



การประเมินความเสี่ยงเพื่อจัดทำแผนป้องกันภัยฉุกเฉินจากเขื่อนแตก โครงการเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน จังหวัดพิษณุโลก

Dam Risk Assessment For Dam Break Emergency Preparedness Plan

: Khaewnoi Dam Project

สุทธิศักดิ์ สรลัมพ์ (Suttisak Soralump)¹

ชินอรส ทองธรรมชาติ (Chinoros Thongtamchat)²

อภิสิทธิ์ บุญโพธิ์ (Aphisit Boonpho)³

องอาจ นวลปลอด (Ongarj Nualplod)⁴

ภัทราภรณ์ เมฆพุกษาวงศ์ (Phattaporn Mekpruksawong)⁵

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมปฐพี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (soralump_s@ku.ac.th)

²วิศวกรปฐพี (t_chinoros@yahoo.de)

³นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมปฐพี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (b_aphisit@yahoo.com)

⁴วิศวกรปฐพี บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด (ongarj_n@panyaconsult.co.th)

⁵หัวหน้ากลุ่มงานวางโครงการ 1 สำนักบริหารโครงการ กรมชลประทาน (phatta05@yahoo.com)

บทคัดย่อ : ภัยพิบัติจากเขื่อนแตกก่อให้เกิดความสูญเสียแก่ชีวิตและทรัพย์สินเป็นจำนวนมากและยังคงเป็นที่วิตกกังวลของประชาชนอยู่เสมอ การวิเคราะห์ความเสี่ยงเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถหาความน่าจะเป็นของการพิบัติและความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้ แทนที่จะมุ่งพิจารณาเฉพาะความสูญเสียสูงสุดจากเขื่อนแตกอย่างเดียว การศึกษานี้ได้วิเคราะห์หาความเสี่ยงต่อการพิบัติของโครงการเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนจากสถานะแรงกระทำ 3 กรณี ได้แก่ สถานะปกติ สถานะน้ำหลากและสถานะแผ่นดินไหว การศึกษาได้เสนอวิธีการในการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นต่อการพิบัติ โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ต่างๆประสานกัน ผลการศึกษาทำให้ทราบถึงกรณีการพิบัติที่มีความเสี่ยงสูงสุด แต่พบว่ากรณีที่มีความเสี่ยงสูงสุดไม่ได้เกิดจากเขื่อนพิบัติ แต่เกิดจากการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้นในปริมาณมาก จึงได้นำผลสรุปดังกล่าวไปดำเนินการจัดทำแผนป้องกันภัยฉุกเฉินเพื่อลดความสูญเสียของชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนด้านท้ายน้ำ

ABSTRACT : Disasters from dam failure always causes loss of life and unbearable property damages. This study has analyzed the risk of dam failure of Khaewnoi Dam Project by considering difference loading include 3 conditions, static loading, flood loading and earthquake loading. This study has proposed the methods used to analyze the probability of failure of dam in various conditions. It's found that the event that causes the highest risk does not come from dam failure cases but from the release of flood through the spillway. The quantify risk from various failure and non-failure cases are use for emergency preparedness plan.

KEYWORDS : Dam Risk Assessment ,Dam Break Model ,Probability of Failure

บทนำ

โครงการเขื่อนแก่งดอน้อยบำรุงแดนเป็นโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริที่พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงเห็นถึงความจำเป็นของการพัฒนาพื้นที่ตอนล่างของแม่น้ำแควน้อยที่มักประสบปัญหาน้ำท่วมและขาดแคลนน้ำเป็นประจำทุกปี โครงการเขื่อนแก่งดอน้อยบำรุงแดนจัดเป็นเขื่อนขนาดใหญ่มีปริมาณน้ำกักเก็บสูงสุด 1,064 ล้านลูกบาศก์เมตร หากเขื่อนเกิดการพิบัติในขณะที่ยกเก็บน้ำปริมาณมาก จะส่งผลให้เกิดความสูญเสียแก่พื้นที่ท้ายน้ำ

