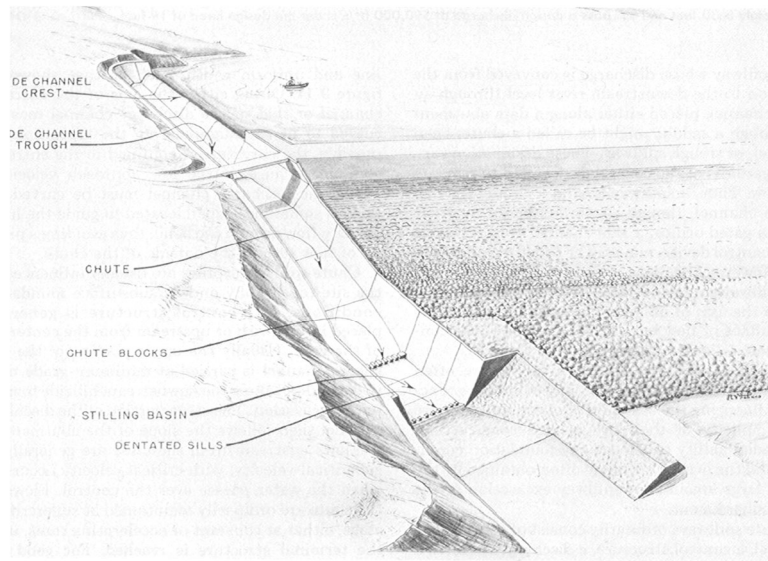
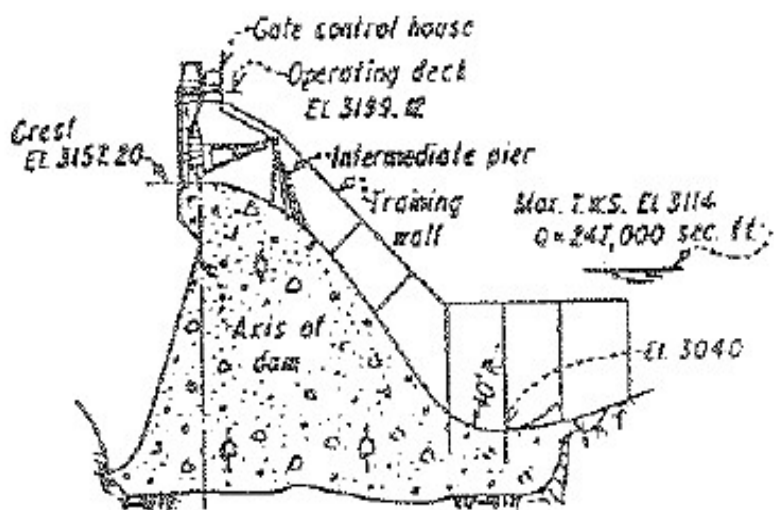


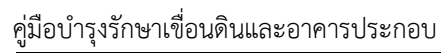
Figure 9-12.—Typical side channel and chute spillway arrangement. 288-D-2900.

รูปที่ 2-16 แสดงอาคารระบายน้ำล้นแบบไหลด้านข้าง

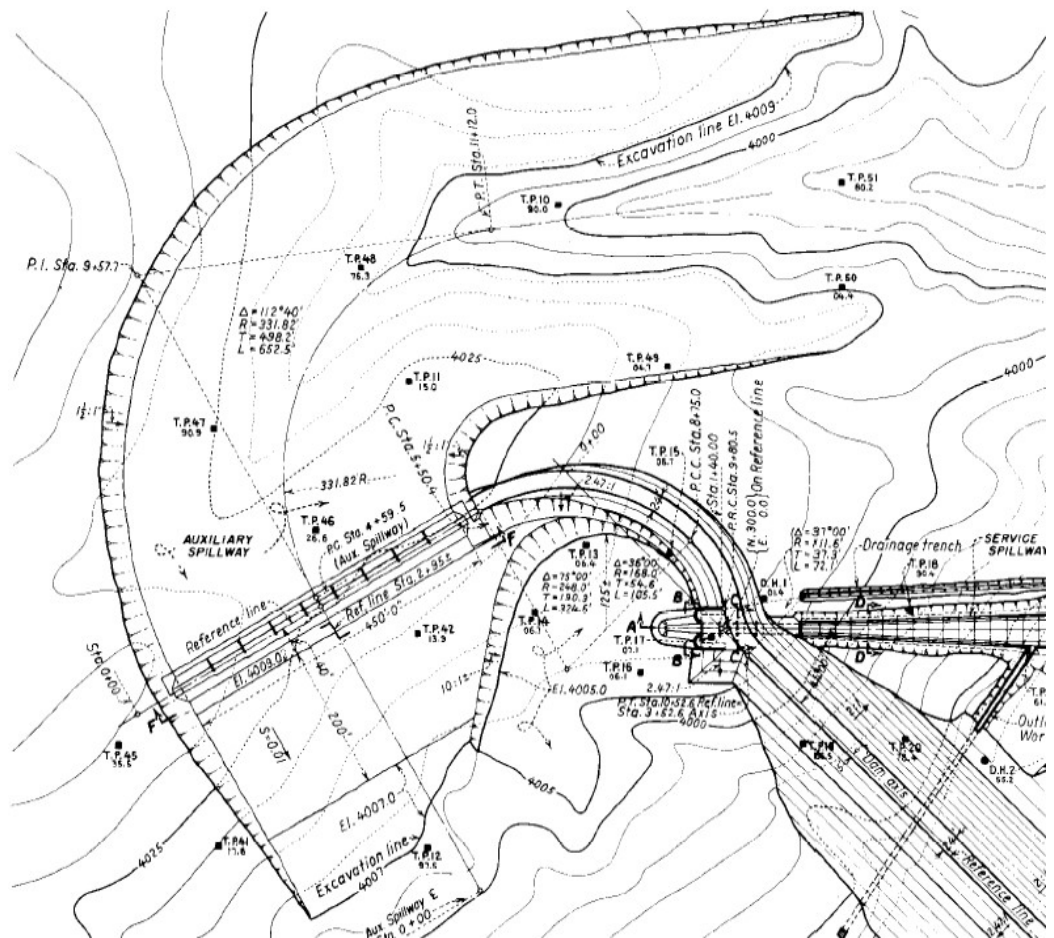


ก. Overflow weir spillway

รูปที่ 2-17 แสดงอาคารระบายน้ำล้นแบบติดตั้งประตูบนสันฝาย



รูปที่ 2-21 แสดงอาคารระบายน้ำล้นแบบอุโมงค์ระบายน้ำ



รูปที่ 2-22 แสดงอาคารระบายน้ำล้นแบบทางน้ำเปิด

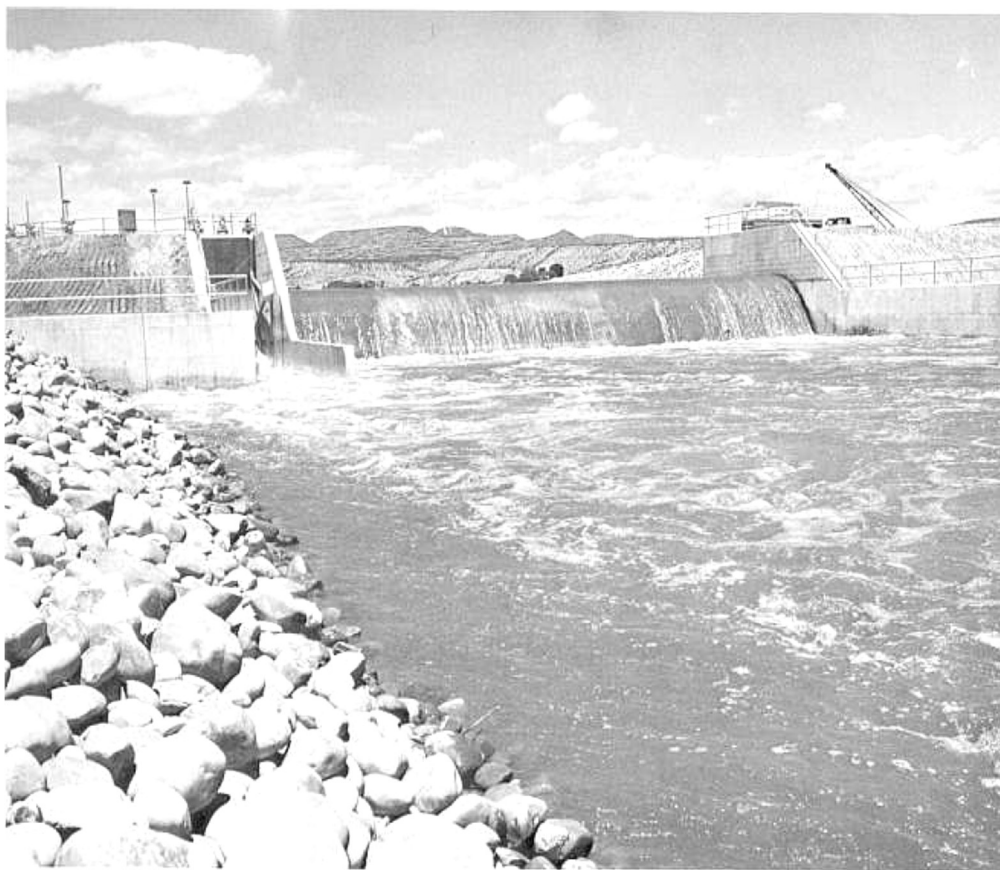


Figure 4-3.—Knight Diversion Dam, a small diversion structure on the Duchesne River near Duchesne, Utah. P66-400-3167.

รูปที่ 2-23 แสดงอาคารระบายน้ำล้นแบบสันฝายตรง

3. ที่ตั้งของอาคารระบายน้ำล้น สำหรับเขื่อนดินอาคารระบายน้ำล้นจะวางไว้บริเวณฐานยันเขื่อนฝั่งขวาหรือฝั่งซ้าย (Right or Left Abutment) ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงมิให้เกิดจุดอ่อนที่ตัวเขื่อนขึ้นได้ ประกอบกับตัวอาคารรับน้ำจะต้องวางอยู่ที่ระดับสูงถึงระดับน้ำเก็บกัก จึงมีความจำเป็นต้องวางอาคารไว้ที่ระดับสูงด้วยเช่นกัน โดยจะวางตึกหรือเอียงทำมุมกับแนวศูนย์กลางสันเขื่อนก็ได้ ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ และหรือสภาพของชั้นฐานราก โดยแนวอาคารจะวางไปบรรจบกับลำน้ำเดิมไม่ห่างจากตัวเขื่อนและไม่ใกล้กับตัวเขื่อนมากเกินไป

ฐานอาคารโดยส่วนใหญ่จะวางอยู่บนชั้นดินที่มีความมั่นคงแข็งแรงและรับน้ำหนักอาคารได้ อย่างไรก็ตามหากชั้นหินอยู่ที่ระดับต่ำลงไปมากกว่าระดับฐานอาคารตามที่กำหนดไว้ที่สูงกว่า ก็ไม่มีความจำเป็นต้องวางฐานอาคารอยู่บนชั้นหิน โดยให้วางฐานอาคารอยู่บนชั้นดินเดิม (ดินชุด) ที่มีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (Allowable Bearing Capacity) ได้ ก็เพียงพอแล้ว

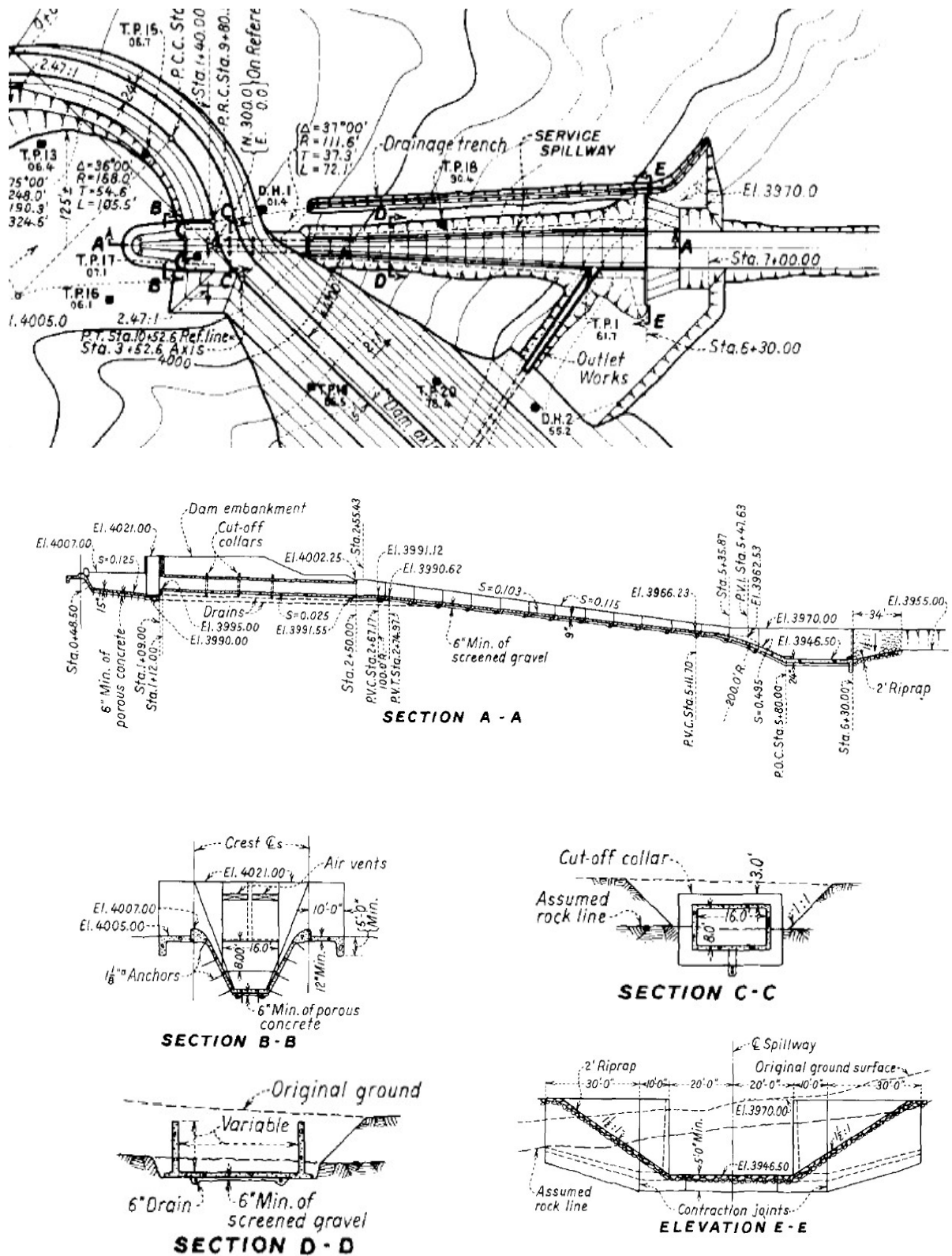


4. วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้น อาคารชนิดนี้จะต้องมีความต้านทานและคงทนต่อแรงกระทำต่างๆ ได้แก่ การไหลของน้ำที่มีความเร็วสูงผ่านตัวอาคาร แรงดันน้ำภายใต้และด้านข้างอาคาร แรงดันดินด้านข้างอาคาร แรงกัดเซาะที่เกิดจากคลื่น การเคลื่อนตัวของดินลาด เขิงเขา เป็นต้น ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีความแข็งแรง ทนทานต่อการกัดเซาะ และแรงกระทำต่างๆ รวมทั้งต้องมีน้ำหนักมาก และมีอายุการใช้งานนาน ซึ่งวัสดุส่วนใหญ่จะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก เพราะมีคุณสมบัติต้านทานแรงต่างๆ และมีความทนทานตามที่ต้องการ นอกจากคอนกรีตเสริมเหล็กแล้วยังมีวัสดุประกอบต่างๆ ได้แก่ หินทิ้ง กรวดทราย แผ่นยางกันน้ำรั่ว ท่อระบายน้ำพีวีซี ท่อเหล็กอาบสังกะสี แผ่นวัสดุใยสังเคราะห์ เป็นต้น

วัสดุที่ก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้นจะต้องมีความคงทน แข็งแรง มีอายุการใช้งานนาน มีราคาถูก และหาได้ในประเทศไทย หรือในบริเวณก่อสร้างเป็นหลัก ทั้งนี้เพื่อให้มีระยะทางในการขนส่งไม่ไกลมากเพื่อลดราคาค่าก่อสร้างลง รวมทั้งเป็นการส่งเสริมผู้ผลิตในประเทศให้มีความเข้มแข็งยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม วัสดุส่วนใหญ่จะต้องได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมด้วย นอกจากนั้นยังควรพิจารณาใช้วัสดุก่อสร้างที่ไม่ทำให้เกิดมลภาวะและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน

5. ส่วนประกอบอาคารระบายน้ำล้น โดยทั่วไปอาคารชนิดนี้จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ ร่องชักน้ำ (Approach Channel) อาคารรับน้ำ (รูป Ogee หรือรูปแบบอื่นตามความเหมาะสม) จุดควบคุมระดับน้ำ (Control Section) ช่องระบายน้ำหรือรางเท (Chute) อาคารสลายพลังงานน้ำ (Energy Dissipater หรือ Stilling Basin แบบต่างๆ) คลองระบายน้ำที่ไปเชื่อมต่อกับลำน้ำเดิม (Drainage or Discharge Channel) ระบบระบายน้ำใต้ดินที่อยู่ภายใต้และด้านข้างอาคาร (Bottom and Side Drain) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 – 24

ทั้งนี้อาคารแต่ละส่วนจะทำหน้าที่และรับแรงกระทำกับตัวอาคารต่างๆ กันดังนี้ (1) ร่องชักน้ำ จะทำหน้าที่นำน้ำจากอ่างเก็บน้ำเข้าไปยังอาคารรับน้ำ โดยลักษณะโครงสร้างจะเป็นดินเดิมขุดเปิดเป็นร่องน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมู มีการป้องกันการกัดเซาะด้วยการทิ้งหินหรือเรียงหิน ตามลาดด้านข้างและพื้นร่องชักน้ำบริเวณที่ติดกับอาคารรับน้ำ (2) อาคารรับน้ำ เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กรูปรางแบบ Ogee ต้น มีน้ำหนักกดทับฐานรากมาก อาคารส่วนนี้มีหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารให้ได้ตามที่กำหนด โดยมีความลึกน้ำเหนือสันฝายตามกำหนดเช่นกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะมีความลึกน้ำเท่ากับระดับน้ำเก็บกักถึงระดับน้ำสูงสุด และระดับสันฝายอยู่ที่ระดับน้ำเก็บกัก อาคารส่วนนี้จะรับแรงดันน้ำใต้ฐานอาคารและแรงดันดินด้านข้างอาคาร รวมทั้งมีแรงกระทำกับฐานรากมาก (3) จุดควบคุมระดับน้ำ (Control Section) เป็นบริเวณอาคารที่กำหนดไว้ ในรางเท (Chute) เพื่อกำหนดระดับน้ำเริ่มต้นใน Chute เพื่อใช้คำนวณหาระดับน้ำตลอดทั้งตัวอาคาร (Flow Profile Along Chute) โดยทั่วไปจะกำหนดให้ความลึกน้ำที่จุดนี้เป็นความลึกน้ำวิกฤต (Critical Depth, y_c) เพื่อคำนวณหาขนาดความกว้างอาคาร และระดับพื้นอาคารที่เหมาะสม อาคารส่วนนี้เป็นกำแพงคอนกรีต



