

## คำนำ

เขื่อนที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมชลประทานมีอายุการใช้งานค่อนข้างนาน/เพิ่มมากขึ้น และเริ่มเข้าสู่สภาวะที่ต้องมีการดูแลบำรุงรักษาเพิ่มมากขึ้น เมื่อเขื่อนมีอายุที่เพิ่มมากขึ้น บางเขื่อนขาดการดูแลบำรุงรักษาทำให้เขื่อนมีความเสี่ยงที่จะเกิดการพิบัติมากขึ้น ลักษณะการพิบัติโดยทั่วไปที่เราจักได้แก่ น้ำไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping) น้ำไหลทะลุผ่านตัวเขื่อน (Piping) การเลื่อนไถ (Slinding) การเคลื่อนตัว (Mass Movement) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากการตรวจสภาพด้วยสายตา ดูสภาพภายนอกของตัวเขื่อนและอาคารประกอบ ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยภายนอก ในส่วนของปัจจัยภายนอกได้แก่ การเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหว (Earthquake) และการบริหารจัดการน้ำ (Water Management) ถือว่าเป็นประเด็นที่กำลังเป็นที่น่าสนใจและเริ่มที่จะมีผลต่อความมั่นคงของตัวเขื่อนเพิ่มมากขึ้น

การประเมินความเสี่ยงโดยวิธีดัชนีความเสี่ยง (Risk Index) เป็นวิธีการที่ใช้หลักการเดียวกับการประเมินสภาพเขื่อนด้วยวิธีดัชนีสภาพ (Condition) แต่เลือกเฉพาะสภาพที่จะมีผลกระทบต่อความมั่นคงของเขื่อนและทำให้เขื่อนมีความเสี่ยงต่อการพิบัติในรูปแบบต่างๆ (Dam Failure Modes)

สิงหาคม ๒๕๕๗

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะกรรมการวิเคราะห์ความเสี่ยงของเขื่อนและอาคารประกอบที่ทำให้คุณมีอนี้สำเร็จ  
ฉุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดทั้งให้คำแนะนำและเสริมข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อให้คุณมีฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบคุณโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาทับเสลา และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาคลองสีຍัด ที่ให้  
ความร่วมมือในการตรวจสอบและสนับสนุนข้อมูลของเขื่อนทับเสลา จ.อุทัยธานี และเขื่อนคลองสีຍัด  
จ.ฉะเชิงเทรา

คณะกรรมการฯ

## สารบัญ

คำนำ.....	๑
กิตติกรรมประกาศ.....	๒
๑) บทนำ .....	๔
๒. การพิบัติ สาเหตุ และความเสี่ยง .....	๔
๒.๑ การพิบัติของเขื่อน .....	๔
๒.๒ นิยามของการพิบัติของเขื่อน.....	๕
๒.๓ การพิบัติในงานเขื่อน.....	๕
๒.๔ ลักษณะการพิบัติของเขื่อน.....	๑๕
๒.๕ ปัญหาต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้เขื่อนพังหรือเสียหาย .....	๒๙
๒.๖ การบริหารความเสี่ยง.....	๓๔
๒.๗ คำนิยามของ Risk.....	๓๕
๒.๘ ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเสี่ยงของเขื่อน.....	๓๖
๒.๙ ความเป็นมาของการวิเคราะห์ความเสี่ยงของเขื่อน.....	๓๗
๒.๑๐ หลักการจัดลำดับความเสี่ยง.....	๓๘
๒.๑๑ สภาพความเสี่ยงที่ได้จากการพิบัติของเขื่อน .....	๔๑
๒.๑๒ สภาพขององค์ประกอบที่บ่งชี้ความเสี่ยงของเขื่อน .....	๔๓
๒.๑๓ น้ำหนักความสำคัญของสภาพ .....	๔๓
๒.๑๔ เกณฑ์การให้คะแนนสภาพ (Score).....	๔๔
๓. วิธีการ .....	๔๔
๓.๑ วิธีการเดินตรวจสภาพโดยการตรวจสภาพเขื่อนด้วยสายตา .....	๔๔
๓.๒ ลักษณะการพิบัติของเขื่อนดิน.....	๔๖
๓.๓ สภาพความเสี่ยงของเขื่อน .....	๔๖
๓.๔ เกณฑ์การให้คะแนนสภาพความเสี่ยง .....	๔๖
๓.๕ การตรวจสภาพเขื่อน .....	๔๖
๓.๖ การหาค่าดัชนีความเสี่ยง.....	๔๗
๔. ผลการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีดัชนีความเสี่ยง .....	๔๗
๔.๑ ลักษณะการพิบัติของเขื่อนดิน.....	๔๗
๔.๒ สภาพความเสี่ยงของเขื่อนและอาคารประกอบ .....	๔๗
๔.๓ การกำหนดค่าความสำคัญของสภาพความเสี่ยงขององค์ประกอบเขื่อน .....	๔๙
๔.๔ ตัวอย่างการประเมินความเสี่ยงด้วยดัชนีความเสี่ยง.....	๖๒
๕. สรุป.....	๗๓
๖. เอกสารอ้างอิง .....	๗๓
ภาคผนวก .....	๗๔

## การวิเคราะห์ความเสี่ยงของเขื่อนและอาคารประกอบ

### Dam and Appurtenant Risk Assessment

#### ๑) บทนำ

ในรอบหลายปีล่าสุดที่ผ่านมา กรมชลประทานได้พัฒนาแหล่งน้ำประปาที่เชื่อมต่อ ก่อสร้าง และเพิ่มจำนวนมากกว่า ๔,๐๐๐ เขื่อน ซึ่งมีบางส่วนได้ทำการถ่ายโอนความรับผิดชอบให้กับหน่วยงาน ปกครองส่วนท้องถิ่น ยังคงเหลือเชื่อมต่อที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมชลประทานประมาณ ๒,๐๐๐ กว่าเขื่อน ซึ่งปัจจุบันงานก่อสร้างเขื่อนของกรมชลประทานมีน้อยลง แต่ในขณะเดียวกัน งานตรวจสอบและบำรุงรักษา เขื่อนกลับมีความสนใจและให้ความสำคัญเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเขื่อนมีอายุการใช้งานเพิ่มมากขึ้น เขื่อนที่มีอายุ การใช้งานเพิ่มขึ้นย่อมจะมีความเสี่ยงต่อการพิบัติ แม้ว่าประเทศไทยยังไม่เคยมีเขื่อนขนาดใหญ่ที่เกิดพิบัติ จน สร้างความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่อยู่ท้ายน้ำก็ตาม แต่ความหวั่นระแวงและวิตกกังวล เกี่ยวกับการพิบัติของเขื่อนยังคงมีอยู่

ในปัจจุบันการตรวจสอบเขื่อนในประเทศไทยที่กรมชลประทานรับผิดชอบนั้น ได้มีการพัฒนาวิธีการ ตรวจสอบโดยสายตา (Visual Inspection) สำหรับประเมินสภาพเขื่อนโดยระบบดัชนีสภาพ (Condition Index System) โดยกรมชลประทานได้ว่าจ้างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ให้ประเมินความปลอดภัยของเขื่อน โดยดัชนีสภาพ (Condition Index) ในเขตสำนักชลประทานที่ ๙ จากนั้นส่วนความปลอดภัยของเขื่อน สำนัก บริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา ได้นำมาประยุกต์ให้เข้ากับการทำงานของกรมชลประทานและเหมาะสมกับ จำนวนบุคลากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ผลลัพธ์ที่ได้ ทำให้เรารู้ถึงสภาพของเขื่อนและองค์ประกอบว่ามีสภาพเป็น อย่างไร องค์ประกอบใดต้องทำการซ่อมแซมหรือปรับปรุง แต่เนื่องจากวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่ประเมินได้ เพียงสภาพของเขื่อน ไม่ได้บอกถึงสถานะความเสี่ยงของเขื่อนแต่อย่างใด ซึ่งในสภาพปัจจุบันได้เริ่มมีความ สนใจในเรื่องของความเสี่ยงมากขึ้น เพราะอายุการใช้งานของเขื่อนมากขึ้น สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป ฯลฯ

คู่มือนี้ได้กล่าวถึงการนำวิธีการตรวจสอบด้วยสายตา มาใช้ประเมินความเสี่ยงของเขื่อนโดยดัชนีความ เสี่ยง (Risk Index) ซึ่งมีหลักการคล้ายๆ กับการประเมินสภาพเขื่อนด้วยวิธีดัชนีสภาพ (Condition Index) โดยการกำหนดค่าความสำคัญขององค์ประกอบที่ตรวจสอบที่มีต่อความเสี่ยงของเขื่อนในรูปแบบการพิบัติ ต่างๆ และเน้นให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างง่าย เหมาะสมกับการทำงานของกรมชลประทาน การประเมิน ความเสี่ยงนี้ เป็นการประเมินที่ใช้ปัจจัยภายนอกเพียงอย่างเดียว ได้แก่ สภาพทางโครงการภายนอกของเขื่อน และอาคารประกอบเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ไม่ได้พิจารณาถึงปัจจัยภายนอก เช่น การเกิดแผ่นดินไหว การ บริหารจัดการน้ำ เป็นต้น วิธีการนี้ยังเป็นการเฝ้าระวังและบำรุงรักษาเขื่อนให้มีสภาพสมบูรณ์และพร้อมใช้งาน ต่อไป

#### ๒. การพิบัติ สาเหตุ และความเสี่ยง

##### ๒.๑ การพิบัติของเขื่อน

การพิบัติของเขื่อนอาจเกิดได้หลายลักษณะตามสภาพที่กระทำกับตัวเขื่อนแล้วทำให้เกิดความเสียหาย กับเขื่อนเกินกว่าที่เขื่อนหรือระบบเขื่อนสามารถรับแรงกระทำนั้น หรือสลายแรงกระทำนั้นได้ ทำให้เขื่อนเกิด การสูญเสียกำลังของดินตัวเขื่อน หรือเกิดการสูญเสียเนื้อเขื่อนไป จึงทำให้เขื่อนเกิดความเสียหายหรือพิบัติได้

## ๒.๒ นิยามของการพิบัติของเขื่อน

สำหรับคำนิยามของคำว่า “การพิบัติของเขื่อน” ได้มีหน่วยงานนิยามไว้ดังนี้ คือ State of Oregon, Water Resources Department (๒๐๐๗) ได้นิยามของการพิบัติของเขื่อน ดังนี้ “การพิบัติของเขื่อน คือ ชนิดความหายของความเสียหายจากลักษณะโดยทันทีทันได้, อย่างรวดเร็ว, และการปล่อยน้ำที่ไม่สามารถควบคุมได้ของน้ำที่เก็บกักไว้”

## ๒.๓ การพิบัติในงานเขื่อน

ความเสียหายหรือการพิบัติในงานเขื่อน อาจแบ่งเป็น ๒ ระดับของความรุนแรง คือ

๑) การพิบัติที่รุนแรง (Catastrophic Failure) หมายถึง การพิบัติเกิดขึ้นฉับพลัน มีความรุนแรงมาก และทิวามเสียหายอย่างกว้างขวาง การพิบัติในกรณีน้ำมีสภาพแตกต่างจากน้ำล้วนสันเขื่อน การกัดเซาะภายในตัวเขื่อนและฐานราก การเคลื่อนพังของลาดเขื่อน การเกิด Liquefaction จากแผ่นดินไหว เป็นต้น

๒) การเสียหายเพียงเล็กน้อย (Minor Damage) หมายถึง ความเสียหายที่ไม่ปรากฏการณ์หรือข้อบ่งชี้ให้เห็นล่วงหน้า เมื่อสามารถตรวจพบตั้งแต่ระยะแรกก็จะเป็นความเสียหายซึ่งสามารถซ่อมแซมแก้ไขได้แต่ถ้ามีการปล่อยປะละเบย์อาจขยายตัวเป็นการพิบัติที่รุนแรง ต่อมาได้มีหลายหน่วยงานที่ร่วบรวมสถิติการพิบัติของเขื่อนไว้ พร้อมทั้งสาเหตุของการพิบัติเหล่านั้น สำหรับในสหรัฐอเมริกาซึ่งตั้งเป็นหน่วยตรวจสอบความปลอดภัยของเขื่อน (U.S. Army Corps of Engineers' National Dam Inspection Program) ภายหลังจากได้เกิดการพิบัติของหล่ายเขื่อนติดต่อกัน ได้แกลงว่า จาก ๔,๙๐๖ เขื่อน ซึ่งได้ตรวจสอบถึงเดือนมีนาคม ค.ศ. ๑๙๘๐ มีเขื่อนที่ไม่ปลอดภัยอยู่ถึง ๓๒ % หรือ ๑,๕๖๓ เขื่อน

ในระดับนานาชาติ “คณะกรรมการมาตรฐานเชื่อมใหญ่ระหว่างประเทศ” (International Commission of Large Dams, ICOLD) รายงานการพิบัติในเขื่อนใหญ่ใน ค.ศ. ๑๙๗๓ ไว้ตามขั้นตอนของการดำเนินโครงการเขื่อนดังแสดงในตารางที่ ๑ โดยสำรวจจาก ๔๖๖ เขื่อน กรณีพิบัติในเขื่อนประเภทต่าง ๆ ซึ่งมีข้อสรุปเกตเวย์ว่า ในเขื่อนดินจะมีจำนวนการพิบัติมากกว่าเขื่อนประเภทอื่นและส่วนมากจากสาเหตุของขั้นตอนการสำรวจและออกแบบ

ตารางที่ ๑ สาเหตุแห่งการพิบัติของเขื่อนใหญ่จากขั้นตอนการดำเนินการก่อสร้าง โดย ICOLD

ขั้นตอนที่เป็นสาเหตุ	จำนวนที่เกิดขึ้น						รวม
	A	B	G	E	R	M	
การสำรวจ	๙	๕	๖	๔๙	๒	๑	๗๑
วัสดุก่อสร้าง	๑	-	๒	๙	-	-	๑๑
การวางแผน	-	๑	๔	๑๗	๓	-	๒๔
การออกแบบ	๔	๖	๑๓	๔๘	๓	๑	๗๖
การก่อสร้าง	๑	๑	๒	๓๒	๕	-	๔๑
การใช้งาน	-	-	-	๕	๑	-	๖
การควบคุม	๑	๑	-	๓	-	-	๕
รวม	๑๖	๑๔	๒๗	๑๖๒	๑๔	๓	๒๓๖

หมายเหตุ : A = Arch, B = Buttress, G = Gravity, E = Earthfill, R = Rockfill, M = Miscellaneous  
ที่มา: Thomas (๑๙๗๖)

Baecher et al. (๑๙๘๐) ได้ทำการสำรวจอัตราการพิบัติของเขื่อนดังตารางที่ ๒  
 ตารางที่ ๒ ผลการสำรวจอัตราการพิบัติของเขื่อน

Area	Reference	Failures	Total Dam Years	Period (years)	Rate (dam years) <sup>-๑</sup>
United State	Gruner (๑๙๗๖)	๓๓	๑๗๖๔	๔๐	๔ X ๑๐ <sup>-๑</sup>
	Babb and Mermel (๑๙๗๕)	๑๒	๓๑๐๐	๑๔	๓ X ๑๐ <sup>-๑</sup>
	USCOLD (๑๙๗๕)	๗๔	๔๙๑๔	๒๓	๗ X ๑๐ <sup>-๑</sup>
World	Mark and Stuart – Alexander (๑๙๗๗)	๑๒๕	๗๕๐๐	๔๐	๔ X ๑๐ <sup>-๑</sup>
	Middlebrooks (๑๙๕๓)	๙	๗๔๓๓	๖	๒ X ๑๐ <sup>-๑</sup>
Japan	Takase (๑๙๖๗)	๑๐๔	๒ X ๑๐ <sup>๖</sup>	๑๕	๔ X ๑๐ <sup>-๑</sup>
Spain	Gruner (๑๙๖๗)	๑๕๐	๑๖๒๐	๑๔๕	๖ X ๑๐ <sup>-๑</sup>

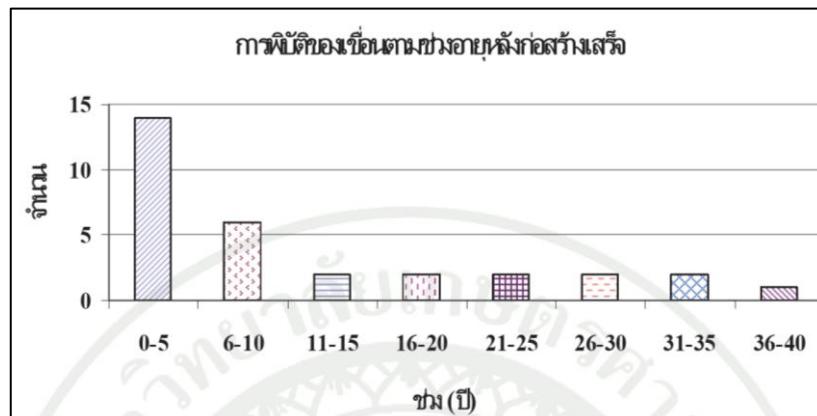
ที่มา : Baecher et al. (1980)

ถ้าจะพิจารณาทางด้านลักษณะ หรือพฤติกรรมในการพิบัติของเขื่อนในหลายประเทศเช่น V.P. Jauhari (๑๙๘๙) ได้รวบรวมเขื่อนที่เกิดการพิบัติอย่างรุนแรงอันเป็นเหตุให้มีคนเสียชีวิตมากกว่า ๑๐ คนขึ้นไป โดยมีแหล่งที่มาของข้อมูลจากหลายแห่งในตารางที่ ๓

จากสถิติดังกล่าว หากทำการศึกษาถึงสถิติของอายุเขื่อนที่เกี่ยวข้องกับการพิบัติ จะสามารถเปรียบเทียบได้ดังภาพที่ ๑ จากภาพดังกล่าวพบว่าเขื่อนโดยทั่วไปมีสถิติการพิบัติในช่วง ๑๐ ปีแรกที่ค่อนข้างสูง จากนั้นสถิติการพิบัติจะลดลง แต่ยังคงพบสถิติอย่างต่อเนื่อง

ในประเทศไทยอเมริกา มีการรวบรวมและประมวลสาเหตุของเขื่อนพิบัติโดยนำเสนอข้อมูลใน Engineering News Record แสดงใน ภาพที่ ๒

ในประเทศไทย เป็นรายงานใน ค.ศ. ๑๙๖๑ จากเขื่อนจำนวน ๑,๖๒๐ เขื่อน ๙๙% อยู่ในสภาพวิกฤตจากสาเหตุ



ภาพที่ ๑ แสดงผลการพิบัติของเขื่อนตามช่วงอายุหลังการก่อสร้างแล้วเสร็จ

ที่มา : Jauhari (๑๙๘๙)

ตารางที่ ๓ บันทึกการพิบัติของเขื่อนที่ทำให้มีผู้เสียชีวิตมากกว่า ๑๐ คน ตั้งแต่ปี ค.ศ. ๑๙๖๐

ชื่อเขื่อน	ประเทศ	ชนิด เขื่อน	ความสูง (เมตร)	ปีที่ ก่อสร้าง เสร็จ (ค.ศ.)	ปีที่เกิด การพิบัติ (ค.ศ.)	สาเหตุ ของการ พิบัติ	จำนวนคน ที่เสียชีวิต	มูลค่า ความ เสียหาย
Dale Dyke (Bradfield)	England	E	๒๙	๑๘๕๘	๑๙๖๔		๒๕๐ (๑)	£๐.๕ m
Iruhake	Japan	E	๒๙	๑๙๖๓	๑๙๖๔	OT	>๑,๐๐๐ (๑)	
Mill River	MA, USA	E	๑๓	๑๘๖๕	๑๙๗๔	SF	๑๗๓	>\$ ๑ m
El Habrat	Algeria	R	๓๖		๑๙๗๔	OT	๒๐๙	
Valparaiso	Chile	E	๑๗		๑๙๘๔	SF	>๑๐๐	
South Fork, Johnstown	PA, USA	E	๒๒	๑๘๗๓	๑๙๘๗	OT	๒,๒๐๙	
Walnut Grove	AZ, USA	R	๓๔	๑๙๘๙	๑๙๙๐	OT	๑๕๐	
Bouzey	France	G	๑๕	๑๙๙๘	๑๙๙๕	SF	๑๕๐ (๑)	
Austin	PA, USA	G	๑๕	๑๙๙๙	๑๙๙๖	SF	๘๐	
Lower Otay	CA, USA	R	๔๐	๑๙๙๗	๑๙๙๖	OT	๓๐	
Bila Desna	Czecho- slovakia	E	๑๗	๑๙๙๔	๑๙๙๖	SF	๖๕	
Tigra	India	G	๒๔	๑๙๙๙	๑๙๙๗	OT	>๑,๐๐๐ (๑)	
Gleno	Italy	M, G	๔๔	๑๙๒๓	๑๙๒๓	SF	๖๐๐	
Eigiau/Cood Ty §	Wales	G/E	๑๑	๑๙๐๘/๑ ๙	๑๙๒๔	PI/OT	๑๖	
St. Francis	CA, USA	A	๖๒	๑๙๑๖	๑๙๒๔	SF	๔๕๐	
Alla Sella Zerbino	Italy	G	๑๒	๑๙๒๓	๑๙๒๕	OT	>๑๐๐	
Vega de Terra (Ribadelago)	Spain	B	๓๔	๑๙๔๗	๑๙๔๙	SF	๑๔๕	
Malpasset (Fréjus)	France	A	๖๑	๑๙๕๔	๑๙๕๙	F	๔๒๑	
Orós	Brazil	E	๕๔	const	๑๙๖๐	OT	C.๑๐๐๐	
Babii Yar	Ukraine	E			๑๙๖๑	OT	๑๔๕	
Panshet/ Khadakwasla	India	E/R	๕๔/๕๖	Const/๑ ๙๗๙	๑๙๖๑	SF, OT/OT	>๑,๐๐๐(๑)	
Vaiont	Italy	A	๒๖๑	๑๙๖๐	๑๙๖๓	OT	๒,๖๐๐	
Zgorograd (Vratza)	Bulgaria	Ta	๑๙			OT	>๙๖	

ตารางที่ ๓ บันทึกการพิบัติของเขื่อนที่ทำให้มีผู้เสียชีวิตมากกว่า ๑๐ คน ตั้งแต่ปี ค.ศ. ๑๙๖๐ (ต่อ)

ชื่อเขื่อน	ประเทศ	ชนิด เขื่อน	ความสูง (เมตร)	ปีที่ ก่อสร้าง เสร็จ (ค.ศ.)	ปีที่เกิด การพิบัติ (ค.ศ.)	สาเหตุ ของการ พิบัติ	จำนวนคน ที่เสียชีวิต	มูลค่า เสียหาย
Nanaksagar	India	E	๑๖	๑๙๖๒	๑๙๖๗	SF/OT	C.๑๐๐	
Sempor	Indonesia	R	๔๔	.....	๑๙๖๗	SF/OT	C.๕๐๐	
Frias	Argentina	R	๑๕	๑๙๓๘	๑๙๗๐	OT	>๔๒	
Buffalo Creek	WV, USA	Ta	๓๒	.....	๑๙๗๒	OT	๑๒๕๔ (๑๕)	\$๓๐- ๕๐๐m (๑๕)
Canyon Lake	SD, USA	E	๖	๑๙๓๘	๑๙๗๒	OT	๒๓๗*	\$๖๐๐m
Baniqao, Shmantan,	China	E		๑๙๔๐	๑๙๗๕	OT	≤๗๗๐,๐๐๐ (๔)	
Taton	ID, USA	E	๙๐	๑๙๗๖	๑๙๗๖	SF	๑๐-๑๔ ๑๖๖	\$๐.๔- ๑๖๖
Laurel Run	PA, USA				๑๙๗๗		๓๙(๓)	\$๒๐- ๔๕๖(๑)
Kelly Barnes (Toccoa Falls)	GA, USA	E	๑๓	๑๙๗๙	๑๙๗๗	SF	๓๙(๓)	
Machhu II	India	E	๒๖	๑๙๗๒	๑๙๗๙	OT	>๒,๐๐๐	\$๑๕๖
Gopinatham	India			๑๙๗๐	๑๙๘๔	OT	๔๗(๕)	
Taus	Sapin	R	๗๗	๑๙๗๐	๑๙๘๒	OT	>๖๐(๖)	
Stava	Italy	TA		๑๙๖๐	๑๙๘๕		๒๖๙(๗)	
Kantalai	Sri Lanka	R	๑๕	๑๙๗๒	๑๙๘๖	PI	๘๗(๘)	
Sargazon	Tadzhikistan		๒๓	๑๙๗๐	๑๙๘๗		>๑๙(๙)	
Belci	Romania	E	๑๙	๑๙๖๒	๑๙๙๑	OT	C.๔๔(๑๐)	
Gouhou	China	R	๗๑	๑๙๗๙	๑๙๙๓	PI	๓๔๒(๑๑)	\$๑๖๖
Tirlyan	Russia	E	๑๐	<๑๙๔๗	๑๙๙๔	OT	๑๙-๓๗ (๑๒)	Rs๔๖๐bn
Virginia No.๑๕	S.Africa	TA	๔๗		๑๙๙๔		๓๙(๓)	\$๑๕๖
Lake Blackshear, Flint River Dam	GA, USA	E	<๑๕		๑๙๙๔	OT	๑๕(๑)	

#### หมายเหตุ

ชนิดเขื่อน : E = เขื่อนดินถม; R = เขื่อนหินถม; G = เขื่อนถ่วงน้ำหนัก; M = เขื่อนคอนกรีตหล่ายโคล้ง;

B = เขื่อนคำญัน; A = เขื่อนคอนกรีตโคล้ง; Ta = เขื่อนเหมืองหิน

สาเหตุการพิบัติ : OT = การไหลล้นข้ามสันเขื่อน; PI = การกดเซาะภายใน; SF = โครงสร้างพิบัติ;

F = ลักษณะธรรมีหรือฐานรากมีปัญหา

\* unable to distinguish dam break fatalities with those caused by “natural” flood  
+ El Habra first failed in 1872 without loss of life. It was then rebuilt, failed again in 1881, rebuilt again, then failed again in 1927 (without fatalities) and was then abandoned.

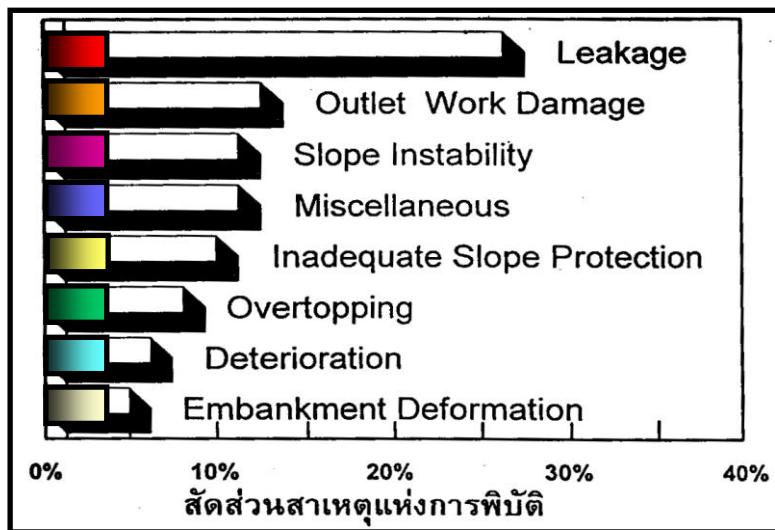
\$ The flood from the collapse of the dam breached the second dam downstreams.

Source :

1. N. Smith, *A History of Dam*, Peer Davies, London 1971.
2. F. Lemperiere, “Dams That Have Failed by Flooding. An Analysis of 70 Failures”, *Water Power and Dam Construction*, October 1993.
3. J.E. Costa, “Floods from Dam Failures”, in V.R. Baker et al. (eds.), *Floods Geomorphology*, Wiley, New York 1998.
4. Human Rights Water/Asia. The Three Gorges Dam in China : *Forced Resettlement, Suppression of Dissent ant Labour Rights Concerns*. New York, February, 1995.
5. Centre of Science and Environment, The State of India’s Environment – 1982 : A Citizen’s Report, CSE, New Delhi 1982.
6. “Overtopped Spanish Dam Collapses as Spillway Gates Stay Shut”, *World Water*, November 1982.
7. “South African Dam Breach Followed Warning”, *Construction Today*, March, 1994.
8. “Kantalai Failure Leaves 18,000 Homeless”, *Water Power & Dame Construction*, May 1986.
9. “Burst Raises Doubts about Sovient Hydroelectricity Dam”, *Nature*, 26 March 1987.
10. “Flooding and Landslides Cause Three Major Failures in Romania”, *Water Power & Dam Construction*, October 1991.
11. “China Disciplines 15 for Dam Break”, *Tibetan Environment & Development News*, Issue 16, 1994.
12. “the Tirlyan Breakthrough”, *Moscow News*, 19 August, 1994
13. “When the Bough Breaks...”, *Higher values* (Minewatch Bulletin), April 1994.
14. “Georgia Flood Deaths”, *International Water Power & Dam Construction*, August 1994.
15. B. Ellingwood et al. “Assessing Costs of Dam Failure”, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 119, No.1, January/February 1993.

All others : R.B. Jansen, Dams and Public Safety, US Department of the Interior, Washington DC, 1990.

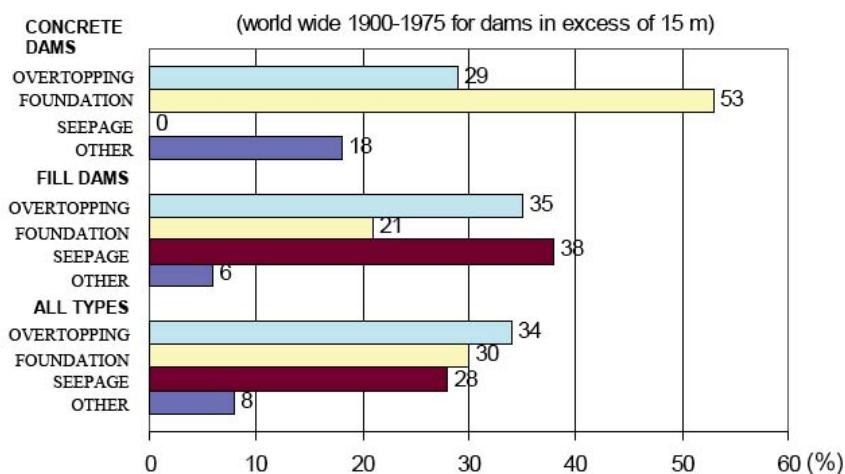
ที่มา : Jauhari (1999)



ภาพที่ ๒ ลักษณะการพิบัติของเขื่อนในสหรัฐอเมริกา (จาก ENR.)