ดังนั้นเพื่อป้องกันภัยพิบัติจากเขื่อนแตก จึงจำเป็นต้องทำการสร้างแบบจำลองการพิบัติของเขื่อนในลักษณะเขื่อนแตก (Dam Break Model) เพื่อวิเคราะห์ผลที่จะเกิดขึ้นกับพื้นที่ท้ายน้ำตามสาเหตุและรูปแบบการพิบัติต่างๆ ทั้งนี้ที่ผ่านมาในอดีตเป็นการใช้กรณีการพิบัติให้ผลกระทบรุนแรงที่สุดมาจัดทำแผนเตือนภัย ถึงแม้ว่ากรณีดังกล่าวอาจมีโอกาสเกิดน้อยมากก็ตาม การวิเคราะห์ลักษณะดังกล่าวอาจทำให้สูญเสียงบประมาณในการเตรียมความพร้อมเกินความจำเป็น ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมตามความเป็นจริงเราจึงควรนำกรณีที่มีผลกระทบมากและโอกาสเกิดสูงมาใช้ในการจัดทำแผนเตือนภัย ซึ่งเข้ากับหลักการประเมินความเสี่ยง เนื่องจากความเสี่ยงประกอบด้วยผลกระทบและโอกาสเกิด ความเสี่ยงสูงจึงหมายถึง ผลคูณของผลกระทบและโอกาสเกิดให้ค่าสูงสุด [1] ได้เริ่มนำหลักการการประเมินความเสี่ยงมาใช้ในการประเทศไทยในการปรับปรุงเขื่อนลำปาว

ดังนั้นกรมชลประทานโดยสำนักบริหารโครงการจึงจัดให้มีโครงการศึกษา Dam Break เขื่อนแก่งดอน้อย จ.พิษณุโลก ดำเนินการโดยบริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด และได้นำหลักการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Quantitative Risk Assessment) มาใช้เพื่อจัดทำแผนเตือนภัยอย่างเหมาะสม

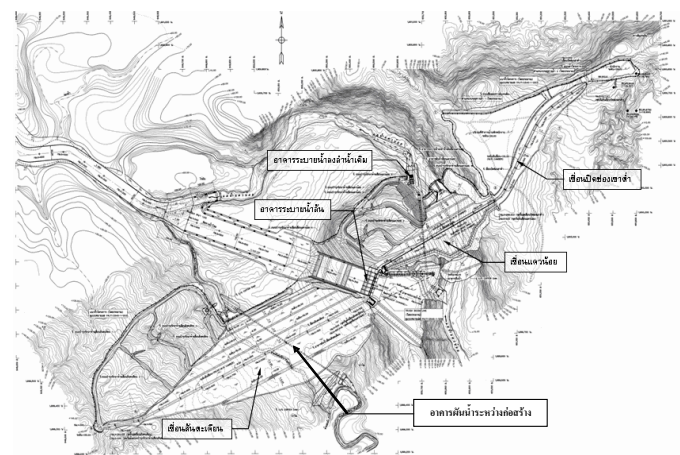
ลักษณะโครงการเขื่อนแก่งดอน้อยบำรุงแดน

ตัวเขื่อนตั้งอยู่ที่บ้านเขาหินลาด ต.คันไ้ อ.วัดโบสถ์ จ.พิษณุโลก ปิดกั้นลำน้ำแควน้อยและสันตะเกียน ซึ่งประกอบด้วยเขื่อน 3 เขื่อนโดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1

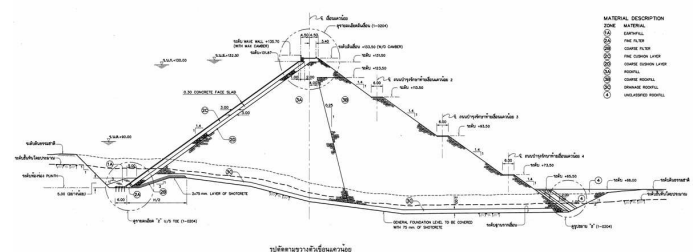
ตารางที่ 1 ลักษณะตัวเขื่อนโครงการเขื่อนแก่งดอน้อยบำรุงแดน

เขื่อน	เขื่อน แก่งดอน้อย	เขื่อน สันตะเกียน	เขื่อน ปิดช่องเขาต่ำ
ระดับสันเขื่อน	+133.50 ม.รทก.	+135.00 ม.รทก.	+135.00 ม.รทก.
ระดับสันกำแพงกันคลื่น	+135.00 ม.รทก.	-	-
ความสูงตัวเขื่อน	75 ม.	80 ม.	16 ม.
ความยาวสันเขื่อน	681 ม.	1,260 ม.	640 ม.
ลาดเขื่อนด้านเหนือ	1:1.4	1:2.25	1:3
ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ	1:1.4	1:2	1:2.25