รูปที่ 2-24 แสดงส่วนประกอบของอาคารระบายน้ำล้น



เสริมเหล็กที่รับแรงดันน้ำใต้ฐานและข้างอาคาร รวมทั้งรับแรงดันดินด้านข้างอาคารด้วย นอกจากนี้ยังมีแรงกระทำกดทับฐานรากค่อนข้างมาก (4) ช่องระบายน้ำหรือรางเท (Chute) เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่รองรับการไหลของน้ำที่มีความเร็วสูงมาก ส่วนใหญ่จะเป็นการไหลแบบ Supercritical Flow รูปแบบทั่วไปจะเป็นกำแพงกันดิน ประกอบกับพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งจะต้องรองรับแรงดันน้ำใต้พื้นและด้านข้างอาคาร และรองรับแรงดันดินด้านข้าง (5) อาคารสลายพลังงานน้ำ (Energy Dissipater) เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กวางอยู่บริเวณดินเดิมที่มีการขุดดินลงไปต่ำกว่าระดับท้องร่องน้ำธรรมชาติ เพื่อสลายพลังงานน้ำที่ไหลมาจาก Chute และทำให้เกิดสภาพ Hydraulic Jump ขึ้นภายในอาคารส่วนนี้ ดังนั้นการไหลของน้ำจึงมีความปั่นป่วนสูงมาก และจะเกิดการกัดเซาะได้อย่างรุนแรงทั้งภายในบริเวณอาคาร แอ่งน้ำนิ่ง (Stilling Basin) และบริเวณด้านท้ายของอาคารที่เชื่อมต่อกับคลองระบายน้ำ รูปแบบอาคารเป็นกำแพงกันดินที่สูงกว่ากำแพงกันดินของ Chute มีความกว้างมากกว่าความกว้างของ Chute และมีความยาวอาคารตามกำหนดสอดคล้องกับ Hydraulic Jump ที่เกิดขึ้น อาคารส่วนนี้จะต้องรับแรงดันน้ำใต้พื้นและด้านข้างอาคาร และรับแรงดันน้ำที่มีความแตกต่างกันระหว่างจุดเข้า Basin และจุดที่เกิด Hydraulic Jump รับแรงดันดินด้านข้าง เป็นต้น (6) คลองระบายน้ำท้ายอาคารที่ไปเชื่อมต่อกับลำน้ำเดิม โดยทั่วไปเป็นคลองดินขุดรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเชื่อมต่อกับท้าย Basin โดยมีลาดด้านข้างคลองที่เหมาะสมสอดคล้องกับชนิดของดิน ไปเชื่อมต่อเข้ากับลำน้ำเดิม คลองระบายน้ำจะออกแบบให้ต้านทานการกัดเซาะจากการไหลของกระแสน้ำด้วยการทิ้งหินในบริเวณจุดเชื่อมต่อกับท้าย Basin และจุดเชื่อมต่อกับลำน้ำเดิม โดยช่วงกลางระหว่างสองส่วนดังกล่าว จะออกแบบเป็นดินขุดธรรมดา เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง อย่างไรก็ตาม จะออกแบบให้ความเร็วกระแสน้ำในบริเวณนี้มีค่าต่ำกว่า 1.20 เมตรต่อวินาที ซึ่งจะช่วยในเรื่องการกัดเซาะของคลองลงได้อย่างมาก

พฤติกรรมและจุดอ่อนของอาคารระบายน้ำล้น

ตามที่กล่าวมาข้างแล้ว อาคารระบายน้ำล้นจะใช้งานในเรื่องการระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ ตั้งแต่ระดับน้ำเก็บกักขึ้นไป (สำหรับชนิด Free Overflow แต่สำหรับชนิด Gated Control จะสามารถระบายน้ำออกจากอ่างในระดับที่ต่ำกว่าระดับน้ำเก็บกักได้บ้างตามที่กำหนดไว้) นอกจากนี้ตัวอาคารยังวางอยู่ บนชั้นดินเดิมหรือชั้นหินฐานรากที่มีความมั่นคงแข็งแรง ดังนั้นพฤติกรรมของอาคารชนิดนี้จะมีทั้งทางด้านชลศาสตร์และทางด้านโครงสร้าง ตามรายละเอียดโดยสรุปดังนี้

- (1) เกิดการทรุดตัว เนื่องจากตัวอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก มีน้ำหนักมาก หากวางอยู่บนชั้นฐานรากที่ไม่มั่นคงแข็งแรงเพียงพอจะทำให้ฐานรากของอาคาร ซึ่งอาจจะเป็นชั้นดิน หรือชั้นหินรับน้ำหนักอาคารไม่ได้ เกิดการทรุดตัวลงทำให้พื้นอาคารมีระดับต่ำกว่าปกติ หรือตัวอาคารเกิดเอียง อาคารเกิดการแตกร้าว หรือรอยต่ออาคารขยับตัวและแผ่นยางกันน้ำซึมเกิดการฉีกขาดได้
- (2) เกิดการยกตัวของพื้นอาคาร เนื่องจากมีแรงดันน้ำใต้พื้นอาคารมากกว่าน้ำหนักของพื้นอาคารหรือน้ำหนักของตัวอาคาร ซึ่งอาจจะทำให้พื้นเกิดการแตกร้าว หรือขยับตัวจากจุดเดิมที่ออกแบบไว้ หรือมีน้ำพุ่งขึ้นมาจากพื้นบริเวณรอยต่อ ซึ่งมีแผ่นยางกันการรั่วซึมฉีกขาด



- (3) เกิดการขยับตัวของกำแพงกันดิน เนื่องจากกำแพงกันดินต้องรับแรงกระทำจากดินถมข้างอาคารที่ทำกับกำแพงอยู่ตลอดเวลา หากการออกแบบและการก่อสร้างไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ หรือชั้นดินฐานรากเกิดการทรุดตัวจะทำให้ตัวกำแพงกันดินเอียงเข้าหาแนวศูนย์กลาง หรือแตกร้าวขึ้นได้ ซึ่งอาจจะทำให้แผ่นยางกันการรั่วซึมเกิดการฉีกขาดได้ด้วย
- (4) เกิดการเคลื่อนตัวของบางส่วนหรือตัวอาคาร เช่น เกิดการเคลื่อนตัวของ Chute ทิศทางตามยาว หรือทิศทางตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางอาคาร อันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของชั้นฐานราก ซึ่งอาจจะต่อเนื่องไปถึงบริเวณเชิงลาดบ่อก่อสร้างด้านข้างกำแพงกันดินด้วย
- (5) เกิดน้ำท่วมเอ่อล้นอาคารรับน้ำ (Submergence) อาจจะเนื่องมาจากการออกแบบและหรือการก่อสร้างไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยระดับพื้น Chute อาจจะสูงกว่าที่กำหนด หรือความกว้างอาคารน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งในบางครั้งอาจจะพบว่าระดับน้ำที่ไหลใน Chute มีระดับสูงกว่าปกติ ทั้งๆ ที่ระดับน้ำด้านอาคารรับน้ำหรือระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำสูงไม่มากนัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า อาจจะมีการออกแบบ และหรือการก่อสร้างลาดของพื้น Chute หรือความกว้างของ Chute ไม่ตรงตามที่กำหนดไว้
- (6) เกิดการสั่นของตัวอาคารบริเวณใดบริเวณหนึ่ง เนื่องจากกระแสน้ำที่มีความเร็วสูงที่ไหลผ่านตัวอาคารเป็นระยะเวลานาน จนอาจจะทำให้บางบริเวณของอาคารที่ออกแบบและหรือก่อสร้างไว้ไม่เหมาะสมกับทิศทางการไหลของน้ำเกิดความปั่นป่วนของการไหล (Turbulent Flow) จนเป็นผลทำให้เกิดการสั่นที่ตัวอาคารขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณกำแพงกันดินส่วนที่เอียงติดลาดเชิงเขาของอาคารรับน้ำของอาคารระบายน้ำล้นประเภทไหลเข้าด้านข้าง (Side Channel Spillway) หรืออาจจะเกิดจากการออกแบบที่มีความบอบบางของตัวอาคารบางส่วนมากเกินไปกว่ากำหนด (High Slenderness Ratio) หรืออาจจะเกิดจากอาคารตรงบริเวณนั้นวางอยู่บนฐานรากที่ไม่มั่นคงแข็งแรงก็ได้ ซึ่งหากปล่อยไว้เป็นระยะเวลานานอาจจะทำให้ส่วนของอาคารแตกร้าวขึ้นได้
- (7) เกิดการกัดเซาะบริเวณหินทิ้งหรือหินเรียง ส่วนที่มีการออกแบบและก่อสร้างให้มีหินทิ้งหรือหินเรียงคือบริเวณร่องชักน้ำ และบริเวณคลองระบายน้ำของอาคารระบายน้ำล้น อันเนื่องมาจากมีกระแสน้ำไหลเร็วรุนแรงและปั่นป่วนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณท้าย Stilling Basin ซึ่งบางครั้งการออกแบบและหรือการก่อสร้างอาจจะไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนด หรือขนาดหินไม่ได้ตามกำหนด หรือสภาพท้ายน้ำไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้ ซึ่งอาจจะทำให้กระแสน้ำมีความเร็วสูงกว่าที่ควรจะเป็นในบางช่วงของการไหลก็ได้

พฤติกรรมหรือจุดอ่อนตามที่กล่าวถึงข้างต้น เป็นเพียงบางส่วนที่ผู้ใช้งานอาคารควรจะต้องทราบและสังเกต พร้อมทั้งบันทึกประวัติไว้อย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาปรับปรุงตัวอาคารให้มีความสมบูรณ์แข็งแรงมากขึ้นต่อไป นอกจากนั้นหากมีพฤติกรรมอื่นนอกเหนือจากที่กล่าวไว้ก็ควรจดบันทึกไว้ด้วยเช่นกัน

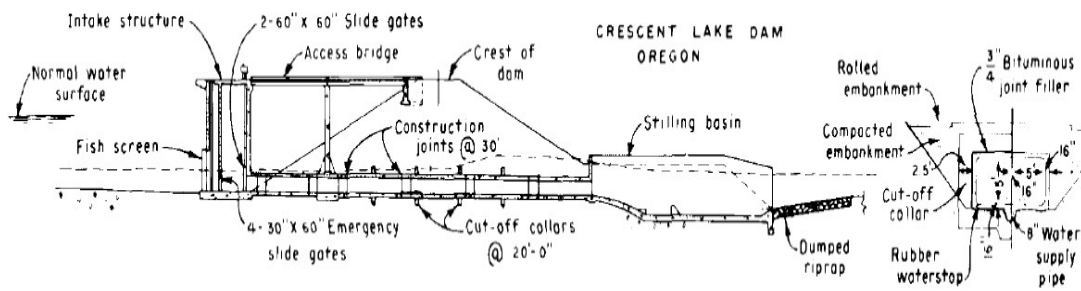


โครงสร้างของอาคารท่อน้ำ

อาคารท่อน้ำ หรืออาคารที่ระบายน้ำลงลำน้ำเดิม เป็นอาคารประกอบเขื่อนอีกประเภทหนึ่ง จะทำหน้าที่เป็นเครื่องมือในการนำน้ำจากอ่างเก็บน้ำไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ เช่น ด้านการชลประทาน การรักษาสภาพนิเวศวิทยาของลำน้ำ ส่งน้ำไปเพื่อการอุปโภคและบริโภค ส่งน้ำจากอ่างลงลำน้ำเดิมเพื่อผลักดันน้ำเค็ม ส่งน้ำจากอ่างลงลำน้ำเดิมเพื่อช่วยการเดินเรือหรือการท่องเที่ยว หรือส่งน้ำไปเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น อาคารประเภทนี้จะมีสองลักษณะที่เรียกกันคืออาคารท่อน้ำเข้าคลอง (Canal Outlet) และอาคารที่ระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (River Outlet) อาคารลักษณะแรกจะทำหน้าที่ส่งน้ำเข้าคลองชลประทานเพื่อส่งน้ำไปยังพื้นที่เพาะปลูกท้ายอ่างเก็บน้ำตามที่กำหนดไว้ ส่วนอาคารประเภทหลังจะทำหน้าที่ระบายน้ำลงลำน้ำเดิมเพื่อกิจกรรมต่างๆตามที่กล่าวไว้ข้างต้น รวมไปถึงการพร่องน้ำออกจากอ่างในกรณีฉุกเฉินด้วย

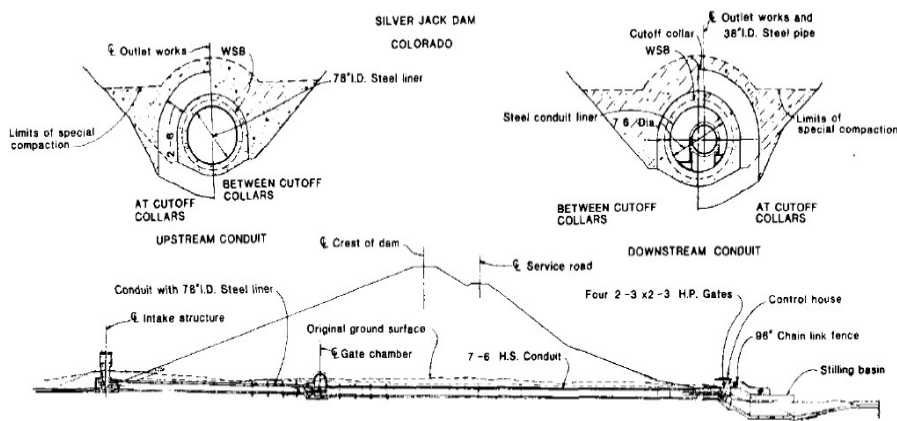
1. หลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบอาคารท่อน้ำ โดยทั่วไป ในการออกแบบอาคารท่อน้ำ จะพิจารณารูปร่างลักษณะที่สามารถใช้งานได้ดี ตลอดจนให้ความปลอดภัยในการใช้งานได้ทุกกรณี ตลอดอายุของอาคาร พร้อมทั้งก่อสร้างง่าย ประหยัด และสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศ โดยทั่วไปจะพิจารณาจากเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้ (1) พื้นอาคารควรวางอยู่บนชั้นดินเดิมหรือชั้นหินที่มีความแข็งแรงสามารถรับน้ำหนักอาคารได้โดยไม่เกิดการทรุดตัวที่แตกต่างกัน (Differential Settlement) (2) แนวอาคารวางให้มีระยะสั้นและมีการขุดดินน้อย เพื่อให้เกิดการประหยัด (3) สามารถส่งน้ำให้ได้ปริมาณตามระดับที่กำหนดไว้ (4) ถ้ามีความจำเป็นอาจจะพิจารณาให้สามารถใช้เป็นอาคารช่วยเสริมการผันน้ำระหว่างการก่อสร้างได้ด้วย (5) แนวอาคารจะต้องวางให้สอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศในบริเวณดังกล่าว (6) คลองระบายน้ำลงลำน้ำเดิม จะต้องเชื่อมต่อกับลำน้ำเดิมให้สอดคล้องกลมกลืนกัน ไม่กีดขวางการไหลของน้ำ ซึ่งจะทำให้เกิดการกัดเซาะในบริเวณจุดตัดของคลองระบายน้ำ และลำน้ำเดิมได้ (7) ควรพิจารณาสรรหาวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างจากแหล่งที่ใกล้เคียงกับหัวงานให้มากที่สุด

2. ชนิดอาคารตามลักษณะการควบคุมปริมาณน้ำไหลผ่านตัวอาคาร จะแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ แบบควบคุมปริมาณน้ำด้านเหนือน้ำ (Upstream Discharge Control) แบบควบคุมปริมาณน้ำด้านท้ายน้ำ (Downstream Discharge Control) และแบบควบคุมปริมาณน้ำตรงกลางตัวเขื่อน ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2 – 25 ถึงรูปที่ 2 – 27 ทั้ง 3 แบบจะมีเงื่อนไขและข้อดี ข้อด้อยแตกต่างกัน ซึ่งจะไม่นำรายละเอียดมากกล่าวไว้ที่นี้ ทั้งนี้ปัจจัยที่ผู้ออกแบบจะนำมาพิจารณาเพื่อเลือกชนิดอาคารควบคุมปริมาณน้ำประกอบด้วย ความลึกน้ำหรือแรงดันน้ำ ราคาก่อสร้าง ความสะดวกในการใช้งานและหรือการซ่อมแซมบำรุงรักษา ความมั่นคงแข็งแรงของอาคาร ความสามารถรับน้ำหนักของฐานราก เป็นต้น



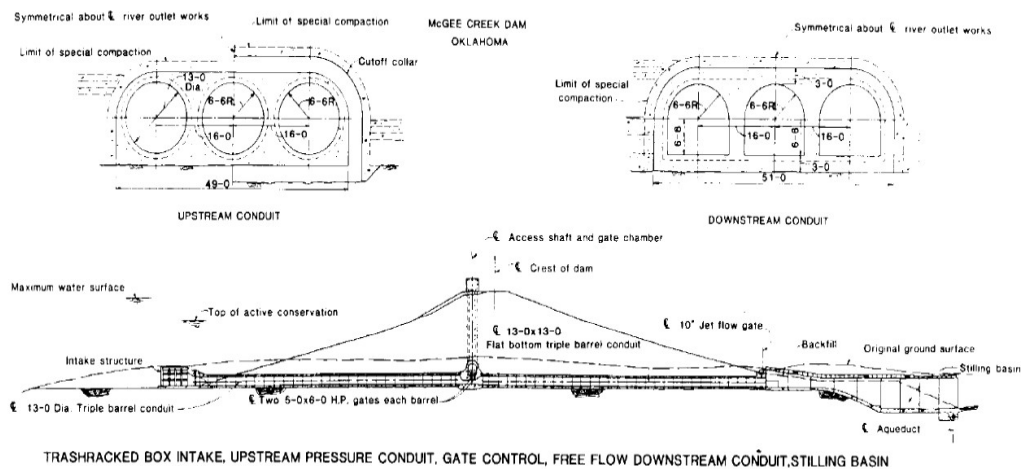
(B) FISH-SCREENED INTAKE, UPSTREAM SLIDE GATE CONTROL, FREE-FLOW CONDUIT, HYDRAULIC JUMP STILLING BASIN

รูปที่ 2-25 แสดงอาคารท่อส่งน้ำควบคุมปริมาณน้ำด้านเหนือน้ำ



TRASHRACKED DROP INLET INTAKE, STEEL LINED UPSTREAM PRESSURE CONDUIT, HIGH PRESSURE GUARD GATE, PIPE IN DOWNSTREAM TUNNEL, CONDUIT, CONTROL GATES, STILLING BASIN

รูปที่ 2-26 แสดงอาคารท่อส่งน้ำควบคุมปริมาณน้ำด้านท้ายน้ำ



TRASHRACKED BOX INTAKE, UPSTREAM PRESSURE CONDUIT, GATE CONTROL, FREE FLOW DOWNSTREAM CONDUIT, STILLING BASIN

รูปที่ 2-27 แสดงอาคารท่อส่งน้ำควบคุมปริมาณน้ำช่วงกลางเขื่อน



ข้อมูลที่ใช้ประกอบคำนวณออกแบบ ได้แก่ แผนที่สำรวจภูมิประเทศบริเวณหัวงานที่ตั้งอาคาร ข้อมูลธรณีวิทยารากตามแนวอาคาร ข้อมูลลักษณะทางอุทกวิทยา พื้นที่เพาะปลูก ลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ ตำแหน่งที่ตั้งของอาคาร เป็นต้น ซึ่งวิศวกรผู้ออกแบบ จะพิจารณารายละเอียดของข้อมูลต่างๆ ดังกล่าวไปใช้คำนวณออกแบบและจัดทำแบบแปลนต่อไป

การคำนวณออกแบบอาคารชนิดนี้ ผู้ออกแบบจะพิจารณาวางแผน และเลือกรูปแบบอาคารที่เหมาะสมกับสภาพข้อมูลข้างต้น รวมทั้งให้มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ให้มีความมั่นคงแข็งแรง ทนทาน มีความปลอดภัย มีอายุการใช้งานนาน สามารถใช้งานและก่อสร้างง่าย รวมทั้งให้มีราคาก่อสร้างต่ำ โดยจะทำการคำนวณออกแบบ และจัดทำแบบแปลนในลักษณะเช่นเดียวกันกับอาคารระบายน้ำล้น