เกี่ยวกับฐานราก	๔๐ %
ทางระบายน้ำล้นไม่เพียงพอ	๒๓ %
การก่อสร้างไม่เหมาะสม	๑๒ %

จะเห็นได้ว่าสาเหตุใหญ่ที่การรั่วซึมเสียเป็นส่วนมาก ต่อมา คือ ทางระบายน้ำล้นไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดการเอ่อล้นสันเขื่อน และการเคลื่อนพังของลาดเจือนหรือส่วนอื่นๆ ภายในอ่างเป็นสาเหตุที่มีมากเป็นอันดับสอง นอก จากนี้ Gulliver and Arndt ได้กล่าวว่า National Research Council ได้ทำการรวบรวมเปอร์เซ็นต์การพิบัติของเขื่อนประเภทต่างๆ ในช่วงปี ๑๙๐๐ – ๑๙๗๕ ดังภาพที่ ๓



ภาพที่ ๓ ลักษณะการพิบัติที่พบในเขื่อนประเภทต่างๆ

ที่มา : Gulliver and Arndt (๑๙๗๕)

ในปี ค.ศ. ๑๙๘๓ USCOLD ได้สรุปสถิติสาเหตุการพิบัติของเขื่อนจำนวน ๒๔๐ เขื่อนในสหรัฐอเมริกา ดังแสดงในตารางที่ ๔

## ตารางที่ ๔ สรุปสถิติสาเหตุการพิบัติของเขื่อนโดย USCOLD

สาเหตุที่ทำให้เกิดการพิบัติ	% จาก ๒๔๐ เขื่อน
การกัดเซาะภายนอก (การไหลล้นข้ามสันเขื่อน/แรงกระทำของคลื่น)	๒๙
การกัดเซาะภายนอก (ตัวเขื่อน ฐานรากเขื่อน)	๓๘
ความมั่นคงของฐานราก	๑๔
การเปลี่ยนรูปที่มากเกินไปของเขื่อน	๑๓
การผุสลาย (ทางเคมี/ทางกายภาพ)	๒
บานไม่สามารถทำงานได้ (Malfunction of Gate)	๒
ผลกระทบจากแผ่นดินไหว (Earthquake Effects)	๑
ความผิดพลาดจากการก่อสร้าง (Construction Error)	๑

ที่มา : Hoeg (๑๙๙๖)

ในปี ค.ศ. ๑๙๙๕ ICOLD ได้ออกเอกสารแสดงสถิติการพิบัติของเขื่อนทั่วโลกกว่า ๒๔๐ แห่ง ในปี ๑๙๙๕ ซึ่งเป็นปีที่มีจำนวนเขื่อนทั่วโลกมากที่สุด ๑๙๙๕ เขื่อน โดยสามารถสรุปสถิติสาเหตุการพิบัติของเขื่อนดังนี้

## ตารางที่ ๕ สรุปสถิติสาเหตุการพิบัติของเขื่อนดินโดย ICOLD ในปี ๑๙๙๕

สาเหตุการพิบัติของเขื่อนดินตาม	เขื่อนดินตามบดอัด (%)	เขื่อนหินตามบดอัด (%)	เขื่อนหินตามและเขื่อนดินตามบดอัด (%)
การไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping (of Crow))	๒๓	๔๕	๓๑
การกัดเซาะภายนอกตัวเขื่อน	๒๐	๙	๒๓
การกัดเซาะบริเวณฐานราก	๑๓	๑๓	๑๔
สาเหตุทางโครงสร้างอื่นๆ	๒๙	๒๕	๒๓
สาเหตุอื่นๆ	๑๕	๙	๙
ผลรวม (පෝර්ජීන්ත්)	๑๐๐	๑๐๐	๑๐๐
ผลรวม (จำนวนเขื่อน)	๕๗	๒๔	๑๓

ที่มา : Hoeg (๑๙๙๖)

ในขณะที่การศึกษาของ USBR (๑๙๙๕) ด้านความเสี่ยงจากการลักษณะการพิบัติของเขื่อนที่อยู่ในความรับผิดชอบภายในหน่วยงานโดยวิเคราะห์จากประวัติที่มีการบันทึก พบว่าโอกาสเกิดการพิบัติมากที่สุดมาจากการกัดเซาะของฐานรากเขื่อน รองลงมาได้แก่จากแผ่นดินไหว ดังแสดงในตารางที่ ๖

Foster et al. (๒๐๐๐) ได้สรุปสถิติการพิบัติของเขื่อนดินขนาดใหญ่ ถึงปี ค.ศ. ๑๙๙๖ ดังแสดงในตารางที่ ๗ และ ตารางที่ ๘

ตารางที่ ๖ โอกาสสเกิดการพิบติจากสาเหตุต่างๆ ของเขื่อนของ USBR

ชนิดของการพิบติ	ความน่าจะเป็นในการเกิดอุบัติเหตุของ Von Thun	ความน่าจะเป็นของการเกิดพิบติของ Von Thun	ความน่าจะเป็นโดยเฉลี่ย	จำนวนตัวอย่างจากการศึกษาความเสี่ยง
การไหลล้นข้ามสันเขื่อน	๑.๙๔๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๑.๕๗๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๔.๗๙๐๑๐ <sup>-๕</sup>	๑๖
ฐานราก	๙.๒๗๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๑.๘๙๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๑.๓๙๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๑๗
การกัดเซาะภายใน	๙.๒๔๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๙.๕๔๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๓.๑๙๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๒๐
การเลื่อนไถล	๙.๐๗๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๖.๙๐๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๖.๓๙๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๕
โครงสร้าง	๑.๖๙๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๓.๕๒๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๙.๗๑๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๙
อาคารระบายน้ำ	๒.๔๒๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๙.๔๖๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๖.๘๑๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๑๗
แผ่นดินไหว	๑.๑๙๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๖.๙๐๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๑.๙๔๙๑๐ <sup>-๕</sup>	๑๗

ที่มา : Tatalovich (๑๙๘๘)

ตารางที่ ๗ สถิติพิบติของเขื่อนดินตามใหญ่ถึงปี ๑๙๘๖

Mode of failure	No of cases		% failures (where known)		Average frequency of Failure ( $\times 10^{-3}$ )	
	All failures	Failures in operation	All failures	Failures in operation	All failures	Failures in operation
<b>Overtopping and Appurtenant</b>						
Overtopping	๔๖	๔๐	๓๔.๙	๓๔.๒	๔.๑	๓.๖
Spillway-gate	๑๖	๑๕	๑๙.๕	๑๙.๙	๑.๑	๑.๓
Subtotal	๖๒	๕๕	๔๙.๔	๔๙.๐	๔.๔	๔.๙
<b>Piping</b>						
Through embankment	๓๙	๓๙	๓๐.๔	๓๐.๔	๓.๔	๓.๔
Through foundation	๑๙	๑๙	๑๔.๙	๑๔.๔	๑.๗	๑.๖
From embankment into foundation	๒	๒	๑.๖	๑.๗	๐.๑๙	๐.๑๙
Subtotal	๕๙	๕๙	๔๑.๑	๔๑.๑	๔.๓	๔.๓

ตารางที่ 7 สภาพิบัติของเขื่อนดินบนใหญ่ปี 1986 (ต่อ)

Mode of failure	No of cases		% failures (where known)		Average frequency of Failure ( $\times 10^{-3}$ )	
	All failures	Failures in operation	All failures	Failures in operation	All failures	Failures in operation
Slides						
Downstream	6	4	4.7	3.4	0.44	0.36
Upstream	3	3	0.4	0.3	0.09	0.08
Subtotal	9	7	4.4	3.3	0.63	0.45
Earthquake- liquefaction	2	2	1.6	1.3	0.18	0.16
Unknown mode	5	5				
Total no. of failures	136	104			12.2(0.9%)	10.1(0.8%)
Total no. of failures where mode of failure known	128	117				
No. of embankment	11 192	11 192				

Note : Subtotals and totals do not necessarily sum to 100 % , as some failures were classified as multiple modes of failures

ที่มา : Foster et al. (2000)

จากข้อมูลข้างต้นที่กล่าวมาพอสรุปได้ว่า เขื่อนดินจะมีรูปแบบการพิบัติอันเนื่องจากการรั่วซึมมากที่สุด โดยมีการพิบัติในช่วงก่อน ค.ศ. 1950 อาจเนื่องจากยังไม่มีเครื่องมือในการก่อสร้างหรือบดอัดที่มีประสิทธิภาพมากพอ จนถึงในปัจจุบันที่มีอัตราการรั่วซึมน้อยลงเมื่อเทียบกับสมัยก่อนแต่ก็ยังมีเปอร์เซ็นที่สูงกว่าการพิบัติกรณีอื่นๆ รองลงมาเป็นการพิบัติอันเนื่องมาจากน้ำล้นสันเขื่อน โดยจะมีมากกว่าสมัยก่อนอาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพทางธรรมชาติมากกว่าทำให้ค่าปริมาณน้ำฝนที่คาดการณ์ไว้ต่างจากข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ ๔ สถิติการพิบัติของเขื่อนดินตามขนาดใหญ่ (Zone Dams) ถึงปี ๑๙๘๖

Dam zoning type	% of population	No. of failure cases	% of failure cases	Mode of failure							
				piping		Slope instability		Earthquake	Overtopping	Spillway-gate failure	Unknown
				Through embankment	Though foundation	Form embankment into foundation	Downstream slide	Upstream slide			
Homogeneous earthfill	๗.๕	๒๓ (๓๗)	๒๔(๒๒)	๑๔	☒	○	○	○	○	○	○
Earthfill with filler	๑๕	๔(๒)	๕(๔)	☒	○	○	○	○	○	☒	○
Earthfill with rock toe	๖.๑	๙(๙)	๑๑(๑๗)	๕	☒	○	○	○	○	○	○
Zoned earthfill	๓๕.๙	๗(๕)	๙(๕)	๔	○	○	○	○	○	☒	○
Zoned earthfill and Rockfill	๗.๓	๔(๓)	๕(๖)	๑	○	○	○	○	○	○	○
Central core earthfill and rockfill	๗.๔	๔(๑)	๕(๒)	○	○	○	○	○	○	○	○
Concrete face earthfill	๔.๑	๔(๔)	๕(๔)	☒	☒	○	○	○	○	○	○
Concrete face rockfill	๒.๘	๑(๐)	๑(๐)	○	○	○	○	○	○	○	○
Puddle core earthfill	๔.๗	๕(๔)	๖(๔)	☒	○	○	○	○	○	○	○
Earthfill with concrete curewall	๒.๔	๑๑(๓)	๑๓(๖)	○	☒	○	○	○	○	☒	๓
Rockfill with concrete corewall	๐.๙	๐(๐)	๐(๐)	○	○	○	○	○	○	○	○
Hydraulic fill	๐.๙	๕(๓)	๖(๖)	○	○	○	☒	○	○	☒	○
Other	-	๕(๓)	๖(๖)	○	☒	○	○	○	○	○	○
Unknown	-	๕๕(๓๓)	๖	☒	○	○	○	○	○	๒๖	๙ ๗
Total	๑๐๐	๓๓๖(๖๖)	๑๐๐(๑๐๐)	๓๙	๑๔	☒	๖	๑	☒	๔๖	๑๖ ๙

Note : The values in parentheses refer to structural modes of failure, comprising piping, slope instability and earthquake modes of failure case for the modes of failure do not necessarily sum in the total number of failure cases because some dams were classified as multiple modes of failure

ที่มา : Foster et al. (๒๐๐๐)

สำหรับในประเทศไทยภายหลังวิกฤตการณ์การรั่วของเขื่อนมูลบัน เมื่อตุลาคม ๒๕๓๓ ทางรัฐบาลก็ได้แต่งตั้ง คณะกรรมการตรวจสอบสภาพเขื่อนทั่วประเทศที่อยู่ในข่ายที่มีอันตรายความเสี่ยงสูง ซึ่งเป็นเขื่อนขนาดกลางและใหญ่ ที่มีขนาดความจุตั้งแต่ ๒๐ ล้าน ลบ.เมตร และ/หรือความสูงตั้งแต่ ๑๕ เมตรขึ้นไปจำนวน ๒๒๔ เขื่อน ปรากฏผลการตรวจสอบแสดงใน ตารางที่ ๙ และตารางที่ ๑๐

ตารางที่ ๙ สรุปผลการตรวจเขื่อนดินในประเทศไทย (สำนักนายกรัฐมนตรี, ๒๕๓๔)

หน่วยงานที่ดำเนินการ	จำนวนเขื่อน	สภาพเขื่อน				อื่นๆ
		มั่นคง	ใช้ได้	ต้องแก้ไข		
กรมชลประทาน	๑๘๗	๑๗๒	๒๙	๔	๓๓	
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ	๓	๑	๒	-	-	
การพลังงาน	๒	๑	๑	-	-	
รพช.	๓๒	๔	๑๖	๘	๔	
รวม	๒๒๔	๑๒๘	๔๙	๑๒	๓๗	

หมายเหตุ อื่นๆ หมายถึง เขื่อนดินที่ไม่เข้าหลักเกณฑ์ในการตรวจสอบ เช่น กำลังก่อสร้างหรือยังไม่ได้ก่อสร้าง และมีการยกเลิกโครงการจึงไม่ได้ดำเนินการ ตรวจสอบ

ที่มา: วรากร (๒๕๓๐)

ตารางที่ ๑๐ กรณีพิบัติหรือความเสียหายของเขื่อนในประเทศไทย

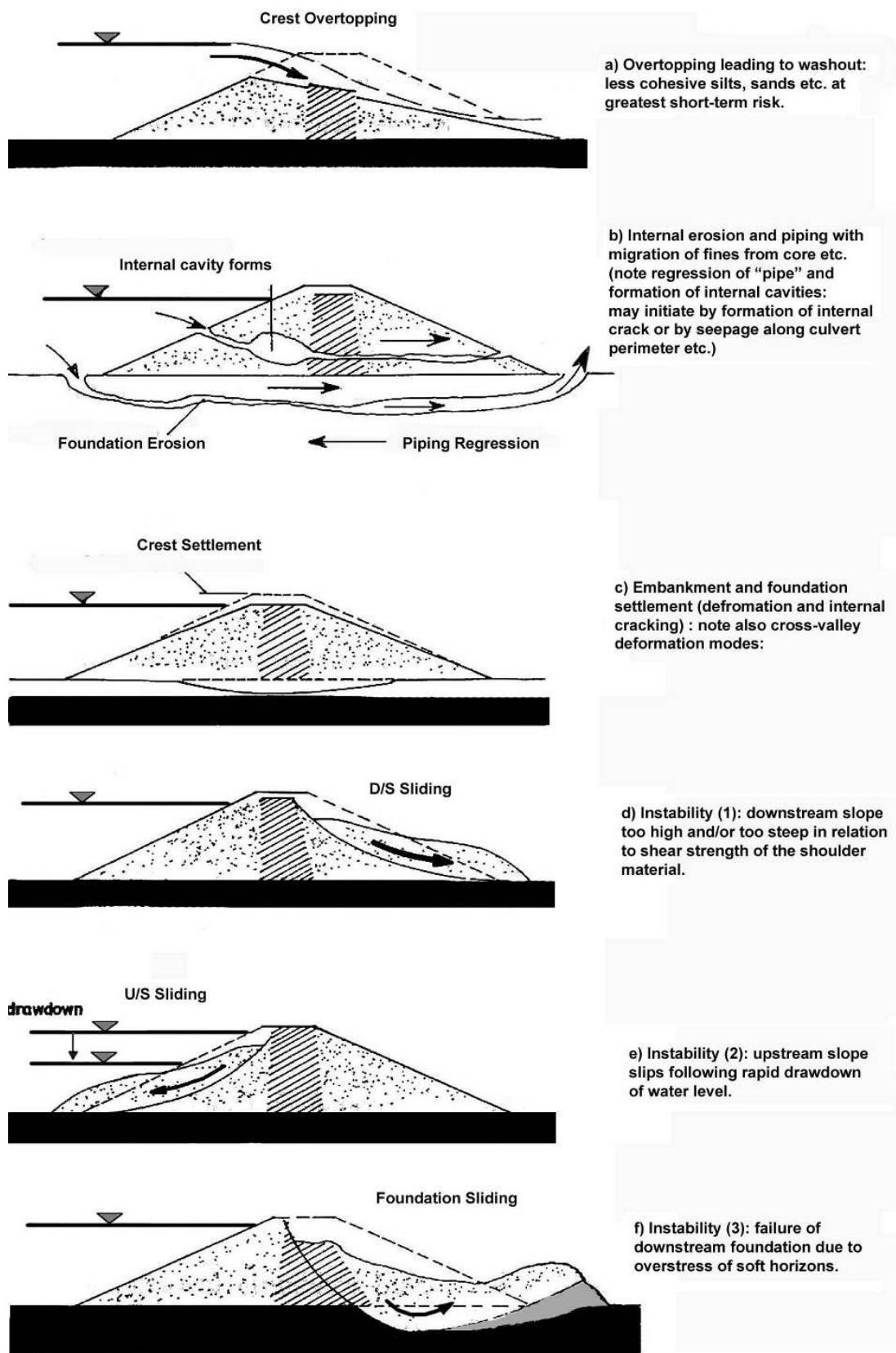
ปี พ.ศ.	ชื่อเขื่อน	จังหวัด	สังกัด	สาเหตุ	ผลลัพธ์
๒๕๑๓ ถึง ๒๕๑๔	- ลำสาราย - ลำเชียงไกร - ลำปีล - ห้วยสายย	นครราชสีมา	กรมชลฯ	динตัวเขื่อนเป็นดิน	เสียหายทั้งหมด และมีการก่อสร้างขึ้นใหม่ โดยใช้ปูนขาวผสมมีการศึกษาปัญหาดินกระจายตัวและกำหนดการทดสอบและแก้ไข
๒๕๑๔	อุบลรัตน์	ขอนแก่น	กฟผ.	ปริมาณน้ำหักมากกว่าที่ออกแบบ ในอ่างสูงเกือบล้นสันเขื่อน และเกิดน้ำท่วมท้ายน้ำ	ทบทวนการคำนวณทางอุทกวิทยา ยกระดับสันเขื่อนและทางระบายน้ำล้น
๒๕๓๓	มูลบัน	นครราชสีมา	กรมชลฯ	การรั่วซึมผ่านฐานราก เขื่อน	การจัดตั้ง “กองตรวจสอบและบำรุงรักษาเขื่อน” กฟผ. การซ่อมแซมปรับปรุงเขื่อนโดยใช้กำแพงทึบนาได้ดี การตั้งคณะกรรมการตรวจสอบสภาพเขื่อนดินทั่วประเทศ จัดทำคู่มือตรวจสอบและประเมินความปลอดภัยเขื่อน

ที่มา : ปรับปรุงจาก Dam Safety Project Preparation Report (๑๙๙๖)

#### ๒.๔ ลักษณะการพิบัติของเขื่อน

การพิบัติของเขื่อนที่เกิดขึ้นจากอัคติจนกระทั่งมาถึงในปัจจุบัน ได้มีหลายหน่วยงานร่วมกันและบันทึกเป็นสถิติไว้ พร้อมทั้งแสดงถึงสาเหตุของเขื่อนว่าเป็นเอกสารเผยแพร่ต่างๆ อนุกรรมการเขื่อน

ให้กลุ่มของสหรัฐอเมริกา (USCOLD) ได้สรุปการพิบัติของเขื่อนไว้ ๖ ลักษณะด้วยกัน ซึ่งสามารถเกิดจากสาเหตุที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ ๔



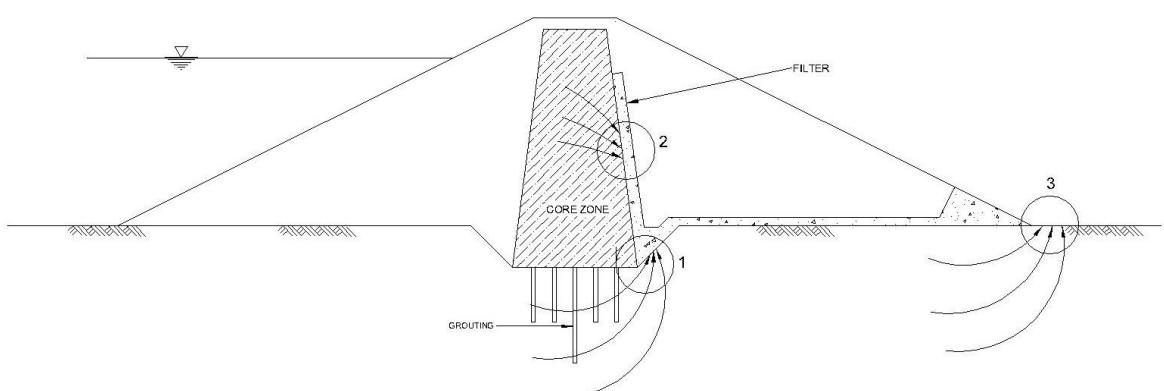
ภาพที่ ๔ การพิบัติของเขื่อน ๖ ลักษณะ ตามข้อสรุปของ USCOLD

ที่มา : USCOLD

จากหลักฐานทางสถิติของการพิบัติที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่าเขื่อนจะมีปัญหารั่วซึมเป็นตัวการสำคัญ แต่ก็มีการพัฒนาของสาเหตุของฯ ลงมา ซึ่งในหลายกรณีจะเป็นสาเหตุเสริมที่เกี่ยวข้องกัน ซึ่งบางครั้งยากที่จะวินิจฉัยลงไปให้แน่ชัดว่าเกิดจากสาเหตุใด สำหรับสาเหตุโดยส่วนใหญ่ที่ทำให้เขื่อนเกิดการพิบัติ ได้แก่

### ๑) การรั่วซึมของฐานรากและตัวเขื่อน

เมื่อสร้างเขื่อนขึ้นสำหรับเก็บกักน้ำ ย่อมทำให้เกิดความแตกต่างของระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ และด้านท้ายน้ำเป็นธรรมชาติที่น้ำจะพยายามหาทางซึมจากระดับสูงไปต่ำ โดยผ่านทั้งตัวเขื่อน ฐานรากหรือฐานยันดังนั้น ในการออกแบบวิศวกรจะพยายามลดการรั่วซึมนี้ให้น้อยที่สุด โดยการบดอัดดินเหนียวเป็นแกนเขื่อน หรืออัดฉีดน้ำปูนในฐานราก แต่น้ำก็จะพยายามหาช่องทางที่จะซึมผ่านไปได้่ายิ่งที่สุด โดยถ้ามีความเร็วหรือแรงดันน้ำมากพอก็จะกัดเซาะพาเอาเม็ดดินให้หลุดร่วง กันด้วย ยิ่งถ้าการกัดเซาะเกิดขึ้นภายในตัวเขื่อน ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบได้โดยง่าย และทำการแก้ไขเสียก่อน ก็อาจจะเกิดการกัดเซาะอย่างต่อเนื่องจนเป็นสาเหตุให้เขื่อนพังได้ในที่สุด ตำแหน่งสำคัญในตัวเขื่อนที่เกิดการกัดเซาะได้โดยง่าย คือ



ภาพที่ ๕ บริเวณในตัวเขื่อนที่สำคัญที่อาจเกิดการกัดเซาะได้

ที่มา : ตัดแปลงจาก วรารักษ์ (๒๔๔๒)

บริเวณที่ ๑ รอยต่อของฐานรากแกนดินเหนียว และชั้นกรอง (Filter) น้ำจากฐานรากที่หล่นแนวน้ำปูนจะหลุดเข้าสู่ชั้นกรองอย่างรวดเร็ว

บริเวณที่ ๒ รอยต่อของแกนดินเหนียว และชั้นกรองด้านท้ายน้ำ โดยน้ำที่ซึมผ่านแกนจะหลุดเข้าสู่ชั้นกรอง

บริเวณที่ ๓ ฐานรากด้านท้ายน้ำ โดยน้ำที่ซึมจากฐานรากจะหลุดขึ้นสู่ผิวดิน อาจเกิดการลอกตัวของเม็ดดิน (Boiling) ได้

บริเวณที่ ๔ ทั้งสองข้างของท่อส่งน้ำ (Outlet) ซึ่งยากต่อการบดอัดดินให้ดี

ในบริเวณที่ ๑ และ ๒ ถ้ามีการออกแบบชั้นกรอง (Filter) ที่ดีพอ การกัดเซาะก็จะไม่เกิดขึ้น ส่วนกรณีที่เกิดในบริเวณที่ ๓ อาจต้องทำบ่อลดแรงดันน้ำบริเวณฐานราก (Pressure Relief Well) หรือห่อระบายน้ำในชั้นกรองท้ายเขื่อน (Toe Drain) ที่จะทำให้การระบายน้ำออกจากฐานรากได้โดยไม่ให้เกิดการกัดเซาะ ส่วนบริเวณที่ ๔ จะต้องมีการบดอัดอย่างระมัดระวัง โดยใช้ดินที่มีความชื้นสูงกว่าปกติ เพื่อให้ยึดติดกับผนังท่อส่งน้ำได้ดี

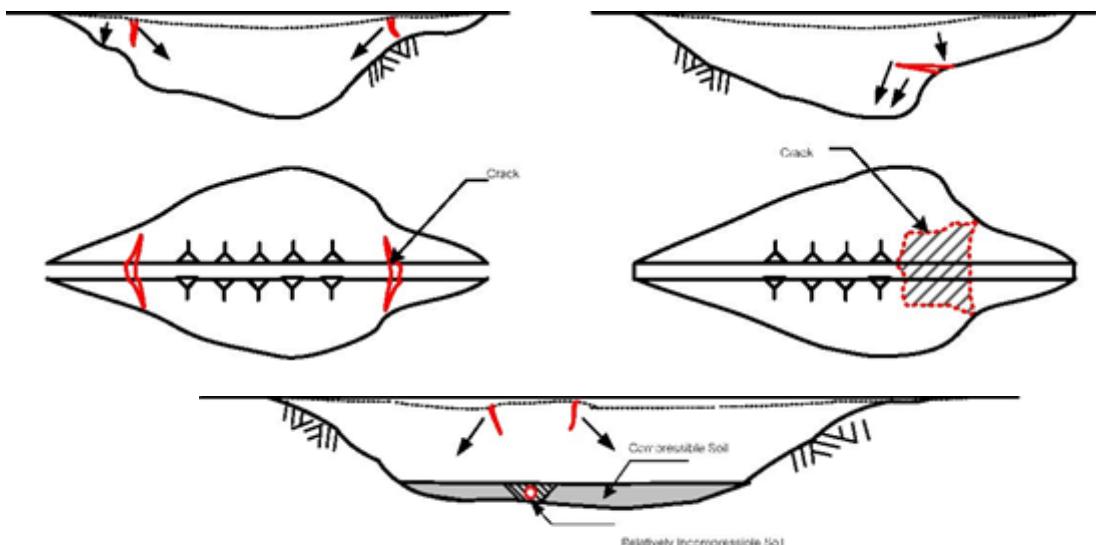
## ๒) การทรุดตัวต่างกันทำให้เกิดรอยแยกในตัวเขื่อน

ธรรมชาติของดินหรือวัสดุก่อสร้างใดๆ จะมีการยุบตัวหรือทรุดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนรูปของวัสดุ เมื่อมีแรงหรือน้ำหนักมากดทับ ถ้าการทรุดตัวเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอเท่าๆ กัน ในบริเวณพื้นที่หนึ่งๆ ที่พิจารณา ก็ไม่ค่อยมีอันตราย แต่ถ้าการทรุดตัวเกิดขึ้นต่างกันในบริเวณพื้นที่เดียวกัน ก็มักจะมีผลทำให้เกิดรอยแตกแยกขึ้นได้บริเวณผิวนอกของตัวเขื่อน ซึ่งสามารถมองเห็นได้หรือภายในตัวเขื่อน ซึ่งยากต่อการตรวจสอบ แล้ว ยังอาจเป็นสาเหตุต่อเนื่องทำให้เกิดการรั่วซึมของตัวเขื่อนได้ หากเกิดรอยแยกต่อเนื่องภายในตัวเขื่อน

การทรุดตัวและแตกแยกในตัวเขื่อน อาจจะเกิดขึ้นได้ดังนี้ คือ

### ๒.๑) การแตกตามขวาง (Transverse Crack)

เกิดจากลักษณะช่องเขาเป็นชั้นตะพัก (Terrace) โดยมีความลาดไม่สม่ำเสมอหรือความหนาของชั้นดินฐานรากไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดรอยแตกขวางกับแนวสันเขื่อน ซึ่งมีอันตรายสูงในการที่จะเกิดการรั่วของน้ำผ่านตัวเขื่อน ตัวอย่างการแตกแยกลักษณะนี้ ดังภาพที่ ๖ และ ๗



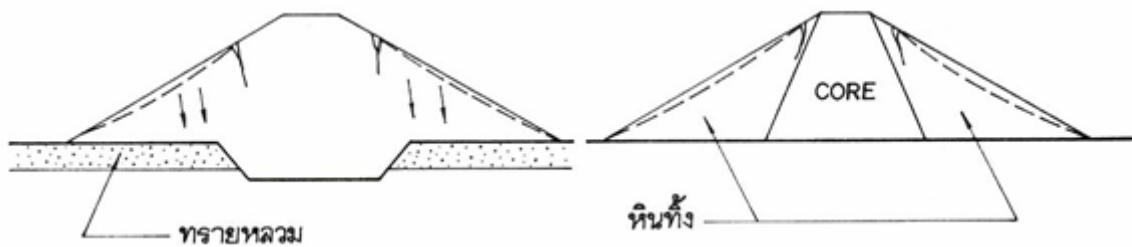
ภาพที่ ๖ รอยแตกตามขวางแนวสันเขื่อน



ภาพที่ ๗ การแตกตามขวาง (Transverse Crack)

### ๒.๒) การแตกตามแนวยาว (Longitudinal Crack)

เกิดจากการทรุดตัวตามแนวตัวขวางของตัวเขื่อนไม่เท่ากัน อาจเพราะมีอิทธิพลของร่องแกน (Cutoff Trench) หรือ จากความยึดหยุ่นของวัสดุในส่วนต่างๆ ของเขื่อนแตกต่างกัน ดังภาพที่ ๘ และ ๙



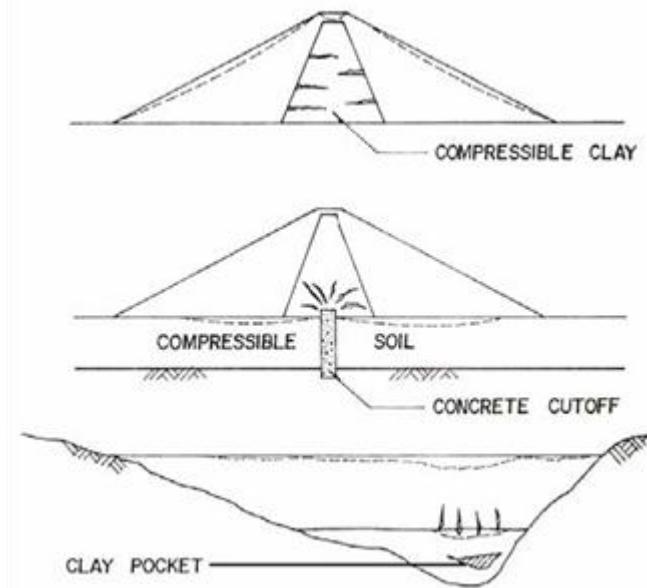
ภาพที่ ๔ ลักษณะรอยแตกตามแนวยาว



ภาพที่ ๕ การแตกตามยาว (Longitudinal Crack)

### ๒.๓) การแตกภายในตัวเขื่อน (Internal Crack)

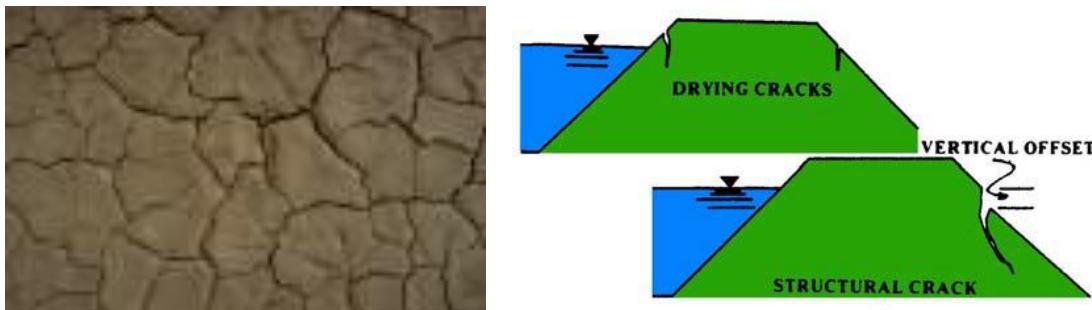
เกิดจากการทรุดตัวต่างกันของวัสดุก่อสร้างสองชนิดที่มีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นแตกต่างกันมาก เช่น แกนดินเหนียว ซึ่งทรุดตัวมากกว่าส่วนทิ่นภายนอก หรือส่วนที่เป็นคอนกรีตกับส่วนที่เป็นดิน เป็นต้น การแตกจะเกิดในลักษณะ Tension Crack เป็นส่วนมาก และมีอันตรายสูงสุด เพราะไม่สามารถตรวจพบจากภายนอกได้ นอกจากจะมีการติดตั้งเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวในเขื่อน



ภาพที่ ๑๐ รอยแตกภายในตัวเขื่อน

## ๒.๔) การแตกเนื่องจากการแห้งของดินตัวเขื่อน (Desiccation Crack)

ในระหว่างการก่อสร้างในฤดูแล้งหรือผิวน้ำดินตัวเขื่อนที่บดอัดทึ่งไว้ โดยไม่มีวัสดุปกคลุม หรือมีการให้ความชื้นอย่างสม่ำเสมอ ความชื้นจากผิวน้ำของตัวเขื่อนจะสูญเสียออกไป โดยการระเหยทำให้เกิดการหดตัวของดินและเกิดการแตกเป็นกริดขนาดต่างๆ และไม่เป็นอันตรายมากนัก แก้ไขโดยง่าย โดยการปัดดินส่วนนี้ออกจนถึงตื้นที่มีความชื้นสม่ำเสมอ และไม่มีรอยแตก แล้วบดอัดกลับปิดทับให้เหมือนเดิม หากผิวน้ำได้ต้องทึ่งไวนาน เนื่องจากหยุดหรือชะลอการก่อสร้าง ให้ใช้ดินชนิดเดียวกันเคลี่ยคลุมไว้โดยไม่ต้องบดอัด



ภาพที่ ๑๖ Desiccation Crack

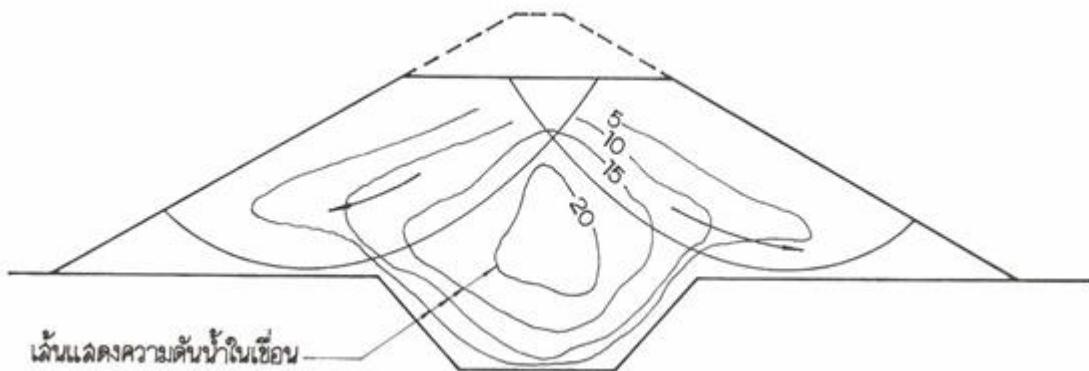
## ๒.๕) การแตกบนสันเขื่อนเนื่องจากการเคลื่อนตัวที่ผิวน (Creep Tension Crack)

การแตกเป็นแนวยาวตามสันเขื่อน อาจเกิดจากการณฑิทึ่งก้นคลื่นเพิ่มเติมด้านหนึ่งน้ำ หรือมีการปรับยกกระดับสันเขื่อนสูงขึ้น จะเกิดการเคลื่อนตัวที่ผิวนเนื่องจากน้ำหนักของวัสดุที่เพิ่มขึ้น รอยแตกลักษณะนี้จะเกิดขึ้นภายหลังการปรับปรุงหรือเพิ่มเติมวัสดุตั้งกล่าว แล้วจะหยุดหรือมีความกว้างของรอยแตกคงที่ และไม่เป็นอันตรายให้ ๆ ซึ่งจะต้องมีการวัดและเฝ้าสังเกต จึงจะทราบพฤติกรรมดังกล่าวแล้วควรมีการแก้ไขโดยการอุดประตูด้วยวัสดุทึบน้ำโดยไม่ให้เกิดการทำให้ดินในตัวเขื่อนอ่อนตัวหรือถูกกัดเซาะโดยง่าย

### ๓) การเคลื่อนพังของลาดเขื่อนและฐานราก

การวิบัติลักษณะนี้จะเกิดขึ้นอย่างฉับพลัน โดยมีการบกพร่องหลุดล่วงหน้าน้อยมาก และมักเกิดร่วมกับความดันน้ำภายในตัวเขื่อนหรือฐานรากสูงขึ้นเนื่องจากการบดอัดหรือเก็บกักช่วงวิกฤตที่อาจเกิดการวิบัติ คือ

๓.๑) ในระยะหลังของการก่อสร้าง (End of Construction) ในระหว่างการบดอัดตัวเขื่อนจะทำให้เพิ่มความดันน้ำขึ้นในตัวเขื่อน โดยเฉพาะตินที่มีความชื้นสูงและการบดอัดในอัตราที่เร็วและยิ่งเขื่อนสูงขึ้น ความดันน้ำก็จะยิ่งมากด้วย ทำให้ความแข็งแรงของดินลดลงจนอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินที่มีตัวเขื่อนขึ้นได้ (ภาพที่ ๑๗) ซึ่งจะสามารถเกิดได้ทั้งทางด้านหนึ่งน้ำและท้ายน้ำ กรณีดังเช่นการพิบัติของเขื่อน Calaveras ปี ค.ศ.๑๙๑๘ ที่เกิดการพิบัติระหว่างการก่อสร้าง ดังภาพที่ ๓

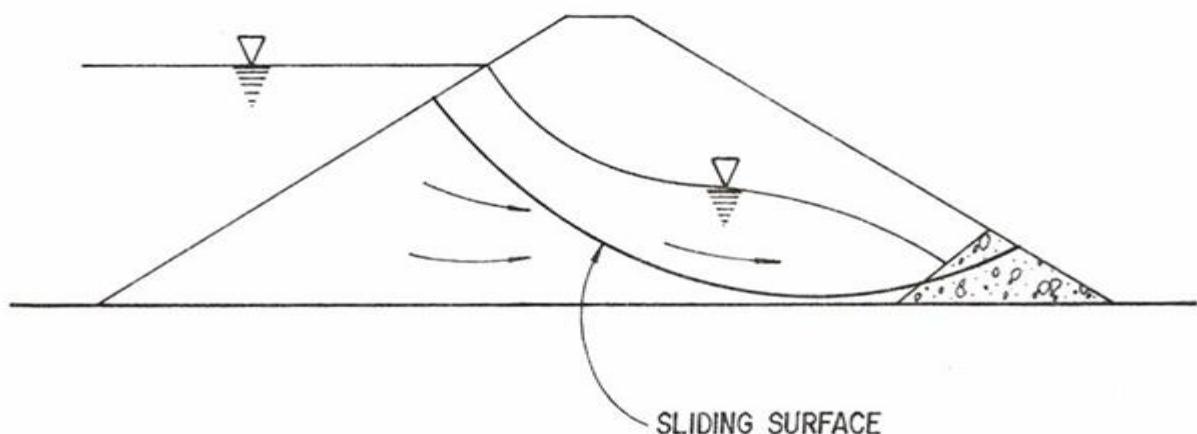


ภาพที่ ๑๒ การเคลื่อนพังของเขื่อนในระหว่างการก่อสร้าง



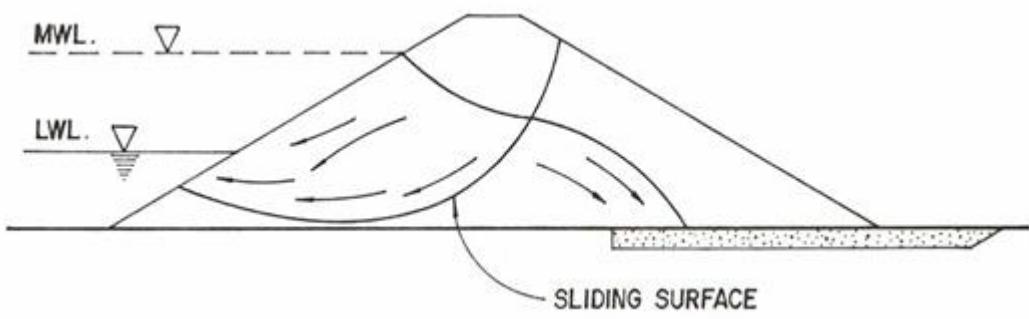
ภาพที่ ๑๓ การพิบัติแบบเลื่อนไถลของเขื่อน Calaveras ระหว่างการก่อสร้าง