นอกจากนี้ยังมีอาคารประกอบสำคัญได้แก่ อาคารระบายน้ำล้นเป็นแบบ Radial Gate จำนวน 6 บาน แต่ละบานขนาดกว้าง 13.5 เมตร สูง 12.5 เมตรสามารถระบายน้ำได้สูงสุด 7,046 ลบ.ม./วินาที หรือเท่ากับปริมาณน้ำหลากสูงสุด (PMF) ซึ่งตำแหน่งของเขื่อนและอาคารประกอบแสดงดังภาพที่ 1 ตัวเขื่อนทั้ง 3 เขื่อนสร้างจากวัสดุต่างกัน ดังแสดงในรูปตัดขวางตัวเขื่อนภาพที่ 2

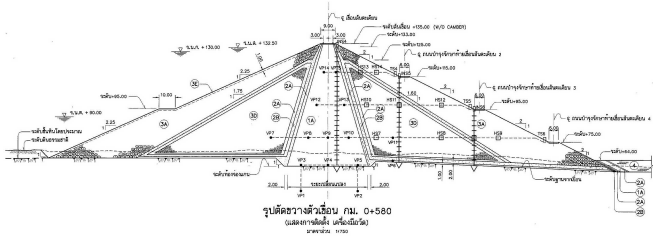


ภาพที่ 1 แผนที่ของตัวเขื่อนและอาคารประกอบ

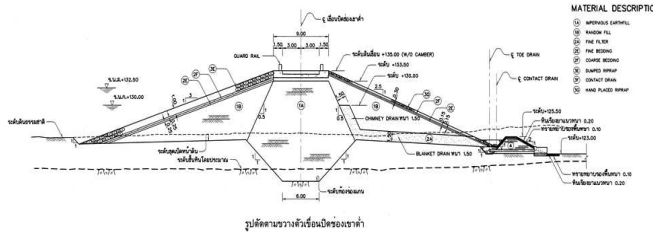


(ก) เขื่อนแก่งดอน้อย

ภาพที่ 2 หน้าตัดเขื่อนในโครงการเขื่อนแก่งดอน้อยบำรุงแดน



(ก) เชื้อนสันตะเกียน



(ค) เชื้อนปิดช่องเขาค้ำ

ภาพที่ 2 (ต่อ) หน้าตัดเชื้อนในโครงการเขื่อนแก่งเสือเต้น

หลักการวิเคราะห์ความเสี่ยงของเชื้อน

ความเสี่ยงของเชื้อน (Risk Analysis) ประกอบด้วย การหาโอกาสการเกิดจากพฤติกรรมตอบสนองของเชื้อนและความสูญเสียของการเกิดจากรูปแบบการตอบสนองต่างๆ ทั้งนี้เพื่อประเมินความเสี่ยงของประชากร ทรัพย์สิน หรืออาจรวมถึงสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่ได้รับผลกระทบจากการเกิดของเชื้อน

$$\text{ความเสี่ยง} = \text{ความน่าจะเป็น} \times \text{ผลกระทบ} \quad (1)$$

[2] ได้อธิบายขั้นตอนการวิเคราะห์ความเสี่ยงของงานเขื่อนดังต่อไปนี้

1. การกำหนดเหตุการณ์เริ่มต้นของการเกิด เป็น การกำหนดเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อการทำงานของตัวเขื่อน เช่น น้ำหลากหรือแผ่นดินไหว เป็นต้น

2. การระบุและลำดับเหตุการณ์การตอบสนองของระบบ เมื่อเชื้อนถูกกระทำโดยเหตุการณ์เริ่มต้น ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการวิเคราะห์ความเสี่ยง เนื่องจากการตอบสนองของเชื้อนต่อเหตุการณ์กระตุ้นอาจมีความซับซ้อน ดังนั้นเราอาจวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิเหตุการณ์ (Event Tree) ซึ่งเป็นแผนภูมิที่ลำดับเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดก่อนการเกิดตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุด

3. การประเมินความสูญเสีย สามารถวิเคราะห์ได้โดยการวิเคราะห์พื้นที่ผลกระทบ เพื่อประเมินความสูญเสียที่เกิดขึ้นจาก

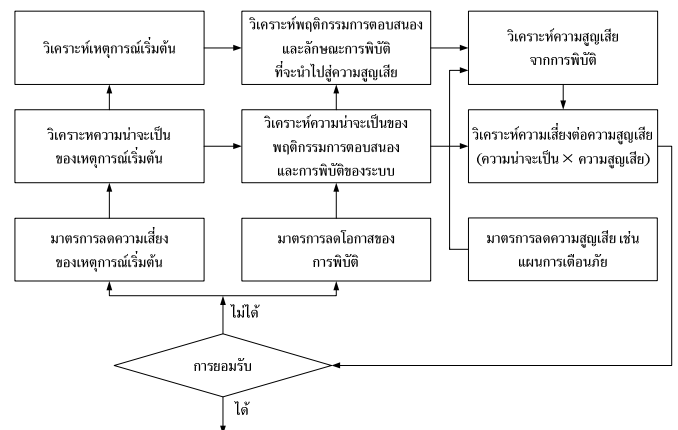
กรณีการเกิดต่าง ๆ ซึ่งความสูญเสียสามารถแบ่งได้เป็น ความสูญเสียในชีวิตและความสูญเสียในทรัพย์สิน โดยความรุนแรงของความสูญเสียจากเชื้อนเกิดจากความเร็วการไหลของน้ำและความลึกของน้ำท่วม ณ บริเวณที่พิจารณา