3. ตำแหน่งที่ตั้งอาคารโดยทั่วไป ตำแหน่งที่ตั้งอาคาร จะกำหนดไว้ที่ฝั่งซ้ายหรือฝั่งขวาของลำน้ำเดิม บริเวณพื้นดินเดิม มีระดับสูงกว่าระดับน้ำต่ำสุดมากกว่า 2 – 3 เมตร เพื่อให้มีการขุดดินลงไปจนถึงระดับที่มีความแน่นมาก หรือชั้นหินแข็ง หรือให้ใกล้เคียงกับระดับท้องร่องแกน โดยจะวางฐานหรือธรณีเท้าให้ใกล้เคียงกับระดับน้ำต่ำสุด ทั้งนี้เพื่อให้สามารถระบายน้ำ หรือส่งน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับผู้ใช้น้ำอย่างเต็มที่ บางโครงการอาจจะมีท่อส่งน้ำ 2 แห่ง แต่บางโครงการอาจจะมีท่อส่งน้ำเพียงแห่งเดียว แล้วใช้ท่อแยกด้านท้ายน้ำช่วยจัดส่งหรือระบายน้ำไปยังพื้นที่เป้าหมาย การกำหนดจำนวนท่อส่งน้ำ 1 หรือ 2 แห่ง ดังกล่าวนั้นขึ้นกับความเหมาะสม และความจำเป็นทางด้านวิศวกรรมเป็นหลัก ทั้งนี้หากไม่จำเป็นก็ไม่ควรกำหนดจำนวนท่อส่งน้ำมากกว่า 1 แห่ง เพราะจะเป็นจุดอ่อนของตัวเขื่อนและทำให้ราคาก่อสร้างสูงขึ้นอีกด้วย สำหรับแนวอาคารจะพยายามวางตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางสันเขื่อน ทั้งนี้เพื่อความยาวอาคารสั้นที่สุด อย่างไรก็ตาม หากสภาพภูมิประเทศ หรือสภาพธรณีวิทยารากไม่อำนวย ก็สามารถวางแนวอาคารเอียงทำมุมกับแนวศูนย์กลางสันเขื่อนได้

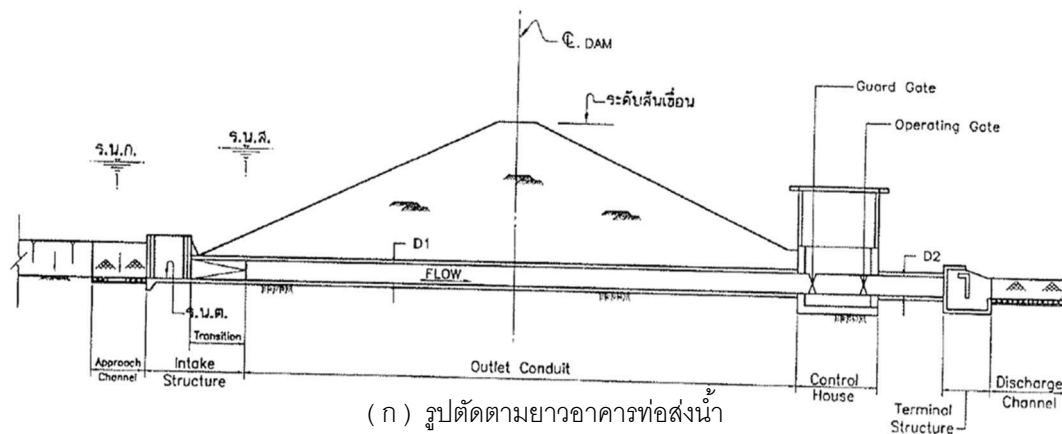
4. วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารท่อส่งน้ำ อาคารชนิดนี้จะต้องต้านทานและคงทนต่อแรงกระทำต่างๆ ได้แก่ การไหลของน้ำในเส้นท่อที่มีความเร็วสูง แรงดันน้ำภายในและภายนอกเส้นท่อ แรงดันดินหรือแรงกดของดินถมตัวเขื่อนที่กระทำกับตัวท่อ แรงที่เกิดจากการทรุดตัวไม่เท่ากันของฐานราก แรงที่เกิดจากการกระแทกของน้ำกับอุปกรณ์ประกอบ เช่น ประตูน้ำแบบลิ้นเกต (Gate Valve) หรือ ประตูน้ำทนแรงดันสูง (High Pressure Gate) และอาคารสลายพลังงานน้ำบางประเภท แรงที่เกิดจากการเคลื่อนหรือขยับตัวของตัวเขื่อน แรงที่เกิดจากน้ำหนักจรต่างๆ เป็นต้น ประกอบกับอาคารชนิดนี้ต้องฝังอยู่ใต้ดินถมตัวเขื่อน และจมอยู่ใต้น้ำ การซ่อมแซมปรับปรุงอาคารในส่วนที่อาจจะเกิดการชำรุดเสียหายกระทำได้ยาก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติและคุณภาพเหมาะสมมาทำการออกแบบและก่อสร้างเพื่อให้มีอายุการใช้งานนาน มีความคงทนและประหยัดอีกด้วย ซึ่งวัสดุส่วนใหญ่จะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก เหล็กรูปพรรณ เหล็กแผ่น แผ่นยางกันน้ำรั่ว หินทิ้ง หินเรียง ประตูระบายน้ำตามแบบและชนิดต่างๆ ที่มีความเหมาะสมตามเกณฑ์ที่กำหนด ท่อระบายน้ำพีวีซี ท่อเหล็กอาบสังกะสี และแผ่นวัสดุใยสังเคราะห์ เป็นต้น



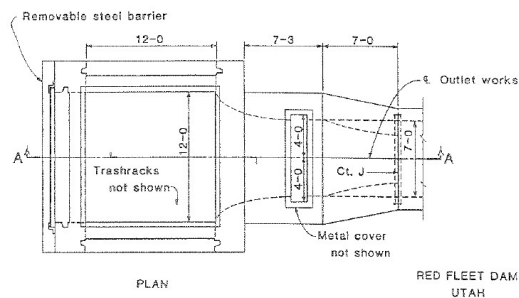
วัสดุที่ก่อสร้างอาคารระบายน้ำล้นจะต้องมีความคงทน แข็งแรง มีอายุการใช้งานนาน มีราคาถูก และหาได้ในประเทศไทย หรือในบริเวณก่อสร้างเป็นหลัก ทั้งนี้เพื่อให้มีระยะทางในการขนส่งไม่ไกลมากเพื่อลดราคาก่อสร้างลง รวมทั้งเป็นการส่งเสริมผู้ผลิตในประเทศให้มีความเข้มแข็งยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม วัสดุส่วนใหญ่จะต้องได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมด้วย นอกจากนี้ยังควรพิจารณาใช้วัสดุก่อสร้างที่ไม่ทำให้เกิดมลภาวะและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน

5. ส่วนประกอบของอาคาร โดยทั่วไปอาคารชนิดนี้จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ ร่องชักน้ำหรือคลองชักน้ำ (Approach Channel) อาคารรับน้ำ (Intake Structure) ท่อส่งน้ำหรือท่อระบายน้ำ (Conduit) อาคารควบคุมปริมาณน้ำ (ด้านเหนือน้ำ หรือตรงกลางเขื่อน หรือด้านท้ายน้ำ) อาคารสลายพลังงานน้ำ (Energy Dissipater หรือ Stilling Basin แบบต่างๆ) และคลองชักน้ำหรือคลองระบายน้ำเชื่อมต่อกับลำน้ำเดิม นอกจากนี้ยังอาจจะมีระบบระบายน้ำใต้ดินที่อยู่ภายใต้ฐานและด้านข้างอาคาร (Bottom and Side Drain) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 – 28

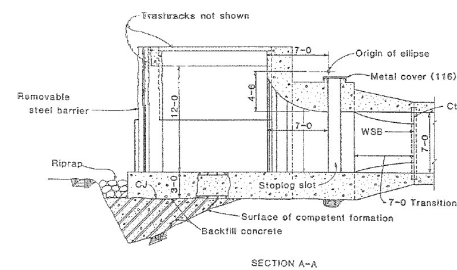
ทั้งนี้อาคารแต่ละส่วนจะทำหน้าที่และรับแรงกระทำต่างๆ กับตัวอาคาร ซึ่งจะขออธิบายโดยสังเขปดังนี้ (1) ร่องชักน้ำ ทำหน้าที่นำน้ำจากอ่างเก็บน้ำเข้าไปยังอาคารรับน้ำ โดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นดินขุดเดิมขุดเปิดเป็นร่องน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมูแล้วป้องกันการกัดเซาะด้วยการทิ้งหินหรือเรียงหินตามลาดด้านข้างและพื้นร่องชักน้ำบริเวณที่ติดกับอาคารรับน้ำ (2) อาคารรับน้ำ (Intake Structure) ทำหน้าที่รับน้ำจากคลองชักน้ำหรือจากอ่างเก็บน้ำ ผ่านทางช่องเปิดที่มีตะแกรงกันขยะ (Trashrack) ปิดกั้นอยู่ที่ช่องเปิด ส่วนใหญ่เป็นตะแกรงเหล็กรูปพรรณที่นำมาเชื่อมติดกัน ระยะห่างของตะแกรงไม่เกิน 0.10 เมตร จำนวนช่องเปิดจะมีได้ตั้งแต่ 1 ช่องจนถึงหลายช่อง ทั้งนี้ขึ้นกับปริมาณน้ำที่ต้องการระบายออกจากอ่าง โดยการควบคุมความเร็วสูงสุดที่ไหลผ่านช่องเปิดให้อยู่ระหว่าง 0.60-1.20 เมตรต่อวินาที ลักษณะอาคารเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กรูปทรง (ทั่วไป) เป็นรูปลูกบาศก์กึ่งกลม มีช่องเปิดด้านหน้า และหรือด้านข้างและด้านบน พร้อมตะแกรงกันขยะ ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น นอกจากนั้น จะมีช่องสำหรับใส่แผงเหล็กกันน้ำ (Bulkhead) เพื่อปิดกั้นไม่ให้น้ำไหลเข้าท่อกรณีที่ต้องการซ่อมแซม ตัวท่อหรือประตูระบายน้ำ ตัวอาคารจะถูกออกแบบให้มีน้ำหนักมากพอสมควร เพื่อไม่ให้เกิดการลอยตัวในกรณีที่เกิดการอุดตันที่ตะแกรงกันขยะจนทำให้เกิดช่องว่างภายในตัวอาคาร และเกิดแรงลอยตัว (Buoyance Force) ขึ้นได้ (3) ตัวท่อส่งน้ำหรือระบายน้ำ (Conduit) ทำหน้าที่ในการส่งน้ำหรือระบายน้ำจากอ่างเก็บน้ำ โดยรับน้ำจากอาคารรับน้ำ ท่อแห่งนี้จะต้องรับแรงต่างๆหลายอย่าง เช่น แรงดันน้ำทั้งภายนอกและภายในตัวท่อ แรงดันดินภายนอกท่อ แรงที่เกิดจากความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลในเส้นท่อ แรงที่เกิดจากการขยับตัวของท่อทั้งระหว่างการก่อสร้างและใช้งานอาคาร เป็นต้น ลักษณะของตัวท่อเป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็กทรงกลมหุ้มผิวด้าน



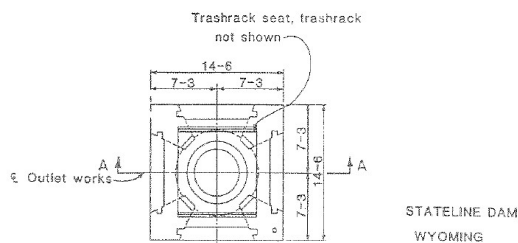
(ก) รูปตัดตามยาวอาคารท่อส่งน้ำ



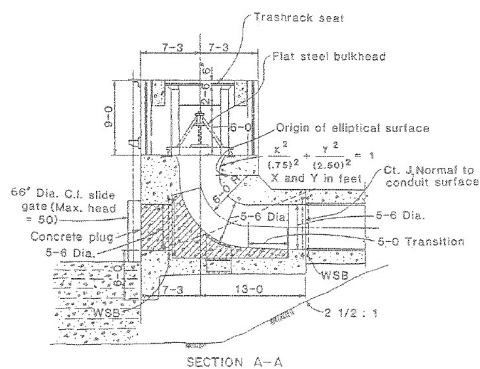
(ข) แผน Intake (แบบที่ 1)



(ค) รูปตัดตามยาว Intake (แบบที่ 1)



(ง) แผน Intake (แบบที่ 2)



(จ) รูปตัดตามยาว Intake (แบบที่ 2)

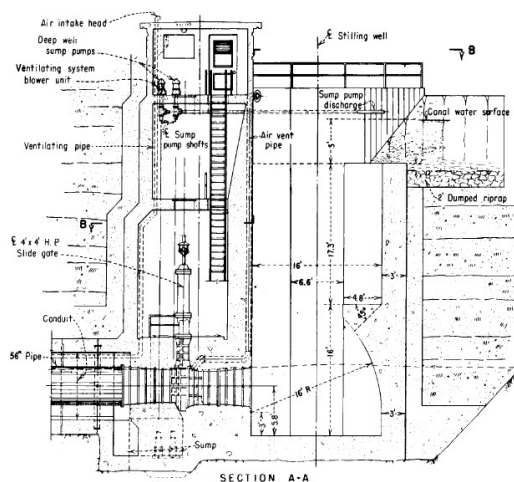


Figure 10-16.—Stilling well energy dissipator installation. Trenton Dam, Nebraska. 288-D-2535.

(ฉ) รูปตัดตามยาว Control House

รูปที่ 2-28 แสดงส่วนประกอบของอาคารท่อส่งน้ำ



ในด้วยแผ่นเหล็กม้วนเป็นรูปท่อทรงกลม (Steel Liner) ตามยาวท่อจะแบ่งเป็นรอยต่อท่อที่มีแผ่นยางกันรั่วซึม (Waterstop) เชื่อมระหว่างรอยต่อท่อ โดยความยาวรอยต่อท่อประมาณ 5.00 - 10.00 เมตร ความหนาท่อคอนกรีตเสริมเหล็กประมาณครึ่งหนึ่งของขนาดรัศมีท่อ ตัวท่อจะวางอยู่บนชั้นหินแข็งหรือดินเดิมที่มีความแน่นเพียงพอ อย่างไรก็ตามท่ออาจจะเกิดการทรุดตัว และหรือเคลื่อนตัวได้ในระหว่างการก่อสร้างและหรือการใช้งาน

(4) อาคารควบคุมปริมาณน้ำ ทำหน้าที่ในการควบคุมปริมาณไหลผ่านท่อตามที่ต้องการ โดยผ่านทางอุปกรณ์ประกอบ ได้แก่ ประตูระบายน้ำแบบต่างๆ โดยทำการยกบานประตูระบายน้ำขึ้นหรือลงเพื่อให้มีช่องเปิดเพียงพอที่จะให้ปริมาณน้ำไหลผ่านไปได้ตามกำหนด ซึ่งขึ้นกับระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ หากระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำสูงแต่ต้องการปริมาณน้ำน้อย ก็ต้องหมุนบานประตูลงให้มีช่องเปิดน้อย เป็นต้น ตำแหน่งที่ตั้งอาคารควบคุมปริมาณน้ำอาจจะอยู่บริเวณด้านเหนือน้ำหรือตรงกลางเขื่อน หรือด้านท้ายเขื่อนก็ได้ ขึ้นกับผู้ออกแบบจะพิจารณาความเหมาะสม อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่ในขณะนี้ผู้ออกแบบมักจะกำหนดอาคารควบคุมปริมาณไว้ด้านท้ายเขื่อน ซึ่งเป็นผลทำให้ตัวท่อต้องอยู่ภายใต้แรงดันน้ำตลอดเวลา ลักษณะโดยทั่วไปของตัวอาคารเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก มีส่วนที่ฝังอยู่ใต้ดินและส่วนที่อยู่บนดินมีหลังคาคลุมอาคารเพื่อกันแดดกันฝน และมีประตูเปิด-ปิดเข้าออกอาคาร ภายในตัวอาคารจะมีท่อเหล็กส่งน้ำ พร้อมอุปกรณ์ควบคุมปริมาณน้ำ ได้แก่ ประตูน้ำชนิดต่างๆ ตามความเหมาะสม ซึ่งอาจจะประตูน้ำแบบลิ้นเกต (Gate Valve) หรือประตูน้ำชนิดความดันสูง (High Pressure Gate) ขนาดต่างๆ ตามที่กำหนดตั้งแต่ 0.80 เมตร จนถึง 3.00 เมตร เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีอุปกรณ์อัตโนมัติช่วยผ่อนแรงการเปิด-ปิดประตูน้ำด้วยระบบไฟฟ้า ระบบไฮดรอลิกส์ และมอเตอร์ขับเคลื่อนต่างๆ ด้วย

(5) อาคารสลายพลังงานน้ำ (Energy Dissipater หรือ Stilling Basin แบบต่าง) ทำหน้าที่ในการสลายพลังงานของน้ำที่ไหลออกมาจากปลายท่อส่งน้ำที่มีความเร็วสูงให้มีความเร็วลดลงเพื่อมิให้เกิดการกัดเซาะด้านท้ายน้ำ ซึ่งเป็นคลองส่งน้ำหรือคลองระบายน้ำ การที่ต้องรองรับแรงกระทำจากน้ำและดินค่อนข้างมาก จึงใช้คอนกรีตเสริมเหล็กเป็นวัสดุในการก่อสร้างตัวอาคาร โดยทั่วไปลักษณะอาคารชนิดนี้จะเหมือนกับของอาคารระบายน้ำล้น แต่ขนาดอาคารจะเล็กกว่า ซึ่งประกอบด้วย กำแพงกันดิน พื้นอาคาร ส่วนของรางเท (Chute) ที่เชื่อมต่อกับปลายท่อส่งน้ำ และ Stilling Basin

(6) คลองส่งน้ำหรือคลองระบายน้ำ ทำหน้าที่ในการส่งน้ำเข้าคลองส่งน้ำท้ายเขื่อนไปยังพื้นที่เพาะปลูกที่กำหนด หรือทำหน้าที่ระบายน้ำจาก Stilling Basin ไปลงยังลำน้ำเดิม โดยทั่วไปคลองจะมีรูปแบบเป็นดินขุด รูปสี่เหลี่ยมคางหมู มีการทิ้งหิน / เรียงหิน หรือคาคอนกรีตเพื่อป้องกันการกัดเซาะ เนื่องจากเกิดการไหลปั่นป่วน บริเวณท้าย Basin และบริเวณจุดบรรจบกับลำน้ำเดิม



พฤติกรรมและจุดอ่อนของอาคารท่อน้ำ

ด้วยจุดที่ตั้งอาคาร หน้าทีลักษณะทางโครงสร้าง และวัสดุที่นำมาก่อสร้างอาคาร ทำให้ตัวอาคารต้องรับแรงต่างๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งทำให้มีพฤติกรรมและจุดอ่อนต่างๆ เกิดขึ้น ตามที่จะขออธิบายโดยสรุปดังนี้