๓.๒) ในระหว่างเก็บน้ำกักน้ำ (Impounding of Reservoir) ในระหว่างการเก็บกักน้ำจะมีการไหลของน้ำซึ่งผ่านตัวเขื่อน จำกัดด้านหนึ่งน้ำไปท้ายน้ำ ความดันน้ำในตัวเขื่อนจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นหากระบายน้ำไม่ได้พอโอกาสที่จะเกิดการเคลื่อนพังทางด้านท้ายน้ำจะมีมาก ดังภาพที่ ๑๔



ภาพที่ ๑๔ การเคลื่อนพังของเขื่อนในระหว่างเก็บกักน้ำ

๓.๓) ในระหว่างการลดระดับของน้ำในอ่างอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown) เมื่อระดับน้ำในอ่างลดลงอย่างรวดเร็วนี้จากการนำน้ำในอ่างไปใช้ในอัตราสูง หรือการระบายน้ำเพื่อซ่อมแซมแก้ไข หรือเหตุผลอื่นใดก็ตาม ทิศทางการไหลซึ่งของน้ำในตัวเขื่อนจะย้อนกลับมาทางด้านหนึ่งน้ำก่อให้เกิดการเคลื่อนพังทางด้านหนึ่งน้ำได้ ดังภาพที่ ๑๕



ภาพที่ ๑๕ การเคลื่อนพังในระหว่างการลดระดับน้ำ

นอกจากการเคลื่อนพังของตัวเขื่อนเองแล้ว ในกรณีที่ดินหรือหินฐานรากมีชั้นอ่อนอยู่ผิวการเคลื่อนพังอาจเกิดขึ้นลึกลงไปถึงฐานรากด้วย ซึ่งจะมีลักษณะเป็นไปตามผิวของชั้นอ่อนนั้นซึ่งจะต้องระมัดระวังและสำรวจให้ทราบตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ

ส่วนการเคลื่อนพังของลาดดินธรรมชาติในบริเวณขอบอ่าง ก็อาจเป็นอันตรายต่อเขื่อนได้ ก่าว่าคือ จะทำให้เกิดคลื่นขนาดใหญ่ เนื่องจากการคลื่นของดินลงในอ่างขนาดของคลื่นจะใหญ่กว่าที่คาดการณ์ไว้จากแรงลม ซึ่งอาจจะทำให้ชัดประทะและล้มสันเขื่อนได้

#### ๔) การพิบัติจากผลของแผ่นดินไหว

ตัวเขื่อนซึ่งมีมวลและน้ำหนักมาก เมื่อเกิดการสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว นอกจากจะเกิดแรงกระแทกในแนวตั้ง และด้านข้างจากแรงสั่นสะเทือนแล้ว ยังทำให้คุณสมบัติของดินและหินเปลี่ยนไป เช่น ในดินที่มีขนาดเม็ดระหว่างทรายละเอียด และดินเหนียวปนทราย ดังสื้นโอกาสการกระจายของขนาดเม็ดดิน จะเสียแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดินและเกิดการสะสมความดันน้ำ จึงทำให้สูญเสียความแข็งแรงทำและลอยตัวเป็นของเหลว เรียกว่า “Liquefaction” จึงเกิดการเคลื่อนพังโดยง่ายในชั้นหินก์จะเกิดการแตกร้าวและการเคลื่อนตัวในระหว่างรอยต่อของชั้นหินมากขึ้นดังนั้นในการออกแบบจึงต้องพิจารณาว่าที่ตั้งเขื่อนอยู่ใกล้บริเวณที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวมากน้อยเพียงใดด้วยและต้องเพื่อแรงจากแผ่นดินไหวไว้ด้วย Soralump (2002) ได้สรุปพฤติกรรมความเสียหายที่อาจนำไปสู่การพิบัติของเขื่อนได้ดังต่อไปนี้

- ๔.๑) การเคลื่อนตัวของแนวรอยเลื่อนในแนวตั้งใกล้ตัวเขื่อน
- ๔.๒) การเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนใต้ฐานเขื่อน (ภาพที่ ๑๖)
- ๔.๓) การเกิดคลื่นน้ำภายในอ่างเก็บน้ำ (Seiches) เนื่องจากความสั่นสะเทือน (ภาพที่ ๑๗)
- ๔.๔) การเกิดแผ่นดินคลื่นรอบอ่างเก็บน้ำจากแรงแผ่นดินไหวทำให้เกิดน้ำข้ามสันเขื่อน
- ๔.๕) เกิดการพิบัติของอาคารบังคับน้ำ ทำให้ไม่สามารถระบายน้ำได้
- ๔.๖) การไหลซึ่งของน้ำผ่านตัวเขื่อนตามรอยแตกในแนววางกับสันเขื่อน
- ๔.๗) การยุบตัวของสันเขื่อนในแนวตั้งเนื่องมาจากแรงสั่นสะเทือน ทำให้เกิดรอยแตกตามแนวแกนเขื่อน (ภาพที่ ๑๘)
- ๔.๘) การสูญเสียกำลังของดินตัวเขื่อนหรือฐานราก เนื่องจากการเกิด Liquefaction ทำให้เกิดการเลื่อนไถลหรือยุบตัวของเขื่อน



ภาพที่ ๑๖ ความเสียหายของเขื่อน Shih Kang ประเทศไต้หวัน



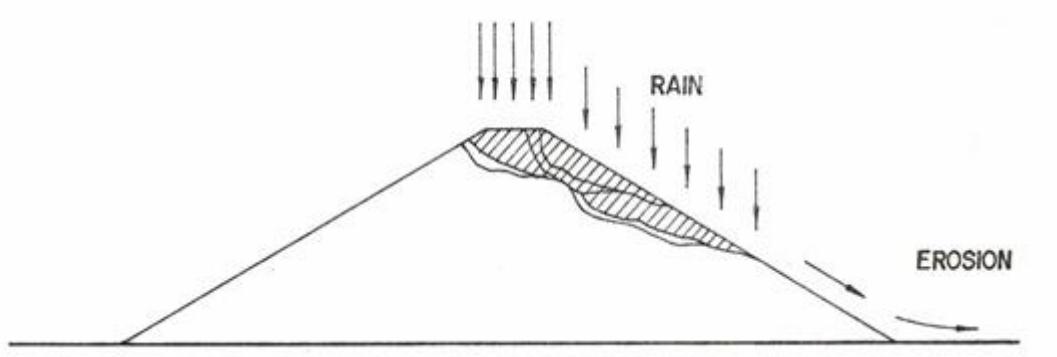
ภาพที่ ๑๗ คลื่นในอ่างเก็บน้ำเนื่องมาจากการแผ่นดินไหว (Seiches) เขื่อน Hebgen ประเทศสหรัฐอเมริกา



ภาพที่ ๑๘ รอยแตกขนาดสันเขื่อน

### ๕) การพิบัติจากการกัดเซาะ

การพิบัติของเขื่อนยังอาจเกิดจากกัดเซาะของคลื่น ที่พัดเข้ากระทบลาดเขื่อนหนึ่งน้ำการกัดเซาะจากน้ำฝน ปกติจะป้องกันได้จากการปูกลุกหญ้า หินทิ้ง หรือเรียงหินคลุมไว้ แต่ถ้าดินมีลักษณะกระจายตัวในน้ำได้ง่าย (Dispersive Clay) ก็จะเกิดการกัดเซาะบนลาดเขื่อนได้มากจนเป็นเหตุให้เกิดความเสียหายได้ ดังที่เกิดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนใต้ของประเทศไทย จึงต้องมีการผสานปูนขาวลงในดิน เพื่อลดการกระจายตัว



ภาพที่ ๑๙ การพิบัติจากการกัดเซาะ



ภาพที่ ๒๐ การกัดเซาะตัวเขื่อน

### ๖) การพิบัติจากน้ำล้นสันเขื่อน

การพิบัติจากน้ำล้นสันเขื่อนอาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ อาจสรุปได้ดังนี้ คือ

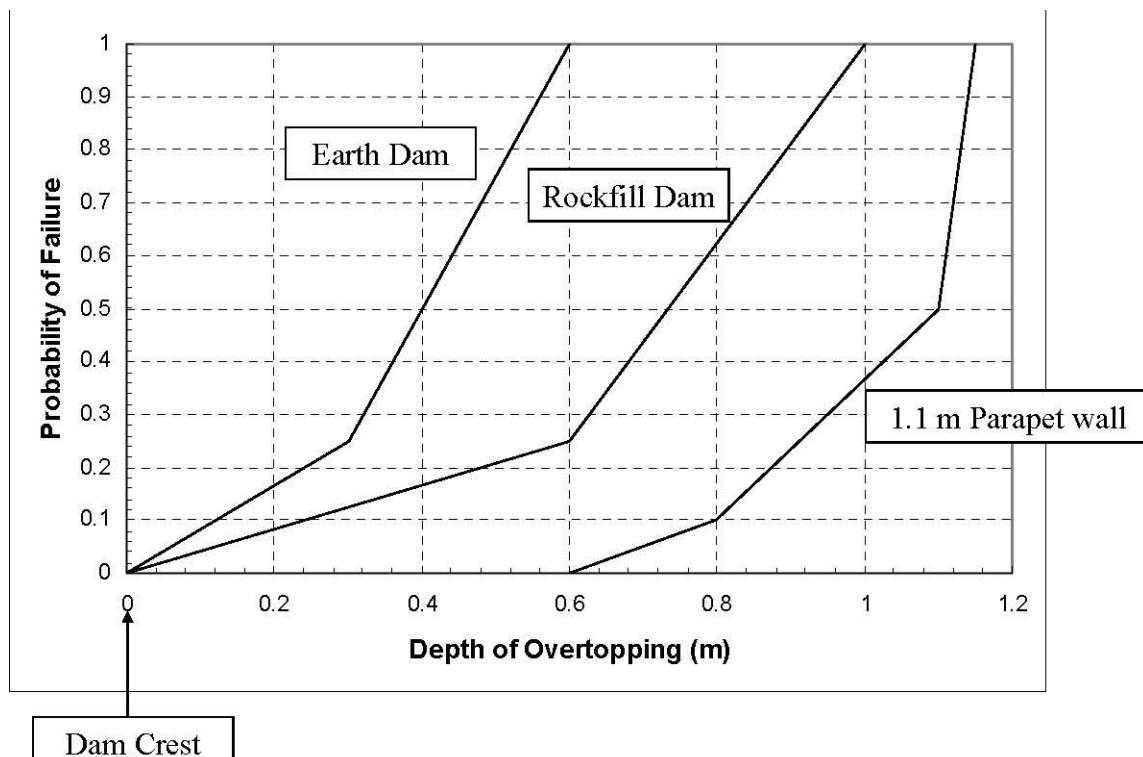
- ๖.๑) การคาดการณ์ทางอุทกวิยาไม่เหมาะสม
- ๖.๒) การเปิด – ปิดบานระบายน้ำล้นไม่ถูกต้อง
- ๖.๓) มีการถล่มของดินลงในทางทำให้เกิดคลื่นใหญ่
- ๖.๔) การออกแบบระยะเฟื่องลัน (Freeboard) ไม่เหมาะสม
- ๖.๕) การชำรุดของบานระบายน้ำเนื่องจากเศษวัสดุ (ภาพที่ ๒๑)
- ๖.๖) การปิดกั้นบานระบายน้ำเนื่องจากเศษวัสดุ (ภาพที่ ๒๑)



ภาพที่ ๒๑ ตัวอย่างการพิบัติจากน้ำล้นสันเขื่อน

เมื่อน้ำล้นข้ามสันเขื่อนก็จะเกิดการกัดเซาะวัสดุจากสันเขื่อนไปตามกระแสน้ำให้เป็นร่องลึกลงไปจนใหญ่ขึ้นเป็นร่องน้ำจนเขื่อนพิบัติได้ในที่สุด

Typical Overtopping System Response Probabilities



ภาพที่ ๒๒ ความสัมพันธ์ระหว่าง Probability of Failure กับความสูงของน้ำที่ล้นสันเขื่อน

ที่มา : Bowles and Anderson (๑๙๘๗)

### ๗) การพิบัติจากการเกิด Liquefaction

Liquefaction คือปรากฏการที่ดินรายหรือกรวดที่อิ่มตัวด้วยน้ำเกิดการสูญเสียกำลัง เนื่องจากแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว เหตุดังกล่าวเกิดจากมีความสั่นสะเทือนของคลื่นแผ่นดินไหวที่แรง พอกที่จะทำให้แรงดันน้ำในเม็ดดินเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้เม็ดดินอยู่ทางก้นมากขึ้น กำลังรับน้ำหนักของดินจึง ตกลง เหตุการณ์ดังกล่าวจะเกิดเฉพาะดินรายหลวมหรือกรวดที่มีความแน่นต่ำ Liquefaction สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งดินตัวเขื่อนหรือดินฐานราก และสามารถทำให้เขื่อนเกิดการพิบัติโดยอย่างรวดเร็ว เขื่อนที่ก่อสร้างด้วยเทคนิคการก่อสร้างในปัจจุบันแทบทั้งหมดไม่มีโอกาสเกิด Liquefaction ได้ สำหรับเขื่อนเก่า ประเภทเขื่อนที่มีโอกาสเกิด Liquefaction ได้ง่ายที่สุดได้แก่เขื่อนที่ก่อสร้างโดยเทคนิค Hydraulic Fill หรือบดอัดดินโดยใช้น้ำฉีด

- กรณีตัวอย่างการพิบัติของเขื่อนตาม

ตัวอย่างการพังเนื่องจากการร้าวซึม และการกัดเซาะฐานเขื่อน และในตัวเขื่อน

เขื่อน Teton, มลรัฐไอโอดี สหรัฐอเมริกา เดือนมิถุนายน ค.ศ. ๑๙๗๖ เป็นเขื่อนดินสูง ๙๐ เมตร เก็บน้ำประมาณ ๓๖๐ ล้าน ลบ.ม. แกนกลางเป็นดินทรายป่น (Silt) บดอัดที่ความชื้น ๐.๕ – ๑.๕ % ไปทางด้านแห้ง (Dry of Optimum) มีร่องแกนลึก ๒๑ เมตร ความกว้างของกันร่องแกน ๑๐ เมตร แล้วบดอัด กลบด้วยวัสดุชนิดเดียวกับแกนเขื่อน คณะกรรมการกลางค้นหาสาเหตุการพังเชื่อว่าเกิดจากการกัดเซาะภายในผ่านร่องแกน (ภาพที่ ๒๓) โดยได้ให้ข้อมูลดังนี้



ภาพที่ ๒๓ เขื่อน Teton เกิดการพิบัติเนื่องจากการกัดเซาะภายใน

สาเหตุเบื้องต้นของการพัง อาจเนื่องมาจากการร้าวซึม และการอุกแบบเป็นผลร่วมกัน สาเหตุ คือ

๑) ลักษณะหินที่ปักเขื่อน (Abutment) มีรอยแตกมาก

๒) วัสดุทำแกนเขื่อนที่ดีกว่าดินทรายป่น หายากจึงนำเป็นต้องใช้ ส่วนสาเหตุทางการอุกแบบ

คือ

๒.๑) การควบคุมการซึมของน้ำผ่านร่องแกน และแนวอัคฉีดน้ำปูนไม่ดีพอ

๒.๒) รูปหน้าตัดของร่องแกน ก่อให้เกิด Arching Crack และ Hydraulic Fracturing เพราะดินร่องแกนยุ่งไม่มีความเหนียวและง่ายต่อการกัดเซาะ

๒.๓) ใช้ดินทึบน้ำอุดตามรอยแยก เพื่อป้องกันการกัดเซาะภายใน (Piping) นอกจากรอยแยกใหญ่จึงอุดด้วยคอนกรีต ซึ่งไม่เพียงพอ

๒.๔) ไม่มีส่วนที่จะรับน้ำซึ่งไหลผ่านหินฐานราก และแนวอัคฉีดได้เพียงพอ และปล่อยให้ไหลออกอย่างปลอดภัย

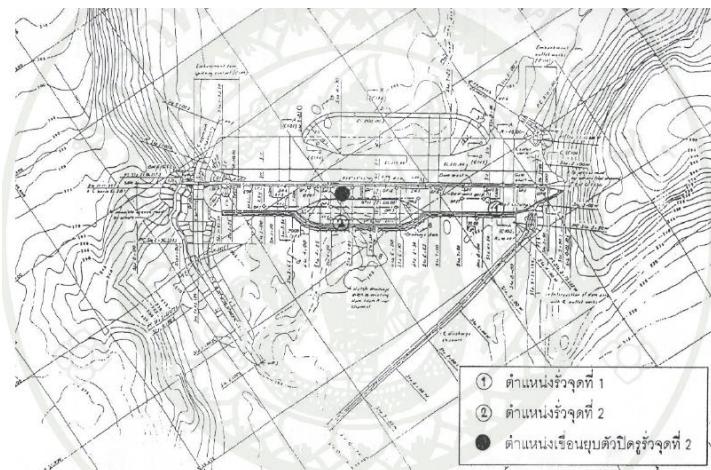
พฤติกรรมการกัดเซาะที่คาดว่าเกิดขึ้นที่กันร่องแกนของเขื่อน Teton ภัยพิบัติครั้งนี้ยังผลให้เกิดความเสียหายติดเป็นมูลค่ากว่า ๑,๐๐๐ ล้านเหรียญสหรัฐ เทียบกับราคาก่อสร้าง ๓๙.๕ ล้านเหรียญ คนเสียชีวิต ๑๑ คน บาดเจ็บ ๘๐ และ สูญหาย ๑๓๕ คน

เขื่อน Fontenelle มลรัฐไวโอมิง สหรัฐอเมริกา ค.ศ. ๑๙๖๕ เป็นเขื่อนดินแบ่งส่วน (Zoned Earth Dam) สูง ๔๐ เมตร เกิดน้ำซึมผ่านที่ปักฝังขา เมื่อน้ำซึมระดับเก็บกัก ได้มีอัคฉีดน้ำปูนและคายตราชารอย่างใกล้ชิด หลายเดือนผ่านมา มีน้ำซึมเกิดขึ้นอีก โดยมีปริมาณถึง ๑๐ – ๑๒ ล้านแกลลอนต่อวัน ทำให้เกิดเป็นรูทางด้านลาดเขื่อนท้ายน้ำแต่เมื่อการระบายน้ำออกจากอ่างได้อย่างรวดเร็วทั่วเขื่อนจึงไม่อนันตราย ดังภาพที่ ๒๔



ภาพที่ ๒๔ เขื่อน Fontenelle เกิดการพิบติจากการกัดเซาะภายใน

เขื่อนมูลบุน อ.ครบรุ จ.นครราชสีมา เป็นเขื่อนดินเนื้อเดียว (Homogeneous) สูง ๓๒ เมตร ในช่วงปีแรกของการใช้งานมีน้ำไหลเข้าอ่างน้อยมาก จนเป็นดินมา ในเดือนตุลาคม ๒๕๓๓ มีพายุฝนจากไต้ฝุ่นทำให้มีน้ำไหลเข้าอ่างในช่วง ๑๙ วัน มากกว่า ๑๐๐ ล้าน ลบ.ม. ทำให้เกิดรั่วผ่านใต้ฐานเขื่อนมาไหลออกที่ดินเขื่อน ๒ แห่ง โดยมีการพัดพาเอาดินตะกอนออกมาพร้อมน้ำถึง ๒ - ๖ ลบ.ม. ต่อวินาที ได้มีความพยายามที่จะอุดรั่วด้วยวิธีต่างๆ และลดระดับน้ำในอ่างโดยวิธีการลอกน้ำ โดยใช้เวลาประมาณ ๑๐ วัน จึงสามารถควบคุมปริมาณน้ำที่รั่วให้อยู่ในระดับปลอดภัย ดังภาพที่ ๒๕



ภาพที่ ๒๕ ตำแหน่งการรั่วซึมของเขื่อนมูลบุนก่อนการปรับปรุง

ที่มา : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (๒๕๔๐)

สาเหตุของการชำรุดเสียหายสรุปได้ดังนี้ คือ

- ๑) การรั่วของเขื่อนเกิดจากการกัดเซาะใต้ฐานรากเขื่อน เนื่องจากเขื่อนไม่มีร่องแกนแต่ใช้ลักษณะด้านหนึ่งน้ำ ทำหน้าที่ยึดทางเดินของน้ำออกไป
- ๒) ชั้นกรองด้านท้ายน้ำไม่สามารถรับน้ำและระบายน้ำที่ไหลผ่านดินฐานรากได้เพียงพอ
- ๓) จุดรั่วซึมเป็นบริเวณลำน้ำเดิมและลำน้ำที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแนวทางลำน้ำทำให้มีแตกต่างรายละเอียดอยู่เป็นแนวโน้มทางไหลของน้ำได้ดี

การแก้ไขซ่อมแซมใช้งบประมาณกว่า ๓๐๐ ล้านบาท เมื่อเทียบกับราคาค่าก่อสร้างครั้งแรกราว ๑๕๐ ล้านบาท

## ตัวอย่างการพังเนื่องจากการทรุดตัวทั่วทั้งกันของตัวเขื่อนและฐานราก

เขื่อน Baldwin Hills มาร์ชแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา เป็นเขื่อนสี่ด้านล้อมอ่างเก็บน้ำอยู่บนยอดเขา ส่วนสูงประมาณ ๔๐ เมตร เขื่อนสร้างในปี ค.ศ. ๑๙๔๕ – ๑๙๔๗ แต่ใน ค.ศ. ๑๙๖๓ เกิดการร้าวซึมจากการเคลื่อนตัวและยุบของรอยแตกของหิน ซึ่งตรวจพบแล้วหลังการก่อสร้าง แต่วิศวกรและนักธรณีรายงานว่าไม่น่าจะมีการเคลื่อนตัว โชคดีที่ไม่มีการตรวจพบการร้าวซึมที่ผิดปกติก่อนเพียง ๓ – ๔ ชม. ก่อนการพัง จึงได้มีการอพยพผู้คนออกไปจากบริเวณได้ จึงมีผู้เสียชีวิตเพียง ๕ คน ค่าเสียหาย ๕๐ ล้านเหรียญสหรัฐ เทียบกับค่าก่อสร้าง ๔.๕ ล้านเหรียญ ดังภาพที่ ๒๖



ภาพที่ ๒๖ การพิบัติของเขื่อน Baldwin Hill

## ตัวอย่างการพิบัติจากการถล่มของลาดเขื่อน

เขื่อน North Ridge ในแคนนาดา ปี ค.ศ. ๑๙๕๓ ในขณะกำลังก่อสร้างเหลือเพียงเล็กน้อย ก็จะเสร็จแล้ว เกิดรอยแตกบนลาดเขื่อน ทั้งด้านหนึ่งอ่นน้ำและท้ายน้ำ กว้างสูงสุด ๖ นิว ลีก ๑๘ ฟุต และ ๒๒ ฟุต ทางด้านหนึ่งอ่นน้ำและท้ายน้ำ ตามลำดับ นอกจากนั้นที่ต้นเขื่อนก็มีรอยโป่งของดินฐานรากการเคลื่อนตัวของลาดทางด้านท้ายทางด้านแนวราบถึง ๔.๕ ฟุต และแนวตั้ง ๐.๗ ฟุต การแก้ไขทำโดยการหยุดการก่อสร้างแล้ว มีการบดอัดคันดินเพิ่มขึ้นที่ต้นลาดที่สองข้างของเขื่อน (Counter Weight Berm) ภายหลังเมื่อความดันน้ำในตัวเขื่อนซึ่งวัดได้จาก Piezometer ได้ลดลงแล้ว จึงมีการก่อสร้างต่อจนเสร็จสมบูรณ์ โดยไม่มีความเสียหายอีก

เขื่อน Great Western มาร์ชโคโลราโด สหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. ๑๙๔๕ เขื่อนสูง ๔๐ ฟุต ได้มีการเพิ่มความสูงของเขื่อนขึ้นเล็กน้ำ้าจากการระดับเดิม จึงเกิดการเคลื่อนพังไปยังด้านท้ายน้ำ เมื่อระดับน้ำขึ้นสูงสุด แนวเคลื่อน พาดผ่านผิวของลาดหนึ่งอ่นน้ำ ไปจนดินฐานรากของด้านท้ายน้ำ โดยทำลายท่ออดส่งน้ำผ่านเขื่อน แต่น้ำยังไม่ไหลทะลักจึงมีการลดระดับน้ำอย่างรวดเร็วโดยใช้กลักน้ำ (Siphon) ทำให้ลดระดับน้ำลงได้ประมาณ ๑ ฟุต ต่อวัน ในขณะที่ดินในบริเวณที่พังก็เคลื่อนที่ลงทางด้านท้ายน้ำประมาณฟุตต่อวันเช่นเดียวกัน แต่ในที่สุดก็สามารถควบคุมได้ และชอมแซมแก้ไขจนใช้งานได้อีก

เขื่อน Carsington ที่เมือง Derbyshire ในประเทศอังกฤษสูง ๓๕ เมตร ออกแบบให้จุ่น้ำได้ ๓๕ ล้าน ลบ.ม. ในเดือนมิถุนายน ค.ศ. ๑๙๔๕ ขณะที่กำลังก่อสร้างใกล้เสร็จ ได้เกิดรอยแตกบนสันเขื่อนและในวันต่อมาได้มีการเคลื่อนพังของลาดเขื่อนเป็นทางยาวประมาณ ๕๐๐ เมตร ทางด้านหนึ่งอ่นน้ำ จนเห็นว่าเป็นแนวการพิบัติเกิดขึ้นลึกลงไปถึงผิวน้ำระหว่างหัวตัวเขื่อนและดินฐานรากและมีลักษณะเป็นเส้นโค้งผสมกับเส้นตรงในบางส่วน ซึ่งพบว่าดินเดิมซึ่งมีคุณสมบัติเป็นดินแข็งแรงต่ำกว่าที่ใช้ในการออกแบบ ในระหว่างการก่อสร้างวิศวกรที่ปรึกษาของบริษัทรับเหมา ก่อสร้างได้ทำการวิเคราะห์ความมั่นคง และได้ผลว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำกว่าที่ออกแบบไว้แล้วได้เสนอต่อผู้ออกแบบ แต่ก็ไม่ได้มีการแก้ไขให้ดีขึ้น ผู้รับเหมายังเสนอว่าควรมีการขุดลอกหน้าดินอ่อนที่ฐานรากออกไปอีก แต่วิศวกรมีความเห็นที่แตกต่าง

## ตัวอย่างการพิบัติจากแผ่นดินไหว

เขื่อน Lower San Fernando มลรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ปี ก.ศ. ๑๙๗๑ เป็น Hydraulic Fill สูง ๔๕ เมตร ยาว ๖๖๓ เมตร เกิดแผ่นดินไหวขนาด ๖.๖ มาตรา里ชเตอร์ ทำให้เกิด Liquefaction ตัวเขื่อนถล่มลงในอ่างเป็นระยะ ๔๔๐ เมตร ทำให้คนเสียชีวิต ๖๔ คน ภายนหลังมีการสำรวจพบว่า ฐานรากและตัวเขื่อนสันด้วยความเร่งในแนวราบเฉลี่ย ๐.๓๘ ๔. เปรียบเทียบกับที่ออกแบบไว้ ๐.๑๕ ๔. โดยมีอัตรส่วนปลดอดภัย ๑.๐๑



ภาพที่ ๒๗ การพิบัติของลادเขื่อนด้านหนึ่งน้ำของเขื่อน Lower San Fernando เนื่องจากแผ่นดินไหว  
ที่มา: [www.emporia.edu/.../dahms3/san\\_fernando3.jpg](http://www.emporia.edu/.../dahms3/san_fernando3.jpg)

เขื่อน Manase ญี่ปุ่น ก.ศ. ๑๙๖๔ เป็นเขื่อนดินและหินสูง ๖๖.๕ เมตร เกิดแผ่นดินไหวที่มีชื่อว่า “Niigata Earthquake” ขนาด ๗.๕ มาตรา里ชเตอร์ ห่างจากตัวเขื่อน ๑๔๔ กิโลเมตร ตัวเขื่อนได้รับความเสียหายและปริมาณน้ำซึมผ่านมากขึ้น แต่ก็สามารถซ่อมแซมได้

## ตัวอย่างการพิบัติจากการกัดเซาะของดินกระเจาด้วยตัว

เขื่อนลำเชียงไกร เขื่อนลำสำราญ จังหวัดนครราชสีมา, เขื่อนกำปือ จังหวัดสุรินทร์, เขื่อนห้วยสวยงาม จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นเขื่อนขนาดกลางและขนาดเล็ก ความสูง ๑๐, ๑๕, ๑๐ และ ๘ เมตรตามลำดับ เกิดการกัดเซาะจากน้ำฝน ทั้งๆที่ยังไม่ได้ใช้งาน จนบางเขื่อนมีรอยร้าวใหญ่จนเขื่อนใช้การไม่ได้ลักษณะดินเป็นดินราย ความเหนียวตัว และมีประจุบวกมีโซเดียมปูนอยู่มาก ซึ่งทำให้ดินสามารถพุ่งกระจายในน้ำได้ดี จึงสามารถถูกกัดเซาะจากน้ำฝนได้รวดเร็ว จึงได้มีการระวังการเลือกวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเขื่อนจะต้องมีการตรวจสอบการพังกระจาย (Dispersive Test) เขื่อนดังกล่าวได้ทำการแก้ไขซ่อมแซม โดยใช้ปูนขาวผสมในดินบดอัดเพื่อให้เคลเซียมไปแทนที่โซเดียมในดินลดความแตกตัวลง และยังใช้ทรายและกรวดปูผิวนอกของเขื่อนเพื่อรองไม่ให้เม็ดดินถูกชะออกจากการเขื่อนได้

## ๒.๕ ปัญหาต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้เขื่อนพังหรือเสียหาย

การติดตามตรวจสอบและตรวจวัดพฤติกรรมต่างๆ ของตัวเขื่อน (Dam Monitoring) อย่างต่อเนื่องทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงและความผิดปกติต่างๆ ที่อาจเป็นสาเหตุทำให้เขื่อนเกิดความเสียหายและอาจถึงขั้นพังทลายต่อไปได้ ผู้ที่จะทำการตรวจสอบหรือเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบในการบำรุงรักษาเขื่อนและการประกอบ ควรเป็นผู้ที่เอาจริงเอาจัง มีความเชี่ยวชาญ และรู้จักสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสียหายรวมทั้งลักษณะของการชำรุดเสียหายเป็นอย่างดี ต้องหมั่นค่อยสังเกตความผิดปกติต่างๆ อย่างสม่ำเสมอ การศึกษาความเสียหายรวมทั้งปัญหาที่ทำให้เกิดความเสียหายนั้นๆ สามารถศึกษาได้จากเขื่อนที่ได้รับความเสียหายหรือพังทลายมาแล้วในอดีต ซึ่งจะทำให้เกิดความเข้าใจในมูลเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายเหล่านั้นเป็นอย่างดี หัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงสาเหตุและปัญหาสำคัญต่าง ๆ ที่เป็นต้นเหตุทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวเขื่อนและการประกอบได้

## ๑) ปัญหาที่ฐานรากเขื่อน (Foundation Problems)

ฐานรากเขื่อนเป็นบริเวณที่มีความสำคัญมากที่สุดส่วนหนึ่ง ทั้งนี้เพราะหากมีความบกพร่อง หรือจุดอ่อนเกิดขึ้นในส่วนใดส่วนหนึ่งของฐานราก ก็อาจเป็นสาเหตุทำให้ตัวเขื่อนได้รับความเสียหายหรือพังทลายลงได้ ความบกพร่องหรือจุดอ่อนที่ฐานรากมีสาเหตุมาจากการลักษณะและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของฐานรากว่าความแข็งแรงมากน้อยเพียงไร มีความทึบนำเพียงพอหรือไม่ หรือได้รับการปรับปรุงฐานรากระหว่างการก่อสร้างเพียงพอหรือไม่ สิ่งบกพร่องเหล่านี้อาจมีความบกพร่องที่ฐานรากเขื่อนเกิดขึ้นแล้ว ได้แก่ เกิดการทรุดตัวที่ไม่เท่ากัน (Differential Settlement) ของตัวเขื่อน, เกิดการเลื่อน (Sliding) ของตัวเขื่อน, ค่าแรงดันน้ำในตัวเขื่อน (Pore Water Pressure) ขึ้นสูงผิดปกติ, มีปริมาณน้ำซึมหรือน้ำรั่ว (Seepage or Leakage) มากกว่าปกติ หรืออาจมีรอยแตก (Cracks) เกิดขึ้นที่บริเวณตัวเขื่อน เป็นต้น

การทรุดตัวของตัวเขื่อนและฐานราก หรือรอยแตกร้าวที่ตัวเขื่อน อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการยุบตัวของดินหรือหินฐานรากที่รับน้ำหนักมากเกินไปหรือดินชั้นล่างยุบตัวลงไปเมื่อถูกน้ำ ซึ่งลักษณะของการยุบตัว เช่นนี้มักเกิดขึ้นกับฐานรากเขื่อนที่เป็นวัสดุจำพวกทราย (Sand) หรือ Silt ที่มีความหนาแน่นน้อยและมีความชื้นต่ำ การทรุดตัวของเขื่อนเนื่องจากสาเหตุดังกล่าวนี้ อาจจะเป็นอันตรายมากยิ่งขึ้น หากวัสดุที่ใช้ก่อสร้างตัวเขื่อนเป็นดินที่มีค่าแรงยึดเกาะ (Cohesive Strength) ต่ำ

การรั่วซึมที่ฐานรากเขื่อน (Foundation Seepage) จะเป็นสาเหตุให้เกิดการกัดเซาะ (Erosion) วัสดุฐานรากเขื่อนได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุเม็ดละเอียดจะถูกพัดพาไปทำให้ฐานรากเขื่อนอยู่ในสภาวะที่ไม่มั่นคงที่จะรับน้ำหนักจากตัวเขื่อน การตรวจสอบเบื้องต้นสามารถกระทำได้ โดยการสังเกตปริมาณน้ำรั่วซึม (Seepage Water) ที่มีอัตราเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หรือการเก็บตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ทางคประกอบของสารที่ปนมากับน้ำ เป็นต้น

การเลื่อนตัวของเขื่อน (Sliding) อาจเกิดขึ้นได้กับเขื่อนที่มีวัสดุฐานรากจำพวกที่รับแรงเฉือนได้ต่ำ หรือมีวัสดุจำพวกดินเหนียว หรือประภे� Bentonite แทรกตัวอยู่ หรืออาจเกิดขึ้นได้กับเขื่อนที่มีวัสดุฐานรากประภे�ที่น้ำซึมผ่านได้ (Pervious Materials) และไม่สามารถควบคุมอัตราการรั่วซึมและแรงยกตัว (Uplift Pressures) ให้น้อยลงหรืออยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ นอกจากนี้การเลื่อนตัวอาจเกิดขึ้นได้กับเขื่อนที่ตั้งอยู่บนรอยเดือน (Fault zones) ของหินชั้นหรือหินแปรจำพวก Shale และ Schist เป็นต้น