- (1) เกิดการสั่นและเกิดเสียงดังในห้องควบคุมปริมาณน้ำ เนื่องจากในห้องควบคุมปริมาณน้ำจะมีประตูน้ำติดตั้งอยู่ ซึ่งประกอบด้วย ประตูสำหรับซ่อมแซม (Guard Gate) ที่วางอยู่ด้านเหนือน้ำ และประตูเพื่อการควบคุมปริมาณ (Operating Gate) ซึ่งวางอยู่ด้านท้ายน้ำโดยปกติ Guard Gate จะเปิดไว้เต็มที่ (100%) ขณะใช้งาน และจะปิดทั้งหมดเพื่อทำการซ่อมแซมประตูน้ำด้านท้ายน้ำ สำหรับ Operating Gate จะมีการเปิดและปิดอยู่ตลอดเป็นระยะๆ เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่จะต้องระบายออกจากอ่างให้ได้ปริมาณตามต้องการ ซึ่งขณะใช้งานโดยส่วนใหญ่จะไม่เปิด 100% จึงจะทำให้มีส่วนของบานประตู (Gate Leaf) ขวางทางน้ำ และเป็นเหตุให้เกิดแรงดันน้ำลดลงอย่างทันที ทำให้เกิดสภาพของ Cavitation ขึ้นท้ายประตูน้ำ เป็นผลทำให้เกิดการสั่นขึ้นที่ตัวบานและส่งต่อไปยังอาคารส่วนอื่นด้วย นอกจากนั้นยังเกิดการกัดกร่อนบริเวณบานประตูและตัวท่อด้วยเช่นกัน
- (2) เกิดการรั่วซึมบริเวณตัว Gate Valve และรอยต่อระหว่างท่อเหล็กและ Gate Valve ซึ่งจะทำให้มีน้ำไหลหยดลงที่พื้นอาคารและท่วมซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ จนทำให้เป็นปัญหาและอุปสรรคในการใช้งาน
- (3) ปริมาณน้ำไหลน้อยกว่าที่กำหนดไว้ โดยทั่วไปในแบบแปลนจะกำหนดให้มี Rating Curve แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ และปริมาณน้ำไหลผ่านท่อ บางครั้งอาจจะพบว่า เมื่อระดับน้ำในอ่างสูงขึ้น และเปิดประตูระบายน้ำมากแล้วแต่ปริมาณน้ำอาจจะไหลได้น้อยกว่าที่กำหนดมาก ซึ่งอาจจะมาจากช่องเปิดของท่อบริเวณใดบริเวณหนึ่งเกิดการอุดตัน หรือมีขนาดเล็กลงด้วยสาเหตุบางประการ
- (4) ตัวท่อเกิดการทรุดตัว หรือขยับตัวทำให้เกิดการแตกร้าว และมีน้ำรั่วซึมออกทางด้านท้ายน้ำ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการทรุดตัวของผิวดินบริเวณอาคารควบคุมปริมาณน้ำได้
- (5) เกิดการกัดเซาะบริเวณด้านท้าย Basin ต่อกับคลองส่งน้ำหรือระบายน้ำ
- (6) เกิดคลื่นในคลองส่งน้ำ เมื่อเปิดน้ำให้ไหลเข้าคลองมากขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้น้ำในคลองไหลขึ้นมานบนคันคลองและเกิดการกัดเซาะขึ้นได้



บทที่ 3

การบำรุงรักษาเขื่อนดิน

แนวทางการบำรุงรักษาเขื่อนดิน

- พิจารณาก่อสร้างชั้น Ballast Filter เพื่อป้องกันเขื่อนจากการเกิด Piping
- ริมซ่อมแซมบริเวณที่ถูกกัดเซาะบนตัวเขื่อน
- พิจารณายกระดับสันเขื่อนสำหรับบริเวณที่มีการทรุดตัวมาก
- พิจารณาก่อสร้างคันเดิมเพิ่มเติมเพื่อช่วยค้ำยันตัวเขื่อนที่แสดงแนวโน้มว่าไม่อยู่ในเสถียรภาพ
- พิจารณาอุดรอยแตกที่เกิดกับตัวเขื่อนโดยทันที
- พิจารณาซ่อมแซมสิ่งก่อสร้างที่ใช้ป้องกันเชิงลาด (Slope Protection) เช่น หินเรียง (Riprap) และ คอนกรีตลาดหน้าเขื่อนโดยทันทีที่ตรวจพบปัญหา
- พิจารณาแก้ไขการรั่วซึมของน้ำผ่านเชิงลาดด้านหน้าเขื่อนโดยใช้แผ่นใยสังเคราะห์ (Membrane) หรือ สิ่งก่อสร้างเพื่อกั้นรั้ว (Seepage barrier) อื่น ๆ
- พิจารณาเคลื่อนย้ายวัสดุที่เสื่อมสภาพที่ใช้ก่อสร้างตัวเขื่อนออกไปและจะหาวัสดุใหม่มาแทน
- พิจารณาปรับปรุง/แก้ไขโซนที่ออกแบบเพื่อให้ระบายน้ำ (Drainage Zones) ใหม่
- กำจัดวัชพืชที่ขึ้นทั่วไปออกให้หมด
- กำจัดสัตว์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณเขื่อนและขอบเกาะ/เขตรูออกไปให้หมด

การซ่อมแซมและปรับปรุงเขื่อนดินเมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งชำรุดเสียหายให้มีสภาพดีดังเดิม หรือ การก่อสร้างเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงสภาพให้มั่นคงแข็งแรงยิ่งขึ้น อย่างได้ผลดีนั้น ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในงานด้านนี้พอสมควร ทั้งสาเหตุของการชำรุดเสียหายดังที่ได้กล่าวมาแล้ว วิธีการแก้ไข ตลอดจนวิธีการทำงานในสนามที่ถูกต้องและเหมาะสมกับเหตุการณ์

วิธีการซ่อมแซมและปรับปรุงสภาพชำรุดเสียหาย ซึ่งมักพบเสมอกับเขื่อนดินต่าง ๆ ที่สร้างเสร็จแล้ว เพื่อเป็นแนวสำหรับผู้เกี่ยวข้องจะได้นำไปพิจารณาเป็นหลักปฏิบัติต่อไป

1. การซ่อมแซมปรับปรุงกรณีพื้นดินด้านท้ายเขื่อนมีน้ำไหลพุดออกมา

เมื่อตรวจพบให้รีบดำเนินการซ่อมแซมฉุกเฉินทันที หลังจากนั้นจึงวางแผนและซ่อมปรับปรุงทั้งหมดโดยด่วนต่อไป โดยดำเนินการตามลำดับดังนี้

1) จัดหาทรายหยาบและกรวด (หรือหินเกล็ด) มีส่วนผสมในอัตราส่วนเท่ากันโดยปริมาตร นำมาปูทับคลุมบริเวณที่น้ำไหลพุดออกให้ทั่ว รวมความหนาประมาณ 30 เซนติเมตร

2) จัดหาหินย่อยและหินใหญ่ที่มีขนาดต่าง ๆ คละกัน นำมาปูปิดทับชั้นทรายและกรวดให้ทั่วบริเวณนั้นอีก ความหนาประมาณ 30 เซนติเมตรซึ่งจะสามารถป้องกันดินและตะกอนทรายไม่ให้ชะพาหลุดออกไปได้ ส่วนน้ำก็จะไหลซึมออกมาตามปกติ และไม่เป็นอันตรายต่อตัวเขื่อน



3) การดำเนินการตามข้อ 1) และ 2) นั้น เป็นหลักและวิธีการป้องกันแบบฉุกเฉิน ซึ่งสามารถลดและป้องกันอันตรายอันอาจเกิดขึ้นในแต่ละปีนั้นและในปีต่อไปได้ตามสมควร ซึ่งการซ่อมแซมปรับปรุงให้มีความมั่นคงถาวรตลอดไป ควรดำเนินการต่ออีกดังนี้:-

ก) ตรวจสอบแรงดันของน้ำในชั้นดินดินที่ไม่ทับน้ำ (ตะกอนทราย ทราย หรือ กรวด) ซึ่งมีในแนวลึกใต้ผิวดินว่าจะมีจำนวนมากน้อยเท่าใด ด้วยการติดตั้ง standpipe piezometer

ข) วัดระดับน้ำใน standpipe piezometer ทุกสัปดาห์เป็นอย่างน้อย พร้อมด้วยระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ จากนั้นจะทราบว่าที่ปลายท่อ piezometer มีแรงดันของน้ำกระทำขึ้นคิดเป็นความสูงของน้ำจำนวนเท่าใด (เท่ากับ ความสูงของระดับน้ำใน piezometer) ซึ่งทำเยื่อหนังที่น้ำไหลซึมไหลออก ระดับน้ำในท่อ piezometer มักปรากฏเหนือผิวดินสูงมาเสมอ ตัวอย่างเช่นสมมุติว่าปลาย piezometer ฝังในชั้นกรวดทรายที่ความลึก 6 เมตรจากผิวดิน ขณะที่ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเสมอระดับน้ำเก็บกัก standpipe piezometer น้ำระดับสูงกว่าผิวดินบริเวณนั้น 1.50 เมตร ย่อมแสดงว่า:-

- น้ำพยายามไหลซึมผ่านชั้นดินความหนา 6 เมตรขึ้นมาด้วย hydraulic gradient = 0.25
- ตลอดแนวชั้นดินความหนา 6 เมตรด้านล่างทั่วตลอดบริเวณนั้นจะมีแรงน้ำดันขึ้นเท่ากับ ความสูงของน้ำ 7.5 เมตร หรือเท่ากับ 7.5 ดันต่อตาราง โดยมิน้ำหนักของดินความหนา 6 เมตร (น้ำหนักแบบ submerged weight) รวมกับแรงเกาะยึดระหว่างอนุภาคของดินคอยต้านไว้

ค) จากข้อมูลเกี่ยวกับระดับน้ำในท่อ piezometer ดังกล่าว จะสามารถวินิจฉัยหาขอบเขตการซ่อมแซมใหม่ได้ว่า ควรดำเนินการให้เหมาะสมในทุกด้านอย่างไรบ้าง ซึ่งตามตัวอย่างในข้อ ข) อาจกำหนดแผนและรูปแบบการซ่อมแซมปรับปรุงให้ถาวรดังนี้

- ปูทับคลุมบริเวณที่น้ำไหลพุดออกด้วยทรายหยาบผสมกรวดให้ทั่ว ความหนา 30 – 50 เซนติเมตร ตามความเหมาะสม (ทำเพิ่มเติมจากการซ่อมฉุกเฉิน) โดยนำหินใหญ่ออกมาแล้วเพิ่มความหนาของกรวดและทราย พร้อมกับเชื่อมชั้นกรวดและทรายที่ปูให้น้ำที่ซึมผ่านดินออกมาไหลติดต่อกันได้ แล้วนำออกยังบริเวณที่ต่ำด้วยร่องใส่กรวดและทรายความกว้างประมาณ 1 – 2 เมตรเช่นกัน หลังจากนั้นจึงถมดินบดอัดแน่นที่บริเวณท้ายเขื่อนตลอดความยาวเขื่อนบริเวณที่ลุ่ม ด้วยความหนาประมาณ 1.0 เมตรเป็นอย่างน้อย และมีความยาวออกไปตามลำน้ำด้านท้ายเขื่อนพันเขตอันตรายหรืออีกวิธีหนึ่ง

- ปูทับบริเวณที่น้ำไหลออกด้วยทรายหยาบผสมกรวดให้ทั่ว ความหนา 30 – 50 เซนติเมตร เช่นกัน หลังจากนั้นจึงถมด้วยหินขนาดเล็กใหญ่คละกัน (มีส่วนผสมตามที่ระบุดีได้ โดยขนาดใหญ่ที่สุดไม่ควรโตกว่า 30 เซนติเมตร) ความหนาไม่น้อยกว่า 60 เซนติเมตร ให้ทั่วบริเวณท้ายเขื่อนตลอดความยาวเขื่อนบริเวณที่ลุ่ม และมีความยาวออกไปตามลำน้ำด้านท้ายเขื่อนจนพันเขตอันตราย

2. การซ่อมปรับปรุงกรณีพื้นดินท้ายเขื่อนอ่อนตัวและยุบไป - มา

เมื่อตรวจพบให้รีบดำเนินการซ่อมแซมฉุกเฉินทันที เช่นเดียวกับพื้นดินท้ายเขื่อนที่มีน้ำไหลพุดออกมา ซึ่งการที่พื้นดินอ่อนตัวยุบไปมานี้จะเนื่องมาจากถูกแรงดันน้ำข้างใต้กระทำ และบริเวณดินอ่อนตัวมักเกิดร่วมกับการไหลพุดด้านท้ายเขื่อนนั้นเสมอ หลังจากการซ่อมป้องกันแบบฉุกเฉิน ก็ต้องวางแผนและกำหนดวิธีการซ่อมปรับปรุงทั้งหมดโดยด่วนต่อไปด้วย



ทั้งการซ่อมแซมฉุกเฉินและการซ่อมแซมปรับปรุงครั้งใหญ่ให้มีสภาพมั่นคงตลอดไปนั้น ควรดำเนินการตามลำดับด้วยวิธีการเหมือนการซ่อมปรับปรุงกรณีพื้นดินท้ายเขื่อนที่มีน้ำไหลพุดออกมาในข้อ 6.1

3. การซ่อมแซมปรับปรุงกรณีพื้นดินท้ายเขื่อนทะลักอุดขึ้นเนื่องจากลาดของเขื่อนเลื่อนไหล ควรซ่อมแซมควบคู่กับการซ่อมแซมลาดเขื่อนที่เลื่อนไหล โดยหลักการแล้ว ที่บริเวณด้านท้ายเขื่อนนี้จะต้องมีการถมดินจนสูงขึ้นมา เพื่อให้มีน้ำหนักรัดทับมาก เป็นการเพิ่มแรงต้านทานการเลื่อนไหล จนสามารถต้านน้ำหนักดินลาดเขื่อนที่พยายามกดผลักลาดเขื่อนส่วนนั้น ลาดเขื่อนจึงไม่เลื่อนลงอีก การซ่อมปรับปรุงลักษณะนี้จะต้องมีการวิเคราะห์และคำนวณให้ถูกต้องเพื่อหาความหนาของดินที่กดทับให้เหมาะสม

4. การซ่อมปรับปรุงลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำกรณีมีน้ำซึมผ่านตัวเขื่อนจนดินที่ลาดเปียกแฉะมาก ควรรีบซ่อมและแก้ไขโดยดำเนินการตามลำดับ ดังนี้

1) จัดหาทรายหยาบและกรวด (หรือหินเกล็ด) มีส่วนผสมในอัตราส่วนเท่ากันโดยปริมาตร นำมาปูทับคลุมลาดเขื่อนบริเวณที่มีน้ำซึม ไปจนถึงพื้นดินธรรมชาติให้มีความหนาประมาณ 30 เซนติเมตร

2) จัดหาหินย่อยและหินใหญ่ที่มีขนาดต่าง ๆ คละกัน นำมาปูทับชั้นทรายและกรวดอีก ความหนาประมาณ 40 เซนติเมตรซึ่งสามารถป้องกันดินที่ลาดเขื่อนไม่ให้เลื่อนไหลและไม่มีน้ำเปียกแฉะที่ลาดเขื่อนดังกล่าวต่อไปอีก

3) ถ้าหากดินที่เปียกแฉะมีการเลื่อนไหล เนื่องจากน้ำที่ไหลซึมออก อาจทำการซ่อมปรับปรุงตาม ข้อ 1) และข้อ 2) ในขณะที่เขื่อนกำลังเก็บกักน้ำอยู่ในระดับสูงได้ไม่เรียบร้อยนัก ควรดำเนินการดังนี้

ก) ซ่อมป้องกันฉุกเฉิน โดยการนำทรายและกรวดบรรจุลงจำนวนมากไปถมกวดทับที่บริเวณดินเลื่อนและมีน้ำไหลแฉะนั้นให้เต็ม จนเกินพื่นแนวลาดเขื่อนออกมาให้หนาพอสมควร เพื่อป้องกันไม่ให้ดินลาดเขื่อนเลื่อนไหลต่อไปอีก

ข) สำหรับการซ่อมปรับปรุงตามแผนซ่อมปรับปรุงแบบถาวร ให้ดำเนินการตอนช่วงระดับน้ำในอ่างลดลงต่ำแล้ว และบริเวณที่ชำรุดเสียหายไม่มีน้ำซึมออกมาด้วยวิธีการต่อไปนี้

- ถากตัดดินบริเวณหลุมบ่อและดินอ่อนที่ถูกน้ำกัดเซาะจนหมดดินอ่อน เป็นแนวเองขนานกับแนวลาดเขื่อน ตั้งแต่ระดับต่ำกว่าพื้นดินธรรมชาติเล็กน้อยขึ้นไปจนพื่นแนวดินที่ถูกกัดเซาะ

- ถมดินบดอัดแน่นด้วยเครื่องจักร หรือด้วยแรงคน ให้มีความหนาแน่นตามเกณฑ์มาตรฐานจนเสมอกับแนวลาดเขื่อนทั่วไป

- ปูทับลาดเขื่อนด้วยชั้นกรวดทรายหนา 30 เซนติเมตร ตามลาดเขื่อนที่ปรับปรุงใหม่ หลังจากนั้นจึงปูปิดด้วยหินย่อยและหินขนาดใหญ่ที่มีขนาดต่าง ๆ คละกันอีกด้วยความหนาประมาณ 40 เซนติเมตร ทั้งนี้จากระดับพื้นดินธรรมชาติท้ายเขื่อนมาตามลาดถึงระดับขอบบนที่เคยมีน้ำไหลซึมออกมา



5. การซ่อมปรับปรุงลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำกรณีที่ลาดเขื่อนน้ำฝนกัดเซาะ

ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำส่วนใหญ่มีถูกน้ำฝนกัดเซาะจนเป็นร่องหลุม ทั้งนี้เพราะขาดการดูแลทะนุบำรุงหญ้าที่ปลูกไว้ให้อยู่ในสภาพที่ดี และลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำอีกหลายแห่งเช่นกัน ที่มีการป้องกันน้ำฝนกัดเซาะลาดเขื่อนไว้ด้วยหินทิ้งแล้วปรากฏว่าดินใต้หินทิ้งนั้นถูกน้ำฝนซึ่งไหลลงตามลาดกัดเซาะเป็นร่องลึกจนหินปูนปิดทับยุบลงเป็นแห่ง ๆ ไป ซึ่งการซ่อมปรับปรุงลาดเขื่อนที่ชำรุดเสียหายควรพิจารณาดำเนินการให้เหมาะสมแล้วแต่กรณี ดังต่อไปนี้-

1) บริเวณที่เริ่มจะถูกน้ำฝนกัดเซาะเป็นบางแห่งเนื่องจากหญ้าที่ปลูกไว้ตาย หรือปลูกไม่ขึ้น ควรรีบซ่อมเสริมให้ติดอยู่อย่างสม่ำเสมอ โดยไม่ปล่อยทิ้งไว้เพราะอาจจะลุกลามมากขึ้น

ก) จัดหาดินผิวหน้า (top soil) มาปูรอง ด้วยความหนา 10 - 15 เซนติเมตร
จนทั่วบริเวณที่ไม่มีหญ้า

ข) นำหญ้ามาปลูกแบบเป็นแผ่นปิดทับให้ทั่วบริเวณที่ไม่มีหญ้า

ค) หมั่นรดน้ำหญ้าที่ปลูกใหม่ จนต้นหญ้าเจริญงอกงามดี

2) บริเวณที่ถูกน้ำกัดเซาะเป็นร่องแล้ว เนื่องจากการละเลยไม่จัดการซ่อมตามข้อ 1) นั้น ให้รีบดำเนินการทันทีโดยไม่ปล่อยทิ้งไว้อีก เพราะร่องต่าง ๆ เหล่านั้นจะไม่ขยายมีขนาดใหญ่มากขึ้นอย่างรวดเร็วในฤดูฝนแล้วจะทำให้การซ่อมแซมต่อไปมีความยากลำบาก หรือต้องเสียค่าใช้จ่ายแพงขึ้นโดยไม่จำเป็น

ก) ถมบดอัดแน่นกลบร่องให้เต็ม

ข) ปูดินผิวหน้า (top soil) ด้วยความหนา 10 - 15 เซนติเมตรจนทั่วบริเวณ

ค) นำหญ้ามาปลูกแบบเป็นแผ่นปิดทับให้ทั่วบริเวณ แล้วหมั่นรดน้ำหญ้าที่ปลูกจนเจริญงอกงามดี

3) สำหรับลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำซึ่งปล่อยให้ดินถูกน้ำฝนกัดเซาะเป็นร่องหลุมปรากฏกระจัดกระจายไปทั่วตลอดลาดเขื่อน เนื่องจากการไม่เคยดูแลและซ่อมแซมส่วนที่ถูกน้ำกัดเซาะเลยหลังจากสร้างเขื่อนแล้ว ซึ่งได้จากการปรับปรุงตามข้อ 1) และข้อ 2) ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงลาดเขื่อนครั้งใหญ่ตามรูปแบบเดิม หรือมีการเปลี่ยนไปบ้างตามความเหมาะสมดังต่อไปนี้