## ๒) ปัญหาจากการรั่วซึม (Seepage)

การรั่วซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อนหรือฐานราก เป็นปัญหาที่สำคัญ ที่มีผลโดยตรงต่อความมั่นคงปลอดภัยของเขื่อน ไม่มีผู้ใดที่อาจทราบได้แน่นอนถึงพฤติกรรมของฐานรากเขื่อนหลังจากการก่อสร้างและเริ่มเก็บกักน้ำแล้ว โดยที่รั่วไปแล้วการเก็บกักน้ำในอ่างฯจะมีผลโดยตรงทำให้เกิดการซึมซาบ (Percolation) ของน้ำ และทำให้เกิดแรงดันน้ำ (Pore Pressures) ให้ฐานรากเขื่อนได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าอ่างน้ำนั้นมีความลึกมากๆ กรณีเช่นนี้จะเกิดขึ้นไม่เฉพาะแต่บริเวณฐานรากเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นได้กับพื้นที่รอบๆ ขอบอ่างฯด้วย

น้ำที่รั่วซึมผ่านไปนี้จะพัดพาเอาส่วนประกอบของดินหรือหินติดไปด้วยซึ่งมีผลทำให้ความมั่นคงของเขื่อนลดน้อยลง และอาจสังเกตได้จากน้ำที่ซึมผ่านออกมานี้จะมีลักษณะขุ่นซึ่งแสดงว่าได้เกิดการกัดเซาะ (Erosion) ขึ้นภายในตัวเขื่อนหรือบริเวณฐานรากแล้ว การกัดเซาะนี้โดยที่รั่วไปแล้วจะมีอัตราเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็นลำดับ ทำให้ความมั่นคงของตัวเขื่อนลดลงตามไปด้วย

โดยทั่วไปแล้วน้ำที่รั่วซึมออกมานี้จะชะพาเอกสารประกอบต่าง ๆ ที่อุดตามรอยแตกของหินฐานรากเขื่อนออกໄไปด้วย ทำให้เกิดรูปทรงซึ่งถ้าเกิดการขยายตัวใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ ก็จะเป็นผลทำให้ฐานรากเขื่อนอ่อนตัวลง และทำให้การควบคุมอัตราการรั่วซึมเป็นไปยากขึ้น ซึ่งต่อไปหินฐานรากจะมีลักษณะคล้ายกับรังผึ้ง (Honeycombed Structure) และถ้าเกิดแผ่นดินไหวที่มีขนาดใหญ่ๆ ก็อาจจะทำให้เขื่อนนั้นๆ พังทลายลงมาได้

การรั่วซึมที่เกิดขึ้นที่เขื่อนดิน และเขื่อนชนิดหินทึบน้ำว่าเป็นอันตรายอย่างมาก ทั้งนี้ เพราะรูปทรงเล็กๆ ที่เกิดขึ้นในระยะเริ่มแรกนั้นจะถูกน้ำกัดเซาะให้ขยายตัวใหญ่ขึ้นได้อย่างรวดเร็วและจะทำให้เขื่อนพังทลายไปได้ในที่สุด การรั่วซึมของน้ำอาจเกิดขึ้นได้จากการอุ่นตัวของหินที่มีสภาพแปรเปลี่ยนจากการหруดตัวของเขื่อนเนื่องจากใช้สัดส่วนไม่เหมาะสม ประเภท Weak Material ก่อสร้างเชื่อนนั้น ๆ หรืออาจเกิดจากหดตัว (Shrinkage) ของแกนดินเหนียว ซึ่งเป็นวัสดุจำพวกยืดหยุ่นตัวสูง (Highly Plastic) นอกจากนี้การรั่วซึมผ่านเขื่อน อาจเกิดได้จากการขาดรูของสัตว์ต่าง ๆ หากไม่ที่เน่าเปื่อย หรือเกิดจากการรั่วซึมที่ท่อรับน้ำ/ท่อส่งน้ำที่ก่อสร้างไว้ภายในตัวเขื่อนก็ได้



ภาพที่ ๒๘ การรั่วซึม

การรั่วซึมที่เขื่อนดินหรือเขื่อนหินทึบน้ำ จะทำให้เม็ดดินหรือหินถูกกัดเซาะหรือชะล้างออกໄไป ทำให้เกิดช่องว่างหรือมีลักษณะเป็นรูปทรง (Piping) ขึ้นที่ตัวเขื่อนหรือฐานรากและทำให้เกิดแรงดันน้ำ (Pore Pressures) ภายในตัวเขื่อนขึ้นสูงผิดปกติ และเป็นผลต่อเนื่องทำให้วัสดุที่ใช้ทำเขื่อนอ่อนตัวลง (Weakening) แรงดันน้ำที่เกิดสูงผิดปกตินี้อาจเกิดขึ้นตั้งแต่ระหว่างการก่อสร้างเขื่อน จากการณวัสดุตัวเขื่อนอย่างรวดเร็ว เกินไป หรือ ทำการบดอัดดินที่มีความเปียกขึ้นเกินกว่าค่า Optimum Water Content หรือ อาจจะเกิดการรั่วซึมของน้ำผ่านส่วนของเขื่อนที่เป็น Pervious Material หรือรั่วซึมผ่านรอยต่อหินฐานราก เป็นต้น

ในการณีของเขื่อนคอนกรีต จุดที่น้ำอาจซึมผ่านໄไปได้คือบริเวณแนวของ Contraction Joints และ Construction Joints หรือตามรอยแตก (Crack) ที่ผิวคอนกรีต การระบายน้ำที่ซึมผ่านนี้จะช่วยลดแรงดันภายในที่เกิดขึ้น ทำให้ลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นต่อตัวเขื่อนได้

### ๓) ปัญหาจากการกัดเซาะ (Erosion)

เขื่อนดินและเขื่อนหินทึบน้ำ เป็นเขื่อนที่อาจได้รับความเสียหายจากการถูกกัดเซาะได้โดยง่ายหากไม่มีการป้องกันที่เพียงพอ โดยเฉพาะบริเวณลาดเขื่อนด้านหนึ่งน้ำจะถูกกัดเซาะโดยกระแสน้ำหรือคลื่น ส่วนบริเวณลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำจะถูกกัดเซาะโดยน้ำฝนที่ตกลงมาชั่วขณะของลาด การป้องกันการถูกกัดเซาะโดยทั่วไปจะใช้วิธีการเรียงหิน (Riprap) บริเวณลาดด้านหนึ่งน้ำ ส่วนบริเวณลาดด้านท้ายน้ำนั้นอาจใช้วิธีการเรียงหินหรือการปลูกหญ้าคลุมดินไว้ ทั้งนี้อาจมีการพิจารณาทำให้เป็นขั้นบันได (Berms) เพื่อตัดระยะทางและเปลี่ยนทิศทางไหลของน้ำเป็นระยะ ๆ

บริเวณอื่น ๆ ที่อาจได้รับความเสียหายเนื่องจากการกัดเซาะได้แก่บริเวณ Stilling basin, Spillway Channel และ Tailrace Channel ซึ่งควรได้รับการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ



ภาพที่ ๒๙ การกัดเซาะลาดเชื่อนและอาคารระบายน้ำล้น

#### (๔) ปัญหาจากการเคลื่อนตัวของเชื่อน (Movement)

การคาดคะเนการเคลื่อนตัวของเชื่อนและการสูญเสียรูปร่างไป (Displacement and Deformation) ให้ได้ค่าอย่างถูกต้องนั้นกระทำได้ยากมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ไม่มีข้อมูลที่ถูกต้องแน่นอนที่จะใช้อ้างอิง (Reference and Base Reading) ในช่วงของการก่อสร้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื่อนเก่าๆ ที่ก่อสร้างวันนานแล้ว และ/หรือไม่อาจทราบได้แน่นอนถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุก่อสร้าง เป็นต้น สาเหตุสำคัญที่ทำให้เชื่อมมีการเคลื่อนตัวมากผิดปกติจนเป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายขึ้น เท่าที่พบรอย豁นและควรให้ความสนใจเป็นพิเศษ มีดังนี้คือ

- ฐานรากมีความทึบน้ำไม่เพียงพอ
- เกิดรอยแตก (Crack) ในแกนทึบน้ำ (Core Zone) ของเชื่อน
- เกิดรอยแยกบริเวณแนวต่อของวัสดุโคนต่างๆ ที่ใช้คอมเขื่อน
- ฐานรากมีส่วนประกอบของหินที่ถูกน้ำชะล้างได้ง่าย เช่น พวยiyibซัม
- ผนังกันน้ำหน้าเขื่อน (Impervious Membrane) (ถ้ามี) เสื่อมสภาพ
- การปรับปรุงฐานรากไม่เพียงพอ
- เกิดการหลัดตัวของแกนดินเหนียวมากผิดปกติ ทำให้เกิดการแตกร้าว
- เชิงลาดของเชื่อนชันเกินไปและไม่มั่นคงทำให้เกิดการ Slide ได้ง่าย
- เกิดการทรุดตัวไม่สม่ำเสมอ (Differential Settlement) ที่ฐานราก
- รอยต่อระหว่างตัวเขื่อนกับเหลี่ยม (Abutment) ไม่แข็งแรงพอ
- แสดงแนวโน้มที่จะเกิด “Quick Condition” ได้ถ้าเกิดแผ่นดินไหว

สำหรับเขื่อนดินถม/หินทึ้ง ที่ไม่เหลือเชื่อนเป็นหินน้ำมีแนวโน้มที่จะเกิดการเคลื่อนตัวได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงแรกของการเก็บกักน้ำ ทั้งนี้เพราะเชิงลาดหน้าเขื่อนส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุประเภท Granular Material ซึ่งจะ omn ไว้ทำให้อิ่มตัว เป็นผลทำให้บริเวณสันเขื่อนด้านที่ติดกับเหลี่ยม (Abutment) เกิดแรงดึงและ Tension Strain ขึ้น ส่วนบริเวณกลางเขื่อนจะได้รับแรงกด (Compression) ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการแตกร้าว (Transverse Cracking) เป็นแนวยาวขนาดตามแนวลักษณะเชื่อนได้

การที่ตัวเขื่อนและฐานรากเกิดการเคลื่อนตัวไปนี้ จะส่งผลกระทบเนื่องทำให้เกิดอันตรายกับโครงสร้าง ประกอบอื่น ๆ ของเขื่อนได้ เช่น

- ผนัง Cut off wall คอนกรีตที่บริเวณเหลี่ยมจะแตกร้าว หรือถูกเฉือน (Shear)
- เกิดแรงดึง (Tensile Stress) ขึ้นที่ผิวท่อ (Conduit) ต่าง ๆ ที่ผูกอยู่ใต้ตัวเขื่อน และอาจทำให้รอยต่อ (Joints) ต่าง ๆ แยกตัวออก
- ทำให้ Shaft, อุโมงค์ หรือหอต่าง ๆ ที่อยู่ในแนวดึงภายใต้ตัวเขื่อนบิดอุ้ป เป็นต้น

### ๕) ปัญหาที่อาคารระบายน้ำล้นและอาคารระบายน้ำ (Spillway and Outlet)

จากสถิติที่ผ่านมาพบว่า การพังทลายของเขื่อนที่มีสาเหตุมาจากน้ำไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping) นั้น มีสาเหตุมาจากการระบายน้ำล้น (Spillway) และห่อระบายน้ำต่างๆ (Outlet) มีความสามารถในการระบายน้ำไม่เพียงพอ ซึ่งกรณีนี้มักจะเกิดขึ้นกับเขื่อนดิน และเขื่อนทินทึ้งโดยทั่วไป ดังนั้น ในการออกแบบอาคารระบายน้ำ จึงต้องพิจารณาคำนวณออกแบบอาคารระบายน้ำล้นให้มีขนาดและประสิทธิภาพในการระบายน้ำอย่างเพียงพอ ในกรณีฉุกเฉินหากการระบายน้ำทางอาคารระบายน้ำล้นไม่ทันการเนื่องจากปริมาณน้ำไหลลงอ่าง (Inflow) มากกว่าเกณฑ์ที่ออกแบบไว้ ก็อาจใช้อาคารระบายน้ำเพื่อการชลประทาน (Irrigation Outlet) ช่วยระบายน้ำได้ ฉะนั้นความสามารถในการระบายน้ำของอาคารทั้งสอง ดังกล่าว จึงเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะกำหนดขอบเขตหรือประสิทธิภาพในการควบคุมปริมาณของน้ำในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งควรจะต้องมีการศึกษาและทบทวน Spillway Design Flood เพื่อทบทวนและกำหนดกฎเกณฑ์ในการเปิด-ปิดอาคารระบายน้ำล้นและอาคารระบายน้ำเพื่อการชลประทานให้เหมาะสมกับสภาพปัจจุบันอยู่เสมอ และควรตรวจสอบบันทึกการใช้งานของอาคารทั้งสองที่ผ่านมาในอดีตว่ามีอุปกรณ์ส่วนใดบกพร่องหรือไม่ ผลของการใช้งานเป็นที่น่าพอใจเพียงใด เป็นต้น

สิ่งสำคัญอันดับต่อมาที่ต้องพิจารณาอย่างละเอียด นอกเหนือไปจากการวิเคราะห์ความสามารถในการระบายน้ำของอาคารระบายน้ำทั้งสองประเภท ดังกล่าวแล้วก็คือ การตรวจสอบโดยทั่วไป เช่น มีการเลื่อนไถ (Slide) ของเชิงลาดบริเวณอาคารระบายน้ำหรือไม่ มีเศษวัสดุหรือตะกอนตกค้าง และกีดขวางทางระบายน้ำ (Spillway Channel) หรือไม่ มีการกัดเซาะ (Erosion) บริเวณโดยรอบอาคารระบายน้ำหรือไม่ การตรวจหารอยแตกที่ผิวคอนกรีต และการตรวจสอบของอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ทั้งทางเครื่องกลและไฟฟ้าว่าสามารถใช้งานได้ดีหรือไม่ เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจว่าอาคารทั้งสองอยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานตลอดเวลา

สาเหตุที่อาจทำให้บานประตูระบายน้ำ, 瓦ล์คิวบคุมและอุปกรณ์ระบบเครื่องกลไฟฟ้าที่ใช้ควบคุม เกิดการติดขัดและใช้งานไม่ได้ ซึ่งต้องทำการตรวจสอบตามเกณฑ์กำหนดและระยะเวลา ได้แก่

- เกิดการเลื่อนตัว (Displacement) ของอาคารระบายน้ำ
- เกิดสนิม ชิ้นส่วนบางอย่างฉีกขาด หรือแตกร้าว หรือเสื่อมสภาพไป
- ชิ้นส่วนในระบบเครื่องกลบางอย่างเคลื่อนตัวไปจากตำแหน่งเดิม
- เกิดการติดขัดเนื่องจากไม่เคยใช้งานมาเป็นเวลานาน
- ขาดการดูแลใส่รักษาหล่อลิ่น
- การใช้งาน (Operate) ที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ
- ระบบไฟฟ้าหรือเครื่องกลบกพร่อง

### ๖) ปัญหาที่อ่างเก็บน้ำ

สาเหตุหรือสถานการณ์ที่เกิดขึ้นรายในบริเวณอ่างเก็บน้ำ ที่อาจเป็นสาเหตุทำให้เขื่อนเสียหาย ได้แก่ แผ่นดินเลื่อน (Sliding) คลื่นที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นดินไหวหรือแผ่นดินเลื่อน การกัดเซาะของน้ำบริเวณขอบอ่างเก็บน้ำ หรืออ่างฯไม่อยู่เนื่องจากน้ำซึมออกໄไปได้ เป็นต้น

การตรวจสอบว่าอ่างเก็บน้ำเกิดความเสียหายหรือมีความบกพร่องอย่างไรหรือไม่ กระทำได้โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายทางดาวเทียม แผนที่ทางหลวงวิทยาของบริเวณนั้น แผนที่ภูมิประเทศ และรายงานวิจัยที่จัดทำก่อนการสร้างเขื่อน ทั้งนี้ต้องทำการออกแบบตรวจสอบสภาพจริง ๆ รอบอ่างเก็บน้ำด้วย

โดยปกติแล้วน้ำในอ่างเก็บน้ำย่อมร่วมซึมกับไปบ้าง การที่จะตรวจหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการร่วมซึม ว่ามากขึ้นเพียงใดนั้น เป็นงานที่ค่อนข้างยาก การร่วมซึมของอ่างน้ำจะเกิดกับพื้นดินกันอ่างที่มีลักษณะค่อนข้างอ่อนตัว หรือเป็นหินที่เกิดจากการตกตะกอนของดินหรือทราย เช่น พากหินปูน สิ่งที่จะบ่งชี้ว่าเกิดการร่วมซึมมากผิดปกติคือ การวัดปริมาณการร่วมซึมได้มากขึ้น ระดับน้ำใต้ดินเปลี่ยนแปลงอย่างผิดสังเกต ระดับน้ำในอ่างฯลดลงผิดปกติ หรือเกิดบ่อน้ำพุขึ้นใหม่ในบริเวณข้างเคียง เป็นต้น

การกัดเซาะของน้ำบริเวณรอบ ๆ อ่างเก็บน้ำ เป็นเรื่องปกติธรรมชาติ อย่างไรก็ตามคลื่นที่กัดเซาะ ฝั่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ดินบนฝั่งเสียสมดุลย์เป็นเหตุให้เกิดการเลื่อนโกล (Land slide) ของดินริมฝั่งได้ เป็นต้น



ภาพที่ ๓๐ การเลื่อนโกลในอ่างเก็บน้ำ

#### ๗) ปัญหาจากการเกิดแผ่นดินไหว

แผ่นดินไหวอาจมีผลกระทบต่อเขื่อน อาคารประกอบ หรือ Slopes ดินและหินต่าง ๆ ได้ โดยเฉพาะอาคารที่อยู่ในบริเวณ Tectonic Zone เช่น ประเทศญี่ปุ่น รัฐカリฟอร์เนียในสหรัฐ ซึ่งถ้าเกิดความรุนแรงเกินกว่าที่อาคารถูกออกแบบให้รับแรงจากแผ่นดินไหวไว้ก็อาจจะเกิดความเสียหายหรือเกิดจุดอ่อนขึ้นที่พร้อมจะชำรุดเสียหายในโอกาสต่อไปถ้าการเหล่านั้นมีบางแห่งล้มลงแล้วแรงลงไป หลังจากการใช้งานอาคารที่ตั้งอยู่ในบริเวณ Tectonic ส่วนใหญ่จะต้องพิจารณาออกแบบให้รับแรงจากแผ่นดินไหวได้อย่างเพียงพอ ในเชิงวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์หรือในบริเวณที่ไม่ใช่ Tectonic Zone ก็ควรต้องพิจารณาแนวโน้มที่อาจจะเกิดขึ้นและออกแบบเพื่อไว้ การเก็บน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่บางแห่งที่มีลักษณะฐานรากไม่ดีพอ ก็อาจจะทำให้เกิดแผ่นดินไหวได้ แต่ความรุนแรงโดยทั่วไปแล้วไม่มากและมักจะเกิดในช่วงแรกของการเก็บกักน้ำ

#### ๒.๖ การบริหารความเสี่ยง

หมายถึง กระบวนการที่เป็นระบบในการบริหารปัจจัยและความคุ้มกิจกรรม รวมทั้งกระบวนการการดำเนินการต่างๆ เพื่อลดภัยเหตุของอุบัติเหตุที่จะทำให้เกิดความเสียหายจากการดำเนินการที่ไม่เป็นไปตามแผน เพื่อให้ระดับของความเสี่ยงและผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ ควบคุมได้ และตรวจสอบได้อย่างเป็นระบบ โดยในการดำเนินการบริหารความเสี่ยงนั้น มุ่งเน้นแผนงาน/โครงการที่สำคัญ ซึ่งผลสำเร็จของแผนงาน/โครงการมีผลกระทบสูงต่อการบรรลุความสำเร็จตามประเด็นยุทธศาสตร์

หลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์ ประเมิน และจัดการความเสี่ยงอย่างเหมาะสม ตามกระบวนการบริหารความเสี่ยงตามมาตรฐาน COSO (Committee of Sponsoring Organization of the Tread way Commission) คือ

๑. กำหนดเป้าหมายการบริหารความเสี่ยง (Objective Setting)
๒. การระบุความเสี่ยงต่างๆ (Event Identification)

๓. การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment)
๔. กลยุทธ์ที่ใช้ในการจัดการกับแต่ละความเสี่ยง (Risk Response)
๕. กิจกรรมการบริหารความเสี่ยง (Control Activities)
๖. ข้อมูลและการสื่อสารด้านบริหารความเสี่ยง (Information and Communication)
๗. การติดตามผลและเฝ้าระวังความเสี่ยงต่างๆ อาจพิจารณาจากปัจจัยหลายด้าน เช่น

- ความเสี่ยงด้านกลยุทธ์ (Strategic Risk : S) เกี่ยวข้องกับการบรรลุเป้าหมายและพันธกิจในภาพรวม โดยความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นเป็นความเสี่ยงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์และเหตุการณ์ภายนอก ส่งผลต่อกลยุทธ์ที่กำหนดไม่สอดคล้องกับประเด็นยุทธศาสตร์/วิสัยทัศน์ หรือเกิดจากการกำหนดกลยุทธ์ที่จากการมีส่วนร่วมจากภาคประชาชนหรือการร่วมมือกับองค์กรอิสระ ทำให้โครงการขาดการยอมรับและโครงการไม่ได้นำไปสู่การแก้ไขปัญหาหรือการตอบสนองต่อความต้องการของผู้รับบริการหรือผู้มีส่วนได้เสียอย่างแท้จริง หรือเป็นความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากการตัดสินใจที่ผิดพลาด หรือนำการตัดสินใจนั้นมาใช้อย่างไม่ถูกต้อง

- ความเสี่ยงด้านการดำเนินงาน (Operational Risk : O) เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพ ประสิทธิผลหรือผลการปฏิบัติงาน โดยความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นเป็นความเสี่ยงเนื่องจากระบบทุกภาคในขององค์กร/กระบวนการ/เทคโนโลยีหรืออุปกรณ์ที่ใช้/บุคลากร/ความเพียงพอของข้อมูล ส่งผลต่อประสิทธิภาพ และประสิทธิผลในการดำเนินโครงการ

- ความเสี่ยงด้านการเงิน (Financial Risk : F) เป็นความเสี่ยงเกี่ยวกับการบริหารงบประมาณ และการเงิน เช่น การบริหารการเงินไม่ถูกต้อง ไม่เหมาะสม ทำให้ขาดประสิทธิภาพและไม่ทันต่อสถานการณ์ หรือเป็นความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการเงินขององค์กร เช่น การประมาณการงบประมาณไม่เพียงพอและไม่สอดคล้องกับขั้นตอนการดำเนินการ เป็นต้น เนื่องจากขาดการจัดทำข้อมูล การวิเคราะห์ การวางแผน การควบคุม และการจัดทำรายงานเพื่อนำมาใช้ในการบริหารงบประมาณ และการเงินดังกล่าว

- ความเสี่ยงด้านการปฏิบัติตามกฎหมาย/กฎระเบียบ (Compliance Risk : C) เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติตามกฎหมาย/กฎระเบียบต่างๆ โดยความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นเป็นความเสี่ยงเนื่องจากความไม่ชัดเจน ความไม่ทันสมัย หรือความไม่ครอบคลุมของกฎหมาย กฎระเบียบข้อบังคับต่างๆ รวมถึงการทำนิติกรรมสัญญา การร่างสัญญาที่ไม่ครอบคลุมการดำเนินงาน

## ๒.๗ คำนิยามของ Risk

ความเสี่ยง หมายถึง โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด ความเสียหาย การรั่วไหลของความลับหรือเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ ซึ่งอาจเกิดขึ้นในอนาคต และมีผลกระทบหรือทำให้การดำเนินงานไม่ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ เป้าประสงค์ และเป้าหมายขององค์กร ทั้งในด้านยุทธศาสตร์การปฏิบัติงาน การเงิน และการบริหาร ซึ่งอาจเป็นผลผลกระทบทางบวกด้วยก็ได้ โดยการวัดจากผลกระทบ (Impact) ที่ได้รับ และโอกาสที่จะเกิด (Likelihood) ของเหตุการณ์ ([www.lpc.rmutl.ac.th/plan/data/published/content.doc](http://www.lpc.rmutl.ac.th/plan/data/published/content.doc))

ความเสี่ยง จำแนกได้ ๕ ลักษณะ

๑) Strategic Risk – ความเสี่ยงที่เกี่ยวของในระดับยุทธศาสตร์ เช่น การเมือง เศรษฐกิจ กฎหมาย ตลาด ภาพลักษณ์ ผู้นำ ชื่อเสียง ลูกค้า เป็นต้น

๒) Operational Risk – ความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องระดับปฏิบัติการ เช่น กระบวนการ เทคโนโลยี และ คานในองค์กร เป็นต้น

๓) Financial Risk – ความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับด้านการเงิน เช่น การผันผวนทางการเงินสภาพคล่อง อัตราดอกเบี้ย ข้อมูลเอกสารหลักฐานทางการเงิน และการรายงานทางการเงินบัญชี เป็นต้น

๔) Hazard Risk – ความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องในด้านความปลอดภัย จากอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน เช่น การสูญเสียทางชีวิตและทรัพย์สินจากภัยพิบัติทางธรรมชาติ และการก่อการร้าย เป็นต้น

International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (๒๐๐๕) นิยามว่า ความเสี่ยง (Risk) คือ โอกาสในการสูญเสียจากเหตุการณ์หนึ่ง เช่น ความสูญเสียต่อเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม สิ่งปลูกสร้าง และสังคม โอกาสในการสูญเสียนี้ขึ้นอยู่กับระดับความเสียหาย (Vulnerability) และมูลค่าความเสียหายนั้น (Amount) ในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจต่อชีวิตประชากรที่อาศัยอยู่ด้านท้ายน้ำเป็นสำคัญ ความเสียหายในที่นี้จึงเป็นความเสียหายต่อชีวิต ดังนั้นหากใช้หลักการของการประเมินความเสี่ยง ความเสี่ยงของเขื่อนใดๆ จะมีเท่ากับความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\text{ความเสี่ยง (Risk)} = \text{โอกาสเกิดการพิบัติ (Probability of event)} \times \text{ระดับความเสียหาย (Vulnerability)} \\ \times \text{ปริมาณเสียหาย (Amount)} \quad (๑)$$

$$\text{คะแนนความเสี่ยง} = \text{คะแนนจากปัจจัยที่เกี่ยวเนื่องกับโอกาสการพิบัติ (F)} \times \text{คะแนนจากปัจจัยด้านความ} \\ \text{สูญเสีย (N)} \quad (๒)$$

โดย  $F = \text{โอกาสเกิดการพิบัติ (Probability of event)}$

$N = \text{ระดับความเสียหาย (Vulnerability)} \times \text{ปริมาณเสียหาย (Amount)}$

## ๒.๔ ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเสี่ยงของเขื่อน

### ๑) ปัจจัยที่เกี่ยวเนื่องกับการพิบัติ (Probability of failure)

๑.๑) เหตุการณ์เริ่มต้น อันตรายของภัยพิบัติทางธรรมชาติโดยเฉพาะแผ่นดินไหวคือ การไม่สามารถทำงานได้ สถานที่และความรุนแรงได้ เขื่อนจะมีความเสี่ยงการพิบัติจากแผ่นดินไหวมากเท่าใดขึ้นอยู่ กับประเภทของเขื่อน ลักษณะที่ตั้งได้แท่หลักฐานทางธรณีวิทยาที่ปัจจุบันนี้การเกิดแผ่นดินไหวในอดีต ระยะทาง ระหว่างเขื่อนกับแหล่งกำเนิดแผ่นดินไหว ความลึกของจุดกำเนิด ความรุนแรงของแผ่นดินไหว และ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแรงแผ่นดินไหวเช่น Peak ground motion และ Acceleration time histories ซึ่ง ปริมาณความเสียหายขึ้นอยู่กับความสูงและปริมาณเก็บกักของเขื่อนในขณะนั้น นอกจากนี้ลักษณะทาง ภูมิศาสตร์ก็มีส่วนเอื้อต่อการเพิ่มปริมาณความเสียหายด้านท้ายน้ำ

๑.๒) ชนิดของเขื่อน โอกาสเกิดความเสียหายขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของวัสดุ ตามตัวเขื่อน ตามลักษณะทางธรณีวิทยาบริเวณนั้น วัสดุที่ใช้อาจสัมพันธ์กับระดับความสูงที่ต้องการและเป็นไป ตามเหตุผลด้านการรับแรง

๑.๓) อายุของเขื่อน บ่งบอกถึงระยะเวลาการใช้งานเขื่อนอาจกล่าวได้ว่า ความแข็งแรงของ เขื่อนอาจจะมีค่าลดลงตามเวลาหากไม่ได้รับการดูแลบำรุงรักษาอย่างถูกต้อง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นความเสียหาย เล็กๆน้อยๆ ที่สามารถพบได้ด้วยการตรวจสอบ (Visual inspection)

## ๒) ปัจจัยที่เกี่ยวกับความสูญเสีย (Vulnerability)

๒.๑) ความสูงของเขื่อน มีความสัมพันธ์กับปริมาณเก็บกักและความสูญเสีย เขื่อนที่สูงย่อมมีปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำมากซึ่งหากเกิดการพิบติ แรงดันน้ำหน้าเขื่อนจะส่งผลต่อความเร็วในการไหลท่วมท้ายน้ำ

๒.๒) ปริมาณเก็บกัก หากเขื่อนมีความสูงและพื้นที่รับน้ำมากอีกทั้งภูมิประเทศเอื้อต่อการไหลของน้ำ ปริมาณความสูญเสียด้านท้ายน้ำอาจมีความสัมพันธ์กับปริมาณเก็บกัก ในที่นี่พิจารณาการเก็บกักที่ระดับน้ำปากติ

## ๓) ปัจจัยวัดปริมาณความเสียหาย (Amount)

๓.๑) เวลาในการขยายช่องเปิด (Breach formation time) คือ เวลาที่เขื่อนเริ่มถูกกดเซาะให้เป็นโพรง ทำให้น้ำเริ่มไหลออกจากอ่างเก็บน้ำ โพรงนั้นจึงขยายใหญ่ขึ้นจนน้ำไหลออกได้สะดวกจนขนาดโพรงไม่ขยายเพิ่มขึ้นอีก เรียกว่า การถูกกดเซาะอย่างสมบูรณ์ (Fully Breached) Froehlich (๑๙๘๕) ศึกษาเวลาในการพิบติ ( $t_f$ ) ในช่วงโมง โดยวิเคราะห์จากข้อมูลเขื่อนพิบติ ๖๓ กรณี และเสนอสมการดังต่อไปนี้

$$t_f = 0.0024 V_w^{0.45} H_b^{-0.19} \quad (๓)$$

เมื่อ  $t_f$  = เวลาในการพิบติ (ชั่วโมง)

$V_w$  = ปริมาณน้ำที่เก็บกักไว้ขณะเขื่อนพิบติ (ลูกบาศก์เมตร)

$H_b$  = ความสูงของน้ำจากระดับท้อง Beach (เมตร)

๓.๒) ระยะทางระหว่างตัวเขื่อนกับแหล่งชุมชนท้ายน้ำ จัดจากตัวเขื่อนเป็นตามลำดับจังหวึงแหล่งชุมชนแรกด้านท้ายน้ำเป็นระยะทางจริง แสดงตัวอย่างการวัดระยะทางดังภาพที่ ๑ ซึ่งจะคัดเลือกเฉพาะเขื่อนที่มีแหล่งชุมชนอยู่ใกล้ไม่เกิน ๑๕ กิโลเมตร เนื่องจากสมมติให้ประชากรสามารถอพยพหนีได้ภายใน ๓๐ นาที เมื่อน้ำเดินทางด้วยความเร็ว ๓๐ กิโลเมตรต่อชั่วโมง

๓.๓) จำนวนประชากรที่ได้รับผลกระทบ เป็นจำนวนประชากรบริเวณชุมชนแรก ที่มีความเสี่ยงจากน้ำไหลท่วมที่อยู่อาศัยจนถึงขั้นสูญเสียชีวิต ภาพที่ ๓๑ แสดงแนวคิดในการหาจำนวนประชากรที่ได้รับผลกระทบในแต่ละหมู่บ้าน



ภาพที่ ๓๑ แผนที่ภูมิประเทศของพื้นที่ท้ายน้ำ แสดงการวิเคราะห์ระยะทางที่น้ำเดินทางถึงหมู่บ้านและแนวทางการหาจำนวนประชากรที่ได้รับผลกระทบ

## ๔.๙ ความเป็นมาของการวิเคราะห์ความเสี่ยงของเขื่อน

Bowles et al. (๑๙๘๕) กล่าวว่า การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) และการจัดการความเสี่ยง (Risk Management) เป็นความรู้ที่มาจากการจัดการความเสี่ยงที่มีต่อสิ่งแวดล้อม (Risk

Environmental) ของเขื่อน การประเมินความเสี่ยงถูกประยุกต์ใช้กับเขื่อนในหลายด้าน เช่น การพิจารณา ความเสี่ยงในด้านวิศวกรรม สังคม และเศรษฐศาสตร์ระดับประเทศ

ใน ค.ศ.ปี ๑๙๗๖ การพิบัติของเขื่อน Teton และเขื่อน Taccoa Falls ประเทศสหรัฐอเมริกา ทำให้ประธานาธิบดีจิมมี่ คาร์เตอร์ แนะนำให้ Federal Emergency Management Agency (FEMA) ดำเนินการ จัดการวิเคราะห์โอกาสเกิดหรือระดับความเสี่ยง ในกระบวนการคัดเลือกพื้นที่ (Site Selection) ออกแบบ (Design) ก่อสร้าง (Construction) และการใช้งาน (Operation)

ในปี ค.ศ.๑๙๘๑ British Columbia's Hydro (BC. Hydro) และ Australian National Committee on Large Dam (ANCOLD) ได้พัฒนาเกณฑ์ความเสี่ยงเกี่ยวกับความสูญเสียชีวิต (Life Loss) อย่างกว้างๆ ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับเกณฑ์ความเสี่ยงทางวิศวกรรมอุตสาหการและพลังงานนิวเคลียร์

ในปี ค.ศ.๑๙๘๕ USBR เริ่มพัฒนาขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment Procedure) และแนวทางการป้องกันความเสี่ยงของหน่วยงาน จากนั้นมา USBR ก็เป็นหน่วยงานที่ใช้ความรู้ด้านการประเมินความปลอดภัยของเขื่อนมากที่สุด นอกจากนี้ ยังนำผลการประเมินความเสี่ยงมาใช้ในการจัดการความปลอดภัยของเขื่อนอีกด้วย

## ๒.๑๐ หลักการจัดลำดับความเสี่ยง

### ๑) วิธีดัชนีปัจจัยร่วม (Weighting Factor Method)

เป็นการประเมินเชิงสมการทางคณิตศาสตร์บนพื้นฐานของทฤษฎีทางตรรกศาสตร์ เพื่อการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลของแต่ละปัจจัย จะถูกกำหนดค่าคะแนนน้ำหนักตามลำดับความสำคัญ โดยแต่ละปัจจัยจะมีการกำหนดค่าคะแนนน้ำหนักตามความสำคัญของปัจจัยย่อย มีประโยชน์เมื่อต้องการมองเห็นภาพรวมของสถานการณ์โดยเร็ว ดังสมการต่อไปนี้

$$S = W_1 R_1 + W_2 R_2 + W_3 R_3 + \dots + W_n R_n \quad (๔)$$

เมื่อ  $S$  = คะแนนปัจจัยหลัก

$W$  = น้ำหนักของปัจจัยรอง

$R$  = ระดับคะแนนของปัจจัย

สมการดังกล่าวได้นำมาใช้ในการจัดลำดับความเสี่ยงของเขื่อนโดย พิจารณาปัจจัยรองต่างๆ โดยแสดงดังตารางที่ ๑ และการคำนวณคะแนนความเสี่ยงของแต่ละเขื่อนสามารถดำเนินได้ดังสมการต่อไปนี้

### ตารางที่ ๑ การให้คะแนนปัจจัยหลัก

ลำดับ	เขื่อน	ปัจจัยรอง					ผลรวมคะแนน ปัจจัยหลัก
		$W_1$	$W_2$	$W_3$	...	$W_n$	
๑	เขื่อนที่ ๑	$R_{1,1}$	$R_{1,2}$	$R_{1,3}$	...	$R_{1,n}$	$S_1$
๒	เขื่อนที่ ๒	$R_{2,1}$	$R_{2,2}$	$R_{2,3}$	...	$R_{2,n}$	$S_2$
๓	เขื่อนที่ ๓	$R_{3,1}$	$R_{3,2}$	$R_{3,3}$	...	$R_{3,n}$	$S_3$
...	...	...	...	...	...	...	...
$n$	เขื่อนที่ $n$	$R_{n,1}$	$R_{n,2}$	$R_{n,3}$	...	$R_{n,n}$	$S_n$

$$\text{Risk}_{\text{eq}} = F_{\text{eq}} \times N \quad (๔)$$

$$F_{\text{eq}} = R_{\text{eq}} \times [(W_{\text{age}} \times R_{\text{age}}) + (W_{\text{type}} \times R_{\text{type}})] \quad (๕)$$

$$N = N_{\text{vul}} \times N_{\text{amount}} \quad (๖)$$

$$N_{\text{vul}} = [(W_{\text{ht}} \times R_{\text{ht}}) + (W_{\text{vol}} \times R_{\text{vol}}) + (W_{\text{dist}} \times R_{\text{dist}}) + (W_{\text{time}} \times R_{\text{time}})] \quad (๗)$$

$$N_{\text{amount}} = R_{\text{pop}} \quad (๘)$$

เมื่อ  $\text{Risk}_{\text{eq}}$  = ความเสี่ยงต่อการเกิดภัยพิบัติจากแรงแผ่นดินไหว

$F_{\text{eq}}$  = คะแนนโอกาสเกิดภัยพิบัติจากแผ่นดินไหว

$N$  = คะแนนความสูญเสียรวมจากการรุนแรงจากการพิบัติและปริมาณความสูญเสีย

$N_{\text{vul}}$  = คะแนนความรุนแรงจากการพิบัติ

$N_{\text{amount}}$  = ปริมาณความสูญเสีย

$W_{\text{age}}$  = น้ำหนักปัจจัยอายุเชื่อง

$W_{\text{type}}$  = น้ำหนักปัจจัยชนิดเชื่อง

$W_{\text{ht}}$  = น้ำหนักปัจจัยความสูงเชื่อง

$W_{\text{vol}}$  = น้ำหนักปัจจัยปริมาณเก็บกัก

$W_{\text{dist}}$  = น้ำหนักปัจจัยระยะทาง

$W_{\text{time}}$  = น้ำหนักปัจจัยเวลาการพิบัติ

$R_{\text{age}}$  = ระดับคะแนนอายุเชื่อง

$R_{\text{type}}$  = ระดับคะแนนชนิดเชื่อง

$R_{\text{ht}}$  = ระดับคะแนนความสูงเชื่อง

$R_{\text{vol}}$  = ระดับคะแนนปริมาณเก็บกัก

$R_{\text{dist}}$  = ระดับคะแนนระยะทาง

$R_{\text{time}}$  = ระดับคะแนนเวลาพิบัติ

$R_{\text{pop}}$  = ระดับคะแนนจำนวนประชากรในพื้นที่เสี่ยงภัย

จากสมการที่ (๖) และ (๗) เมื่อให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยโอกาสเกิดพิบัติจากแผ่นดินไหว

$F_{\text{eq}}$  และปัจจัยด้านความสูญเสีย ( $N$ ) จะได้

$$F_{\text{eq}} = R_{\text{eq}} \times [(0.๒๕ \times R_{\text{age}}) + (0.๗๕ \times R_{\text{type}})] \quad (๑๐)$$

$$N = R_{\text{pop}} \times [(0.๑๖๖๗ \times R_{\text{ht}}) + (0.๒๕ \times R_{\text{vol}}) + (0.๓๗๕ \times R_{\text{dist}}) + (0.๒๐๘๓ \times R_{\text{time}})] \quad (๑๑)$$

## (๒) ระดับคะแนนของปัจจัย (Rating)

การให้ระดับคะแนนของปัจจัย แทนด้วยตัวเลขเป็นระดับคะแนน โดยกำหนดระดับคะแนนสูง จะส่งผลต่อโอกาสเกิดหรือผลกระทบจากการพิบัติสูง แสดงดังตารางที่ ๒ ถึงตารางที่ ๙

### ตารางที่ ๒ ระดับคะแนนภัยพิบัติจากแผ่นดินไหว (Req)

ระดับความเสี่ยงภัย	ระดับคะแนน
เสี่ยงภัย ระดับ ๐	๐
เสี่ยงภัย ระดับ ๑	๑
เสี่ยงภัย ระดับ ๒๑	๒
เสี่ยงภัย ระดับ ๒๒	๓

โดยพื้นที่เสี่ยงภัย ระดับ ๐ (เขต ๐) มีค่าແນนเท่ากับ ๐ ซึ่งเป็นเขตที่มีความรุนแรงของแผ่นดินไหวน้อยกว่า ๓ MMI พื้นที่เสี่ยงภัยระดับ ๑ (เขต ๑) มีค่าແນนเท่ากับ ๑ ซึ่งเป็นเขตที่มีความรุนแรงของแผ่นดินไหว ๓-๔ MMI ส่วนพื้นที่เสี่ยงภัยระดับ ๒ (เขต ๒ก) มีค่าແນนเท่ากับ ๒ ซึ่งเป็นเขตที่มีความรุนแรงของแผ่นดินไหว ๔-๗ MMI และพื้นที่เสี่ยงภัยระดับ ๓ (เขต ๒ข) มีค่าແນนเท่ากับ ๓ ซึ่งเป็นเขตที่มีความรุนแรงของแผ่นดินไหวสูงสุด ๗-๘ MMI (MMI = Modified Mercalli Intensity Scale)

การเปรียบเทียบขนาดแผ่นดินไหว ความรุนแรง และอัตราเร่งของพื้นดิน ณ บริเวณจุดศูนย์กลางแผ่นดินไหว

ขนาด (ริกเตอร์)	ความรุนแรง (เมอร์คัลลี่)	อัตราเร่งพื้นดิน (%)
น้อยกว่า ๓.๐	I-II ประชาชนไม่รู้สึก ตรวจวัดได้เฉพาะเครื่องมือ	น้อยกว่า ๐.๑ - ๐.๑๙
๓.๐ - ๓.๙	III คนอยู่ในบ้านเท่านั้นรู้สึก	๐.๒ - ๐.๔๙
๔.๐ - ๔.๙	IV-V ประชาชนส่วนใหญ่รู้สึกได้	๐.๕ - ๑.๙
๕.๐ - ๕.๙	VI-VII ประชาชนทุกคนรู้สึก และอาคารเสียหาย	๒.๐ - ๙.๙
๖.๐ - ๖.๙	VII-VIII ประชาชนตื่นตกใจ และอาคารเสียหายปานกลาง	๑๐.๐ - ๑๙.๙
๗.๐ - ๗.๙	IX-X อาคารเสียหายอย่างมาก	๒๐.๐ - ๔๙.๙
มากกว่า ๘.๐	XI-XII อาคารเสียหายเกือบทั้งหมด	มากกว่า ๑๐๐.๐

ที่มา : <http://www.dmr.go.th/main.php?filename=severity>

การเปรียบเทียบขนาดกับความรุนแรงแผ่นดินไหว และระยะทางที่มีผลกระทบ

ขนาดแผ่นดินไหว (ริกเตอร์)	ความรุนแรง (เมอร์คัลลี่)	ระยะทาง (กิโลเมตร)
๓.๐ - ๓.๙	II - III	๒๕
๔.๐ - ๔.๙	IV - V	๔๙
๕.๐ - ๕.๙	VI - VII	๑๑๒
๖.๐ - ๖.๙	VII - VIII	๒๐๐
๗.๐ - ๗.๙	IX - X	๔๐๐
๘.๐ - ๘.๙	X - XI	๗๗๐

ที่มา : <http://www.dmr.go.th/main.php?filename=severity>

ตารางที่ ๓ ระดับค่าແນนปัจจัยชนิดเขื่อน (Rtype)

ชนิดของเขื่อน	ระดับค่าແນน
เขื่อนดินถม	๒
เขื่อนหินถม	๑
เขื่อนคอนกรีต	๓

ตารางที่ ๔ ระดับค่าແນนปัจจัยอายุเขื่อน (R<sub>age</sub>)

ช่วงอายุเขื่อน (ปี)	ระดับค่าແນน
๐ ถึง ๕	๓
๕ < Age < ๓๕	๑
> ๓๕	๒

ตารางที่ ๕ ระดับคะแนนความสูงของเขื่อน ( $R_{ht}$ )

ช่วงความสูงเขื่อน (เมตร)	ระดับคะแนน
๕ ถึง ๑๕	๑
๑๕ < $h$ < ๓๐	๒
> ๓๐	๓

ตารางที่ ๖ ระดับคะแนนปริมาณเก็บกัก ( $R_{vol}$ )

ปริมาณเก็บกัก (ล้าน ลบ.ม.)	ระดับคะแนน
๐ ถึง ๒	๑
๒ < $Vol$ < ๑๐๐	๒
> ๑๐๐	๓

ตารางที่ ๗ ระดับคะแนนระยะทางระหว่างตัวเขื่อนกับแหล่งชุมชนท้ายน้ำ ( $R_{dist}$ )

ระยะทางระหว่างตัวเขื่อนกับแหล่งชุมชนท้ายน้ำ (กิโลเมตร)	ระดับคะแนน
๐.๑ ถึง ๕	๓
๕ < $Dist$ < ๓๐	๒
> ๓๐	๑

ตารางที่ ๘ ระดับคะแนนปัจจัยเวลาในการขยายช่องเปิด ( $R_{time}$ )

เวลาในการขยายช่องเปิด (ชั่วโมง)	ระดับคะแนน
๐ ถึง ๑	๓
๑ < $time$ < ๒	๒
> ๒	๑

ตารางที่ ๙ ระดับคะแนนปัจจัยจำนวนประชากรที่ได้รับผลกระทบ ( $R_{pop}$ )

จำนวนประชากรที่ได้รับผลกระทบ (คน)	ระดับคะแนน
๐ ถึง ๒๐๐	๑
๒๐๐ < $pop$ < ๓,๖๐๐	๒
> ๓,๖๐๐	๓

#### ๒.๑ สภาพความเสี่ยงที่ได้จากการพิบัติของเขื่อน

การตรวจสอบเขื่อนจากอดีตถึงปัจจุบัน ได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องจากวิศวกร หรือนายช่างที่ปฏิบัติงานด้านความปลอดภัย โดยหน่วยงานต่างๆ อาทิเช่น USBR USACE ASDSO การไฟฟ้าฝ่ายผลิต กรมชลประทาน เป็นต้น การตรวจสอบเขื่อนด้วยสายตาจากหน่วยงานด้านความปลอดภัยเขื่อนต่างๆ ได้มีการวิจัยและพัฒนาจนเกิดการตรวจสภาพเขื่อน (Dam Inspection) และประเมินสภาพเขื่อนอย่างเป็นระบบที่เรียกว่า วิธีดัชนีสภาพ (Condition Index: CI) หลังจากนั้นมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นำโดย รศ.ดร.วรารักษ์ ไม้เรือง ได้พัฒนาให้เหมาะสมกับการตรวจสภาพเขื่อนดินของประเทศไทย ต่อมา ส่วนความปลอดภัยเขื่อนได้ประยุกต์วิธีการตั้งกล่าวมาใช้กับเขื่อนที่อยู่ในความรับผิดชอบของกรมชลประทานและให้สามารถใช้งานได้ร่วมกับสภาพของจำนวนบุคลากรที่มีอยู่อย่างจำกัด แต่เนื่องจากสภาพที่ได้จำกัดดัชนีสภาพ (Condition Index) ไม่สามารถ

สหท้อนถึงความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ดังนั้น ทางมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นำโดย ผศ.ดร.สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ และคณะ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้พยายามพัฒนาระบบทอง CI ให้สามารถตรวจสภาพที่สามารถทำให้เขื่อนเกิดการพิบัติได้เท่านั้น เพื่อการระบุสภาพที่ชัดเจนตามลักษณะการพิบัติของเขื่อน และใช้เวลาอยู่กว่าวิธีดัชนีสภาพ (CI) จึงได้ออกมาเป็นระบบการตรวจสภาพเขื่อนที่เรียกว่า วิธีดัชนีความเสี่ยง (Risk Index : RI) การตรวจสภาพเขื่อนเน้นการให้คะแนนระดับความเสี่ยง (Rate, R) จากการตรวจสภาพด้วยสายตา หลังจากนั้นจึงนำค่าน้ำหนักความสำคัญของสภาพมาถ่วงน้ำหนัก (Weight, W) แล้วคำนวณหาคะแนนของแต่ละส่วนที่ได้ตรวจสภาพ มาเปรียบเทียบกัน เพื่อจัดลำดับความเสี่ยงของเขื่อนด้วยดัชนีความเสี่ยง

สมการเพื่อคำนวณหาดัชนีความเสี่ยงแสดงในสมการที่ (๑๒)

$$RI_i = W_1 * R_1 + W_2 * R_2 + W_3 * R_3 + \dots + W_n * R_n \quad (๑๒)$$

เมื่อ

$RI_i$  = ดัชนีความเสี่ยงของลักษณะการพิบัติใดๆ

$W_i$  = น้ำหนักปัจจัยร่วมของสภาพขององค์ประกอบใดๆ

$R_i$  = คะแนนของสภาพความเสี่ยงขององค์ประกอบใดๆ

น้ำหนักความสำคัญของสภาพความเสี่ยง สามารถกำหนดโดยพิจารณาปัจจัยต่างๆ ในการให้น้ำหนัก ซึ่งได้แก่ ความรุนแรงของผลกระทบเสียหายที่เกิดขึ้น ( $F_1$ ) ความยากง่ายของการแก้ไขซ่อมแซม ( $F_2$ ) และจำนวนรูปแบบการพิบัติที่เกี่ยวข้อง ( $F_3$ ) มีวิธีการคำนวณหาค่าน้ำหนักตามสมการที่ ๑๓

$$WF = F_1 * F_2 * F_3 \quad (๑๓)$$

เมื่อ

$WF$  = น้ำหนักความสำคัญ

$F_1$  = ความรุนแรงของผลกระทบเสียหายที่เกิดขึ้น

$F_2$  = ความยากง่ายของการแก้ไขซ่อมแซม

$F_3$  = จำนวนรูปแบบการพิบัติที่เกี่ยวข้อง

ดังนั้นความเสี่ยงภัยของเขื่อนดังกล่าวสามารถประเมินได้จากการวิเคราะห์ข้างต้นของทุกลักษณะการพิบัติ (Modes of Failure) เพื่อให้สามารถจัดเรียงความเสี่ยงของเขื่อนได้อย่างครบทั่ว ซึ่งจำเป็นต้องวิเคราะห์ทำความสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงภัยของแต่ละลักษณะการพิบัติของแต่ละเขื่อน อาจเขียนให้เป็นสมการอย่างง่ายได้ดังสมการที่ (๑๔)

$$RI_{DAM} = a * RI_{OT} + b * RI_{PIP} + c * RI_{SLID} \quad (๑๔)$$

เมื่อ

$RI_{OT}$  = ดัชนีความเสี่ยงของเขื่อนจากการไฟลั่นข้ามสันเขื่อน

$RI_{PIP}$  = ดัชนีความเสี่ยงของเขื่อนจากการกัดเซาะภายใน

$RI_{SLID}$  = ดัชนีความเสี่ยงของเขื่อนจากการเคลื่อนตัว

$a, b, c$  = สัมประสิทธิ์ความสำคัญของแต่ละลักษณะการพิบัติ

## ๒.๑๒ สภาพขององคประกอบที่บ่งชี้ความเสี่ยงของเขื่อน

รูปแบบของการพิบัติที่พิจารณาในการศึกษานี้ พิจารณารูปแบบของการพิบัติที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุด โดยอาจอิงจากสถิติการพิบัติของเขื่อน และการวิจัยด้านการประเมินความเสี่ยงภัยของเขื่อน

๑) การไหลลงขามสันเขื่อน (Overtopping) หมายถึง การที่น้ำไหลลงผ่านตัวเขื่อนออกไปทางด้านท้ายน้ำ ทำให้เกิดการกัดกร่อนและพัดพาเม็ดดินตัวเขื่อน กอให้เกิดการพิบัติของเขื่อนได้อย่างรุนแรง เพราะมักเกิดขณะมีอุทกภัย

๒) การกัดเซาะภายนอก (Piping) หมายถึง การที่น้ำไหลซึมผ่านตัวเขื่อนและพัดพาเม็ดดินออกนอกตัวเขื่อน การกัดเซาะภายนอกจะเกิดการพิบัติที่อาจมีเวลาในการเตือนภัยช้า และทำให้เขื่อนเกิดช่องเปิด

๓) การเคลื่อนตัวของเขื่อน (Mass movement) หมายถึง การที่ดินตัวเขื่อนเกิดการเคลื่อนตัวสาเหตุอาจจะเกิดจากการวิเคราะห์ออกแบบผิดพลาด หรือการใช้งานที่ไม่เหมาะสม เช่น เกิดการลดระดับน้ำหน้าเขื่อนอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown) ทำให้เกิดการพิบัติ

### ๑) การไหลลงขามสันเขื่อน (Overtopping)

องคประกอบและสภาพความเสี่ยงที่บ่งชี้ความเสี่ยงร้ายต่อการไหลลงขามสันเขื่อน ประกอบด้วยสภาพดังแสดงในตารางที่ ๑๐

ตารางที่ ๑๐ สภาพความเสี่ยงของเขื่อนตามลักษณะการไหลลงขามสันเขื่อน

องค์ประกอบ	สภาพที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยง	กระบวนการที่นำไปสู่การพิบัติ	ลักษณะการพิบัติรองจากสภาพดังกล่าว
สันเขื่อนและไหหล่เขื่อน	การยุบตัวของสันเขื่อน	- ระดับสันเขื่อนลดต่ำลงกว่าระดับเก็บกักสูงสุด	ไม่มี
อาคารระบายน้ำลัน	สภาพของบานระบาย ประสิทธิภาพของระบบควบคุมบาน ประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังไฟฟ้าสำรอง สภาพผนังคอนกรีตของอาคารระบายน้ำลัน (Wing Wall) ความไม่มั่นคงของลาดทางเข้าอาคารระบายน้ำลัน สภาพของทุนกันสะ	- บานระบายติดขัดจากวัสดุเปลกปลอมหรือจากสภาพตัวบานเองติดขัด  - ระบบไฟฟ้าหรือระบบเครื่องจักรกลเกิดการชำรุดไม่สามารถควบคุมการปิด-เปิดระบายน้ำได้ทัน  - ระบบไฟฟ้าสำรองไม่ทำงาน  - วัสดุถล่มเขื่อนเนื่องจากผนังคอนกรีตเกิดการพังทลายทำให้ระดับสันเขื่อนลดต่ำลงกว่าระดับเก็บกักสูงสุด  - ลادเดาเกิดการเลื่อนไถลทำให้ระดับสันเขื่อนลดต่ำลงกว่าระดับเก็บกักสูงสุด  - วัสดุเปลกปลอมสามารถผ่านเข้าไปอุดตันบานระบายไม่สามารถระบายน้ำออกได้ทัน หรือเกิดการกระทบตัวเขื่อนและอาคารประกอบให้เกิดความไม่มั่นคง	ไม่มี ไม่มี ไม่มี การกัดเซาะภายนอก ไม่มี ไม่มี
อาคารสองน้ำ	ประสิทธิภาพของการเปิดวาล์วของท่อสองน้ำ	- ระบบไฟฟ้าหรือระบบเครื่องจักรกลเกิดการชำรุดไม่สามารถควบคุมการเปิดบานระบายน้ำได้ทัน	ไม่มี

ตารางที่ ๑๐ สภาพความเสี่ยงของเขื่อนตามลักษณะการไหลลงขามสันเขื่อน (ต่อ)

องค์ประกอบ	สภาพที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยง	กระบวนการที่นำไปสู่การพิบัติ	ลักษณะการพิบัตรองจากสภาพดังกล่าว
	สภาพของตะแกรง	- เกิดการอุดตัน ไม่สามารถระบายน้ำออกได้ทัน หรือ ตะแกรงชำรุดวัสดุแปลงปลอมเข้าไปอุดตันภายในได	ไม่มี
	สภาพของทุนกันสวะ	- เกิดการอุดตัน ไม่สามารถระบายน้ำออกได้ทันหรือ ตะแกรงชำรุดวัสดุแปลงปลอมเข้าไปอุดตันภายในได	ไม่มี
	ประสิทธิภาพของระบบควบคุมบาน	- วัสดุแปลงปลอมสามารถผ่านเข้าไปอุดตันบานระบายน้ำได้ ไม่สามารถระบายน้ำออกได้ทัน หรือเกิดการกระทบตัวเขื่อนและอาคารประกอบให้เกิดความไม่มั่นคง	ไม่มี

(๒) การกัดเซาะภายใน (Piping)

องค์ประกอบและสภาพความเสี่ยงที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยงภัยต่อการกัดเซาะภายในอันประกอบด้วยสภาพดังแสดงในตารางที่ ๑๑

ตารางที่ ๑๑ สภาพความเสี่ยงตามลักษณะการกัดเซาะภายใน

องค์ประกอบ	สภาพที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยง	กระบวนการที่นำไปสู่การพิบัติ	ลักษณะการพิบัตรองจากสภาพดังกล่าว
สันเขื่อนและไหล่เขื่อน	หลุมยุบ (Sinkhole)	- เกิดโพรงภายในตัวเขื่อนทำให้เส้นทางการซึมผ่านของน้ำสันลง	การเคลื่อนตัวของเขื่อน
	ตันไม้, วัชพืช	- เกิดโพรงภายในตัวเขื่อนจาก การขยายตัวของรากรวชพืชทำให้เส้นทางการซึมผ่านของน้ำสันลง	ไม่มี
	รอยแตกตามขวาง	- เส้นทางการซึมผ่านของน้ำสันลง	การเคลื่อนตัวของเขื่อน

ตารางที่ ๑๑ สภาพความเสี่ยงตามลักษณะการกัดเซาะภายใน (ต่อ)

องค์ประกอบ	สภาพที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยง	กระบวนการที่นำไปสู่การพิบัติ	ลักษณะการพิบัติของสภาพดังกล่าว
	การขุดรื้อย้ายวัสดุตามเขื่อน รู, โพรง, ห่อ, ถ้ำ	- สูญเสียการปกป้องผิวเขื่อนจากการกัดเซาะโดยน้ำฝน  - เกิดการเชื่อมผ่านของรูโพรงทำให้เส้นทางการซึมผ่านของน้ำสั่นลง	การเคลื่อนตัวของเขื่อน ไม่มี
ลาดเชื่อนด้านหนึ่งน้ำ	หลุมยุบ (Sinkhole) รู, โพรง, ห่อ หรือถ้ำ	- เกิดโพรงภายในตัวเขื่อนทำให้เส้นทางการซึมผ่านของน้ำสั่นลง  - เกิดการเชื่อมผ่านของรูโพรงทำให้เส้นทางการซึมผ่านของน้ำสั่นลง	ไม่มี
	การขุดรื้อย้ายวัสดุตามเขื่อน	- เส้นทางการซึมผ่านของน้ำสั่นลง	การเคลื่อนตัวของเขื่อน
	การผุสลายของหินกันคลื่น	- คลื่นกัดเซาะตัวเขื่อน ทำให้สูญเสียเนื้อเขื่อน	การเคลื่อนตัวของเขื่อน
	การกัดเซาะโดยคลื่น	- สูญเสียการปกป้องผิวเขื่อนจากการกัดเซาะโดยน้ำฝน และคลื่น	การเคลื่อนตัวของเขื่อน
	รอยร้าวบริเวณผิวคอนกรีตขาดหน้า	- สูญเสียการปกป้องผิวเขื่อนจากการกัดเซาะโดยคลื่น	ไม่มี
	ตันไม้ หรือวัชพืช	- สูญเสียการปกป้องผิวเขื่อนจากการกัดเซาะโดยคลื่น	ไม่มี
	ชนิดของหิน	- สูญเสียการปกป้องผิวเขื่อนจากการกัดเซาะโดยคลื่น	ไม่มี
ลาดเชื่อนด้านท้ายน้ำ	น้ำไหล, น้ำซึม, น้ำใส, น้ำโคลน, พื้นที่เปียก	- เกิดโพรงภายในตัวเขื่อนจาก การขยายตัวของรากวัชพืชทำให้เส้นทางการซึมผ่านของน้ำสั่นลง	การเคลื่อนตัวของเขื่อน

ตารางที่ ๑๖ สภาพความเสี่ยงตามลักษณะการกัดเซาะภายใน (ต่อ)

องค์ประกอบ	สภาพที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยง	กระบวนการที่นำไปสู่การพิบัติ	ลักษณะการพิบัติของสภาพดังกล่าว
ลาดเป็นด้านท้ายน้ำ รู, โพรง, ห่อ, ถ้ำ	หลุมยุบ (Sinkhole)	- สูญเสียการปกป้องผิวเขื่อนจากการกัดเซาะโดยคลื่น	ไม่มี
	รอยแตกตามขวาง	- การกัดเซาะลาดเป็นด้านท้ายไปหาด้านหนึ่งน้ำสุดตัวเขื่อนคลุกพัดพาออกมา	ไม่มี
	การขุดรื้อย้ายวัสดุตามเขื่อน	- เกิดโพรงภายในตัวเขื่อนทำให้เส้นทางการซึมผ่านของน้ำสันลง	การเคลื่อนตัวของเขื่อน
	ตันไม้, วัชพืช	- เกิดการซึมผ่านของรูโพรงทำให้เส้นทางการซึมผ่านของน้ำสันลง	การเคลื่อนตัวของเขื่อน
	การผุสลายของหิน	- เส้นทางการซึมผ่านของน้ำสันลง	ไม่มี
		- เกิดการสูญเสียกำลังของเขื่อน	ไม่มี
พื้นที่ด้านท้ายน้ำ	น้ำผุด, พื้นที่เปียก, การไหลซึม	- สูญเสียการปกป้องผิวเขื่อนจากการกัดเซาะโดยน้ำฝน	การเคลื่อนตัวของเขื่อน
	พื้นที่เปียกเป็นแอ่งกระทะ	- เกิดโพรงภายในตัวเขื่อนจากการขยายตัวของรากวัชพืชทำให้เส้นทางการซึมผ่านของน้ำสันลง	การเคลื่อนตัวของเขื่อน
อาคารระบายน้ำล้น	รอยร้าวบริเวณผนังด้านข้างทางระบายน้ำ (Retaining Wall)	- สูญเสียการปกป้องผิวเขื่อนจากการกัดเซาะโดยน้ำฝน	ไม่มี

ตารางที่ ๑๖ สภาพความเสี่ยงตามลักษณะการกัดเซาะชายใน (ต่อ)

องค์ประกอบ	สภาพที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยง	กระบวนการที่นำไปสู่การพิบัติ	ลักษณะการพิบัติของสภาพดังกล่าว
อาคารส่งน้ำ	น้ำโคลนไหลลอกออกจากจุดควบคุมการระบายน้ำท้ายเขื่อน	- การกัดเซาะผ่านฐานรากจากลาดด้านท้ายไปหาด้านหนึ่อน้ำวัสดุตัวขึ้อนถูกพัดพาออกมาก	ไม่มี
	การร้าวซึมของห้องส่งน้ำ	- การกัดเซาะของน้ำผ่านตัวเขื่อนขยายเป็นโพรง เส้นทางการเดินทางของน้ำสันหลัง	ไม่มี

๓) การเคลื่อนตัวของเขื่อน (*Sliding*)

องค์ประกอบและสภาพความเสี่ยงที่แสดงออกถึงการเคลื่อนตัวของเขื่อนอันประกอบด้วยสภาพดังแสดงในตารางที่ ๑๗

ตารางที่ ๑๗ สภาพความเสี่ยงตามลักษณะการเคลื่อนตัวของเขื่อน

องค์ประกอบ	สภาพที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยง	กระบวนการที่นำไปสู่การพิบัติ	ลักษณะการพิบัติของสภาพดังกล่าว
สันเขื่อนและไหล่เขื่อน	รอยแตกตามยาว	- การสูญเสียกำลังในแนวรอยแตกตามยาว	ไม่มี
	สันเขื่อนบิดออกจากแนว	- เกิดหน่วยแรงดึงในตัวเขื่อน - การสูญเสียกำลังในแนว	ไม่มี
	รอยแตกตามขวางและการบิดออกจากรางเขื่อน	- รอยแตกตามขวางและเกิดหน่วยแรงดึงภายในตัวเขื่อน	การกัดเซาะชายใน
	การกัดเซาะบริเวณสันเขื่อน	- การกัดเซาะเกิดร่องลึกทำให้เกิดการสูญเสียกำลังในแนวร่อง	ไม่มี
ลาดเขื่อนด้านหนึอน้ำ	การเลื่อนไถล, เคลื่อนตัว, ยุบตัว	- เกิดหน่วยแรงดึงภายในตัวเขื่อน	การกัดเซาะชายใน
	ร่องน้ำลึกจากการกัดเซาะของน้ำฝน (Oversteep area)	- การกัดเซาะเกิดร่องลึก ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังในแนวร่อง	ไม่มี

ตารางที่ ๑๒ สภาพความเสี่ยงตามลักษณะการเคลื่อนตัวของเขื่อน (ต่อ)

องค์ประกอบ	สภาพที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยง	กระบวนการที่นำไปสู่การพิบัติ	ลักษณะการพิบัติของสภาพดังกล่าว
	รอยแตกตามยาว การยุบตัว (Consolidation)	- การสูญเสียกำลังในแนวรอยแตกตามยาว  - เกิดหน่วยแรงดึงภายในตัวเขื่อน	ไม่มี ไม่มี
ลาดเอี้ยนด้านท้ายน้ำ	การเลื่อนไคล, เคลื่อนตัว, ยุบตัว  ร่องน้ำลึกจากการกัดเซาะของน้ำฝน (Oversteep area)	- เกิดหน่วยแรงดึงภายในตัวเขื่อน  - เกิดการลดหน้าตัดเขื่อน	การกัดเซาะภายใน ไม่มี
	รอยแตกตามยาว การยุบตัว (Consolidation)	- การกัดเซาะเกิดร่องลึก ทำให้เกิดการสูญเสียกำลังในแนวร่อง  - การสูญเสียกำลังในแนวรอยแตกตามยาว	ไม่มี ไม่มี
	ประสิทธิภาพของระบบระบายน้ำลาดเอี้ยน (Slope Drain)	- เกิดหน่วยแรงดึงภายในตัวเขื่อน	ไม่มี
	ประสิทธิภาพของระบบระบายน้ำท้ายเขื่อน (Toe Drain)	- สูญเสียการปักป้องผิวเขื่อนจากการกัดเซาะโดยน้ำฝน	ไม่มี
	การเคลื่อนตัวของรางระบายน้ำท้ายเขื่อน (Drain Ditch)	- Toe Drain อุดตันเกิดแรงดันน้ำเพิ่มขึ้นในตัวเขื่อน	ไม่มี
พื้นที่ด้านท้ายน้ำ	พื้นที่ปูดขึ้นบริเวณท้ายน้ำ	- การเกิดหน่วยแรงดึงภายในตัวเขื่อน	ไม่มี
ระบบระบายน้ำ	การปิดกั้นการระบายน้ำ	- การเกิดหน่วยแรงดึงภายในตัวเขื่อน	ไม่มี

ตารางที่ ๑๒ สภาพความเสี่ยงตามลักษณะการเคลื่อนตัวของเขื่อน (ต่อ)

องค์ประกอบ	สภาพที่บ่งชี้ถึงความเสี่ยง	กระบวนการที่นำไปสู่การพิบัติ	ลักษณะการพิบัติของสภาพดังกล่าว
อาคารระบายน้ำล้น	การยุบตัวในแนวตั้ง	- การเกิดแรงดันน้ำเพิ่มขึ้นภายในตัวเขื่อน	ไม่มี
	พื้นคอนกรีตของสัน อาคารระบายน้ำล้น แตกร้าว	- การเกิดหน่วยแรงดึงภายในตัวเขื่อน	ไม่มี

หลักการตรวจเขื่อนด้วยวิธีดัชนีความเสี่ยงจำเป็นต้องศึกษาถึงสภาพที่ปรากฏที่สามารถมองเห็นด้วยสายตา โดยสภาพดังกล่าวสืบสานกันมาโดยตลอดก่อนเกิดการพิบัติในรูปแบบต่าง ๆ โดยคณะกรรมการวิจัยได้กำหนดสภาพความเสี่ยงที่เกิดขึ้นแยกตามพื้นที่และองค์ประกอบของเขื่อนรวมถึงลักษณะการพิบัติจากข้อมูลทางวิชาการ ดังตัวอย่าง มีรายละเอียดดังนี้

(๑) สภาพความเสี่ยงจากการไหลล้นข้ามสันเขื่อน

ตารางที่ ๑๓ สภาพความเสี่ยงของเขื่อนตามลักษณะการไหลล้นข้ามสันเขื่อน

สภาพความเสี่ยง	องค์ประกอบเขื่อน	ลักษณะของการไหลล้น	มาตรการรับภัยทาง	มาตรการท่อส่งน้ำ
การยุบตัวของสันเขื่อน	X			
สภาพของบานระบายน้ำ		X		
ประสิทธิภาพของระบบควบคุมบาน		X	X	
ประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังไฟฟ้าสำรอง		X		
สภาพผนังคอนกรีตของอาคารระบายน้ำล้น		X		
ความไม่มั่นคงของลาดทางเข้าอาคารระบายน้ำล้น		X		
สภาพของตระแกรง		X	X	
ทุ่นกันสะ		X	X	
ประสิทธิภาพของการเปิดวาล์วของท่อส่งน้ำ			X	

๒) สภาพความเสี่ยงจากการกัดเซาะชายใน

ตารางที่ ๑๔ สภาพความเสี่ยงของเขื่อนตามลักษณะการกัดเซาะชายใน

สภาพความเสี่ยง	องค์ประกอบเขื่อน	สัมภัยอันตรายหลัก	สาดเขื่อนด้านท่าหนาแน่น	ฟันดักงานท่าหนาแน่น	อาคารระบบท่อกลับ	อาคารท่อส่งน้ำ
หลุมดูบ	X	X	X			
ต้นไม้, วัชพืช	X	X	X			
รอยแตกตามขวาง	X		X			
การขุดรื้อย้ายวัสดุเขื่อน	X	X	X			
รู, โพรง, ห่อ, ถ้ำ	X	X	X			
การผุสลายของหินกันคลื่น		X	X			
การกัดเซาะโดยคลื่น		X				
รอยร้าวบริเวณผิวคอนกรีตขาดหน้า		X				
ชนิดของหิน		X				
น้ำไหล, น้ำซึม, น้ำใส, พื้นที่เปียก			X			
น้ำผุด, พื้นที่เปียก, การไหลซึม			X			
พื้นที่เปียกเป็นแอ่งกระทะ			X			
รอยร้าวบริเวณผนังด้านข้างทางระบายน้ำล้น			X			
โคลนไหลลอกจากจุดควบคุมท้ายเขื่อน				X		
การรั่วซึมของท่อส่งน้ำ				X		