ก) ถากตัดดินลาดเขื่อนบริเวณร่องหลุมตลอดความยาวเขื่อนให้เป็นแนวเอียงขนานกับแนวลาดเขื่อน โดยมีความลึกของดินที่ถูกตัดถากจนพ้นจากกันร่องหลุมนั้น ดินที่ถากตัดออกแล้วให้เกลี่ยทับลงมาเพื่อบดอัดแน่นใหม่ด้วยการรดน้ำให้มีความชื้นใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐาน

ข) ถากตัดดินออกแล้วนำมาบดอัดแน่นใหม่ตั้งแต่ระดับฐานเขื่อนที่พื้นดินจนถึงส่วนบนของตัวเขื่อนที่พื้นบริเวณร่องหลุม ให้มีความลาดเทและสัดส่วนตามที่ออกแบบไว้แต่เดิมเป็นอย่างน้อย (อาจมีลาดและสัดส่วนเปลี่ยนแปลงได้) ตามผลการวิเคราะห์และออกแบบปรับปรุงครั้งใหม่

ค) หลังจากตัดและถมบดดินลาดเขื่อนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนจะเริ่มงานปลูกหญ้าให้ถมดินผิวหน้า (top soil) ความหนา 10 - 15 เซนติเมตร แล้วจึงปลูกหญ้าแบบปูพรมปิดผิวดินทั้งหมด ห้ามการปลูกหญ้าไว้เป็นหย่อม ๆ อย่างเด็ดขาด เพราะดินลาดเขื่อนที่ปรับปรุงใหม่แล้วนี้จะต้องถูกน้ำกัดเซาะให้เว้าแหว่งจนเป็นร่องลึกกลับไปเหมือนสภาพเดิมก่อนปรับปรุงอีกภายในเวลา 1 - 2 ปี



ง) แผนงานดังกล่าวข้างต้น ต้องวางแผนทำให้เสร็จได้ภายในฤดูแล้งเดียว นั้นคือการปลูกหญ้าทั้งหมดจะต้องเสร็จเรียบร้อยก่อนย่างเข้าฤดูฝน

จ) หญ้าที่ปลูกเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้จัดการรดน้ำหญ้าที่ปลูกใหม่อย่างน้อยสัปดาห์ละหนึ่งครั้ง เพื่อเลี้ยงหญ้าไม่ให้แห้งจนมากจนกว่าจะได้รับน้ำฝนต้นฤดู

4) ดินลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำเมื่อถูกน้ำฝนอาจเกิดการกัดเซาะลักษณะเป็นรูโพรงลึกลงไปในตัวเขื่อน ซึ่งเห็นลักษณะการถูกกัดเซาะของดิน Dispersive Soil ซึ่งหลังจากการตรวจสอบสภาพดินทางด้านกายภาพและด้านเคมีแล้วพบว่าดินบริเวณรูโพรงนั้นเป็น Dispersive Soil ให้ดำเนินการดังนี้-

ก) เมื่อพบรูโพรงเพิ่มเกิดมีขึ้นจำนวนไม่กี่แห่งตามลาดเขื่อน ให้รับจัดการซ่อมอุดทันที โดยการขุดตัดดินอ่อนที่ข้างและกันหลุมให้เรียบทุกแห่ง แล้วใช้ดินซึ่งผสมปูนขาวจำนวน 2 % โดยน้ำหนัก (ดินผสมปูนขาวดังกล่าวต้องให้มีความชื้นเท่ากับ optimum moisture content แล้วบ่มไว้ 3 - 4 วันก่อนจึงจะนำไปใช้ได้) ถมอัดแน่นลงในหลุมจนเต็ม หลังจากนั้นจึงปูดินผิวหน้า (top soil) ความหนา 10 - 15 เซนติเมตรให้เรียบร้อยแล้วจึงปลูกหญ้าปิดแบบปูพรมเช่นเดียวกัน

ข) สำหรับลาดเขื่อนซึ่งเป็นรูโพรงจำนวนมากกระจายไปตลอดทั้งความยาวเขื่อน ให้ถากดินลาดเขื่อนส่วนที่เป็นรูโพรงให้หมดแล้วนำมาบดอัดแน่นใหม่ด้วยวิธีการเช่นเดียวกับข้อ 3) หลังจากนั้นจึงถมดินซึ่งผสมปูนขาวจำนวน 2 % โดยน้ำหนัก ความหนาประมาณ 30 เซนติเมตร ปูปิดทับดิน Dispersive อีกชั้นหนึ่ง แล้วปูดินผิวหน้า (top soil) ความหนา 10 - 15 เซนติเมตร และปลูกหญ้าแบบปูพรมเป็นอันดับสุดท้าย

การดำเนินงานปรับปรุงทั้งหมดจนถึงขั้นปลูกหญ้าให้เรียบร้อยดังกล่าว ต้องดำเนินการให้เสร็จก่อนย่างเข้าฤดูฝน และระหว่างที่ฝนยังไม่ตกก็ต้องมีการรดหญ้าที่ปลูกใหม่อย่างสม่ำเสมอไม่น้อยกว่าสัปดาห์ละหนึ่งครั้งด้วยเช่นกัน

5) ลาดเขื่อนซึ่งป้องกันน้ำฝนกัดเซาะไว้ด้วยน้ำฝนแล้ว แต่ปรากฏว่าดินใต้หินที่ถูกน้ำฝนกัดเซาะเป็นร่อง ควรพิจารณาซ่อมแซมดังนี้

ก) หากใต้หินซึ่งไม่มี bedding หรือสร้างหินซึ่งไว้ด้วยกันที่มีขนาดใหญ่ใกล้เคียงเสมอกัน จะไม่สามารถยับยั้งไม่ให้น้ำฝนไหลกัดเซาะดินได้ ควรรื้อหินทั้งหมดออกแล้วแต่งดินลาดเขื่อนให้เรียบ หลังจากนั้นให้ปูชั้นทรายหยาบผสมกรวดความหนาประมาณ 20 เซนติเมตร เป็น bedding ส่วนหินใหญ่ที่มีขนาดค่อนข้างเสมอกันนั้นให้เปลี่ยนเป็นหินมีขนาดเล็กใหญ่คละกัน (ตามสัดส่วนที่ระบุดีได้) ความหนาประมาณ 30 เซนติเมตร

ข) หากร่องหรือโพรงใต้หินซึ่งมีจำนวนมากและลึก กระจายอยู่ทั่วบริเวณตามลาดเขื่อนที่มีหินทั้งนั้น ให้รื้อหินซึ่งออกแล้วดำเนินการถากตัดดินออกแล้วบดแน่นเข้าไปใหม่ตามวิธีที่กล่าวในข้อ 3) เสียก่อน หลังจากนั้นจึงปู bedding ความหนา 20 เซนติเมตรแล้วทับด้วยหินซึ่งขนาดเล็กใหญ่คละกันความหนาประมาณ 30 เซนติเมตร เช่นเดียวกับที่กล่าวข้างต้น



6. การซ่อมปรับปรุงลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำกรณีที่ดินลาดเขื่อนเลื่อนหลาย

ควรซ่อมปรับปรุงในช่วงฤดูแล้งขณะที่น้ำในอ่างลดลงต่ำ ซึ่งจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์คำนวณหาความมั่นคงของลาดเขื่อนนี้ใหม่ด้วย เพื่อกำหนดรูปแบบการซ่อมปรับปรุงให้เหมาะสม

- 1) อาจต้องปรับปรุงลาดเขื่อนตั้งแต่แนวนบนของลาดเขื่อนที่ดินเลื่อนนั้นให้มีความลาดเทแบนราบกว่าเดิมหรือเสริมดินบดอัดแน่นเข้ากับลาดเขื่อนเป็น berm อย่างใดอย่างหนึ่งตามความเหมาะสม
- 2) ในการซ่อมปรับปรุงจะต้องขุดลอกดินส่วนที่เลื่อนออกจนหมด แล้วถมดินบดอัดแน่นกลับเข้าไปใหม่ให้ได้ขนาดและสัดส่วนตามรูปแบบที่กำหนดในข้อ 1) นั้น

7. การซ่อมแซมปรับปรุงสันเขื่อนที่ยุบเป็นหลุมบ่อ

ให้ถมดินลูกรังบดอัดแน่นลงในหลุมบ่อจนเต็ม โดยลูกรังที่ใช้ควรเลือกชนิดมีดินเหนียวผสมน้อยที่สุด หลังจากนั้นตามสันเขื่อนส่วนอื่นก็ควรตรวจสอบและเสริมลูกรังบนสันเขื่อนให้มีความหนาแน่น 20 - 30 เซนติเมตร โดยตลอดด้วย แล้วแต่งสันเขื่อนให้มีความลาดเทประมาณ 2 % ลงไปทางด้านอ่างเก็บน้ำและด้านท้ายเขื่อนเพื่อการระบายน้ำฝนทิ้งไปได้สะดวก

8. การซ่อมปรับปรุงลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำกรณีถูกคลื่นกัดเซาะจนเว้าแหว่ง

ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำส่วนใหญ่จะมีหินทิ้งรองด้วย bedding ปูปิดดินลาดเขื่อนไว้เพื่อป้องกันคลื่นกัดเซาะ แต่เขื่อนดินขนาดเล็กซึ่งมีงบประมาณก่อสร้างจำนวนน้อยอาจมีการป้องกันคลื่นกัดเซาะดินลาดเขื่อนไว้ด้วยการปลูกหญ้า โดยปลูกให้งอกงามเต็มที่ก่อนจะมีการเก็บกักน้ำ และแม้ว่าหลังจากที่น้ำในอ่างมีระดับสูงแล้วท่วมหญ้าที่ปลูกไว้ตาย แต่รากของหญ้าที่ยึดเกาะดินไว้แน่นแล้วจะช่วยยึดดินไว้ได้บ้าง ซึ่งพอระดับน้ำในอ่างลดลงหญ้าก็อาจจะงอกขึ้นมาใหม่ตามเดิม ทั้งสองกรณีอาจปรากฏว่าลาดเขื่อนตอนใดถูกคลื่นกัดเซาะเว้าแหว่งไปควรดำเนินการซ่อมแซมดังนี้-

- 1) ลาดเขื่อนที่เป็นหินทิ้งแล้วถูกกัดเซาะดินข้างใต้จนเป็นร่องเว้าแหว่ง อาจจะเนื่องมาจากสาเหตุที่หินทิ้งนั้นมีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ จนไม่สามารถรอง bedding แล้วแต่กรณี ควรดำเนินการดังนี้-

ก) ปีใดที่วางแผนจะซ่อมแซม ในปีนั้นควรตัดสินใจระบายน้ำออกจนระดับน้ำในอ่างลดลงต่ำให้มากที่สุด (ต้องคำนึงถึงการใช้น้ำในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งจะต้องจัดการให้เหมาะให้ควร และการระบายน้ำออกจากอ่างนี้ก็พึงระวังเรื่องการเลื่อนหลายของลาดเขื่อนด้วย)

ข) รื้อหินทิ้งหมดออกแล้วแต่งลาดเขื่อนให้เรียบร้อย

ค) ปูชั้นทรายหยาบผสมกรวด ความหนาประมาณ 20 เซนติเมตร เป็น bedding

ง) ปูทับ bedding ด้วยหินใหญ่ละหินเล็กขนาดต่าง ๆ ตามความหนาที่กำหนด



2) ลาดเขื่อนดินขนาดเล็กซึ่งปลูกหญ้าไว้แล้วถูกคลื่นกัดเซาะเป็นแนวยาว ควรดำเนินการดังนี้.-

ก) ถมดินกลบร่องจนเต็ม แล้วปลูกหญ้าให้ขึ้นงอกงามและมีสภาพดีตามเดิม หรือ

ข) จัดหาหินขนาดเล็กใหญ่คละกันถมในร่องหลุมที่ถูกกัดเซาะจนเต็มตลอดตามแนวเขื่อน

ซึ่งการซ่อมลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำที่มีการปลูกหญ้าป้องกันคลื่นกัดเซาะนี้ หากมีการดูแลและซ่อมแซมส่วนที่ถูกน้ำกัดเซาะอย่างสม่ำเสมอเป็นประจำทุกปีแล้ว จะสามารถรักษาเขื่อนให้มีความมั่นคงดีตลอดไปได้

9. แนวทางแก้ไข/ซ่อมแซมเพื่อบำรุงรักษาฐานรากเขื่อน

โดยปกติแล้วอันตรายที่จะเกิดกับฐานรากเขื่อน มักจะเกิดจากแรงดันของน้ำใต้ฐานรากเขื่อนมีค่าสูงเกินไป แรงดันนี้จะเกิดจากน้ำที่รั่วซึมตามรอยแตกและรอยต่อ (Crack & and Joints) ของหินฐานราก การบำรุงรักษาฐานรากเขื่อนให้อยู่ในสภาพที่มั่นคงปลอดภัย อาจพิจารณาทำได้โดยการ Treatment ฐานรากเพิ่มเติม หรือก่อสร้างระบบการระบาย (Drain) น้ำใหม่ได้ตามความเหมาะสม

การบำรุงรักษาฐานราก อาจทำให้โดยพิจารณาก่อสร้างร่องระบายน้ำ (Drainage Trench) ที่บริเวณตีนเขื่อนด้านท้ายน้ำเพิ่มเติม หรือก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำที่บริเวณไหล่เขื่อนและ/หรือระบายน้ำ (Drain Holes) เพิ่มเติมหากตรวจพบว่าค่าแรงดันน้ำสูงผิดปกติ ทั้งนี้ต้องคำนึงว่าต้องพยายามก่อสร้างให้ใกล้เคียงกับจุดที่เกิดการรั่วซึม (Sources of Seepage) มากที่สุด

นอกจากนี้อาจพิจารณาการทำ Treatment เพิ่มเติมได้ภายใน Grouting Gallery เดิม หรือภายใน Inspection Gallery โดยใช้ Pressure Grouting ซึ่ง Bureau of Reclamation แนะนำว่าถ้าหากตรวจพบว่า Grout Take มีค่าสูงเกินไป ก็ให้ผสมทราย, ดินเหนียว สาร Bentonite, ขี้เลื่อย หรือใยสังเคราะห์ (Organic fiber) ลงไปด้วย หรืออาจพิจารณาใช้ตัวเร่ง เช่น สารโซเดียมซิลิเกต และโซดาไฟผสมลงไปด้วย และถ้าตรวจพบว่าหินฐานรากมีช่องโพรง (Voids) ขนาดเล็กมาก ๆ ซึ่ง Grout โดยวิธีการปกติไม่สะดวก ก็แนะนำให้ใช้สารเคมีเป็นวัสดุ Grout และ Chemical Grout เช่น สารพวก Resins, Polymers และโซเดียมซิลิเกต เป็นต้น



วิธีการทำงานทั่วไป

(1) งานดินชุด

ต้องชุดให้ได้แนว ระดับและขนาดที่กำหนดในแบบ การชุดต้องชุดด้วยความระมัดระวังเป็นพิเศษ ต้องป้องกันให้วัสดุที่อยู่นอกขอบเขตแนวการชุดคงอยู่ในสภาพที่ดีที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในกรณีที่แบบไม่ได้กำหนดแนวเส้นขอบเขตการชุดไว้ ถ้าเป็นการชุดดินให้ใช้ลาด 1:1/2 หรือตามที่คณะกรรมการตรวจการจ้างจะกำหนด ในกรณีที่วัสดุที่อยู่นอกขอบเขตแนวการชุดที่กำหนดในแบบ เช่น หินหลวม (Loose Stone) หินแยก และหรือวัสดุอื่นที่หลวม ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความเคลื่อนไหว (Slide) ได้

(2) งานชุดเปิดหน้าดิน

ผิวหน้าดินตรงบริเวณที่จะถมดิน จะต้องกำจัดตอไม้, รากไม้, วัชพืช และวัตถุอื่นๆ ที่ไม่พึงประสงค์ออกให้หมด แล้วถากลอกผิวหน้าดินเดิมที่มีคุณภาพไม่ดีออก มีความลึกไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร เสร็จแล้วต้องตบแต่งให้อยู่ในสภาพที่จะรองรับชั้นดินที่จะนำมาบดอีกชั้น

(3) งานดินถม

ดินที่จะนำมาใช้ถมบดอัด ต้องเป็นดินที่ได้รับการคัดเลือกแล้ว (Selected Material) กรณีแบบกำหนดให้ถมดินเป็น Zone ต้องจัดหาดินที่มีคุณสมบัติเหมาะสมแต่ละ Zone มาทำการบดอัดแน่นตามที่แบบกำหนด ดินที่ได้รับการคัดเลือกแล้ว ต้องทำการชุดย้ายแยกกองต่างหากจากวัสดุส่วนอื่นที่จะทิ้งหรือขนย้ายไปกองไว้

(4) การถมบดอัดแน่น (Clayey and Silty Materials)

จะต้องนำดินที่จะใช้งานมาโรยเป็นชั้นในแนวราบ ดินต้องมีความชื้นถูกต้องตามที่กำหนด ต้องทำการบดอัดอย่างสม่ำเสมอตลอดผิวหน้า เพื่อให้มีความแน่นเป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอดปราศจากการรูดโคง, โพรง, การเป็นแผ่นหรือไม่ถูกต้องตามวิธีการบดอัดดิน การบดอัดต้องปฏิบัติดังต่อไปนี้

- (4.1) การถมและบดอัดดิน ต้องกระทำโดยการใช้เครื่องจักรกล
- (4.2) เครื่องจักรกลที่ใช้บดอัด ต้องเป็นชนิดเดียวกันและน้ำหนักเท่ากัน
- (4.3) ต้องตรวจสอบความชื้นของดินที่บ่อยืมดิน (Borrow Pits) ก่อนนำมาใช้งาน ถ้าความชื้นเกินเกณฑ์กำหนด (มากกว่าความชื้นที่จุด Optimum 2 %) ห้ามนำดินนั้นมาใช้งาน
- (4.4) การถมให้เกลี่ยเป็นชั้นๆ ในแนวราบ
- (4.5) ความหนาของดินแต่ละชั้นเมื่อบดอัดได้ที่แล้ว ต้องมีความหนาตามเกณฑ์ต่อไปนี้
 - ถ้าใช้ลูกกลิ้งตีนแกะ (Sheepsfoot Roller) ดินแต่ละชั้นต้องหนาไม่มากกว่า 2/3 ของความยาวของตีนแกะ หรือหนาไม่เกิน 15 เซนติเมตร แล้วแต่กรณีไหนจะน้อยกว่ากัน
 - ถ้าใช้เครื่องทุบดิน (Power Tamper) หรือทำการทุบด้วยแรงคน ความหนาของดินแต่ละชั้นเมื่ออัดแน่นแล้วต้องไม่เกิน 15 เซนติเมตร



- (4.6) ดินถมแต่ละชั้นต้องเกลี่ยให้กระจายสม่ำเสมอ ถ้าดินเป็นก้อนต้องทำให้แตกกระจายและแผ่ออกโดยตลอด
- (4.7) ดินแต่ละชั้นต้องมีความชื้นเท่ากันโดยสม่ำเสมอ
- (4.8) ความแน่นของดินถมแต่ละชั้นที่บดอัดแน่นแล้ว จะต้องมีความแน่น (เมื่อแห้ง) ไม่น้อยกว่า ๙๕% ของความแน่น (เมื่อแห้ง) จากการทดลองในห้องทดลองด้วยวิธีทดลองแบบ Proctor Compaction ASTM D-698-66T Method A.