๓) สภาพความเสี่ยงจากการเคลื่อนตัวของเขื่อน

ตารางที่ ๑๕ สภาพความเสี่ยงของเขื่อนตามลักษณะการเคลื่อนตัวของเขื่อน

สภาพความเสี่ยง	องค์ประกอบเขื่อน	ส่วนที่อาจกระทบไปทาง	ผลลัพธ์ทางด้านเศรษฐกิจและทรัพยากรดูแลรักษา	ผลกระทบทางกายภาพ
รอยแตกตามiyawa	X	X	X	
สันเขื่อนบิดออกจากแนว	X			
รอยแตกตามขวางและการบิดออกจากแนวเขื่อน	X			
การกัดเซาะบริเวณสันเขื่อน	X			
การเลื่อนได้, เคลื่อนตัว, ยุบตัว	X	X		
ร่องน้ำลึกจากการกัดเซาะของน้ำฝน	X	X		
การยุบตัว	X	X		
ประสิทธิภาพของระบบระบายน้ำลาดเขื่อน	X			
ประสิทธิภาพของระบบระบายน้ำท้ายเขื่อน	X			
การเคลื่อนตัวของระบบระบายน้ำท้ายเขื่อน	X			
พื้นที่อุดขึ้นบริเวณท้ายน้ำ	X			
การปิดกั้นการระบายน้ำ			X	
การยุบตัวในแนวตั้ง				X
พื้นที่คอนกรีตของสันอาคารระบายน้ำล้นแตกร้าว				X

๒.๑๓ น้ำหนักความสำคัญของสภาพ

เนื่องจากสภาพความเสี่ยงส่งผลกระทบแรงไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องทำการให้น้ำหนักความเสี่ยงโดยต้องทำการให้น้ำหนักความสำคัญของสภาพความเสี่ยงโดยพิจารณาจากปัจจัยสาเหตุและผลกระทบของเขื่อน ๓ ด้าน คือ

(๑) ด้านความรุนแรง

ด้านความรุนแรง ได้แก่ระดับของผลกระทบจากสภาพความเสียหายในองค์ประกอบ โดยมีเกณฑ์ของระดับความรุนแรง ดังนี้

ระดับ ๑ คือ องค์ประกอบที่เกิดความเสียหาย ไม่ส่งผลโดยตรงต่อการพิบัติของเขื่อนโดยตรง (บำรุงรักษาตามปกติ)

ระดับ ๒ คือ องค์ประกอบที่เกิดความเสียหาย ทำให้เขื่อนพิบัติได้ในที่สุดหากไม่ปรับปรุงแก้ไข (ซ่อมบำรุงเป็นกรณีพิเศษ)

ระดับ ๓ คือ องค์ประกอบที่เกิดความเสียหาย จะทำให้เขื่อนพิบัติได้ทันที หรือในระยะเวลาอันสั้น (ต้องแก้ไขในทันที)

(๒) ด้านความยากง่ายในการแก้ไขซ่อมแซม

ด้านความยากง่ายในการแก้ไขซ่อมแซม บ่งบอกถึงเวลาในการแก้ไขปัญหาโดยมีเกณฑ์ของระดับคะแนนความยากง่ายดังนี้

ระดับที่ ๑ คือ การปรับปรุง ซ่อมแซม ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญ ใช้เครื่องจักรหรือเทคนิคที่หาได้ง่ายและใช้เวลาน้อย

ระดับที่ ๒ คือ การปรับปรุงซ่อมแซมใช้ผู้เชี่ยวชาญ ใช้เครื่องจักรเฉพาะหรือเทคนิคที่หาได้ยากหรือใช้เวลานาน

ระดับที่ ๓ คือ การปรับปรุงซ่อมแซม ใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะและต้องมีการวิเคราะห์ใช้เครื่องจักรเฉพาะหรือเทคนิคชั้นสูง หรือใช้เวลานาน

(๓) จำนวนรูปแบบการพิบัติเขื่อนที่เกี่ยวข้อง

จำนวนรูปแบบการพิบัติเขื่อนที่เกี่ยวข้องบ่งบอกถึงสภาพที่ตรวจพบดังกล่าวอาจนำไปสู่ลักษณะการพิบัติได้หลายลักษณะ โดยระดับที่มากที่สุดคือ ๓ หรือก่อให้เกิดการพิบัติได้ ๓ ลักษณะ เช่น หลุมยุบ (Sinkhole) บริเวณสันเขื่อน ย่อมแสดงถึงความเสี่ยงต่อการกัดกร่อนภายในตัวเขื่อนดินถม หรือการยุบตัวบริเวณสันเขื่อนดังกล่าว จะเพิ่มโอกาสการไหลล้นข้ามสันเขื่อนในกรณีนี้จะมีคะแนนเป็น ๒

ค่าน้ำหนักของสภาพความเสี่ยงขององค์ประกอบในรูปแบบการพิบัติหนึ่ง สามารถหาได้จากผลคุณของคะแนนจาก ๓ เกณฑ์ข้างต้น หารด้วยผลรวมคุณของทุกตัวชี้วัดในรูปแบบการพิบัตินั้น การให้ค่าน้ำหนักด้วยวิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่ทำ ให้แต่ละสภาพองค์ประกอบสามารถเปรียบเทียบกันได้แม้จะมีองค์ประกอบหลักต่างกัน สำหรับระดับคะแนนจากเกณฑ์ต่างๆ ได้จากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญและข้อมูลทางสถิติในอดีต วิธีการให้น้ำหนักดังกล่าวต่างจากวิธีดัชนีปัจจัยร่วม (Weighting Factor) เนื่องจากไม่ได้นำสภาพองค์ประกอบหรือปัจจัยมาทำการเปรียบเทียบกันโดยตรงว่าสภาพใดเสี่ยง หรืออันตรายมากกว่าโดยใช้เมตริกเปรียบเทียบ แต่ใช้วิธีเปรียบเทียบผ่านระดับปัจจัยเสี่ยงพื้นฐาน ตารางที่ ๑๖ ถึงตารางที่ ๑๘ แสดงการหาค่าน้ำหนักความสำคัญของสภาพความเสี่ยงตามหลักเกณฑ์ข้างต้น ในกรณีที่เขื่อนไม่มีสภาพเสี่ยงในองค์ประกอบใดๆ ในตารางดังกล่าว จะพิจารณาองค์ประกอบนั้นมีความสมบูรณ์เสมอ ค่าระดับคะแนนให้เท่ากับ ๑ ตัวอย่างเช่น หากเขื่อนนั้นเป็นเขื่อนดินถม ไม่มีคุณกรีตติดหน้า จะไม่พิจารณาอยர้าวนคอนกรีตติดหน้าโดยยังคงใช้ค่าน้ำหนักความสำคัญที่เป็นค่าเดิมสำหรับทุกองค์ประกอบรูปที่ ๔ แสดงแผนภูมิองค์ประกอบของสภาพความเสี่ยงต่างๆ

$$RI_{OT} = SCORERO_{01}*WO_1 + SCORERO_{02}*WO_2 + SCORERO_{03}*WO_3 \\ + \dots + SCOREROn*WO_n \quad (๑๕)$$

$$RI_{PIP} = SCORERP_{01}*WP_1 + SCORERP_{02}*WP_2 + SCORERP_{03}*WP_3 \\ + \dots + SCORERPn*WPn \quad (๑๖)$$

$$RI_{SLID} = SCORERM_{01}*WM_1 + SCORERM_{02}*WM_2 + SCORERM_{03}*WM_3 \\ + \dots + SCORERMn*WMn \quad (๑๗)$$

เมื่อ  $RI_{OT}$  = ค่าดัชนีความเสี่ยงของลักษณะการไหลล้นข้ามสันเขื่อน

$RI_{PIP}$  = ค่าดัชนีความเสี่ยงของลักษณะการกัดเซาะภายใน

- $R_{SLID}$  = ค่าดัชนีความเสี่ยงของลักษณะการเคลื่อนตัวของเขื่อน
- SCOREROXX = ค่าคะแนนสภาพความเสี่ยงของสภาพความเสี่ยงตามลักษณะการไหลล้นข้ามสันเขื่อน
- SCORERPXX = ค่าคะแนนสภาพความเสี่ยงของสภาพความเสี่ยงตามลักษณะการกัดเซาะภายใน
- SCORERMXX = ค่าคะแนนสภาพความเสี่ยงของสภาพความเสี่ยงตามลักษณะการเคลื่อนตัวของเขื่อน
- WOX = ค่าน้ำหนักความสำคัญของสภาพความเสี่ยงของลักษณะการไหลล้นข้ามสันเขื่อน
- WPX = ค่าน้ำหนักความสำคัญของสภาพความเสี่ยงของลักษณะการกัดเซาะภายใน
- WMX = ค่าน้ำหนักความสำคัญของสภาพความเสี่ยงของลักษณะการเคลื่อนตัวของเขื่อน

## ๒.๑๔ เกณฑ์การให้คะแนนสภาพ (Score)

เกณฑ์การให้คะแนนสภาพความเสี่ยงแบ่งออกเป็น ๔ ระดับ ดังต่อไปนี้

ระดับที่ ๑ หมายถึง สภาพองค์ประกอบมีความสมบูรณ์หรือทำหน้าที่เป็นปกติ หรือไม่ปรากฏ สภาพความเสี่ยงนั้น

ระดับที่ ๒ หมายถึง สภาพองค์ประกอบมีความเสียหายเล็กน้อย (มีแนวโน้มไปในทางปกติ)

ระดับที่ ๓ หมายถึง สภาพองค์ประกอบมีความเสียหายคร่าวๆ หรือตรวจวัดและติดตาม พฤติกรรมเป็นพิเศษเพื่อประเมินความปลอดภัยอาจสามารถตรวจสอบซ่อมแซมได้ (มีแนวโน้มไปในทางไม่ปกติ)

ระดับที่ ๔ หมายถึง สภาพองค์ประกอบ มีความเสียหายมากมีผลต่อการพิบัติอย่างเห็นได้ชัด จำเป็นที่ต้องการซ่อมแซมโดยทันที

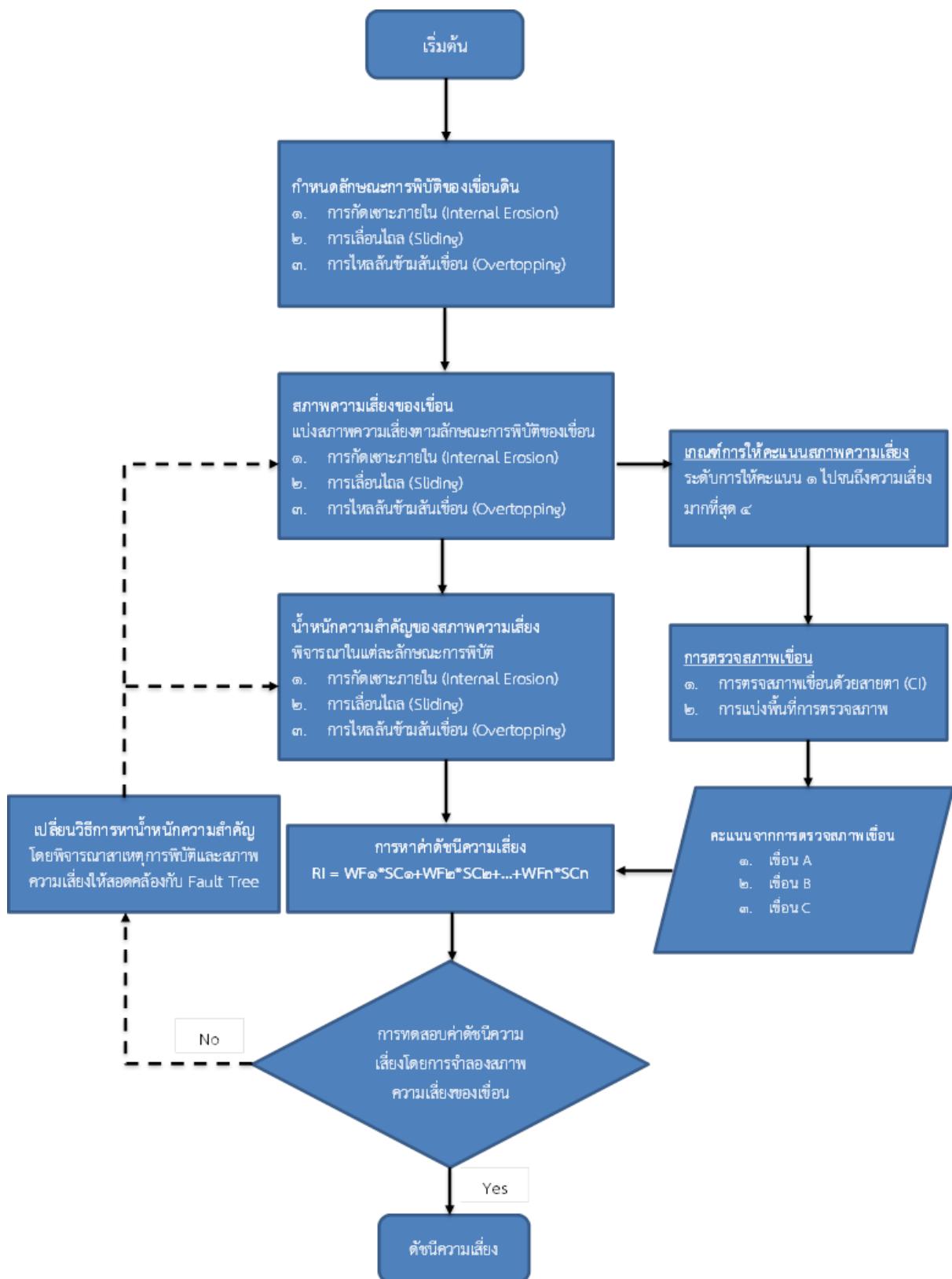
## ๓. วิธีการ

การประเมินความเสี่ยงเขื่อนด้วยวิธีดัชนีสภาพ เริ่มต้นจากการศึกษาลักษณะของการพิบัติของเขื่อน โดยเน้นเขื่อนที่เป็นเขื่อนดินผสม จากเอกสาร รายงานต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปออกได้เป็น ๓ ลักษณะ คือ การกัดเซาะภายใน (Internal Erosion) การเคลื่อนตัวของเขื่อน (Sliding) และการไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping) ในการประเมินครั้งนี้ การให้น้ำหนักความสำคัญของสภาพ ให้ทำการกำหนดปัจจัยที่เกี่ยวข้องไว้ ๓ ปัจจัย คือ ความรุนแรงของผลกระทบเสียหายที่เกิดขึ้น ความยากง่ายของการแก้ไขซ่อมแซม และจำนวนรูปแบบที่เกี่ยวข้อง และการคัดเลือกสภาพความเสี่ยงต่างๆ จากวิธีดัชนีสภาพ (Condition Index) นำมากำหนดเกณฑ์ การให้คะแนนสภาพความเสี่ยง แล้วจึงทำการตรวจสอบสภาพเขื่อน ต่อไปคือการนำมาหาค่าดัชนีความเสี่ยง ท้ายที่สุด ทำการทดสอบค่าดัชนีความเสี่ยง ตามภาพที่ ๑๗

### ๓.๑ วิธีการเดินตรวจสภาพโดยการตรวจสภาพเขื่อนด้วยสายตา

การเดินตรวจสภาพเขื่อนโดยวิธีการตรวจสภาพเขื่อนด้วยสายตา ทำได้โดยใช้วิธีการเดินตรวจสภาพ ทั่วบริเวณพื้นที่ของการตรวจสภาพ โดยใช้สายตาพิจารณาสภาพพร้อมกับคู่มือเกณฑ์การให้คะแนนสภาพ หากเกิดตรวจพบสิ่งผิดปกติจะทำการจดบันทึก เนื่องจากการตรวจสอบโดยวิธีนี้ใช้สายตาเป็นเครื่องมือหลัก ดังนั้น จึงมีข้อจำกัดของระยะในการตรวจโดยระยะที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนและควรเป็นพื้นที่รับผิดชอบของผู้ตรวจแต่ละคนในการตรวจสภาพ

การตรวจสภาพแบ่งออกเป็น ๓ ส่วนคือ (๑) การตรวจสภาพเขื่อน ซึ่งแบ่งระยะในการตรวจสภาพสันเขื่อน ลาดเขื่อนหนือน้ำ ท้ายน้ำ และฐานเขื่อนออกเป็นช่วงละ ๑๐๐ เมตร (๒) การตรวจสภาพอาคารท่อน้ำ/ท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม และ (๓) การตรวจสภาพอาคารระบายน้ำล้ำ



ภาพที่ ๓๒ วิธี hac่าตัวชี้วัดความเสี่ยง

ที่มา : รัชชัย (๒๕๕๓)

### ๓.๒ ลักษณะการพิบัติของเขื่อนดิน

การศึกษาลักษณะการพิบัติของเขื่อนดิน โดยการค้นคว้า รวบรวมงานด้านความปลอดภัยเขื่อน พร้อมทั้งประชุมร่วมกับผู้เชี่ยวชาญ นำสติ๊ติ่ต่างๆ มาปรึกษาหารือ ทำให้สามารถสรุปลักษณะของการพิบัติของ เขื่อนดินที่มีความสัมพันธ์กับเขื่อนดินของกรมชลประทาน ได้เป็น ๓ ลักษณะใหญ่ๆ คือ การกัดเซาะภายนอก (Internal Erosion/Piping) การเลื่อนไถล (Sliding) และการไหลล้นของน้ำข้ามสันเขื่อน (Overtopping) ซึ่ง สามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้

- การกัดเซาะภายนอก (Internal Erosion/Piping) เกิดจากการที่น้ำไหลซึมผ่านด้วยเขื่อน จากนั้น เริ่ม มีการพัฒนาปริมาณการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งกัดเซาะดินภายนอกไปทางด้าน ท้ายน้ำ และพัฒนาเป็นโพรง จนทำให้เกิดการพิบัติได้

- การเลื่อนไถล (Sliding) เกิดจากการที่น้ำเข้าไปในด้วยเขื่อน ทำให้ดินถมตัวเขื่อนมีกำลังลดลง จนกระทั่งต้านทานน้ำหนักของด้วยเขื่อนเองไม่ไหว จึงเกิดการเลื่อนไถลจนทำให้เขื่อนเกิดการพิบัติในที่สุด

- การไหลล้นของน้ำข้ามสันเขื่อน (Overtopping) อาจเกิดจากการที่น้ำไหลบ่าเข้าอ่างเก็บน้ำที่มาก เกินกว่าความสามารถในการระบายน้ำของทางระบายน้ำล้น หรือไม่สามารถเปิด-ปิดทางระบายน้ำได้ทัน และมี วัชพืช ต้นไม้ กีดขวางการไหลของน้ำทำให้เกิดการไหลล้นของน้ำข้ามสันเขื่อนไปทางท้ายน้ำ จนทำให้เขื่อนเกิด การพิบัติได้

### ๓.๓ สภาพความเสี่ยงของเขื่อน

ลักษณะการพิบัติของเขื่อนดินได้ทำการศึกษา ค้นคว้า รวบรวมงานวิชาการค่าๆ และนำมาปรับให้ เข้ากับสาเหตุการพิบัติที่มีความเกี่ยวข้องกับเขื่อนดินของกรมชลประทาน ตามสภาพปัจจุบันที่ตรวจพบ ซึ่งสภาพ ปัจจุบันดังกล่าว พร้อมทั้งประชุมร่วมกับผู้เชี่ยวชาญด้านงานความปลอดภัยเขื่อน จากนั้น ได้นำมาจำแนกเพื่อ สรุปสภาพที่สำคัญที่ทำให้เขื่อนเกิดการพิบัติได้ และยังได้แบ่งระดับของการพิบัติออกเป็น ๓ ระดับ คือ สภาพที่ สำคัญก่อนเกิดการพิบัติ (ระดับความเสี่ยงสูงสุด) สภาพบ่งชี้ว่าอาจเกิดความบกพร่อง (ระดับความเสี่ยงปาน ก拉斯) และสภาพเบื้องต้น หรือต้นกำเนิดความบกพร่อง (ระดับความเสี่ยงต่ำสุด)

### ๓.๔ เกณฑ์การให้คะแนนสภาพความเสี่ยง

เกณฑ์การให้คะแนนสภาพแบ่งออกเป็น ๔ ระดับคะแนน ได้แก่ คะแนน ๑ หมายถึง สภาพ องค์ประกอบมีความสมบูรณ์หรือทำหน้าที่เป็นปกติ คะแนน ๒ หมายถึง สภาพองค์ประกอบมีความเสียหาย เล็กน้อย (มีแนวโน้มไปทางปกติ) คะแนน ๓ หมายถึง สภาพองค์ประกอบมีความเสียหาย ควรวิเคราะห์หรือ ตรวจวัดและติดตามพฤติกรรมเป็นพิเศษ เพื่อประเมินความปลอดภัยที่อาจมีการซ่อนแซ่อนได้ (มีแนวโน้มไป ทางไม่ปกติ) และคะแนน ๔ หมายถึง สภาพองค์ประกอบมีความเสียหายมาก มีผลต่อการพิบัติอย่างเห็นได้ ชัดเจน จำเป็นที่ต้องการซ่อมแซมโดยทันที

### ๓.๕ การตรวจสอบเขื่อน

การตรวจสอบเขื่อนด้วยสายตา (Visual Inspection) โดยการเดินตรวจสอบสภาพเขื่อนตาม องค์ประกอบเขื่อน เช่น สันเขื่อน ลาดเขื่อนเหนือน้ำ ท้ายน้ำ ฐานยันเขื่อน ฐานเขื่อน อาคารท่อส่งน้ำ/ระบายน้ำ และอาคารระบายน้ำล้น เป็นต้น สำหรับการเดินตรวจสอบตัวเขื่อน จะทำการแบ่งการเดินตรวจสอบ ออกเป็นช่วงๆ ช่วงละ ๑๐๐ เมตร ตามความยาวเขื่อน (เฉพาะสันเขื่อน ลาดเขื่อนเหนือน้ำ ท้ายน้ำ และฐาน เขื่อน) โดยการเดินและบันทึกสภาพตามระดับคะแนนของสภาพจากฝั่งหนึ่งไปยังฝั่งหนึ่งของเขื่อน ส่วน อาคารประกอบอื่นๆ ให้ทำการตรวจสอบโดยรวม

### ๓.๕ การหาค่าดัชนีความเสี่ยง

การหาค่าดัชนีความเสี่ยง โดยใช้สมการ  $Rl_i = WF_1 * SC_1 + WF_2 * SC_2 + WF_3 * SC_3 + \dots + WF_n * SC_n$  เมื่อ  $SC =$  คะแนนสภาพ,  $WF =$  น้ำหนักความสำคัญ คะแนนที่ได้จากการตรวจสอบเขื่อนในสนาม นำมาคูณกับน้ำหนักความสำคัญของสภาพนั้นๆ เมื่อนำมาบวกกันจะได้ค่าดัชนีความเสี่ยงที่นำไปใช้งาน

## ๔. ผลการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีดัชนีความเสี่ยง

ผลจากการศึกษา ตรวจสอบ ประชุมร่วมกับคณะกรรมการฯ เพื่อสรุปผลหลักเกณฑ์และแนวทางในการดำเนินงาน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

### ๔.๑ ลักษณะการพิบัติของเขื่อนดิน

ลักษณะการพิบัติของเขื่อนดินได้จากการศึกษา ตรวจสอบ รายงานการรวบรวมสถิติ จากหน่วยงานต่างๆ หลักจากที่ได้ทำการรวบรวมแล้ว ส่วนความปลอดภัยเขื่อนได้เชิญคณะกรรมการฯ ประชุมเพื่อพิจารณาและเลือกรูปแบบการพิบัติของเขื่อนดิน โดยสรุปเป็นลักษณะการพิบัติออกเป็น ๓ ลักษณะ คือ การไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping) การกัดเซาะภายนอก (Piping) และการเคลื่อนตัวของเขื่อน (Sliding) เพราะเมื่อเกิดลักษณะการพิบัติจาก ๓ ลักษณะแล้ว จะทำให้เขื่อนและการประกอบได้รับความเสียหายมากที่สุด และเกิดการพิบัติของเขื่อนตามมาซึ่งไม่สามารถแก้ไขได้อย่างทันท่วงที นอกจากจะทำการตรวจสอบเขื่อนก่อนเป็นประจำทุกปี เพื่อทำการแก้ไขซ่อมแซมส่วนที่เสียหายและลดอันตรายต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นกับเขื่อน

### ๔.๒ สภาพความเสี่ยงของเขื่อนและการประกอบ

สภาพความเสี่ยงของเขื่อนและการประกอบได้จากการรวบรวม สืบคันและตรวจสอบจากรายงานทางด้านวิชาการต่างๆ ที่ได้มีการศึกษาไว้ รูปแบบของการพิบัติที่พิจารณาในการศึกษานี้ พิจารณา รูปแบบของการพิบัติที่มีโอกาสเกิดขึ้นมากที่สุดโดยอย่างอิงจากสถิติการพิบัติของเขื่อน และการวิจัยด้านการประเมินความเสี่ยงภัยของเขื่อน

๑) การไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping) หมายถึง การที่น้ำไหลข้ามผ่านตัวเขื่อนออกไปทางด้านท้ายน้ำ ทำให้เกิดการกัดกร่อนและพัดพาเม็ดดินตัวเขื่อน กอให้เกิดการพิบัติของเขื่อนได้อย่างรุนแรงเพราะมักเกิดขณะมีอุทกภัย

๒) การกัดเซาะภายนอก (Piping) หมายถึง การที่น้ำไหลซึมผ่านตัวเขื่อนและพัดพาเม็ดดินออกตัวเขื่อน การกัดเซาะภายนอกให้เกิดการพิบัติที่อาจมีเวลาในการเตือนภัยชา และทำให้เขื่อนเกิดช่อง

๓) การเคลื่อนตัวของเขื่อน (Mass movement) หมายถึง การที่ดินตัวเขื่อนเกิดการเคลื่อนตัวสาเหตุอาจจะเกิดจากการวิเคราะห์ออกแบบผิดพลาด หรือการใช้งานที่ไม่เหมาะสม เช่น เกิดการลดระดับน้ำหนาเขื่อนอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown) ทำให้เกิดการพิบัติ

รายละเอียดผลการพิจารณาสภาพความเสี่ยงตามรูปแบบของการพิบัติ ดังตารางที่ ๑๖-๑๘

ตารางที่ ๑๖ สภาพความเสี่ยงของเขื่อนตามลักษณะการไฟలั่นข้ามสันเขื่อน

องค์ประกอบเขื่อน	เขื่อน	อาคารท่อส่งน้ำ/ระบบยาน้ำลงสำนักเดิม				อาคารระบายน้ำลั่น			
		ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง
สภาพของ RI		สีเขียว	สีเหลือง	สีฟ้า	กําแพง	ตัวอย่างเป็นรูปแบบ	สีเขียว	สีเขียว	สีเขียว
การทรุดตัว	X								
การกัดเซาะ		X	X	X					
สภาพการใช้งาน					X	X		X	X
สิ่งกีดขวางทางน้ำ							X		

ตารางที่ ๑๗ สภาพความเสี่ยงของเขื่อนตามลักษณะการกัดเซาะภายใน

องค์ประกอบ เขื่อน	เขื่อน		อาคารท่อส่งน้ำและระบบยาน้ำลงสำนักเดิม				อาคารระบายน้ำลั่น			
	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง
สภาพของ CI	สีเขียว	สีเหลือง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	กําแพง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง	ตัวอย่าง
รอยแตกตามขวาง	X									
การทรุดตัว	X	X	X							
รูโพรง	X	X	X							
ต้นไม้	X	X	X							
วัชพืช	X									
การซึม			X	X						
รอยแตกร้าว		X	X							
การร้าว					X	X	X	X	X	X

ตารางที่ ๑๔ สภาพความเสี่ยงของเขื่อนตามลักษณะการเคลื่อนตัวของเขื่อน

องค์ประกอบของเขื่อน	เขื่อน		อาคารระบายน้ำล้น				หัวข้อความเสี่ยง
	ผู้ดูแลรักษา	ผู้เช่าบ้านเรือน	ผู้เช่าบ้านเรือน	ผู้เช่าบ้านเรือน	ผู้เช่าบ้านเรือน	ผู้เช่าบ้านเรือน	
สภาพของ CI	ดีมาก	คาดเดาไม่ออก	คาดเดาไม่ออก	กำแพง	กำแพง	กำแพง	ดีมาก
รอยแตกตามขวาง	X						
รอยแตกตามยาว	X						
การทรุดตัว		X	X	X	X	X	X
ความหนาแน่น	X						
การกัดเซาะ		X	X				
การเลื่อนไถล		X	X				
รอยแตกกร้าว					X		

#### ๔.๓ การกำหนดค่าความสำคัญของสภาพความเสี่ยงขององค์ประกอบของเขื่อน

การให้น้ำหนักของสภาพความเสี่ยงที่เกิดขึ้นบริเวณตัวเขื่อนของแต่ละองค์ประกอบ จะพิจารณาให้คะแนนความสำคัญจาก ๓ ด้าน ดังนี้

##### (๑) ด้านความรุนแรง

ด้านความรุนแรง ได้แก่ ระดับของผลกระทบจากสภาพความเสียหายในองค์ประกอบ โดยมีเกณฑ์ของระดับคะแนนความรุนแรง ดังนี้

ระดับ ๑ คือ องค์ประกอบที่เกิดความเสียหาย ไม่ส่งผลโดยตรงต่อการพิบัติของเขื่อนโดยตรง (บำรุงรักษาตามปกติ)

ระดับ ๒ คือ องค์ประกอบที่เกิดความเสียหาย ทำให้เขื่อนพิบัติได้ในที่สุด หากไม่ปรับปรุงแก้ไข (ซ่อมบำรุงเป็นกรณีพิเศษ)

ระดับ ๓ คือ องค์ประกอบที่เกิดความเสียหาย จะทำให้เขื่อนพิบัติได้ทันที หรือในระยะเวลาอันสั้น (ต้องแก้ไขในทันที)

##### (๒) ด้านความยากลำบากในการแก้ไขซ่อมแซม

ด้านความยากลำบากในการแก้ไขซ่อมแซม บ่งบอกถึงเวลาในการแก้ไขปัญหาโดยมีเกณฑ์ของระดับคะแนนความยากลำบาก ดังนี้

ระดับ ๑ คือ การปรับปรุง ซ่อมแซม ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญ ใช้เครื่องจักรหรือเทคนิคที่หาได้ง่าย และใช้เวลาน้อย

ระดับ ๒ คือ การปรับปรุง ซ่อมแซม ใช้ผู้เชี่ยวชาญ ใช้เครื่องจักรเฉพาะหรือเทคนิคที่หาได้ยาก หรือใช้เวลานาน

ระดับ ๓ คือ การปรับปรุง ซ่อมแซม ใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะและต้องมีการวิเคราะห์ใช้เครื่องจักร เนพาะหรือเทคนิคชั้นสูง หรือใช้เวลานาน

๓) จำนวนรูปแบบการพิบัติเขื่อนที่เกี่ยวข้อง

จำนวนรูปแบบการพิบัติเขื่อนที่เกี่ยวข้องบ่งบอกถึงสภาพที่ตรวจพบดังกล่าวอาจนำไปสู่ลักษณะ การพิบัติได้หลายลักษณะ เช่น หลุมยุบ (Sinkhole) บริเวณสันเขื่อน ยอมแสดงถึงความเสี่ยงต่อการกัดกร่อน ภายในตัวเขื่อนดินถม หรือการยุบตัวบริเวณสันเขื่อนดังกล่าว จะเพิ่มโอกาสการไหลล้นข้ามสันเขื่อน ในกรณีนี้ จะมีคะแนนเป็น ๒

ตารางที่ ๑๙-๒๑ แสดงการหาค่าน้ำหนักของสภาพความเสี่ยง สำหรับรูปแบบการพิบัติทั้ง ๓ แบบ

ตารางที่ ๑๙ การหาค่าน้ำหนักของสภาพความเสี่ยง สำหรับการพิบัติแบบการไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping)

องค์ประกอบ				สภาพที่ทำการ ตรวจสอบ	ความรุนแรง	ความมาก	จำนวนรูปแบบ	ผลคูณ	ค่าน้ำหนัก
ระดับที่ ๑	ระดับที่ ๒	ระดับที่ ๓	ระดับที่ ๔		ของผลกระทบ เสียหายที่เกิดขึ้น	ง่ายของการ แก้ไขซ่อมแซม	การพิบัติ		
(F <sub>๑</sub> )	(F <sub>๒</sub> )	(F <sub>๓</sub> )	(F <sub>๔</sub> )						
เขื่อน	ตัวเขื่อน	สันเขื่อน		การหลุดตัว	๓	๓	๓	๙	๐.๓๗
อาคารท่อส่งน้ำ/ ระบายน้ำลงน้ำเดิม	ส่วนทางน้ำเข้า	อาคารรับน้ำ (Intake)	พื้น	กัดเซาะ	๒	๑	๑	๒	๐.๐๔
			กำแพง	กัดเซาะ	๒	๑	๑	๒	๐.๐๔
			ตะแกรง (Trashrack)	สิ่งกีดขวางทางน้ำ	๒	๑	๑	๒	๐.๐๔
	ส่วนควบคุมน้ำ	อุปกรณ์เครื่องกล/ไฟฟ้า		สภาพการใช้งาน	๒	๑	๑	๒	๐.๐๔
			บานะบานยน้ำ	สภาพการใช้งาน	๓	๒	๑	๖	๐.๑๒
			อุปกรณ์เครื่องกล/ไฟฟ้า	สภาพการใช้งาน	๓	๓	๑	๙	๐.๓๖
อาคารระบายน้ำล้น	ส่วนทางน้ำเข้า	พื้น		สิ่งกีดขวางทางน้ำ	๓	๓	๑	๙	๐.๓๗
	ส่วนควบคุมน้ำ	บานะบานยน้ำ		สภาพการใช้งาน	๓	๓	๑	๙	๐.๓๗
		อุปกรณ์เครื่องกล/ไฟฟ้า		สภาพการใช้งาน	๓	๓	๑	๙	๐.๓๗
								๕๐	๑.๐๐

ตารางที่ ๒๐ การหาค่าค่าน้ำหนักของสภาพความเสี่ยง สำหรับการพิบัติแบบการกัดเซาะภายใน (Piping)

องค์ประกอบ			สภาพที่ทำการตรวจสอบ	ความรุนแรง	ความยาก	จำนวนรูปแบบ	ผลคุณ	ค่าน้ำหนัก	
ระดับที่ ๑	ระดับที่ ๒	ระดับที่ ๓		ของผลกระทบ	ง่ายของการ	การพิบัติ			
				เสี่ยหายที่เกิดขึ้น	แก้ไขช่องแฉม				
				(F <sub>๑</sub> )	(F <sub>๒</sub> )	(F <sub>๓</sub> )			
เชื่อม	ตัวเชื่อม	สันเชื่อม	รอยแตกตามยาว	๓	๓	๒	๑๙	๐.๑๒	
			การทรุดตัว	๓	๓	๓	๒๗	๐.๑๗	
			รูโพรง	๑	๑	๑	๑	๐.๐๑	
			ตันน้ำ	๒	๑	๑	๒	๐.๐๑	
			วัชพืช	๒	๑	๑	๒	๐.๐๑	
		ลาดเชื่อมหน่อน้ำ	การทรุดตัว	๓	๓	๒	๑๙	๐.๑๒	
			รูโพรง	๓	๓	๑	๙	๐.๐๖	
			ตันน้ำ	๓	๑	๑	๓	๐.๐๒	
			การเลื่อนภายน้ำ	๑	๑	๑	๑	๐.๐๑	
		ลาดเชื่อมท้ายน้ำ	การทรุดตัว	๓	๓	๑	๙	๐.๐๖	
			รูโพรง	๓	๑	๑	๓	๐.๐๒	
			ตันน้ำ	๓	๑	๑	๓	๐.๐๒	
			รอยแตกร้าว	๓	๓	๑	๙	๐.๐๖	
			การรีม	๓	๓	๑	๙	๐.๐๖	
		ฐานเชื่อม	การรีม	๓	๓	๑	๙	๐.๐๖	
อาคารท่อส่งน้ำ/ระบบยาน้ำลงน้ำเดิน	ส่วนท่อส่งน้ำ/ระบบยาน้ำลงน้ำเดิน	ส่วนท่อส่งน้ำ	ท่อถ่านเสียงน้ำ	การร้าว	๓	๑	๙	๐.๐๖	
		ส่วนทางน้ำออก	พื้น	การร้าว	๓	๑	๓	๐.๐๒	
			กำแพง	การร้าว	๓	๑	๓	๐.๐๒	
		ส่วนสายพลังงาน	พื้น	การร้าว	๑	๑	๑	๐.๐๑	
			กำแพง	การร้าว	๑	๑	๑	๐.๐๑	
อาคารระบายน้ำล้าน	ส่วนท่อส่งน้ำ/ระบบยาน้ำลงน้ำเดิน	ส่วนท่อส่งน้ำ	ท่อถ่านเสียงน้ำ	การร้าว	๓	๓	๑	๙	๐.๐๖
			พื้น	การร้าว	๒	๑	๑	๒	๐.๐๑
			กำแพง	การร้าว	๒	๑	๑	๒	๐.๐๑
			พื้น	การร้าว	๑	๑	๑	๑	๐.๐๑
		ส่วนสายพลังงาน	กำแพง	การร้าว	๑	๑	๑	๑	๐.๐๑

ตารางที่ ๒๑ การหาค่าค่าน้ำหนักของสภาพความเสี่ยง สำหรับการพิบัติแบบการเลื่อนไอล (Sliding)

องค์ประกอบ			สภาพที่ทำการตรวจสอบ	ความรุนแรง	ความยาก	จำนวนรูปแบบ	ผลคุณ	ค่าน้ำหนัก	
ระดับที่ ๑	ระดับที่ ๒	ระดับที่ ๓		ของผลกระทบ	ง่ายของการ	การพิบัติ			
				เสี่ยหายที่เกิดขึ้น	แก้ไขช่องแฉม				
				(F <sub>๑</sub> )	(F <sub>๒</sub> )	(F <sub>๓</sub> )			
เชื่อม	ตัวเชื่อม	สันเชื่อม	รอยแตกตามยาว	๓	๓	๒	๑๙	๐.๑๓	
			รอยแตกตามยาว	๓	๓	๑	๙	๐.๐๗	
			การทรุดตัว	๓	๓	๒	๑๙	๐.๑๓	
			ความทนทาน	๓	๑	๑	๓	๐.๐๒	
		ลาดเชื่อมหน่อน้ำ	การทรุดตัว	๓	๓	๒	๑๙	๐.๑๓	
			การกัดเซาะ	๓	๒	๑	๖	๐.๐๔	
			การเคลื่อนไอล	๓	๓	๑	๙	๐.๐๗	
		ลาดเชื่อมท้ายน้ำ	การทรุดตัว	๓	๓	๒	๑๙	๐.๑๓	
			การกัดเซาะ	๓	๒	๑	๖	๐.๐๔	
			การเลื่อนไอล	๓	๒	๑	๖	๐.๐๔	
อาคารระบายน้ำล้าน	ส่วนทางน้ำเข้า	พื้น	การทรุดตัว	๑	๒	๑	๒	๐.๐๑	
		ฝายคอนกรีต	การทรุดตัว	๓	๒	๑	๖	๐.๐๔	
			การแตกหัก	๓	๒	๑	๖	๐.๐๔	
			การร้าว	๓	๒	๑	๖	๐.๐๔	
		พื้น	การทรุดตัว	๓	๒	๑	๖	๐.๐๔	
		พื้น	การทรุดตัว	๑	๒	๑	๒	๐.๐๑	
	ส่วนลำเสียงน้ำ	พื้น	การทรุดตัว	๑	๒	๑	๒	๐.๐๑	
		พื้น	การทรุดตัว	๑	๒	๑	๒	๐.๐๑	
	ส่วนสายพลังงาน	พื้น	การทรุดตัว	๑	๒	๑	๒	๐.๐๑	

## ๔.๔ ตัวอย่างการประเมินความเสี่ยงด้วยดัชนีความเสี่ยง

เขื่อนคลองสีယด จ.นราธิวาส (อาคารระบายน้ำล้นแบบไม่มีบาน)

ข้อมูลทั่วไปของเขื่อน

ที่ตั้ง

ตำบลท่าตะเกียบ อำเภอท่าตะเกียบ จังหวัดนราธิวาส

มาตราส่วน ๑:๕๐๐๐

ระหว่าง ๕๓๓๕ IV

พิกัด ๔๗ PQQ ๘๗๖-๘๗๗

ละติจูด ๓๓° - ๒๕' - ๕๕" N

ลองติจูด ๑๐๗° - ๓๔' - ๕๒" E

ข้อมูลทั่วไปเขื่อน

ชนิดเขื่อน เป็นเขื่อนดิน ปิดกั้นลำน้ำคลองสีယด

เริ่มก่อสร้าง พ.ศ. ๒๕๓๙

แล้วเสร็จ พ.ศ. ๒๕๔๔

พื้นที่อ่าง ๗ พ.ก.ม.

ปริมาณน้ำไหลลงอ่าง ๑๘๖.๐๐ ล้าน ลบ.ม./ปี

พื้นที่รับน้ำ ๘๗๖.๐๐ ตร.กม.

ปริมาณฝนเฉลี่ย ๑,๔๐๐.๐๐ มม./ปี

ถักขณะหัวงานเขื่อน

เขื่อนหลัก

สันเขื่อนยาว ๒,๔๖๐.๐๐ ม.

สันเขื่อนสูง ๒๗.๕๐ ม.

สันเขื่อนกว้าง ๙.๐๐ ม.

ระดับสันเขื่อน +๖๗.๕๐ ม.รทก.

ระดับน้ำสูงสุด +๖๔.๔๕ ม.รทก.

ระดับน้ำเก็บกัก +๖๔.๑๐ ม.รทก.

ระดับน้ำต่ำสุด +๕๑.๕๐ ม.รทก.

ระดับน้ำ ณ วันที่ตรวจสภาพ (๒๗ พฤษภาคม ๒๕๔๗) +๕๑.๓๒ ม.รทก.

ปริมาตรน้ำสูงสุด ๔๕๐.๐๐ ล้าน ลบ.ม.

ปริมาตรน้ำเก็บกัก ๔๒๐.๐๐ ล้าน ลบ.ม.

ปริมาตรน้ำต่ำสุด ๓๐.๐๐ ล้าน ลบ.ม.

ปริมาตรน้ำ ณ วันที่ตรวจสภาพ (๒๗ พฤษภาคม ๒๕๔๗) ๑๐๖.๑๐ ล้าน ลบ.ม.

เขื่อนปิดช่องเข้าตัว

สันเขื่อนยาว ๓๖๐.๐๐ ม.

สันเขื่อนสูง ๙.๕๐ ม.

สันเขื่อนกว้าง ๘.๐๐ ม.

## อาคารท่อระบายน้ำ/ส่งน้ำ (Outlet)

อาคารท่อระบายน้ำลงลำน้ำเตียน (River Outlet)

∅ 3.00 म.

๖๗.๐๐ ลบ.ม./วินาที

၁၁၅

ຮະນາຍນ້ຳໄດ້

## อาคารระบายน้ำลั่น (Spillway)

- อาการระยะน้ำล้นใน้งาน

แบบไม่มีบาน (Ungated Spillway) เกือกม้า

୭୯୮.୦୦ ମ.

ສັນໄຍງາວ

๑๗๖๐ ๗๐ ลบ.ม./วินาที

ຮະບາຍເງົ່າໄດ້



ເງື່ອນດອກອຸ່ສີຢັດ



### อาการท่อระบายน้ำล่องล้ำน้ำเดิม



## อาการระบายน้ำล้นใช้งาน



ເຂົ້ານປົດຊ່ວງເຫຼັກ

จากการตรวจสอบสันเขื่อนพบรอยร้าวตามขวาง (Transverse Crack) ช่วงรอยต่อระหว่างสันเขื่อนกับฝั่งขวาของอาคารระบายน้ำลิ้น และบริเวณใกล้เคียง ซึ่งมีการอุดด้วยยางมะตอยบางส่วน รอยร้าวตามยาว (Longitudinal Crack) พบร่อง กม.ที่ ๐+๐๐๐-๐+๒๐๐, ๑+๕๐๐-๑+๖๐๐ และ ๒+๓๐๐-๒+๔๐๐ ซึ่งเป็นรอยร้าวบริเวณริมสันเขื่อน ผิวจราจรถูกกัดเซาะเล็กน้อย บางช่วงเป็นหลุม ไม่พบการทรุดตัวบนสันเขื่อนที่ผิดปกติ ลาดเอื่องด้านหนึ่งอยู่ พบร่อง กม.ที่ ๐+๑๐๐-๑+๔๐๐ สภาพของวัสดุป้องกันลาดถูกกัดเซาะเสียหายเล็กน้อย บางแห่งมีการกัดเซาะลดเหลือเพียงเส้นร่อง ไม่พบการทรุดตัวเล็กน้อย มีร่องรอยที่หัวไป ลาดเอื่องด้านท้ายน้ำ พบร่อง กม.ที่ ๑+๕๐๐-๑+๖๐๐ สภาพของวัสดุป้องกันลดส่วนใหญ่เสียหาย มีแต่ร่องรอยที่หัวไป ฐานเขื่อน พบร่อง กม.ที่ ๑+๗๐๐ บริเวณฐานเขื่อนและรอยต่อของทำนบดินกับดินเดิม (Groin) Pressure Relief Well มีน้ำไหลเกือบทุกป่าในบริเวณนี้ (๗ ป่า) สภาพฐานเขื่อนช่วง กม.ที่ ๐+๒๐๐-๐+๓๐๐ ไม่พบร่องรอยใดๆ แต่พื้นที่โดยรอบไม่พบพื้นที่เปียก ทั้งสองแห่ง น้ำที่ซึมและไหลออกมานี้ลักษณะใส และพบร่องรอยจากการก่อสร้างเสร็จใหม่ๆ สภาพอื่นๆ มีเพียงตันไม้และวัชพืชขึ้น ส่วนบริเวณฝั่งขวาพบปัญหาน้ำซึมเข่นเดียวกับ บริเวณฐานเขื่อนและใกล้ๆ กับกำแพงฝั่งขวาของอาคารระบายน้ำ

ล้วน สภาพพื้นและกำแพงของอาคารท่อระบายน้ำลงลำบ้าเดิมและอาคารระบายน้ำล้วนไม่พบปัญหาการทรุดตัวและน้ำรั่ว



๑๓°๒๖'๔๒"N ๒๙° พฤหัสภาคม ๒๕๕๗ ๑๐๑°๓๙'๒๒"E

รอยร้าวตามยาว



๑๓°๒๖'๔๒"N ๒๙° พฤหัสภาคม ๒๕๕๗ ๑๐๑°๓๙'๒๒"E

รอยร้าวตามขวาง



๑๓°๒๖'๐๘"N ๒๙° พฤหัสภาคม ๒๕๕๗ ๑๐๑°๓๙'๐๑"E

วัสดุป้องกันลาดถูกกัดเซาะ



๑๓°๒๖'๔๒"N ๒๙° พฤหัสภาคม ๒๕๕๗ ๑๐๑°๓๙'๒๒"E

ลาดเขื่อนถูกกัดเซาะ



๑๓°๒๖'๐๐"N ๒๙° พฤหัสภาคม ๒๕๕๗ ๑๐๑°๓๙'๐๒"E

รูปของจากการเคลื่อนย้ายวัสดุป้องกันลาด



๑๓°๒๖'๒๗"N ๒๙° พฤหัสภาคม ๒๕๕๗ ๑๐๑°๓๙'๒๗"E

ทรุดตัว



๑๓°๒๖'๐๕"N ๒๙° พฤหัสภาคม ๒๕๕๗ ๑๐๑°๓๙'๔๗"E

สภาพลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ



๑๓°๒๖'๐๗"N ๒๙° พฤหัสภาคม ๒๕๕๗ ๑๐๑°๓๙'๐๗"E

สภาพวัสดุป้องกันลาดถูกกัดเซาะ



๑๓°๒๖'๔๗"N ๒๙° พฤหัสภาคม ๒๕๕๗ ๑๐๑°๓๙'๓๗"E

รูโพรง



๑๓°๒๖'๔๗"N ๒๙° พฤหัสภาคม ๒๕๕๗ ๑๐๑°๓๙'๔๗"E

บางช่วงต้นไม้และวัชพืชขึ้นหนาแน่น

ในการประเมินความเสี่ยงด้วยค่าความเสี่ยงของเขื่อนคลองสีယัด จ.ฉะเชิงเทรา ในครั้งนี้ ได้ทำการประเมินเพียงเขื่อนหลักเท่านั้น พบว่า ค่าดัชนีความเสี่ยงในกรณีการพิบติแบบน้ำไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping) มีค่าเท่ากับ ๑.๐๐ ค่าดัชนีความเสี่ยงในกรณีการพิบติแบบกัดเซาะภายใน (Piping) มีค่าเท่ากับ ๑.๗๗ ค่าดัชนีความเสี่ยงในกรณีการพิบติแบบการเลื่อนไถ (Sliding) มีค่าเท่ากับ ๑.๗๑ ค่าดังสรุปในตารางที่ ๒๑-๒๓

ตารางที่ ๒๑ ค่าดัชนีความเสี่ยงในกรณีการพิบติแบบน้ำไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping)

องค์ประกอบ				สภาพที่ทำการ ตรวจสอบ	Adjust	คะแนน	WF*FC
ระดับที่ ๑	ระดับที่ ๒	ระดับที่ ๓	ระดับที่ ๔		Weight	SC	
เขื่อน	ตัวเขื่อน	สันเขื่อน			(Max)		
อาคารท่อส่งน้ำ/ ระบายน้ำล่องนำน้ำเดิม	ส่วนทางน้ำเข้า	อาคารรับน้ำ (Intake)	พื้น	กัดเซาะ	๐.๐๙	๑	๐.๐๙
			กำแพง	กัดเซาะ	๐.๐๙	๑	๐.๐๙
			ตะแกรง (Trashrack)	สิ่งกีดขวางทางน้ำ	๐.๐๙	๑	๐.๐๙
	ส่วนควบคุมน้ำ	อุปกรณ์เครื่องกล/ไฟฟ้า		สภาพการใช้งาน	๐.๐๙	๑	๐.๐๙
อาคารระบายน้ำล้น	ส่วนทางน้ำเข้า	พื้น		สิ่งกีดขวางทางน้ำ	๐.๓๕	๑	๐.๓๕
					๑.๐๐	RI	๑.๐๐

ตารางที่ ๒๒ ค่าดัชนีความเสี่ยงในการนิการพิบัติแบบกัดเซาะภายใน (Piping)

องค์ประกอบ			สภาพที่ทำการตรวจสอบ	Adjust	คะแนน	WF*FC
ระดับที่ ๑	ระดับที่ ๒	ระดับที่ ๓		Weight	SC	
				(Max)		
เขื่อน	สันเขื่อน	ลาดเขื่อนหนึ่งอัน	รอยแตกตามขวาง	๐.๑๒	๒	๐.๒๔
			การทรุดตัว	๐.๑๙	๑	๐.๑๙
			รูปทรง	๐.๐๑	๑	๐.๐๑
			ต้นไม้	๐.๐๑	๑	๐.๐๑
			รัชพืช	๐.๐๑	๒	๐.๐๓
	ตัวเขื่อน	ลาดเขื่อนหนึ่งอัน	การทรุดตัว	๐.๑๒	๒	๐.๒๔
			รูปทรง	๐.๐๖	๔	๐.๒๔
			ต้นไม้	๐.๐๒	๔	๐.๑๐
			การเสื่อมสภาพ	๐.๐๑	๑	๐.๐๑
	ลาดเขื่อนท้ายน้ำ	ลาดเขื่อนท้ายน้ำ	การทรุดตัว	๐.๐๖	๑	๐.๐๖
			รูปทรง	๐.๐๒	๒	๐.๐๔
			ต้นไม้	๐.๐๒	๔	๐.๑๐
			รอยแตกร้าว	๐.๐๖	๑	๐.๐๖
			การซึม	๐.๐๖	๑	๐.๐๖
	ฐานเขื่อน		การซึม	๐.๐๖	๓	๐.๑๘
อาคารท่อส่งน้ำ/ระบายน้ำลงนำน้ำเดิม	ส่วนท่อลำเลียงน้ำ	ห้องลำเลียงน้ำ	การร้าว	๐.๐๖	๑	๐.๐๖
		พื้น	การร้าว	๐.๐๒	๑	๐.๐๒
		กำแพง	การร้าว	๐.๐๒	๑	๐.๐๒
	ส่วนสลายหลังงาน	พื้น	การร้าว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑
		กำแพง	การร้าว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑
อาคารระบายน้ำถาวร	ส่วนลำเลียงน้ำ	พื้น	การร้าว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑
		กำแพง	การร้าว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑
	ส่วนสลายหลังงาน	พื้น	การร้าว	๐.๐๐		๐.๐๐
		กำแพง	การร้าว	๐.๐๑	๓	๐.๓๗
				๑.๐๐	R1	๑.๗๗

ตารางที่ ๒๓ ค่าดัชนีความเสี่ยงในการพิบัติแบบการเลื่อนไกล (Sliding)

องค์ประกอบ			สภาพที่ทำการตรวจสอบ	ค่าน้ำหนัก	คะแนน	WF*FC
ระดับที่ ๑	ระดับที่ ๒	ระดับที่ ๓		WF	SC	
เขื่อน	ตัวเขื่อน	สันเขื่อน	รอยแตกตามขวาง	๐.๓๓	๒	๐.๗๗
			รอยแตกตามยาว	๐.๐๗	๒	๐.๑๓
			การทรุดตัว	๐.๓๓	๑	๐.๑๓
			ความหนาแน่น	๐.๐๒	๒	๐.๐๔
		ลาดเดื่อหนึ่งหนึ่งน้ำ	การทรุดตัว	๐.๓๓	๒	๐.๗๗
			การกัดเซาะ	๐.๐๔	๓	๐.๑๓
			การเลื่อนไกล	๐.๐๗	๑	๐.๐๗
		ลาดเดื่อนท้ายน้ำ	การทรุดตัว	๐.๓๓	๑	๐.๑๓
			การกัดเซาะ	๐.๐๔	๓	๐.๑๓
			การเลื่อนไกล	๐.๐๔	๔	๐.๑๔
อาคารระบายน้ำลั้น	ส่วนทางน้ำเข้า	พื้น	การทรุดตัว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑
		ฝ่ายคอนกรีต	การทรุดตัว	๐.๐๔	๑	๐.๐๔
	ส่วนควบคุมน้ำ	พื้น	การแตกร้าว	๐.๐๔	๒	๐.๐๘
		พื้น	การทรุดตัว	๐.๐๔	๑	๐.๐๔
	ส่วนถังเก็บน้ำ	พื้น	การทรุดตัว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑
	ส่วนสายพลังงาน	พื้น	การทรุดตัว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑
				๑.๐๐	RI	๑.๗๗

เขื่อนทับเสลา จ.อุทัยธานี (อาคารระบายน้ำลั้นแบบมีบาน)

ข้อมูลทั่วไปของเขื่อน

ที่ตั้ง

บ้านระบำ ตำบลระบำ อําเภอลานสัก จังหวัดอุทัยธานี

มาตราส่วน

๑:๕๐๐๐

ระยะ

๔๘.๔๐ ||

พิกัด

๔๗ PNT ๔๘๗-๑๗๔

ละติจูด

๑๕° - ๐๓' - ๑๒" N

ลองติจูด

๙๗° - ๒๖' - ๔๖" E

ข้อมูลทั่วไปเขื่อน

ชนิดเขื่อน เป็นเขื่อนดิน ปิดกั้นลำน้ำทับเสลา

เริ่มก่อสร้าง

พ.ศ. ๒๕๑๘

แล้วเสร็จ

พ.ศ. ๒๕๓๑

พื้นที่อ่างฯ

๑๙.๐๐ ตร.กม.

ปริมาณน้ำในอ่างฯ

๒๐๑.๐๐ ล้าน ลบ.ม./ปี

พื้นที่รับน้ำ

๕๓๔.๐๐ ตร.กม.

ปริมาณฝนเฉลี่ย

๑,๔๙๖.๐๐ มม./ปี

ลักษณะหัวงานเขื่อน		
สันเขื่อนยาว	๓,๓๗๔.๐๐	ม.
สันเขื่อนสูง	๒๖.๘๐	ม.
สันเขื่อนกว้าง	๑๐.๐๐	ม.
ระดับสันเขื่อน	+๑๕๙.๕๐	ม.รทก.
ระดับน้ำสูงสุด	+๑๕๊.๙๘	ม.รทก.
ระดับน้ำเก็บกัก	+๑๕๕.๐๐	ม.รทก.
ระดับน้ำต่ำสุด	+๑๔๒.๐๐	ม.รทก.
ระดับน้ำ ณ วันที่ตรวจสอบ (๒๗ มีนาคม ๒๕๕๕)	+๑๔๔.๒๓	ม.รทก.
ปริมาตรน้ำสูงสุด	๑๙๐.๐๐	ล้าน ลบ.ม.
ปริมาตรน้ำเก็บกัก	๑๖๐.๐๐	ล้าน ลบ.ม.
ปริมาตรน้ำต่ำสุด	๑๗.๐๐	ล้าน ลบ.ม.
ปริมาตรน้ำ ณ วันที่ตรวจสอบ (๒๗ มีนาคม ๒๕๕๕)	๒๖.๔๘	ล้าน ลบ.ม.
อาคารท่อระบายน้ำ/ล่งน้ำ (Outlet)		
อาคารท่อระบายน้ำล่งลำน้ำเดิม (River Outlet)		
ขนาด	Ø ๓.๐๐	ม.
ระบายน้ำได้	๓๓.๕๐	ลบ.ม./วินาที
อาคารระบายน้ำล้น (Spillway)		
- อาคารระบายน้ำลันใช้งาน		
แบบมีบาน (Gated Spillway) แบบ Radial Gate		
ขนาดของงานระบายน้ำ	๓ @ ๑๒.๕๐ X ๖.๐๐	ม.
ระบายน้ำได้	๑,๐๒๐.๐๐	ลบ.ม./วินาที
- อาคารระบายน้ำลันฉุกเฉิน		
แบบไม่มีบาน (Un gated Spillway)		
สันฝายกว้าง	๑๒.๕๐	ม.
ระบายน้ำได้	๓๙๘.๐๐	ลบ.ม./วินาที





๑๕°๓๐'๔๗"N ๒๖ มีนาคม ๒๕๕๗ ๙๙°๒๖'๔๘"E  
อาคารระบายน้ำลันชุกใช้งาน



๑๕°๓๐'๔๗"N ๒๖ มีนาคม ๒๕๕๗ ๙๙°๒๖'๔๘"E  
อาคารระบายน้ำลันชุกเนิน

จากการตรวจสอบสันเขื่อน พบร้า มีรอยร้าวตามยาวและตามขวาง ลักษณะเป็นรอยร้าวที่เกิดจากอุณหภูมิ (Temperature Crack) สภาพผิวจราจรบนสันเขื่อนถูกกัดเซาะ และบางแห่งเป็นแอ่งน้ำ **ลาดเขื่อนด้านหนึ่งน้ำ** พบร้า ในช่วงที่เป็นจุดที่ค่อนข้างลึกเกิดการทรุดตัวทั่วไป โดยเฉพาะในช่วง กม.ที่ ๑+๙๐๐-๒+๐๐๐ ที่เกิดการทรุดตัวมากกว่าเข่า ในช่วง กม.ที่ ๑+๗๐๐-๑+๙๐๐ เกิดการเลื่อนไอล์ลีกน้อย มีการกัดเซาะวัสดุป้องกันลาดสีyahayตลอดแนวความยาวเขื่อน ตั้งแต่ช่วง กม.ที่ ๐+๕๖๐-๓+๑๐๐ เกิดการกัดเซาะหินทึบในระดับที่ต่ำกว่าระดับน้ำเก็บกักเป็นส่วนใหญ่ ในบางช่วงเกิดการกัดเซาะหินขนาดเล็ก ทำให้เกิดเป็นรูโพรงจากหินขนาดใหญ่ บางช่วงหินมีขนาดใหญ่มาก ทำให้เกิดการขัดกันจนเกิดมีรูโพรง ส่วนปัญหาอื่นๆ ได้แก่ มีวัชพืชและต้นไม้ขึ้น **ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ** พบร้า สภาพของวัสดุป้องกันลาดส่วนใหญ่อยู่ในสภาพดี พบร้ามีการทรุดตัวเล็กน้อยซึ่งเกิดขึ้นนาน และไม่ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของตัวเขื่อนแต่อย่างใด มีต้นไม้และวัชพืชขึ้นอยู่ทั่วไป ไม่พบการเลื่อนไอล์ลีกและน้ำซึมด้านท้ายน้ำ **ฐานเขื่อนไม่พบปัญหาน้ำรั่วซึม** พื้นและกำแพงส่วนทางน้ำออกและส่วนปลายพลังงานของอาคารท่อระบายน้ำลังสำเร็จเดิมและอาคารระบายน้ำลันชุกมีรอยร้าวและมีน้ำรั่ว



๑๕°๓๐'๐๓"N ๒๖ มีนาคม ๒๕๕๗ ๙๙°๒๖'๔๐"E  
สภาพสันเขื่อน



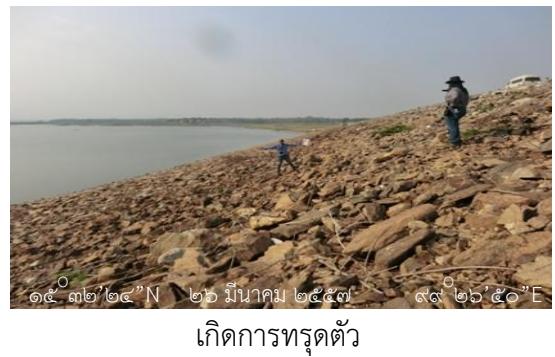
๑๕°๓๐'๐๓"N ๒๖ มีนาคม ๒๕๕๗ ๙๙°๒๖'๔๐"E  
รอยร้าวตามยาว



๑๕°๓๐'๒๔"N ๒๖ มีนาคม ๒๕๕๗ ๙๙°๒๖'๔๘"E  
รอยร้าวตามยาว



๑๕°๓๐'๑๙"N ๒๖ มีนาคม ๒๕๕๗ ๙๙°๒๖'๔๘"E  
ถูกกัดเซาะเป็นแอ่งน้ำ



ในการประเมินความเสี่ยงด้วยค่าดัชนีความเสี่ยงของเขื่อนทับเวลา จ.อุทัยธานี ในครั้งนี้ ได้ทำการประเมินเพียงเขื่อนหลักเท่านั้น พบว่า ค่าดัชนีความเสี่ยงในการณ์การพิบัติแบบน้ำไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping) มีค่าเท่ากับ ๑.๐๐ ค่าดัชนีความเสี่ยงในการณ์การพิบัติแบบกัดเซาะภายใน (Piping) มีค่าเท่ากับ ๒.๐๒ ค่าดัชนีความเสี่ยงในการณ์การพิบัติแบบการเลื่อนไถ (Sliding) มีค่าเท่ากับ ๒.๐๒ ค่าดังสรุปในตารางที่ ๒๔-๒๖

ตารางที่ ๒๔ ค่าดัชนีความเสี่ยงในการณ์การพิบัติแบบน้ำไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping)

ระดับที่ ๑	ระดับที่ ๒	ระดับที่ ๓	ระดับที่ ๔	องค์ประกอบ		สภาพที่ทำการตรวจสอบ	ค่าน้ำหนัก	คะแนน	WF*FC
				WF	SC				
				(Max)					
เขื่อน	ตัวเขื่อน	สันเขื่อน		การทรุดตัว	๐.๗๙	๑	๐.๗๙		
อาคารท่อส่งน้ำ/ ระบายน้ำลงนำ้าเดิม	ส่วนทางน้ำเข้า	อาคารรับน้ำ (Intake)	พื้น	กัดเซาะ	๐.๐๔	๑	๐.๐๔		
			กำแพง	กัดเซาะ	๐.๐๔	๑	๐.๐๔		
			ตะแกรง (Trashrack)	สิ่งกีดขวางทางน้ำ	๐.๐๔	๑	๐.๐๔		
	ส่วนควบคุมน้ำ	อุปกรณ์เครื่องกล/ไฟฟ้า		สภาพการใช้งาน	๐.๐๔	๑	๐.๐๔		
		บานระบายน้ำ		สภาพการใช้งาน	๐.๑๒	๑	๐.๑๒		
อาคารระบายน้ำล้น	ส่วนทางน้ำเข้า	พื้น		สิ่งกีดขวางทางน้ำ	๐.๗๙	๑	๐.๗๙		
	ส่วนควบคุมน้ำ	บานระบายน้ำ		สภาพการใช้งาน	๐.๗๙	๑	๐.๗๙		
		อุปกรณ์เครื่องกล/ไฟฟ้า		สภาพการใช้งาน	๐.๗๙	๑	๐.๗๙		
					๑.๐๐	RI	๑.๐๐		

ตารางที่ ๒๕ ค่าดัชนีความเสี่ยงในการนิการพิบัติแบบกัดเซาะภายใน (Piping)

องค์ประกอบ			สภาพที่ทำการตรวจสอบ			WF*FC	
ระดับที่ ๑	ระดับที่ ๒	ระดับที่ ๓		Adjust	คะแนน		
				Weight	SC		
เขื่อน	ตัวเขื่อน	สันเขื่อน	รอยแตกตามขวาง	๐.๑๒	๒	๐.๒๔	
			การทรุดตัว	๐.๑๙	๑	๐.๑๙	
			รูปทรง	๐.๐๑	๑	๐.๐๑	
			ตันไม้	๐.๐๑	๕	๐.๐๕	
			วัชพืช	๐.๐๑	๒	๐.๐๓	
		ลาดเชื่อนหนึอน้ำ	การทรุดตัว	๐.๑๒	๓	๐.๓๗	
			รูปทรง	๐.๐๖	๔	๐.๒๔	
			ตันไม้	๐.๐๒	๕	๐.๑๐	
			การเสื่อมสภาพ	๐.๐๑	๑	๐.๐๑	
		ลาดเชื่อนท้ายน้ำ	การทรุดตัว	๐.๐๖	๒	๐.๑๒	
			รูปทรง	๐.๐๒	๑	๐.๐๒	
			ตันไม้	๐.๐๒	๕	๐.๑๐	
			รอยแตกกรร้าว	๐.๐๖	๑	๐.๐๖	
			การซึม	๐.๐๖	๑	๐.๐๖	
		ฐานเขื่อน	การซึม	๐.๐๖	๓	๐.๑๘	
อาคารท่อส่งน้ำ/ระบายน้ำลงนำ้าเดิม	ส่วนท่อลำเลียงน้ำ	ห่อลำเลียงน้ำ	การร้าว	๐.๐๖	๑	๐.๐๖	
		พื้น	การร้าว	๐.๐๒	๑	๐.๐๒	
	ส่วนทางน้ำออก	กำแพง	การร้าว	๐.๐๒	๓	๐.๐๖	
		พื้น	การร้าว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑	
		กำแพง	การร้าว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑	
อาคารระบายน้ำล้วน	ส่วนลำเลียงน้ำ	พื้น	การร้าว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑	
		กำแพง	การร้าว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑	
	ส่วนสลายพลังงาน	พื้น	การร้าว	๐.๐๐	๑	๐.๐๐	
		กำแพง	การร้าว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑	
				๑.๐๐	Ri	๒.๐๒	

## ตารางที่ ๒๖ ค่าดัชนีความเสี่ยงในการนิการพิบัติแบบการเลื่อนไกล (Sliding)

องค์ประกอบ			สภาพที่ทำการตรวจสอบ	ค่าน้ำหนัก	คะแนน	WF*FC
ระดับที่ ๑	ระดับที่ ๒	ระดับที่ ๓		WF	SC	
เขื่อน	ตัวเขื่อน	สันเขื่อน	รอยแตกตามขวาง	๐.๓๓	๒	๐.๒๗
			รอยแตกตามยาว	๐.๐๗	๒	๐.๑๓
			การทรุดตัว	๐.๓๓	๑	๐.๑๓
			ความทนทาน	๐.๐๗	๓	๐.๐๗
		ลาดเชื่อมเหนือน้ำ	การทรุดตัว	๐.๓๓	๓	๐.๔๐
			การกัดเซาะ	๐.๐๔	๓	๐.๑๓
			การเลื่อนไกล	๐.๐๗	๔	๐.๒๗
		ลาดเชื่อมท้ายน้ำ	การทรุดตัว	๐.๓๓	๒	๐.๒๗
			การกัดเซาะ	๐.๐๔	๓	๐.๑๓
			การเลื่อนไกล	๐.๐๔	๑	๐.๐๔
อาคารระบายน้ำลั่น	ส่วนทางน้ำเข้า	พื้น	การทรุดตัว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑
		ฝายคอนกรีต	การทรุดตัว	๐.๐๔	๑	๐.๐๔
			การแตกร้าว	๐.๐๔	๑	๐.๐๔
		พื้น	การทรุดตัว	๐.๐๔	๑	๐.๐๔
	ส่วนล่าเลียงน้ำ	พื้น	การทรุดตัว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑
	ส่วนสายพลังงาน	พื้น	การทรุดตัว	๐.๐๑	๑	๐.๐๑
				๑.๐๐	RI	๒.๐๒

## ๕. สรุป

การประเมินความเสี่ยงของเขื่อนด้วยดัชนีความเสี่ยง (Risk Index) ได้พัฒนามาจากการงานงานวิจัย วิทยานิพนธ์ปริญญาโท และจากรายงานวิชาการต่างๆ นำมาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับกรมชลประทาน โดยเน้นเฉพาะปัจจัยภายในอย่างเดียวเท่านั้น หมายถึง จากการตรวจสอบทางภาพของเขื่อนด้วยสายตาเพียงอย่างเดียวเท่านั้น ยังไม่ได้นำปัจจัยภายนอก เช่น แผ่นดินไหว หรือการบริหารจัดการน้ำมาพิจารณา โดยได้นำเขื่อนขนาดใหญ่ของกรมชลประทานจำนวน ๒ เขื่อน ได้แก่ เขื่อนคลองสียัด จ.ฉะเชิงเทรา และเขื่อนทับเสลา จ.อุทัยธานี มาประเมินความเสี่ยง พบว่า ค่าดัชนีความเสี่ยงที่ได้ในแต่ละกรณีของการพิบัติอยู่ ๑.๐๐-๒.๐๒ หมายถึง เขื่อนอยู่ในสถานะปกติ

ค่าดัชนีความเสี่ยงมีข้อจำกัด คือ จะพิจารณาเฉพาะสภาพที่ปรากฏ ดังนั้น สำหรับการพิบัติที่ซับซ้อน และการตรวจสอบด้วยสายตาเพียงอย่างเดียว อาจจะมีความคลาดเคลื่อน ในการประเมินความเสี่ยงต่อไป จะทำการประเมินความเสี่ยงทั้งปัจจัยภายนอกและภายนอกร่วมกัน เพื่อให้ทันต่อสถานะกรณีที่กำลังเกิดเหตุการณ์ ผิดปกติ เช่น แผ่นดินไหว และทำการจัดลำดับความเสี่ยงเขื่อนของกรมชลประทาน เพื่อให้ในการวางแผนการติดตามอย่างเป็นขั้นตอน

## ๖. เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. ๒๕๕๕. การบริหารจัดการความเสี่ยงของกรมชลประทาน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๕.