(5) งานขุด-ขนย้ายดิน

ดินที่จะขุดขนย้ายไปถมร่องแกบหรือถมทำนบดินต้องเป็นดินที่มีส่วนผสมสม่ำเสมอ (Uniform Mixture) เครื่องมือที่ใช้ขุดและวิธีการขุด ต้องจัดทำให้เหมาะสม เพื่อที่จะให้ได้ดินมีคุณภาพดีเหมาะแก่การใช้ถมบดอัด

(6) งานหินก่อ

ก่อนจัดทำหินก่อ ต้องทำการบดอัดแน่นดินบริเวณที่จะทำหินก่อให้มีความแน่นไม่น้อยกว่าที่กำหนดในแบบ ตั้งแบบแล้วเทคอนกรีตรองพื้น หนาประมาณ 5 ซม. วางหินใหญ่บนคอนกรีตโดยวางให้เต็มผิวหน้าคอนกรีต การวางต้องวางให้หินชิดกันให้มากที่สุด ให้มีช่องว่างน้อยที่สุดแล้วเทคอนกรีตทับหน้าหินที่วางชั้นแรก เมื่อเทคอนกรีตสูงพื้นผิวหินชั้นแรก ให้วางหินชั้นต่อไปได้ ทำเช่นนี้ต่อไปจนได้ความหนาตามที่กำหนดในแบบ พร้อมทั้งแต่งเกลี่ยผิวหน้าให้เรียบร้อย หินใหญ่ที่ใช้งานหินก่อควรมีขนาดประมาณ 20-40 ซม. หรือตามที่กำหนดในแบบ

(7) งานหินเรียงยาแนว

ก่อนจัดทำหินเรียงยาแนว ต้องทำการบดอัดแน่นดินบริเวณที่จะทำหินเรียงยาแนว ให้มีความแน่นไม่น้อยกว่าที่กำหนดในแบบ ใช้ทรายรองพื้นบริเวณนั้น หนาประมาณ ๒๐ ซม. พร้อมทั้งอัดแน่น นำหินใหญ่มาเรียงให้ชิดกันมากที่สุด โดยจัดให้ผิวหน้าได้ระดับเสมอกันและได้ความหนาตามต้องการ ก่อนที่หน้าให้ฝังลงในทรายราดน้ำใช้ชุ่ม เทคอนกรีตอุดช่องว่างให้เต็ม พร้อมทั้งแต่งเกลี่ยผิวหน้าให้เรียบร้อย หินใหญ่ที่ใช้งานหินเรียงยาแนวนี้นี้ ควรมีขนาดประมาณ 20-40 ซม. หรือตามที่กำหนดในแบบ

(8) งานหินเรียง

ก่อนทำงานหินเรียง ต้องทำการบดอัดแน่นดินบริเวณที่จะทำหินเรียงให้มีความแน่นไม่น้อยกว่าตามที่กำหนดในแบบ ใช้ทรายรองพื้นบริเวณนั้น หนาประมาณ 20 ซม. พร้อมทั้งอัดแน่น นำหินใหญ่มาเรียงให้ชิดกันมากที่สุด พร้อมทั้งแต่งให้ผิวหน้าเรียบเสมอกันและความหนาตามต้องการ ก่อนที่หน้าให้ฝังลงในทรายตามช่องว่างระหว่างหินใหญ่ให้ใช้หินย่อยบนทรายอุดให้แน่น หินใหญ่ที่ใช้งานหินเรียงนี้นั้น ควรมีขนาดประมาณ 20-40 ซม. หรือตามที่กำหนดในแบบ



(9) งานหินทิ้ง

ก่อนจะทำหินทิ้ง ต้องทำการบดอัดดินบริเวณที่จะทำหินทิ้งให้มีความแน่นไม่น้อยกว่าตามที่กำหนดในแบบ นำหินใหญ่และคละขนาดมาทิ้งด้วยเครื่องจักรหรือแรงคนให้มีขนาดของหิน ความหนาและความลาดเอียงตามแบบ และตบแต่งผิวหน้าให้ดูเรียบเสมอ

(10) งานปลูกหญ้า

(10.1) การเตรียมพื้นที่

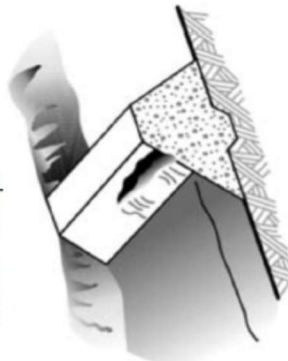
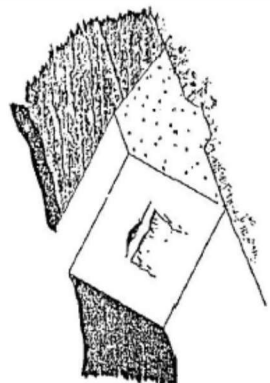
- ก่อนทำการปลูกหญ้า ต้องเตรียมพื้นที่โดยปู Top Soil ให้มีความหนาตามแบบ
- กรณีที่แบบไม่ได้กำหนดความหนาของ Top Soil ให้จะต้องทำการปู TOP SOIL ให้มีความหนาไม่น้อยกว่า 0.10 ม.

(10.2) การปลูกหญ้า ต้องนำหญ้าชนิดใดชนิดหนึ่ง ไปปลูกในพื้นที่ ที่ได้จัด เตรียมไว้แล้ว วิธีการปลูกหญ้าทำได้หลายวิธี เช่น ปูเป็นแผ่นต่อเนื่องกัน ปลูกเป็นจุดเว้นระยะห่างกันพอสมควร และวิธีหว่านเมล็ดพันธุ์ (Sodding)

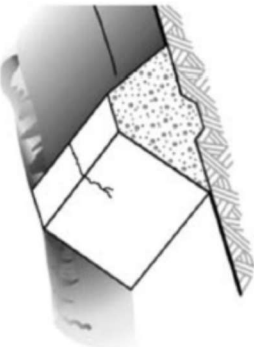
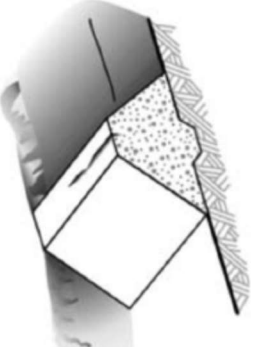


ตัวอย่างปัญหาและการแก้ไข

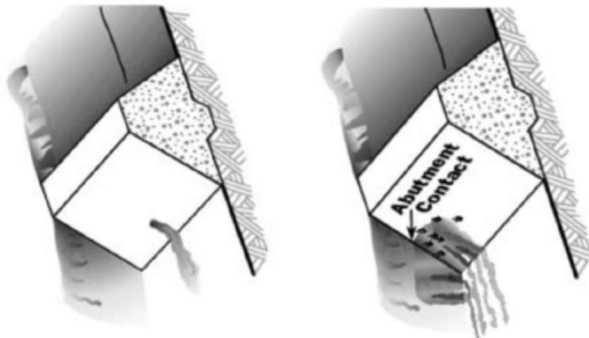
เขื่อนดิน (Embankment Dams)

ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อแนะนำสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกเหตุ	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไข (Potential Remedial Measures)
1. การเคลื่อนตัวของเขื่อน (Embankment Movement) 1.1 การเคลื่อนตัวของลาดเขื่อน (Slide or Slip)  	- รอยยุบทั่วไป - รอยแตกขนานหรือตั้งฉากกับแนวตามยาวของสันเขื่อน - รอยบุตหรือบวมบนเชิงลาด - การยุบตัวของสันเขื่อน - Guard Rail ของถนนบนสันเขื่อนเอียง เป็นต้น	- การออกแบบเชิงลาดเขื่อนไม่เหมาะสม - เส้นระดับน้ำซึมในเขื่อน (Phreatic surface) อยู่สูงมาก - การเกิดรอยแตกเนื่องจากการหดตัวไม่เท่ากัน - การเกิดแผ่นดินไหว - ระดับน้ำในอ่างหรือท้ายน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown) - การอิ่มตัวของน้ำในวัสดุเขื่อนชั่วคราว	- อาจเกิดการเคลื่อนตัวของเขื่อนได้ (Massive Failure) - อาจทำความเสียหายกับอาคารระบายน้ำได้ - อาจเกิดน้ำรั่วผ่านรอยแตก	วิเคราะห์หาสาเหตุโดยเจาะหลุมสำรวจ (Test Boring) ทดสอบความแข็งแรง (Strength Test) เมื่อได้ข้อมูลแล้วก็ทำการพิจารณาติดตั้ง Piezometer เพิ่มพิจารณาหาแนวทางแก้ไข เช่น - ปรับปรุงเชิงลาดให้มีความชันน้อยลง - ลดระดับน้ำซึมในเขื่อนลงโดยการทำ Internal Slurry wall หรือ Membrane cutoff หรือ grouting - นำวัสดุเขื่อนส่วนที่ไม่ดี เช่น Strength ต่ำออกไปแล้วนำวัสดุใหม่มาแทน - ป้องกันการกัดเซาะที่ผิวโดยการทำหินเรียง (Rip Rap)

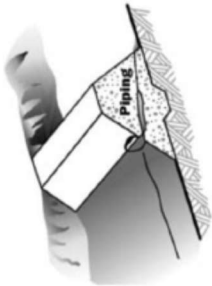


ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อแนะนำสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกเหตุ	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไข (Potential Remedial Measures)
1. การเคลื่อนตัวของเขื่อน (Embankment Movement) 1.2 รอยแตกตามขวาง (Transverse Cracking) 		- การเกิดรอยแตกเนื่องจากทรุดตัวไม่เท่ากัน - การเกิดแผ่นดินไหว - การเปลี่ยนแปลงรูปของตัวเขื่อน - เนื่องจากมีความเครียดในโครงสร้าง - การขาดเสถียรภาพของหน้าตัดทำนบดิน	- อาจทำให้เกิดช่องทางให้น้ำรั่วซึมออกมาตามขวางได้ - หากไม่รับทำการแก้ไขรอยแตก จะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังของวัสดุในบริเวณดังกล่าว ส่งผลให้เขื่อนเกิดการเคลื่อนตัวเพิ่มขึ้นและพังทลายในที่สุด - รอยแตกกลายเป็นจุดที่น้ำสามารถเข้าไปในตัวเขื่อนได้ ซึ่งในจุดที่ดินเกิดการอิ่มตัวด้วยน้ำสามารถเกิดการเคลื่อนตัว	- แจ้งผู้รับผิดชอบพื้นที่เมื่อพบรอยรั่วตามขวาง - วัดขนาด จดบันทึกและติดตามการเปลี่ยนแปลงมิติต่างๆ ของรอยแตกโดยละเอียด - ให้ออกกรผู้เชี่ยวชาญ วิเคราะห์สาเหตุและแนะนำแนวทางแก้ไข - ขุดดินสันเขื่อนตามความยาวของรอยแตกลึกลงไปถึงจุดสิ้นสุดรอยแตก แล้วถมและบดอัดกลับด้วยวัสดุที่เหมาะสม เพื่อป้องกันน้ำซึม
1.3 รอยแตกตามยาว (Longitudinal Cracking) 		- การเคลื่อนตัวของฐานราก - การเคลื่อนตัวอย่างไม่สม่ำเสมอระหว่างโซนในตัวเขื่อน - การเปลี่ยนแปลงรูปของตัวเขื่อน - เนื่องจากมีความเครียดในโครงสร้างหรือการขาดเสถียรภาพ - ผิวหน้าดินแห้งเปื่อยสลับกันบอย (Desiccation) - แนวโน้มการเกิด Sliding		- อุดปิดรอยแตก เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำซึมลงไปในตัวเขื่อน

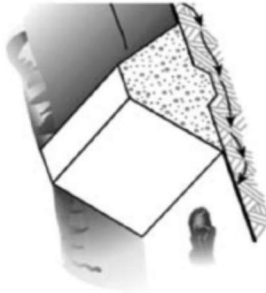


ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อแนะนำสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกเหตุ	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไข (Potential Remedial Measures)
2. การรั่วซึมที่ผิดปกติ 	- สังเกตสีของน้ำที่รั่วซึมออกที่ Sink Holes บนผิวเขื่อน - มี Wet Area บนผิวเขื่อน - มีวัชพืชขึ้นบนผิวเขื่อน	- ระบบระบายน้ำภายในเขื่อนไม่ดี หรือไม่เพียงพอ - มีแกนทับน้ำหรือมีน้ำขังไม่เพียงพอ - เลือกใช้วัสดุทำเขื่อนไม่เหมาะสม - การบดอัด (Compaction) วัสดุเขื่อนไม่เพียงพอ - ร่องระบายน้ำ (Drains) หรือชั้นกรอง (Filters) ตื้น - ร่องระบายน้ำเพื่อป้องกันกัดเซาะที่ผิวเขื่อนไม่ติดกับโซนที่เกิดการรั่วซึม - วัสดุเขื่อนเกิดการอิ่มตัวเนื่องจากน้ำฝน - รูโพรงในตัวเขื่อนจากสัตว์	- เขื่อนอาจพัง (Fail) หรือเสียหายได้เนื่องจากเกิด การกัดเซาะภายใน - ทำให้ตัวเขื่อนและหรืออาคารประกอบเสียหายได้เนื่องจากเกิดแรงดันน้ำ (Uplift) เพิ่มขึ้น - สูญเสียน้ำในอ่างไป	- พยายามแยกปริมาณการรั่วซึมที่ผิดปกติออกจากการรั่วซึมปกติซึ่งอาจต้องติดตั้ง Piezometer เพื่อช่วยสำหรับการวิเคราะห์หา - ถ้าหากพบว่าเส้นระดับน้ำที่รั่วซึมอยู่สูงมากและจะมีผลต่อเสถียรภาพของเขื่อนก็อาจทำการแก้ไข ได้โดยให้ข้อเสนอแนะใน ข้อ 1 - หากจุดที่น้ำเข้าหากเป็นไปได้แล้วทำการอุดด้วยวัสดุที่ทนน้ำ - หากไม่พบการเคลื่อนตัวของเขื่อนผิดปกติ อาจพิจารณาทำทางระบาย (filtered drain) ในพื้นที่ที่ตรวจพบการรั่วซึมนั้นๆ นอกจากนั้นยังมีวิธีการแก้ไขอื่นๆที่อาจเป็นไปได้ พิจารณานำมาใช้ได้ เช่น - จัดทำ Seepage barrier หรือ Blanket ด้านหน้าเขื่อน - พิจารณาจัดทำ Seepage Cutoff ได้บริเวณสันเขื่อน เช่น ทำ Thin membrane Wall, Grouting Slurry wall เป็นต้น

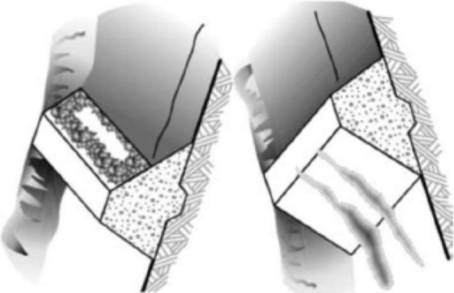
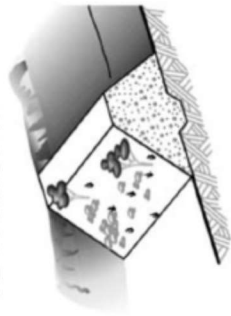


ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อเสนอแนะสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกเหตุ	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไข (Potential Remedial Measures)
3. หลุมยุบ (Sinkholes)	 - ตรวจสอบได้โดย Visual Inspection	- การกัดเซาะภายในของวัสดุภายในตัวเขื่อนหรือฐานราก (Piping) - การกัดเซาะโพรงภายในตัวเขื่อน - รูเล็กๆ ที่ผนังท่อส่งน้ำ	- เมื่อดินในตัวเขื่อนหรือฐานรากถูกน้ำพัดพาออกมา - การกัดเซาะภายในอาจเป็นสาเหตุให้ตัวเขื่อนพังทลาย และอาจไม่สามารถเก็บน้ำได้	- จัดทำบ่อลดแรงดันน้ำ (Filtered Relief Wells) - จัดทำ Filtered drain หรือ Rip Rap เพื่อป้องกันการกัดเซาะที่ผิวเขื่อนต่อไป
				- ตรวจสอบการรั่วซึมจากตัวเขื่อนว่ามีดินตะกอนออกมาด้วยหรือไม่ - ลดระดับน้ำในอ่าง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่เกิดหลุมยุบ - ตรวจสอบส่วนต่างๆ ของเขื่อนซึ่งเป็นจุดที่อ่อนแอต่อการรั่วซึม และอาจเกิดหลุมยุบได้อีก

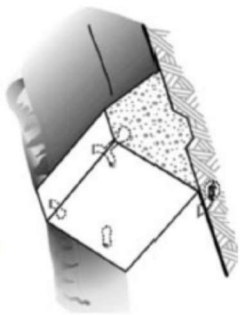


ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อเสนอแนะสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกเหตุ	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไข (Potential Remedial Measures)
4. การรั่วซึมที่ฐานราก	- ดูสีของน้ำที่รั่วซึมว่าขุ่นหรือใส - ตรวจหา Sink Holes - ตรวจหา Boils ที่บริเวณดินเขื่อนด้านท้ายน้ำและบริเวณพื้นที่ท้ายน้ำ - ตรวจสอบพื้นที่ที่อ่อนตัวหรือเกิดการยุบตัวที่ผิดปกติ 	- Cutoff ไม่มีประสิทธิภาพหรือไม่เพียงพอ - เกิดรอยแตกกว้างที่ตัวเขื่อนเนื่องจากทรุดตัวไม่เท่ากัน - เกิดการแตกร้าวที่หินหรือดินฐานราก	- เขื่อนอาจพังหรือเสียหายได้เนื่องจากเกิดการกัดเซาะภายในฐานราก - ความสามารถในการรับน้ำหนักของฐานรากลดลง - ทำให้สูญเสียความมั่นคงไป	- พิจารณาวัดระดับเขื่อนเพิ่มเติมทางด้านท้ายน้ำของเขื่อน - ปรับระดับของสันเขื่อนใหม่ - พิจารณาแก้ไขอาคารประกอบต่างๆ ที่เสียหาย
5. การเคลื่อนตัวของฐานรากเขื่อน (Foundation Movement)	- สังเกตการเกิด Heave ของ ฐานเขื่อนที่บริเวณดินเขื่อน (Toe) - เกิด Sink Holes - เกิดรอยแตกขวาง หรือ ตามยาวสันเขื่อน - เกิดการยุบตัวที่บริเวณสันเขื่อน	- เกิดการทรุดตัวชนิด Consolidation - การยุบตัวของช่องโพรงในหินฐานราก - เกิด Liquefaction - จากการเกิดแผ่นดินไหว	- เขื่อนอาจเกิดความเสียหายหนัก - เกิดการแตกร้าว, Piping หรือการเคลื่อนตัว - อาคารประกอบต่างๆ เอียงหรือทรุดตัวหรือแตกร้าว - ระยะ Freeboard ของเขื่อนลดลงไป	- พิจารณาวัดระดับเขื่อนเพิ่มเติมทางด้านท้ายน้ำของเขื่อน - ปรับระดับของสันเขื่อนใหม่ - พิจารณาแก้ไขอาคารประกอบต่างๆ ที่เสียหาย



ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อเสนอแนะสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกเหตุ	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไข (Potential Remedial Measures)
5. ปัญหาที่เขื่อนลาดเอียง (External Erosion) 	- ตรวจหาได้โดย Visual Inspection	- เลือกใช้วัสดุขนาดไม่เหมาะสม - Rip Rap เกิดการแยกตัวและเสียหาย (Disintegrating) - ผิวของเขื่อนลาดเอียงอยู่ในระยะบวม - มีสิ่งกีดขวางช่องทางระบายน้ำที่ผิวเขื่อนหรือช่องทางออกของทางระบายน้ำอยู่ในตำแหน่งไม่เหมาะสม - การพังทลายของหินคุณภาพต่ำ	- ทำให้เขื่อนลาดเอียงด้านเหนือน้ำเป็นร่อง - ทำให้เขื่อนลาดเอียงด้านเหนือน้ำ Breach ได้ - ทำให้พื้นที่หน้าตัดของเขื่อนลดลงซึ่งเป็นผลสืบเนื่องทำให้เขื่อนเสียหายหรือพังทลายได้	- จัดทำ Rip Rap เพิ่มเติมหรือแก้ไขของเดิมให้ดีขึ้น - ปรับแต่งผิวเขื่อนลาดเอียงใหม่ให้เหมาะสม - ปรับความชันของลาดเอียง - ใช้วัสดุรองพื้นและขนาดหินที่เหมาะสม เพื่อป้องกันคลื่น
5.2 ต้นไม้และวัชพืช 		- ต้นไม้ขึ้นตามธรรมชาติ - การปล่อยปะละเลย	- ต้นไม้และวัชพืช เป็นอุปสรรคต่อการตรวจสอบสภาพด้วยสายตา - รากไม้ขนาดใหญ่ สามารถทำให้เกิดการรื้อฟื้นในตัวเขื่อนได้ - ต้นไม้ขนาดใหญ่อาจโค่นล้มจากลมพายุ ทำให้ตัวเขื่อนเสียหายได้	- ควบคุมต้นไม้และวัชพืช เพื่อให้สามารถตรวจสอบสภาพด้วยสายตาได้ - กำจัดต้นไม้ที่มีรากเลื้อยออกจากบริเวณและตัวเขื่อน บดอัดกลับในส่วนช่องว่างจากการเอาต้นไม้ ออก - กำจัดต้นไม้ในระยะห่างจากตัวเขื่อนอย่างน้อย 25 ฟุต



ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อเสนอแนะสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกเหตุ	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไข (Potential Remedial Measures)
5. ปัญหาที่เจ็กลาดเขื่อน 5.3 รูโพรงจากสัตว์ 	- ตรวจจบบนได้โดย Visual Inspection	- พื้นที่ติดกับอ่างเก็บน้ำที่มีต้นไม้และรบกวนขึ้นจำนวนมาก มักเป็นที่ยอดของสัตว์ต่างๆ - เมื่อมีสัตว์มาอาศัยอยู่มาก ย่อมเพิ่มโอกาสที่จะมาขุดโพรงในตัวเอง	- รูโพรงจะทำให้ระยะทางเดินของน้ำลดลง เพิ่มโอกาสการเกิด Piping - รูโพรงอาจทำให้ตัวเขื่อนพังทลาย - น้ำผิวดินไหลลงในรูโพรง ทำให้เกิด Weak zone	- ความคุมประชากรสัตว์ - ตรวจสอบตำแหน่งที่แน่นอนของรูโพรง - ซ่อมแซมโดยการคัดเลือกสัตว์ที่เหมาะสมมาดัดกลับ
5.4 ทางเดินของสัตว์ 		- ทางเดินและกิจกรรมของปศุสัตว์ เช่น วัว และควายที่สามารถผ่านเข้ามาในบริเวณเขื่อน	- สร้างความเสียหายแก่ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำได้ โดยเฉพาะเมื่อดินเปียก - ทำให้ความสามารถในการป้องกันการกัดเซาะของลาดเขื่อนลดลง และยิ่งทำให้เกิดร่องน้ำ - ทำให้เกิดแรงน้ำขึ้นและเมื่อแห้งจะทำให้เกิดรอยแตกที่ผิวผิวดิน	- สร้างรั้วป้องกัน - ซ่อมแซมโดยการปลูกหญ้าหรือเรียงหิน



ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อแนะนำสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกเหตุ	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไข (Potential Remedial Measures)
6. ปัญหาที่ระบบระบายน้ำในตัวเขื่อน		- ออกแบบไม่ได้ - การก่อสร้างไม่ดี - มีชั้น Filter Layer ไม่เพียงพอ - การตกตะกอนของแร่ธาตุต่างๆ	- ไม่สามารถควบคุม Seepage ได้ - ทำให้เกิด Piping หรือ Boils - เกิดภาวะ Saturation สำหรับวัสดุสร้างเขื่อน - เกิด Seepage โดยเฉพาะวัสดุเม็ดละเอียด (Fine) จากฐานรากเขื่อน - เกิดการอุดตันในระบบ Drain	- ตรวจสอบและแก้ไขปรับปรุง - จัดทำระบบระบายน้ำใหม่หรือปรับปรุงของเดิมให้ดีขึ้น - จัดทำบ่อลดแรงดัน (Relief Wells) - พิจารณาลดระดับน้ำในอ่าง - ปรับปรุงชั้น Filter Layer ใหม่ - เจาะรู Drain ที่ตันใหม่หรือทำ Drain เพิ่มเติม



บทที่ 4

การบำรุงรักษาอาคารประกอบ

แนวทางการบำรุงรักษาอาคารระบายน้ำล้น และอาคารระบายน้ำ (Spillway and Outlets)

- พิจารณาซ่อมแซม หรือเพิ่มความสามารถในการระบายน้ำของอาคารระบายน้ำ (Spillway) ปัจจุบัน
- พิจารณาก่อสร้างอาคารระบายน้ำ (Spillway) สำรองเพิ่มเติม
- กำจัด/เคลื่อนย้ายวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ที่กีดขวางภายในอาคารระบายน้ำออกไป
- ปรับปรุงแก้ไขอาคารสลายพลังงานจลน์ของน้ำ (Energy Dissipaters) ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น
- กำจัดสิ่งกีดขวางในทางระบายออกให้หมด เช่น เศษสวะ, ดิน, หิน เป็นต้น
- พิจารณาจัดทำระบบ Aeration สำหรับท่อระบายน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบาย
- พิจารณาก่อสร้างช่องทางระบายน้ำเพิ่มเติม
- พิจารณาจัดทำช่องทางระบายน้ำผ่าน (Outlet Bypass) หรือเปลี่ยนวาล์ว ควบคุมที่ใหญ่กว่า
- กำจัดเศษตะกอนที่กีดขวางและลดประสิทธิภาพในการระบาย
- ซ่อมแซม/เปลี่ยนอุปกรณ์ทางไฟฟ้า/เครื่องกลที่ขัดข้องทันที
- พิจารณาจัดทำระบบจ่ายไฟสำรองยามฉุกเฉิน
- แก้ไขทางเข้า-ออกไปยังตัวเขื่อน, ส่วนประกอบ, ห้องควบคุมต่าง ๆ ให้เป็นไปอย่างสะดวกและง่ายที่สุด
- พิจารณาทุบคอนกรีตโครงสร้างบางส่วนที่เสื่อมสภาพออกไปและซ่อมแซมใหม่
- พิจารณาวิธีการอัดแรงเพิ่มเติม (Post-Tensioning) สำหรับโครงสร้าง ค.ส.ล.บางชั้นที่เสื่อมสภาพ
- พิจารณาเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้าง ค.ส.ล.โดยใช้สารเคมีบางชนิด เช่น สาร Polymers
- พิจารณาซ่อมแซมรอยแตก (Cracks) หรือบริเวณที่ถูกกัดเซาะ (Erosion) สำหรับชั้นส่วน ค.ส.ล.ทันที
- พิจารณาจัดทำค้ำยันเพิ่มเติม สำหรับโครงสร้างคอนกรีตบางส่วนที่ไม่อยู่ในเสถียรภาพและอาจพังทลายลงมาได้



วิธีการซ่อมแซมและปรับปรุงอาคารประกอบ

การซ่อมแซมและปรับปรุงอาคารประกอบของเขื่อนดินเมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งชำรุดเสียหายให้มีสภาพดีดังเดิมอย่างได้ผลนั้นผู้ปฏิบัติงานต้องสามารถกำหนดวิธีการทำงานให้ถูกต้องและเหมาะสมกับสถานการณ์ ซึ่งจะกล่าวถึงซ่อมปรับปรุงสภาพชำรุดเสียหายบางอย่างพอสังเขป เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้เกี่ยวข้องจะได้นำไปพิจารณาเป็นหลักปฏิบัติต่อไป ดังนี้

1. การซ่อมปรับปรุงรอยแตกร้าวของคอนกรีต รอยแตกร้าวซึ่งเกิดขึ้นเพราะเหล็กเสริมสำหรับรับแรงดึงมีจำนวนไม่เพียงพอ ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากแรงดันภายนอกกระทำหรือจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิก็ตาม นับเป็นการชำรุดเสียหายที่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงอาคารส่วนนั้นเสียใหม่โดยด่วน

วิศวกรผู้ชำนาญควรไปตรวจสอบอย่างละเอียดแล้วออกแบบปรับปรุงใหม่ให้ถูกต้อง ส่วนการก่อสร้างเพื่อปรับปรุงต่อไปให้วางแผนดำเนินงานในช่วงที่เหมาะสม

ส่วนรอยแตกเล็กน้อยที่ไม่เกี่ยวกับความมั่นคงของอาคารดังกล่าวแล้วต้องการซ่อมคอนกรีตส่วนที่แตกให้มีสภาพเช่นเดิม โปรดดูรายละเอียดในข้อ 4 เป็นแนวประกอบการซ่อมแซม

2. การซ่อมปรับปรุงพื้นดินหรือลาดเขื่อนข้างอาคารเมื่อน้ำไหลซึมมาตามข้างอาคาร พื้นดินหรือลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำข้างอาคารทั้งสองด้านอาจเปียกแฉะเนื่องจากมีน้ำไหลซึมมาตามข้างผนังอาคาร ควรดำเนินการซ่อมแซมฉุกเฉินทันที หลังจากนั้นจึงวางแผนและซ่อมปรับปรุงทั้งหมดโดยด่วนต่อไป โดยดำเนินการตามลำดับดังนี้.-

1) จัดหาทรายและกรวด (หรือหินเกล็ด) มีส่วนผสมในอัตราส่วนเท่ากันโดยปริมาตร นำมาปูทับคลุมบริเวณที่น้ำไหลซึมออกให้ทั่ว ความหนาประมาณ 30 เซนติเมตร เช่นเดียวกับการซ่อมปรับปรุงพื้นดินและลาดเขื่อนเมื่อน้ำไหลฟูออกมา

2) หลังจากนั้น จัดหาหินย่อยและหินใหญ่ที่มีขนาดต่าง ๆ คละกัน นำมาปูปิดทับชั้นทราย และกรวดให้ทั่วบริเวณนั้นอีก ความหนาประมาณ 30 เซนติเมตรซึ่งจะสามารถป้องกันดินและตะกอนไม่ให้น้ำชะพาหูลูออกมา ส่วนน้ำก็จะไหลซึมออกมาตามปกติและไม่เกิดอันตราย

3) การดำเนินการตามข้อ 1) และ 2) นั้น เป็นวิธีการซ่อมป้องกันแบบฉุกเฉิน ซึ่งการปรับปรุงให้มีความมั่นคงถาวรตลอดไป ควรดำเนินการดังนี้.-

ก) บริเวณที่จัดการซ่อมแซมตามวิธีในข้อ 1) และ 2) แล้วนั้น ให้ตรวจสอบสภาพต่อไป ถ้าหากทรายกรวดและหินทั้งสามสามารถป้องกันตะกอนทรายและอนุภาคดินเหนียวไม่ให้น้ำชะพาหูลูออกมาได้จนสภาพพื้นดินหรือลาดเขื่อนมั่นคงแข็งแรงดีอยู่เสมอ การซ่อมแซมเพิ่มเติมอาจพิจารณาเพิ่มขึ้นทรายและกรวดพร้อมกับปิดทับด้วยหินทั้งให้มีความหนามากขึ้นจนเป็นบริเวณกว้างตามความเหมาะสม

ข) ถ้าหากเป็นการไหลซึมมาตามด้านข้างอาคารแบบท่อซึ่งสร้างผ่านตัวเขื่อน การปรับปรุงลักษณะถาวรอาจพิจารณาจัดทำแผนเพิ่มเติมขึ้นอีกเมื่อน้ำในอ่างเก็บน้ำลดต่ำกว่าธรณีตอลงไป โดยขุดดินบริเวณลาดเขื่อนที่ด้านข้างและหลังท่อออกเป็นบริเวณกว้าง มีความหนาตั้งฉากกับแนวลาดเขื่อนประมาณ 2 - 3 เมตร แล้วใช้ดินที่บดน้ำถมกลับโดยบดอัดให้แน่นเป็นพิเศษโดยรอบท่อบริเวณนั้นเพื่อช่วยสกัดกั้นน้ำที่เริ่มไหลซึมเข้าตามข้างท่อ



3. การซ่อมแซมปรับปรุงหินทิ้งท้าย stilling basin และการกัดเซาะของทางระบายน้ำ ทางระบายน้ำ (หรือคลองส่งน้ำ) และหินทิ้งด้านท้าย stilling basin ของอาคารระบายน้ำล้น คลองส่งน้ำ หรือคลองระบายน้ำลงสู่ลำน้ำธรรมชาติด้านท้ายเขื่อน มักพบว่าการชำรุดเสียหายเนื่องจากกระแสน้ำไหลและคลื่นกัดเซาะเสมอ ในทุกปีควรมีแผนการซ่อมแซมบำรุงให้มีสภาพดีดังเดิม เพื่อป้องกันมิให้ดินที่พื้นทางน้ำและลาดตลิ่งถูกกัดเซาะเข้าไปลึกมาก จนเป็นอันตรายกับอาคาร stilling basin โดยดำเนินการตามลำดับดังนี้

1) ถ้าหากหินทิ้งด้านท้าย stilling basin ถูกกระแสน้ำพัดพาไปเนื่องมาจากหินมีขนาดเล็ก จนไม่สามารถต้านทานกระแสน้ำไว้ได้ ควรจัดหาหินขนาดใหญ่มีขนาด 40 - 50 เซนติเมตรเป็นอย่างน้อยมาเสริมแทน โดยรองพื้นด้วยหินซึ่งถูกน้ำพัดพาออกไปนั้นตามความเหมาะสม และให้ความหนาตามที่กำหนด

2) สำหรับความยาวของหินทิ้ง เมื่อตรวจพบว่ามีขนาดไม่พอในการป้องกันคลื่นกัดเซาะพื้นและตลิ่งของทางน้ำ ให้หินขนาดเล็กใหญ่เพิ่มเติมในบริเวณที่ถูกกัดเซาะทั้งหมดต้อออกไปโดยไม่ต้องถมดินส่วนที่ถูกน้ำกัดเซาะแล้วนั้น

3) สำหรับคลองส่งน้ำต่อจากด้านท้าย stilling basin ซึ่งขาดด้วยคอนกรีตแล้วแตกต่อเนื่องจากแรงดันน้ำใต้ดินและหลังจากนั้นได้ถูกกระแสน้ำปั่นป่วนกระทำให้ชำรุดเสียหาย ควรดำเนินการดังนี้

ก. รื้อคอนกรีตส่วนที่ชำรุดเสียหายออกจนหมดตามความยาวที่ต้องการ แล้วจัดทำระบบลดแรงดันน้ำใต้ดินให้ทั่วบริเวณพื้นและลาดด้านข้าง โดยสร้างชั้น filter หยาบหยาบและกรวดให้เป็นแนวต่อเนื่องไปตลอดความยาวทั้งที่พื้นและลาดด้านข้างขึ้นไป เป็นความสูงประมาณเท่ากับความลึกของน้ำในคลอง

ข. สร้างคอนกรีตเสริมเหล็กความหนา 15 - 20 เซนติเมตรตามความเหมาะสมที่พื้นและลาดด้านข้างแทนคอนกรีตล้นที่เคยใช้คาดคลอง โดยมีท่อลดแรงดันน้ำใต้ดินออกเป็นระยะ ๆ ตามเกณฑ์มาตรฐานของคลองที่คาดด้วยคอนกรีตทั่วไป หรือ

ค. สร้างหินก่อความหนาประมาณ 30 เซนติเมตรทั้งที่พื้นคลองและลาดด้านข้าง

4. การซ่อมปรับปรุงผิวคอนกรีตกรณีถูกน้ำกัดเซาะเป็นหลุม ควรซ่อมปรับปรุงให้ทั่วบริเวณตอนช่วงที่ไม่มีน้ำไหลผ่าน ดังต่อไปนี้

1) สกัดคอนกรีตเป็นหลุมหรือบริเวณกว้าง มีความลึกจนหมดคอนกรีตคุณภาพไม่ดีดังนี้

ก. ด้านข้างของหลุมหรือบริเวณที่สกัดควรให้มีความลาดเอียงหรือสอบเข้าไปถึงกันหลุม ความลึกของหลุมไม่ควรน้อยกว่า 3 เซนติเมตร

ข. ผิวคอนกรีตทั่วบริเวณด้านข้างและกันหลุมที่สกัดต้องมีความเรียบไม่เป็นหลุมหรือแ่งมุม

ค. ระหว่างด้านข้างของหลุมและระหว่างด้านข้างพื้นล่างต้องสกัดให้โค้งมนยกเว้นตามขอบหลุมซึ่งด้านข้างกับผิวคอนกรีตนั้นจะต้องสกัดและแต่งให้เป็นแนวเหลี่ยมสม่ำเสมอไป โดยไม่มีตอนใดกะเทาะหรือเว้าแหว่ง



2) ถ้าหากหลุมสกัดลึกลงถึงเหล็กเสริม ให้สกัดลึกลงเพิ่มเหล็กเสริมลงไปจนสามารถเทคอนกรีตใหม่ไปหุ้มเหล็กเสริมโดยรอบได้เป็นความหนาไม่น้อยกว่า 3 เซนติเมตร

3) หลังจากสกัดคอนกรีตจนได้ความลึกและขนาดที่ต้องการแล้ว ให้ล้างทำความสะอาดหลุมหรือบริเวณที่สกัดคอนกรีตจนหมดเศษหินและทราย แล้วใช้กระสอบปูปิดผิวคอนกรีตที่สกัดไว้พร้อมกับรดน้ำที่กระสอบให้ชุ่มตลอดเวลาไม่น้อยกว่าหนึ่งวัน ก่อนที่เทคอนกรีตใหม่ลงไป

4) ควรเลือกใช้คอนกรีตหรือปูนซีเมนต์ผสมทรายกับหลุมหรือบริเวณซ่อมแซมให้เหมาะสมตามเกณฑ์ดังนี้.-

ก. ควรใช้คอนกรีตเทในกรณีพื้นที่ปากหลุมมีขนาดไม่น้อยกว่า 1 ตารางฟุตเมื่อไม่มีเหล็กเสริม และไม่น้อยกว่าครึ่งตารางฟุตเมื่อเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งนี้ความลึกของหลุมในการใช้คอนกรีตทั้งสองกรณีไม่ควรน้อยกว่า 10 เซนติเมตร

ข. ควรใช้ปูนซีเมนต์ผสมทรายสำหรับหลุมขนาดเล็กซึ่งมีความลึกน้อยกว่า 10 เซนติเมตร

5) หลังจากเทคอนกรีตหรือปูนซีเมนต์ผสมทรายเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ทำการบ่มคอนกรีต เช่นเดียวกับงานคอนกรีตทั่วไป



ตัวอย่างปัญหาและการแก้ไข

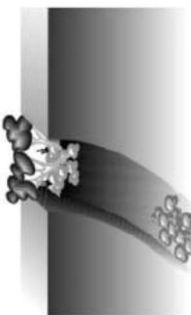
อาคารประกอบ (Appurtenant Structures)

ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อแนะนำสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกเหตุ	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไข (Potential Remedial Measures)
1. ปัญหาที่ Spillway 1.1 การกัดเซาะ 	- ตรวจสอบได้โดย Visual Inspection	- เลือกใช้วัสดุป้องกันการกัดเซาะไม่เหมาะสม - ใช้ Spillway บ่อยมาก - ออกแบบรูปร่างของ Spillway หรือ Stilling basin ไม่ดี - ขาดการบำรุงรักษา	- อาจทำให้ Spillway เสียหายหรือพังได้ ซึ่งจะเป็นผลทำให้เขื่อนพังต่อไป	- ลดจำนวนครั้งการใช้ Spillway ลงหรือพิจารณาจัดทำ Spillway ใหม่ - ป้องกันการกัดเซาะโดยทำ Rip Rap - ปรับปรุงผิวทรงระบายน้ำของ Spillway ใหม่โดยใช้วัสดุที่เหมาะสมมา Paved แล้วทำ underdrainage ใหม่ - พิจารณาปรับปรุงส่วน Energy Dissipator ใหม่
1.2 เนื่องจากแรงดันน้ำชนิด Uplift	- Vertical Joint แยกตัวออก - พื้น Slab แตก - ผนังแตกร้าว - ผนังเกิดการเคลื่อนตัวหรือเอียงไป (Tilting)	- จัดทำระบบระบายน้ำ (Underdrainage) ไว้ไม่ได้หรือมีไม่พอเพียง	- อาจทำให้ Spillway เสียหายหรือพังทลายได้ ซึ่งจะเป็นผลสืบเนื่องทำให้เขื่อนพัง	- จัดทำระบบายลดแรงดัน (Relief drains) - จัดทำ Underdrain ใหม่หรือเพิ่มเติม