ธวัชชัย ปันสุข. ๒๕๕๓. การตรวจสภาพเขื่อนดินโดยวิธีดัชนีความเสี่ยง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บัญชรี คำนา. ๒๕๕๓. การศึกษาอิทธิพลขององค์ประกอบและคุณสมบัติสำคัญต่อความมั่นคงของเขื่อนดินตามขนาดเล็กและขนาดกลางในประเทศไทยจากแรงกระทำแผ่นดินไหว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรากร ไม้เรียง. ๒๕๔๒. วิศวกรรมเขื่อนดิน. ไลบรารี นาย. กรุงเทพฯ.

วรากร ไม้เรียง. ๒๕๕๐. การตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานรากภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์และคณะ. ๒๕๔๙. การประเมินความเสี่ยงโดยวิธีดัชนีความเสี่ยง (RISK INDEX, RI) จากการวิจัยการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงภัยของเขื่อนเพื่อการชลประทานในประเทศไทย.

สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ และคณะ. ๒๕๕๐. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ การวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงภัยของเขื่อนเพื่อการชลประทานในประเทศไทย-(การศึกษาความเป็นไปได้และกรณีตัวอย่าง). ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุทธิศักดิ์ ศรลัมพ์ และวรากร ไม้เรียงโครงการอุปกรณ์ชุดวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงภัยเขื่อนในสภาวะ .การพิบัติของเขื่อน .  
.ปกติและสภาวะอันตรายศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ส่วนความปลอดภัยเขื่อน.๒๕๕๕. คู่มือความปลอดภัยเขื่อนและอ่างเก็บน้ำฉบับพกพา. เอกสารแปล.  
สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา. กรมชลประทาน.

Bowles, D.S. ๑๙๘๘. The Practice of Dam Safety Risk Assessment and Management : its Roots, its Branches, and its Fruit. Proceedings of USCOLD ๑๙๘๘ Annual Lecture, Buffalo, New York.

Indiana. ๒๐๐๗. Indiana Dam Safety Inspection Manual, Part 3 Dam Safety Inspections. Department of Natural Resources, Division of Water, Indianapolis, Indiana.

State of Oregon. ๒๐๐๗. Dam Safety in Oregon A General Guide. Water Resources Department.

## ภาคผนวก



แบบบันทึกการตรวจสอบเชื่อมเพื่อประเมินความเสี่ยง  
ส่วนความปลอดภัยเชื่อม  
กรมชลประทาน

ชื่อเชื่อม :	รหัสเชื่อม :		
ที่ดังเชื่อม บ้าน :	ตำบล :	อำเภอ :	จังหวัด :
ความยาวเชื่อม (เมตร) :	ความสูงเชื่อม (เมตร) :	ความกว้างสันเชื่อม (เมตร) :	
ปริมาตรความจุ : ล้าน ลบ .ม.	ปริมาณน้ำ ณ วันที่ตรวจ :		
ต่ำสุด :	ปกติ :	สูงสุด :	
ระดับต่างๆ : เมตร ราก .	ระดับน้ำ ณ วันที่ตรวจ : +		
ระดับน้ำต่ำสุด :	ระดับน้ำเก็บกักปกติ :	ระดับน้ำเก็บกักสูงสุด :	
ระดับสันเชื่อม :			
โครงการที่รับผิดชอบ :			
หัวหน้าโครงการ :	ผู้ดูแลรับผิดชอบเชื่อม :		
โทรศัพท์ :	โทรสาร :	อีเมล :	
รายชื่อผู้ร่วมการตรวจสอบเชื่อม :			
ชื่อ - นามสกุล	ตำแหน่ง	สังกัด	
วันที่ทำการตรวจสอบเชื่อม :			
สภาพอากาศ ณ วันที่ ตรวจ :			
อุณหภูมิ ณ วันที่ ตรวจ :			
		.....	
(.....)		วันที่	

## แบบทั่วไปของเข็ม

รายการ		รอยแตกร้าวตามยาว					รอยแตกร้าวตามยาว					การทรุดตัว <sup>1</sup>					ความทนทาน					รูปทรง					ด้านไม้					
จาก (กม.)	ถึง (กม.)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
0+000	0+100																															
0+100	0+200																															
0+200	0+300																															
0+300	0+400																															
0+400	0+500																															
0+500	0+600																															
0+600	0+700																															
0+700	0+800																															
0+800	0+900																															
0+900	1+000																															
1+000	1+100																															
1+100	1+200																															
1+200	1+300																															
1+300	1+400																															
1+400	1+500																															
รายการ		วัชพืช					หมายเหตุ																									
จาก (กม.)	ถึง (กม.)	1	2	3	4	5	หมายเหตุ																									
0+000	0+100																															
0+100	0+200																															
0+200	0+300																															
0+300	0+400																															
0+400	0+500																															
0+500	0+600																															
0+600	0+700																															
0+700	0+800																															
0+800	0+900																															
0+900	1+000																															
1+000	1+100																															
1+100	1+200																															
1+200	1+300																															
1+300	1+400																															
1+400	1+500																															
หมายเหตุ		รอยแตกร้าวตามยาว					รอยแตกร้าวตามยาว					การทรุดตัว <sup>1</sup>					ความทนทาน					รูปทรง					ด้านไม้					
รอยแตกร้าวตามยาว		(5) เกิดรอยแตกร้าวมีความกว้างและความลึกเป็นทางยาว (3) เกิดรอยแตกร้าวมีความกว้างและความลึกบางจุด (2) เกิดรอยร้าว (1) ไม่เกิดรอยแตกร้าว					รอยแตกร้าวตามยาว					(4) เกิดรอยแตกร้ามความกว้างและความลึกเป็นทางยาว (3) เกิดรอยแตกร้าวมีความกว้างและความลึกบางจุด (2) เกิดรอยร้าว (1) ไม่เกิดรอยแตกร้าว					การทรุดตัว <sup>1</sup>					(4) ทรุดตัวประมาณเอว / >เอว (3) ทรุดตัวสิ่งปลูกสร้างที่ต่ำกว่าเอว / >แต่ไม่ถึงเอว (2) ทรุดตัวสิ่งปลูกสร้างที่ต่ำกว่าเอว / >แต่ไม่ถึงเอว (1) ไม่เกิดการทรุดตัว					ความทนทาน					
การทรุดตัว <sup>1</sup>		(4) ทรุดตัวประมาณเอว / >เอว (3) ทรุดตัวสิ่งปลูกสร้างที่ต่ำกว่าเอว / >แต่ไม่ถึงเอว (2) ทรุดตัวสิ่งปลูกสร้างที่ต่ำกว่าเอว / >แต่ไม่ถึงเอว (1) ไม่เกิดการทรุดตัว					ความทนทาน					(5) เกิดร่องลึกกว่าหัวหิน (3) เกิดเป็นแองกี้ (2) มีวิ่งลึกกว่าหัวหิน (1) ไม่เกิดร่องลึก					รูปทรง					(4) มีรูโพรงลึกกว่าหัวหิน (2) มีรูโพรงลึกกว่าหัวหิน (1) ไม่มีรูโพรง										
ความทนทาน		(5) เกิดร่องลึกกว่าหัวหิน (3) เกิดเป็นแองกี้ (2) มีวิ่งลึกกว่าหัวหิน (1) ไม่เกิดร่องลึก					ความทนทาน					(5) ต้นไม้สูงกว่าหัวหิน (4) ต้นไม้สูงกว่าหัวหิน (3) ต้นไม้สูงต่ำกว่าหัวหิน (2) ต้นไม้ต่ำกว่าหัวหิน (1) ไม่มีต้นไม้					ด้านไม้					(4) มีวิ่งพากลุ่มมากกว่า 50% ของพื้นที่ (2) มีวิ่งพากลุ่มมากกว่า 50% ของพื้นที่ (1) ไม่มีวิ่งพากลุ่ม										
รูปทรง		(4) มีรูโพรงลึกกว่าหัวหิน (2) มีรูโพรงลึกกว่าหัวหิน (1) ไม่มีรูโพรง					ด้านไม้					(4) มีวิ่งพากลุ่มมากกว่า 50% ของพื้นที่ (2) มีวิ่งพากลุ่มมากกว่า 50% ของพื้นที่ (1) ไม่มีวิ่งพากลุ่ม					หัวหิน					(4) หัวหินสูงกว่าหัวหิน (2) หัวหินต่ำกว่าหัวหิน (1) ไม่มีหัวหิน										
ด้านไม้		(4) มีวิ่งพากลุ่มมากกว่า 50% ของพื้นที่ (2) มีวิ่งพากลุ่มมากกว่า 50% ของพื้นที่ (1) ไม่มีวิ่งพากลุ่ม					หัวหิน					(4) หัวหินสูงกว่าหัวหิน (2) หัวหินต่ำกว่าหัวหิน (1) ไม่มีหัวหิน					หัวหิน					(4) หัวหินสูงกว่าหัวหิน (2) หัวหินต่ำกว่าหัวหิน (1) ไม่มีหัวหิน										

#### 1. เขื่อน (Dam) : 1.1 ตัวเขื่อน (Dam Body) : 1.1.2 ลาดเขื่อนด้านหนึ่ง (Upstream Slope)

1. เขื่อน (Dam) : 1.1 ตัวเขื่อน (Dam Body) : 1.1.3 ลาดชี้ของด้านท้ายน้ำ (Downstream Slope)

รายการ		การกัดเซาะ <sup>1</sup>					การทรุดตัว <sup>1</sup>					การซึม					การเลื่อนไถล					การเสื่อมสภาพ <sup>1</sup>					ต้นไม้																										
จาก (กม.)	ถึง (กม.)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5																						
0+000	0+100																																																				
0+100	0+200																																																				
0+200	0+300																																																				
0+300	0+400																																																				
0+400	0+500																																																				
0+500	0+600																																																				
0+600	0+700																																																				
0+700	0+800																																																				
0+800	0+900																																																				
0+900	1+000																																																				
1+000	1+100																																																				
1+100	1+200																																																				
1+200	1+300																																																				
1+300	1+400																																																				
1+400	1+500																																																				
รายการ		รูปทรง					รอยแตกร้าว																																														
จาก (กม.)	ถึง (กม.)	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5																																										
0+000	0+100																																																				
0+100	0+200																																																				
0+200	0+300																																																				
0+300	0+400																																																				
0+400	0+500																																																				
0+500	0+600																																																				
0+600	0+700																																																				
0+700	0+800																																																				
0+800	0+900																																																				
0+900	1+000																																																				
1+000	1+100																																																				
1+100	1+200																																																				
1+200	1+300																																																				
1+300	1+400																																																				
1+400	1+500																																																				
หมายเหตุ		การกัดเซาะ <sup>1</sup>					(5) กัดเซาะเสียหาย >50% (3) กัดเซาะเสียหาย < 50% (1) ไม่เกิดการกัดเซาะ					การทรุดตัว <sup>1</sup>					(4) ทรุดตัวประเมินอย่างไร (> เอ้า (3) ทรุดตัวลึกประมาณเข่า / >แต่ไม่ถึงเข่า (2) ทรุดตัวลึกประมาณข้อเท้า / >แต่ไม่ถึงเข่า (1) ไม่เกิดการทรุดตัว					การซึม					(4) เกิดการซึมและมีการไหลรวม (3) เกิดการซึมเป็นความกว้างมากกว่า 30% (2) เกิดการซึมเป็นทางยาวน้อยกว่า 30% (1) ไม่เกิดการซึม					การเลื่อนไถล					(4) เกิดการเลื่อนไถล (1) ไม่เกิดการเลื่อนไถล					การเสื่อมสภาพ <sup>1</sup>					(5) เสื่อมสภาพเสียหาย >50% (3) เสื่อมสภาพเสียหาย < 50% (1) ไม่เกิดการเสื่อมสภาพ						
		รูปทรง					รอยแตกร้าว																																														

1. เขื่อน (Dam) : 1.3 ฐานเขื่อน (Rockfill Toe, Toe Drain, Contact Drain, Open Drain)

รายการ		การซึม					หมายเหตุ
จาก (กม.)	ถึง (กม.)	1	2	3	4	5	
0+000	0+100						
0+100	0+200						
0+200	0+300						
0+300	0+400						
0+400	0+500						
0+500	0+600						
0+600	0+700						
0+700	0+800						
0+800	0+900						
0+900	1+000						
1+000	1+100						
1+100	1+200						
1+200	1+300						
1+300	1+400						
1+400	1+500						

หมายเหตุ

การซึม

(4) เกิดการซึมและมีการไหลรวม (3) เกิดการซึมเป็นความยาวมากกว่า 30% (2) เกิดการซึมเป็นทางยาวน้อยกว่า 30% (1) ไม่เกิดการซึม

2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.1 ท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (River Outlet) : 2.1.1 ส่วนทางน้ำเข้า : 2.1.1.2 อาคารรับน้ำ (Intake) : 2.1.1.2.1 <u>พื้นและกำแพง</u>									
รายการ	การกัดเซาะ <sup>2</sup>					หมายเหตุ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่เพื่ิน									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.1 ท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (River Outlet) : 2.1.1 ส่วนทางน้ำเข้า : 2.1.1.2 อาคารรับน้ำ (Intake) : 2.1.1.2.2 <u>ตะแกรง (Trashrack)</u>									
รายการ	การกัดเซาะ <sup>3</sup>					สิ่งกีดขวางทางน้ำ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4
<input type="checkbox"/> มีอยู่เพื่ิน									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.1 ท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (River Outlet) : 2.1.2 ส่วนท่อคัลเลอเริงน้ำ : 2.1.2.1 <u>ห้องคัลเลอเริงน้ำ</u>									
รายการ	การรั่ว					หมายเหตุ			
	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่เพื่ิน									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.1 ท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (River Outlet) : 2.1.3 ส่วนควบคุมน้ำ : 2.1.3.2 <u>อุปกรณ์เครื่องกล</u>									
รายการ	สภาพการใช้งาน					หมายเหตุ			
	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่เพื่ิน									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.1 ท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (River Outlet) : 2.1.3 ส่วนควบคุมน้ำ : 2.1.3.3 <u>อุปกรณ์ไฟฟ้า</u>									
รายการ	สภาพการใช้งาน					หมายเหตุ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่เพื่ิน									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.1 ท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (River Outlet) : 2.1.3 ส่วนควบคุมน้ำ : 2.1.3.4 <u>Guard Gate</u>									
รายการ	สภาพการใช้งาน					หมายเหตุ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่เพื่ิน									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.1 ท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (River Outlet) : 2.1.3 ส่วนควบคุมน้ำ : 2.1.3.5 <u>Operating Gate</u>									
รายการ	สภาพการใช้งาน					หมายเหตุ			
	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่เพื่ิน									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.1 ท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (River Outlet) : 2.1.4 ส่วนทางน้ำออก : 2.1.4.1 ร่างเขต : 2.1.4.1.1 <u>ผู้ดูแล</u>									
รายการ	การรั่ว					หมายเหตุ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่เพื่ิน									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.1 ท่อระบายน้ำลงลำน้ำเดิม (River Outlet) : 2.1.4 ส่วนทางน้ำออก : 2.1.4.1 ร่างเขต : 2.1.4.1.2 <u>กำแพง</u>									
รายการ	การรั่ว					หมายเหตุ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่เพื่ิน									
<b>หมายเหตุ</b>	<b>สิ่งกีดขวางทางน้ำ</b>								
การกัดเซาะ <sup>2</sup>	(5) มีสิ่งกีดขวางทางน้ำ และขวางทางเดินน้ำทั้งหมด (3) มีสิ่งกีดขวางทางน้ำ แต่ปิดขวางทางเดินน้ำบางส่วน (1) ไม่มีสิ่งกีดขวางทางน้ำ								
สภาพการใช้งาน	(5) ใช้งานไม่ได้ (1) ใช้งานได้								
การรั่ว	(4) เกิดการรั่วและน้ำไหลผ่านออกมานอกจาก (3) เกิดการรั่วและน้ำไหลเข้า (1) ไม่เกิดการรั่ว								
การกัดเซาะ <sup>3</sup>	(5) เกิดสนิมกัดกร่อนสิ่งเนื่องใน (3) เกิดสนิมที่ผิวน้ำเหล็ก (1) ไม่เกิดสนิม								



2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.1 ท่อส่งน้ำผึ้งชัย : 2.2.1.1 ส่วนทางน้ำเข้า : 2.2.1.1.2 อาคารรับน้ำ (Intake) : 2.2.1.1.2.1 <u>พื้นและกำแพง</u>									
รายการ	การกัดเซาะ <sup>2</sup>					หมายเหตุ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.1 ท่อส่งน้ำผึ้งชัย : 2.2.1.1.1 ส่วนทางน้ำเข้า : 2.2.1.1.2 อาคารรับน้ำ (Intake) : 2.2.1.1.2.2 <u>ตะแกรง (Trashrack)</u>									
รายการ	การกัดเซาะ <sup>3</sup>					ลักษณะทางน้ำ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.1 ท่อส่งน้ำผึ้งชัย : 2.2.1.2 ส่วนห้องล้ำเลิบงน้ำ : 2.2.1.2.1 <u>ห้องล้ำเลิบงน้ำ</u>									
รายการ	การรั่ว					หมายเหตุ			
	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.1 ท่อส่งน้ำผึ้งชัย : 2.2.1.3 ส่วนควบคุม : 2.2.1.3.2 <u>อุปกรณ์เครื่องกล</u>									
รายการ	สภาพการใช้งาน					หมายเหตุ			
	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.1 ท่อส่งน้ำผึ้งชัย : 2.2.1.3 ส่วนควบคุม : 2.2.1.3.3 <u>อุปกรณ์ไฟฟ้า</u>									
รายการ	สภาพการใช้งาน					หมายเหตุ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.1 ท่อส่งน้ำผึ้งชัย : 2.2.1.3.4 <u>Guard Gate</u>									
รายการ	สภาพการใช้งาน					หมายเหตุ			
	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.1 ท่อส่งน้ำผึ้งชัย : 2.2.1.3.5 <u>Operating Gate</u>									
รายการ	สภาพการใช้งาน					หมายเหตุ			
	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.1 ท่อส่งน้ำผึ้งชัย : 2.2.1.4 ส่วนทางน้ำออก : 2.2.1.4.1 ร่าง theft : 2.2.1.4.1.1 <u>หัก</u>									
รายการ	การรั่ว					หมายเหตุ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.1 ท่อส่งน้ำผึ้งชัย : 2.2.1.4.1 ส่วนทางน้ำออก : 2.2.1.4.1.1 <u>ร่าง theft</u>									
รายการ	การรั่ว					หมายเหตุ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
หมายเหตุ	ลักษณะทางน้ำ								
การกัดเซาะ <sup>2</sup>	(5) มีลักษณะทางน้ำ และทางเดินน้ำทั้งหมด (3) มีลักษณะทางน้ำ แต่บีดทางเดินน้ำบางส่วน (1) ไม่มีลักษณะทางน้ำ								
สภาพการใช้งาน	(5) ดัดแปลงเป็นน้ำเสีย (3) เกิดการกัดกร่อน (1) ไม่เกิดการกัดกร่อน								
การรั่ว	(4) เกิดการรั่วและมีน้ำหลงออกมาน้ำ (3) เกิดการรั่วและมีน้ำหลง (1) ไม่เกิดการรั่ว								
การกัดเซาะ <sup>3</sup>	(5) เกิดสนิมกัดกร่อนถังน้ำใน (3) เกิดสนิมที่ผิวน้ำ (1) ไม่เกิดสนิม								



2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.2 ท่อส่งน้ำฝั่งขวา : 2.2.2.1 ส่วนทางน้ำเข้า : 2.2.2.1.2 อาคารรับน้ำ (Intake) : 2.2.2.1.2.1 <u>พื้นและกำแพง</u>									
รายการ	การกัดเซาะ <sup>2</sup>					หมายเหตุ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.2 ท่อส่งน้ำฝั่งขวา : 2.2.2.1 ส่วนทางน้ำเข้า : 2.2.2.1.2 อาคารรับน้ำ (Intake) : 2.2.2.1.2.2 <u>ตะขบด (Trashrack)</u>									
รายการ	การกัดเซาะ <sup>3</sup>					หมายเหตุ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.2 ท่อส่งน้ำฝั่งขวา : 2.2.2.2 ส่วนห่อลำเลียงน้ำ : 2.2.2.2.1 <u>ห้องล้างอิฐบล็อก</u>									
รายการ	การรั่ว					หมายเหตุ			
	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.2 ท่อส่งน้ำฝั่งขวา : 2.2.2.3 ส่วนควบคุม : 2.2.2.3.2 <u>อุปกรณ์เครื่องดูด</u>									
รายการ	สภาพการใช้งาน					หมายเหตุ			
	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.2 ท่อส่งน้ำฝั่งขวา : 2.2.2.3 ส่วนควบคุม : 2.2.2.3.3 <u>อุปกรณ์ไฟฟ้า</u>									
รายการ	สภาพการใช้งาน					หมายเหตุ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.2 ท่อส่งน้ำฝั่งขวา : 2.2.2.3 ส่วนควบคุม : 2.2.2.3.4 <u>Guard Gate</u>									
รายการ	สภาพการใช้งาน					หมายเหตุ			
	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.2 ท่อส่งน้ำฝั่งขวา : 2.2.2.3 ส่วนควบคุม : 2.2.2.3.5 <u>Operating Gate</u>									
รายการ	สภาพการใช้งาน					หมายเหตุ			
	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.2 ท่อส่งน้ำฝั่งขวา : 2.2.2.4 ส่วนทางน้ำออก : 2.2.2.4.1 ร่าง theft : 2.2.2.4.1.1 <u>พื้น</u>									
รายการ	การรั่ว					หมายเหตุ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.2 ท่อส่งน้ำฝั่งขวา : 2.2.2.4 ส่วนทางน้ำออก : 2.2.2.4.1 ร่าง theft : 2.2.2.4.1.2 <u>กำแพง</u>									
รายการ	การรั่ว					หมายเหตุ			
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5				
<input type="checkbox"/> มีอยู่มากที่นี่									
หมายเหตุ	สิ่งกีดขวางทางน้ำ (5) มีสิ่งกีดขวางทางน้ำ และขวางทางเดินน้ำทั้งหมด (3) มีสิ่งกีดขวางทางน้ำ แต่ปิดขวางทางเดินน้ำบางส่วน (1) 'ไม่มีสิ่งกีดขวางทางน้ำ'								
การกัดเซาะ <sup>2</sup>	(5) กัดกร่อนทึบเนื้อเหล็ก (3) เกิดการกัดกร่อน (1) 'ไม่เกิดการกัดกร่อน'								
สภาพการใช้งาน	(5) ใช้งานไม่ได้ (1) ใช้งานได้								
การรั่ว	(4) เกิดการรั่วและมีน้ำหลุดพุ่งออกมาน้ำ (3) เกิดการรั่วและมีน้ำหลุดซึม (1) 'ไม่เกิดการรั่ว'								
การกัดเซาะ <sup>3</sup>	(5) เกิดสนิมกัดกร่อนสิ่งเนื้อใน (3) เกิดสนิมที่ผิวน้ำเหล็ก (1) 'ไม่เกิดสนิม'								

2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.2 ท่อส่งน้ำฝั่งขวา : 2.2.2.5 ส่วนปลายพลังงาน : 2.2.2.5.1 พื้น (รวมพื้นกระชับ)

รายการ	การร้ว					หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	
<input type="checkbox"/> ไม่มี						
<input type="checkbox"/> มีอยู่เทิน						

2. อาคารส่งน้ำ/ระบายน้ำ (Outlets) : 2.2 ท่อส่งน้ำ (Canal Outlet) : 2.2.2 ท่อส่งน้ำฝั่งขวา : 2.2.2.5 ส่วนปลายพลังงาน : 2.2.2.5.1 กำแพง

รายการ	การร้ว					หมายเหตุ
	1	2	3	4	5	
<input type="checkbox"/> ไม่มี						
<input type="checkbox"/> มีอยู่เทิน						

หมายเหตุ การร้ว (4) เกิดการร้วและมีน้ำไหลพ่วงออกมา (3) เกิดการร้วและมีน้ำหลอม (1) ไม่เกิดการร้ว

3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.1 แบบไม่มีบาน (Ungated Spillway) : 3.1.1.1 ส่วนทางน้ำเข้า :																	
3.1.1.1.1 <u>พื้น</u> <input type="checkbox"/> <u>ไม่ใช้ชนิดนี้</u>																	
รายการ	การกัดเซาะ <sup>2</sup>					การทรุดตัว <sup>2</sup>					สิ่งกีดขวางทางน้ำ					หมายเหตุ	
	<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4		5
	มองไม่เห็น																
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.1 แบบไม่มีบาน (Ungated Spillway) : 3.1.1.1 ส่วนทางน้ำเข้า :																	
3.1.1.1.2 <u>ลาดชันข้าง</u>																	
รายการ	การกัดเซาะ <sup>2</sup>					การทรุดตัว <sup>2</sup>					รอยแตกร้าว					หมายเหตุ	
	<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4		5
	มองไม่เห็น																
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.1 แบบไม่มีบาน (Ungated Spillway) : 3.1.1.2 ส่วนควบคุมน้ำ :																	
3.1.1.2.1 <u>ผาขาดอกรีต</u>																	
รายการ	การทรุดตัว <sup>2</sup>					รอยแตกร้าว					รอยแตกร้าว					หมายเหตุ	
	<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4		5
	มองไม่เห็น																
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.1 แบบไม่มีบาน (Ungated Spillway) : 3.1.1.3 ส่วนลำเลียงน้ำ (Chute) :																	
3.1.1.3.1 <u>พื้น</u>																	
รายการ	การทรุดตัว <sup>2</sup>					การรั่ว					การรั่ว					หมายเหตุ	
	<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4		5
	มองไม่เห็น																
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.1 แบบไม่มีบาน (Ungated Spillway) : 3.1.1.3 ส่วนลำเลียงน้ำ (Chute) :																	
3.1.1.3.2 <u>กำแพง</u>																	
รายการ	การทรุดตัว <sup>2</sup>					การรั่ว					การรั่ว					หมายเหตุ	
	<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4		5
	มองไม่เห็น																
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.1 แบบไม่มีบาน (Ungated Spillway) : 3.1.1.4 ส่วนสายพลังงาน :																	
3.1.1.4.1 <u>พื้น (รวมพื้นจราจร)</u>																	
รายการ	การทรุดตัว <sup>2</sup>					การรั่ว					การรั่ว					หมายเหตุ	
	<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4		5
	มองไม่เห็น																
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.1 แบบไม่มีบาน (Ungated Spillway) : 3.1.1.4 ส่วนสายพลังงาน :																	
3.1.1.4.2 <u>กำแพง</u>																	
รายการ	การทรุดตัว <sup>2</sup>					การรั่ว					การรั่ว					หมายเหตุ	
	<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4		5
	มองไม่เห็น																
หมายเหตุ	การกัดเซาะ <sup>2</sup> (5) กัดร่องเทินน้อเล็ก (3) เกิดการกัดกร่อน (1) ไม่เกิดการกัดกร่อน การทรุดตัว <sup>2</sup> (4) ทรุดตัว > 5 ซม. (3) ทรุดตัวสักอู่ระหว่าง 2-5 ซม. (2) ทรุดตัว < 2 ซม. (1) ไม่เกิดการทรุดตัว รอยแตกร้าว (4) เกิดรอยร้าวมีความกว้างและความลึกเป็นพหายาว (3) เกิดรอยร้าวมีความกว้างและความลึกจำกัด (2) เกิดรอยร้าวเนื่องจากอุบัติ (1) ไม่เกิดรอยร้าว สิ่งกีดขวางทางน้ำ (5) มีสิ่งกีดขวางทางน้ำ และทางท่าเดินน้ำทั้งหมด (3) มีสิ่งกีดขวางทางน้ำ แต่ปิดทางเดินน้ำบางส่วน (1) ไม่มีสิ่งกีดขวางทางน้ำ การรั่ว (4) เกิดการรั่วและน้ำหลุดออกมา (3) เกิดการรั่วและน้ำหลุด (1) ไม่เกิดการรั่ว																

3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.2 แบบมีบาน (Gated Spillway) : 3.1.2.1 ส่วนทางน้ำเข้า																							
3.1.2.1.1 <u>พื้น</u>														<input type="checkbox"/> <u>ไม่ใช้ชนิดนี้</u>									
รายการ	การกัดเซาะ <sup>2</sup>					การทรุดตัว <sup>2</sup>					สีงีดขวางทางน้ำ												
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5								
<input type="checkbox"/> มีอยู่																							
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.2 แบบมีบาน (Gated Spillway) : 3.1.2.1 ส่วนทางน้ำเข้า																							
3.1.2.1.2 <u>ลักษณะชั้น</u>																							
รายการ	การกัดเซาะ <sup>2</sup>																						
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5																		
<input type="checkbox"/> มีอยู่																							
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.2 แบบมีบาน (Gated Spillway) : 3.1.2.2 ส่วนควบคุมน้ำ																							
3.1.2.2.1 <u>หมายเหตุ</u>																							
รายการ	การทรุดตัว <sup>2</sup>					รอยแตกร้าว																	
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5													
<input type="checkbox"/> มีอยู่																							
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.2 แบบมีบาน (Gated Spillway) : 3.1.2.2 ส่วนควบคุมน้ำ																							
3.1.2.2.2 <u>พื้น</u>																							
รายการ	การทรุดตัว <sup>2</sup>																						
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5																		
<input type="checkbox"/> มีอยู่																							
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.2 แบบมีบาน (Gated Spillway) : 3.1.2.2 ส่วนควบคุมน้ำ																							
3.1.2.2.5 <u>บนระเบียง (รวมอุปกรณ์อื่นๆ)</u>																							
รายการ	สภาพการใช้งาน																						
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5																		
<input type="checkbox"/> มีอยู่																							
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.2 แบบมีบาน (Gated Spillway) : 3.1.2.2 ส่วนควบคุมน้ำ																							
3.1.2.2.6 <u>อุปกรณ์เครื่องกล</u>																							
รายการ	สภาพการใช้งาน																						
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5																		
<input type="checkbox"/> มีอยู่																							
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.2 แบบมีบาน (Gated Spillway) : 3.1.2.2 ส่วนควบคุมน้ำ																							
3.1.2.2.7 <u>อุปกรณ์ไฟฟ้า</u>																							
รายการ	สภาพการใช้งาน																						
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5																		
<input type="checkbox"/> มีอยู่																							
<u>หมายเหตุ</u>																							
การกัดเซาะ <sup>2</sup>		(5) กัดกร่อนเทินน้อเล็ก (3) เกิดการกัดกร่อน (1) ไม่เกิดการกัดกร่อน																					
การทรุดตัว <sup>2</sup>		(4) ทรุดตัว > 5 ซม. (3) ทรุดตัวลึกอยู่ระหว่าง 2-5 ซม. (2) ทรุดตัว < 2 ซม. (1) ไม่เกิดการทรุดตัว																					
รอยแตกร้าว		(4) เกิดรอยร้าวมีความกว้างและความลึกเป็นพหุยาง (3) เกิดรอยร้าวมีความกว้างและความลึกบางจุด (2) เกิดรอยร้าวน่องจากอุณหภูมิ (1) ไม่เกิดรอยร้าว																					
สีงีดขวางทางน้ำ		(5) มีสีงีดขวางทางน้ำ และขวางทางเดินน้ำทั้งหมด (3) มีสีงีดขวางทางน้ำ แต่ปิดทางเดินน้ำบางส่วน (1) ไม่มีสีงีดขวางทางน้ำ																					
สภาพการใช้งาน		(5) ใช้งานไม่ได้ (1) ใช้งานได้																					



3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.3 แบบปากแตร (Moring Glory/Drop Inlet) : 3.1.3.1 <u>ส่วนควบคุม</u>															
<u>ได้แก่ ฝาย ศรีบึง และห่อตัง</u>										<input type="checkbox"/> ไม่ใช้ชื่อนี้					
รายการ	การกัดเซาะ <sup>2</sup>					การทรุดตัว <sup>2</sup>					ลิ่งกีดขวางทางน้ำ				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<input type="checkbox"/> ม่องไม่เห็น															
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.3 แบบปากแตร (Moring Glory/Drop Inlet) : 3.1.3.2 ส่วนลำเลียงน้ำ															
3.1.3.2.1 <u>ท่อส่งเสียงน้ำ (ท่อนอน)</u>															
รายการ	การรั่ว					หมายเหตุ									
	1	2	3	4	5	หมายเหตุ									
<input type="checkbox"/> ม่องไม่เห็น															
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.3 แบบปากแตร (Moring Glory/Drop Inlet) : 3.1.3.3 ส่วนทางน้ำออก															
3.1.3.3.1 <u>พื้น</u>															
รายการ	การทรุดตัว <sup>2</sup>					การรั่ว					หมายเหตุ				
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	หมายเหตุ				
<input type="checkbox"/> ม่องไม่เห็น															
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.3 แบบปากแตร (Moring Glory/Drop Inlet) : 3.1.3.4 ส่วนปลายพังงาน															
3.1.3.4.1 <u>พื้น (รวมพื้นจะระเบิด)</u>															
รายการ	การทรุดตัว <sup>2</sup>					การรั่ว					หมายเหตุ				
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	หมายเหตุ				
<input type="checkbox"/> ม่องไม่เห็น															
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.3 แบบปากแตร (Moring Glory/Drop Inlet) : 3.1.3.4 ส่วนปลายพังงาน															
3.1.3.4.2 <u>กำแพง</u>															
รายการ	การทรุดตัว <sup>2</sup>					การรั่ว					หมายเหตุ				
<input type="checkbox"/> ไม่มี	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	หมายเหตุ				
<input type="checkbox"/> ม่องไม่เห็น															
3. อาคารระบายน้ำลั่น (Spillways) : 3.1 อาคารระบายน้ำลั่นใช้งาน (Service Spillway) : 3.1.3 แบบปากแตร (Moring Glory/Drop Inlet) : 3.1.3.4 ส่วนปลายพังงาน															
3.1.3.4.2.1 <u>พื้น</u>															
หมายเหตุ	การกัดเซาะ <sup>2</sup>					(5) กัดกร่อนให้เนื้อเหล็ก (3) เกิดการกัดกร่อน (1) ไม่เกิดการกัดกร่อน									
	การทรุดตัว <sup>2</sup>					(4) ทรุดตัว > 5 ซม. (3) ทรุดตัวเล็กอยู่ระหว่าง 2-5 ซม. (2) ทรุดตัว < 2 ซม. (1) ไม่เกิดการทรุดตัว									
	การรั่ว					(4) เกิดการรั่วและมีน้ำไหลพองอกมา (3) เกิดการรั่วและมีน้ำไหลเข้ม (1) ไม่เกิดการรั่ว									
	ลิ่งกีดขวางทางน้ำ					(5) มีลิ่งกีดขวางทางน้ำ และขวางทางเดินน้ำทั้งหมด (3) มีลิ่งกีดขวางทางน้ำ แต่ปิดขาดทางเดินน้ำบางส่วน (1) ไม่มีลิ่งกีดขวางทางน้ำ									