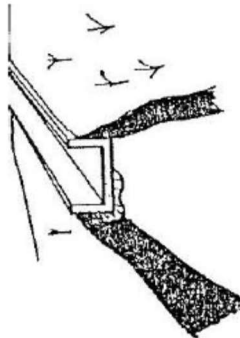


ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อเสนอแนะสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกเหตุ	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไขปัญห (Potential Remedial Measures)
1. ปัญหาที่ Spillway 1.3 เนื่องจากมีรูโพรงด้านใต้	- สังเกตดูการรั่วซึมหรือดินสูญเสียไปบริเวณ Toe ของ Spillway - ตรวจสอบได้โดยทำ Core Holes, Pressure Tests หรือ Sonic Tests - อาจตรวจสอบได้โดยสังเกตจากพื้น Slab ไม่อยู่ในแนวตรงหรือแตกหักเนื่องจากดินหรือหินข้างใต้สูญหายไปหรือมีรูโพรงเกิดขึ้น	- อาจเกิดจาก Piping ข้างใต้ Spillway Slab เนื่องจากจัดทำระบบระบายน้ำข้างใต้ (Underdrainage) ไม่ดีหรือมีไม่พอเพียง	- อาจทำให้ Spillway เสียหายหรือพังทลายได้ ซึ่งจะเป็นผลสืบเนื่องทำให้เขื่อนพัง	- อุดรูโพรงโดยการ grout - ยารอยแตกหรือ Joints เหล่านี้ใหม่ - จัดทำระบบระบายน้ำใหม่ (Filtered Underdrainage)
1.4 คอนกรีตโครงสร้างแตกเคลื่อนตัวหรือไม่อยู่ในเสถียรภาพ	- ตรวจสอบได้โดย Visual Inspection	- คอนกรีตขยายตัวไม่เท่ากัน - เกิด Creep ในคอนกรีต - บางส่วนของคอนกรีตโครงสร้างรับแรงมากเกินไป (Overstressed) - เกิดการเคลื่อนตัวที่ฐานราก - จากการเกิดแผ่นดินไหว	- ทำให้ต่อม่อของบานระบายเสียหายหรือพังได้ - อาจทำให้อาคารระบายเสียหายหรือพังทลายได้	- ตรวจสอบว่ารอยแตกหรือการเคลื่อนตัวนั้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หรือไม่โดยวิธีการทางวิศวกรรมสำรวจหรือวิธีอื่นที่เหมาะสม - ทำการ Seal หรือ grout รอยแตกนั้นๆ



ปัญหาที่เกิดขึ้น (Defect)	ข้อแนะนำสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกร่อง	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไขป้ญหา (Potential Remedial Measures)
1. ปัญหาที่ Spillway 1.5 สิ่งกีดขวาง  1.6 ไม่สามารถควบคุมบานระบายได้	- ตรวจสอบได้โดย Visual Inspection	- มี Trash Rack หรือ Log Booms ไม่เพียงพอ - มีสิ่งกีดขวางที่ด้านหน้า Spillway มากเกินไป โดยเฉพาะจากท่อนไม้	- ทำให้ Capacity ของ Spillway ลดลงซึ่งจะมีผลทำให้เกิด Overtopping ต่อไปได้	- กำหนดแนวทางการตรวจสอบ และการบำรุงรักษาของ Trash racks และ Log booms - กำจัดวัชพืชและต้นไม้ที่ขึ้นในส่วนทางน้ำเข้าเป็นประจำ
1.7 ลาดด้านข้างเลื่อนไถล 		- ออกแบบไว้ไม่ดี - สะพานอาคารระบายน้ำรับน้ำหนักมากเกินไป - ลาดด้านข้างชันเกินไป - ไม่มี Slope protection	- ทำให้ไม่สามารถควบคุมการใช้ น้ำในอ่างหรือปริมาณน้ำที่ปล่อยผ่าน Spillway ได้ - ทำให้การไหลเปลี่ยนไป - ความสามารถในการระบายน้ำลดลง	- พิจารณาเปลี่ยนบานระบายใหม่ หรือพิจารณาเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างบานระบายใหม่ - เลือกใช้วัสดุชนิด Granular มาทำ Slope Protection ทางด้านท้ายน้ำ - พิจารณาเปลี่ยนแนวร่องน้ำของ Spillway ใหม่หรือต่อออกไปตามความเหมาะสมและจัด ทำทางระบายน้ำฝั้วดินใหม่ตามต้องการ

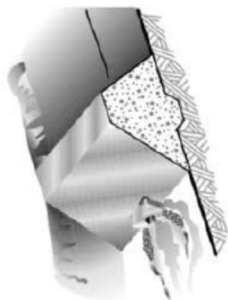


ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อแนะนำสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกเหตุ	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไขเยียวยา (Potential Remedial Measures)
1. ปัญหาที่ Spillway 1.8 ปัญหาการกัดเซาะด้านท้ายน้ำ (Erosion) 		- ออกแบบอาคารระบายน้ำล้น (Spillway) และ Stilling Basin ไว้ไม่ดี - ไม่มี Cutoff Wall ท้ายอาคารทิ้งน้ำ - ทำให้โครงสร้างของ Spillway และ Stilling Basin แตกกร้าว - เกิดการไหลของน้ำมากกว่าปกติ (Discharge) มากกว่าปกติ	- เกิดแรงดันเปลี่ยนแปลงจากค่าบวกเป็นลบ หรือเกิดแรงดันชนิด Uplift กระทำต่อตัว Spillway และ Stilling Basin ซึ่งจะส่งผลสืบเนื่องทำให้ Concrete Slab ของ Stilling Basin แตกกร้าวหรือตัว Spillway เองเสียหายต่อไปได้ - ทำให้น้ำซึมผ่าน Slab และกัดเซาะวัสดุก่อสร้างเขื่อน - ทำให้เกิดรูโพรง (Void) ได้ Concrete Slab - ทำให้ดินใต้ Slab หายไปและ Slab แตกกร้าวได้ - เกิดการกัดเซาะหรือ Scour ในบริเวณพื้นที่ที่น้ำไหลออก - ทำให้เกิด Abrasion และ Cavitation Erosion ของคอนกรีตอาคาร Spillway และ Stilling Basin - ทำให้ Chute Blocks และ Energy Dissipator เสียหาย - ทำให้พื้นคอนกรีตแตก	- พิจารณาเพิ่มความหนาของ Concrete Slab - พิจารณายกระดับท้ายน้ำเพื่อลดแรงดัน - จากการเกิด Hydraulic Jump จัดทำ Drain ในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน - พิจารณาทำการ Grout ตามรอยแตก - รื้อ Slab เดิมทิ้งแล้วทำใหม่ให้หนาขึ้น - พิจารณาตัว Energy Dissipators ยังทำงานได้ดีตามปกติหรือไม่ ต้องเปลี่ยนแปลงแก้ไขหรือไม่ - พิจารณา Fill รูโพรงได้ Concrete Slab - อาจพิจารณาทำการศึกษาโดยใช้ Prototype และปรับปรุงช่องระบาย

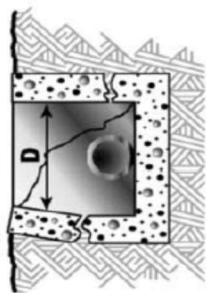


ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อแนะนำสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกเหตุ	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไข (Potential Remedial Measures)
1. ปัญหาที่ Spillway 1.9 ความบกพร่องของอาคารระบายน้ำสัน		- คำนวณวิเคราะห์ห่อแอกแบบไว้ไม่พอดี - เปลี่ยนแปลง Criteria ในการ Operate บานระบายใหม่ - เมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินขึ้น (Major or unpredicted events)	- อาจเกิด Overtopping , การกัดเซาะ (Erosion) หรือ การพัดพาเอกรัดสุด ทางด้านท้ายน้ำของ (Spillway) ไป - อาจทำให้เกิดการกัดเซาะ (Erosion) ที่ Spillway Chute ได้ - อาจทำให้เกิด Dam Break	- คำนวณวิเคราะห์ ความสามารถรับน้ำหลาก (Spillway Capacity) ของ Spillway ใหม่ โดยใช้เทคนิค ของวิชา Hydrology สมัยใหม่ - ซ่อมแซมใหม่โดยเทคนิคที่เหมาะสม - พิจารณาเพิ่มความสามารถรับน้ำของอาคารระบาย (Spillway Capacity) - พิจารณาจัดทำอาคารระบายน้ำสำรองหรืออาคารระบายฉุกเฉิน (Emergency) - อาจซ่อมแซมได้โดยใช้เทคนิคใหม่ เช่น Rollcrete - ปรับปรุงแก้ไขวิธีการ Operate อ่างเก็บน้ำใหม่ - จัดทำแผนงานเตือนภัย (Emergency Procedure) - จำกัดการใช้พื้นที่ในอ่าง



ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อเสนอแนะสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบ่งชี้	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไข (Potential Remedial Measures)
2. ปัญหาที่ Outlet Works 2.1 การรั่วซึมที่ Conduit 	- ตรวจสอบได้โดย Visual Inspection เพื่อหารั่วรั่วซึม - ตรวจสอบหาตะกอนภายในท่อ - อาจใช้ TV Inspection ช่วยตรวจสอบในกรณีไม่สามารถเข้าไปตรวจสอบโดยตรงได้ - ตรวจพบ Sinkholes บนผิวเขื่อน ใกล้ๆ กับแนวของเส้นท่อ - ความหนาของท่อเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งตรวจสอบโดยใช้ Ultrasonic	- เนื่องจากการทรุดตัวหรือการวางท่อไม่ดีในขณะก่อสร้าง - การต่อท่อไม่ดี - ทำ Bedding รองรับท่อไม่ดี - การบดอัดดินหลังท่อไม่ดี - ท่อเป็นสนิม - เกิดการกัดเซาะที่ผิวท่อ - เกิด Vibration ใน เส้นท่อ - เนื่องจาก Water Impact หรือ Water Hammer	- อาจทำให้เกิด Piping ภายในเขื่อนได้ ซึ่งจะมีผลสืบเนื่องทำให้เขื่อนเสียหายหรือพังทลายได้ - ทำให้ปริมาณน้ำในอ่างสูญหายได้	- พิจารณาจัดทำ Sleeve และ grout โดยรอบ - อาจพิจารณา grout ปิดเลยและทำ Outlet ใหม่ - พิจารณา grout โดยรอบเส้นท่อด้านนอกใหม่ - สำหรับท่อที่ถูกกัดเซาะให้เคลื่อนย้ายวัสดุที่ถูกกัดเซาะออกไปแล้ว Paved ใหม่ - จัดทำที่ยึดท่อใหม่เพื่อต้านแรง Uplift - ปรับปรุงท่อใหม่ตามหลักชลศาสตร์เพื่อลด Vibration - พิจารณาจัดทำ Cathodic Protection



ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อแนะนำสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบ่งชี้	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไข (Potential Remedial Measures)
2. ปัญหาที่ Outlet Works 2.2 เกิด Piping ตามแนว Conduit	- สังเกตจาก Seepage หรือ ตะกอนตกทับถมบริเวณปลายของท่อ - มี Sinkholes อยู่บนผิวของเขื่อนตามบริเวณแนวเส้นท่อ - ตัวท่อเกิดการยุบตัวลงไป เนื่องจากดินรองรับท่อสูญหายไป - มีช่องโพรงระหว่างแนวเส้นท่อและดินถมข้างท่อที่บริเวณ Outlet	- การบดอัดดินเดิมหลังท่อไม่ได้พอ - Bedding รองรับท่อทำไม่ได้ - มีการรั่วซึมของน้ำจากท่อ	- อาจทำให้เชื่อมยุบตัวหรือพังทลายลงมาได้	- จัดทำ Filtered drain บริเวณรอบๆ Outlets - พิจารณา grout โดยรอบนอกของท่อ ถ้าหากตรวจพบว่าดินที่อยู่รอบๆ ท่อหายไปมาก - พิจารณาจัดทำ Cathodic Protection
2.3 การเคลื่อนตัวของโครงสร้างคอนกรีตหรือหิน 		- แรงดันดินด้านข้างที่กระทำบนโครงสร้างผนังส่วนหางน้ำออกซึ่งเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กหรือคอนกรีตไม่ได้คุณภาพ ทำให้เกิดความเสียหายได้ - ลาดเชื่อมที่ชั้นเก็บไม่ทำให้หนักกลิ้งตกลงมาปิดท่อส่งน้ำ	- เพิ่มโอกาสให้มีการกัดเซาะเข้าไปในตัวเชื่อมได้	- ตรวจสอบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างอย่างต่อเนื่อง - รับผิดชอบการซ่อมแซมส่วนที่เสียหายเพื่อป้องกันการกัดเซาะเพิ่มเติม



ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อเสนอแนะสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกละเหตุ	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไขปัญห (Potential Remedial Measures)
2. ปัญหาที่ Outlet Works 2.4 ปัญหาที่ตัวบานระบาย (Gates & Hoist)		- อุปกรณ์ทางเครื่องกลเสียหาย - Seal ของบานระบายไม่ดีพอ - เกิด Cavitation ที่บริเวณรอบๆ Guide ของบานระบาย - การทรุดตัวของฐานรากไม่เท่ากัน (Differential Foundation Settlement) - เกิดการจับตัวของสารที่ทำให้เกิดสนิม - ออกแบบไม่ดี หรือใช้วิธีการ Operate ที่ไม่ถูกต้องและดีพอ	- ไม่พร้อมที่จะรับเหตุการณ์ฉุกเฉิน - ทำให้เกิด Vibration - ทำให้ Gate Frame และ Operating Shaft เสียหาย - ไม่สามารถ Operate บานระบายได้ - Gate Frame แตก - เกิด Vibration - ตัวบานระบายอาจหลุดออกจาก Frame - ทำให้ส่วนที่เคลื่อนไหวเสมอ (Movable Parts) เกิดสนิมและไม่สามารถ Operate บานระบายได้ - เกิด Vibration - เกิด Unbalanced Flow	- วิเคราะห์ คำนวณโดยใช้วิธี Watershed Model Simulation และศึกษาการนำ Prototype มาใช้ในการออกแบบ - ซ่อมแซมส่วนที่เกิด Cavitation ด้วย Steel Liners และตรวจสอบสภาพการ ยึดรั้งของ Gate Frame ว่ายังมั่นคงหรือไม่ - จัดทำ Cathodic Protection - Exercise บานระบายเพื่อป้องกันการจับตัวของสารที่ทำให้เกิดสนิม - ทบทวนและแก้ไขวิธีการ Operate ใหม่ - จัดทำช่องระบายอากาศ (Air Vent) ให้พอเพียง



ปัญหาที่เกิด (Defect)	ข้อแนะนำสำหรับการตรวจหา (Possible Indicators) สิ่งบอกเหตุ	สาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น (Possible Causes)	ผลที่เกิดขึ้น (Effects)	แนวทางการแก้ไข (Potential Remedial Measures)
3. ปัญหาที่อ่างเก็บน้ำ 3.1 เขื่อนลาดอ่างพังทลาย	- พบรอยแตกหรือ creep ของดิน ริมอ่างทั่วไป หรือเชิงลาดของอ่างยุบตัวไป	- จากการเกิดแผ่นดินไหว - จากพายุฝน - จากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในอ่าง	- กัดขวางทางน้ำเข้าของอาคารระบาย - ทำอันตรายกับ Outlet ได้ - คลื่นที่เกิดจากเชิงลาดอ่างพังทลายอาจทำความเสียหายแก่ตัวเขื่อนได้	- ทำการปรับแต่งหรือเคลื่อนย้ายวัสดุเชิงลาดอ่างที่ไม่อยู่ในเสถียรภาพออกไป - พิจารณาเย็บหินหรือหาวิธีการอื่นๆ ที่จะเพิ่มเสถียรภาพของเชิงลาดให้ดีขึ้น
3.2 การรั่วซึมบริเวณขอบอ่าง	- ปริมาณน้ำในอ่างหายไปผิดปกติ - มี Seepage เกิดขึ้นบริเวณด้านท้ายน้ำของอ่าง	- สาเหตุจากสภาพทางธรณีวิทยาของชั้นดิน, หินบริเวณนั้นๆ	- ทำให้สูญเสียปริมาณน้ำในอ่าง - สำหรับบางกรณีอาจทำให้เกิดลาดอ่างพังทลายจากการเกิด Piping ได้	- พิจารณาดมดินทำเป็น Blanket ที่กันอ่าง - พิจารณาจัดทำการ Grouting หรือทำ Filtered Drain เพื่อป้องกันการเกิด Piping



บรรณานุกรม

- ปราโมทย์ ไม้กลัด (2526), การบำรุงรักษาเขื่อนดินและอาคารประกอบ, เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ เทคโนโลยีที่เหมาะสมในการทำงานชลประทาน, กรมชลประทาน
- ครรชิต ลิขิตเดชาวิจารณ์ (2534), ปัญหาด้านความปลอดภัยเขื่อน, เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรม เรื่องความปลอดภัยเขื่อน, ศูนย์ตรวจสอบและประเมินความปลอดภัยของเขื่อน, กรมชลประทาน
- สุเทพ ลิขิตวรรณการ และคณะ (2534), คู่มือความปลอดภัยเขื่อนเดิม (ปชด.), ฝ่ายพัฒนาวิศวกรรม ศูนย์วิศวกรรม ชลประทาน, กรมชลประทาน
- ส่วนความปลอดภัยเขื่อน (xxxx), ความปลอดภัยเขื่อน, เอกสารประกอบการบรรยาย สำนักอุทกวิทยาและบริหาร น้ำ กรมชลประทาน
- วรกร ไม้เรียง (2546), วิศวกรรมเขื่อนดิน, ไลบรารี นาย, กรุงเทพฯ
- สุรสิทธิ์ อินทรประชา (2550), ลักษณะโครงสร้างของเขื่อนดินและอาคารประกอบ, เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการสัมมนาเรื่อง การติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน, กรมชลประทาน
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2550), ความปลอดภัยเขื่อนในสภาวะปกติและสภาวะ อันตราย, คณะอนุกรรมการสาขาวิศวกรรมปฐพี ร่วมกับ ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- สุทธศักดิ์ ศรีลัมภ์ และ วรกร ไม้เรียง (2550), การพิบัติของเขื่อน, เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการอบรม ความปลอดภัยเขื่อนในสภาวะปกติและสภาวะอันตราย, ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- ชินอรส ทองธรรมชาติ (2554), การแปลความเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนเพื่อการประเมินความปลอดภัยเขื่อน, เอกสารประกอบการบรรยาย การอบรมการวิเคราะห์เพื่อออกแบบและประเมินความปลอดภัยเขื่อน ครั้งที่ 2, ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- สุทธศักดิ์ ศรีลัมภ์ (2555), วิศวกรรมความปลอดภัยเขื่อนเพื่อการออกแบบและบำรุงรักษา, สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- Bureau of Reclamation (1987), *Design of Small Dams*, A Water Resources Technical Publication, United States Department of the Interior, USA
- State of Texas, 1990. Guidelines for Operation and Maintenance of Dams in Texas, USA
- Christopher B., 2003. *Indiana Dam Safety Inspection Manual*, Department of Natural Resources Division of Water, Indianapolis, Indiana, USA



Robin Fell, et al., 2005. *Geotechnical Engineering of Dams*, Taylor & Francis Group plc, London, UK

James S.G. et al., 2012. *Pocket Safety Guide for Dams and Impoundments*, USDA Forest Service Technology and management center, Missoula, MT, USA