4. การวิเคราะห์ความน่าจะเป็น เป็นขั้นตอนที่สำคัญทั้งนี้ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์สามารถวิเคราะห์ได้จากข้อมูลทางสถิติ การคำนวณทางคณิตศาสตร์ และการใช้การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญร่วมกับข้อมูลทางสถิติ

5. จัดลำดับกรณีการเกิดที่มีความเสี่ยงสูงสุดตามผลการวิเคราะห์ความสูญเสียและโอกาสเกิด การจัดลำดับกรณีการเกิดโดยอาศัยค่าความเสี่ยงนี้จะทำให้เกิดความยุติธรรม ในการเลือกกรณีการเกิดที่เหมาะสมใช้ในการเตือนภัย เช่น กรณีการเกิดของเชื้อนเนื่องจากแผ่นดินไหว อาจเกิดผลกระทบที่รุนแรงแต่อาจมีโอกาสเกิดต่ำมาก กรณีเช่นนี้จึงอาจไม่ใช่กรณีที่เสี่ยงที่สุด

6. การกำหนดมาตรการในการลดความเสี่ยง เพื่อลดความสูญเสียจากการเกิดโดยอาจมีการดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงได้ในหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงโครงสร้างเขื่อน การวางแผนการอพยพและการวางแผนฉุกเฉินในการแก้ไขหากเชื้อนเกิดความบกพร่องในกรณีต่าง ๆ แผนดังกล่าวย่อมล้วนที่จะลดความเสี่ยงได้จนอยู่ในขั้นที่ยอมรับได้

ภาพที่ 3 แสดงวิธีในการประเมินความเสี่ยงตามหลักที่ได้กล่าวข้างต้น



ภาพที่ 3 แผนภูมิขั้นตอนการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยง [2]

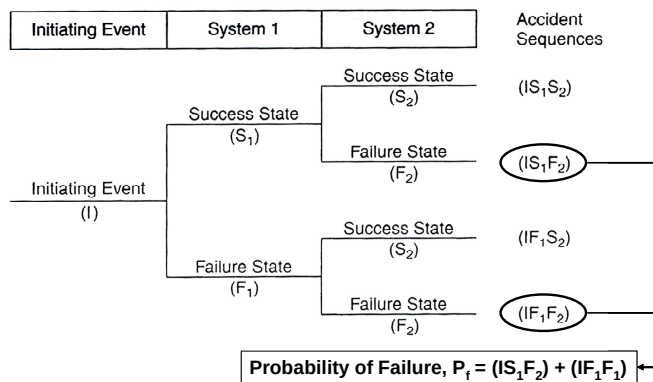
หลักการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นด้วยแผนภูมิเหตุการณ์

แผนภูมิเหตุการณ์ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงเขื่อนเป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับการอธิบายพฤติกรรมและผลการ

ตอบสนองของตัวเชื่อมอย่างเป็นลำดับ โดยเริ่มจากเหตุการณ์เริ่มต้นที่เป็นสาเหตุของการพิบัติ เช่น การเกิดแผ่นดินไหว ตามมาด้วยเหตุการณ์ตอบสนองตามเหตุการณ์เริ่มต้น เช่น เกิดการหลุดตัวของสันเขื่อนและเกิดรอยแตกภายในตัวเขื่อน และสิ้นสุดเหตุการณ์ด้วยรูปแบบการพิบัติของเขื่อนที่เป็นไปได้รูปแบบต่างๆ

ภาพที่ 4 แสดงหลักการของแผนภูมิเหตุการณ์ ทั้งนี้เหตุการณ์ต่างๆ ไม่จำเป็นต้องอยู่ในรูปแบบของ Success กับ Failure เสมอไป ถึงแม้แผนภูมิเหตุการณ์สามารถใช้เพื่อแยกเหตุการณ์ออกเป็นเหตุการณ์ย่อยๆ ได้ หากพฤติกรรมของเขื่อนมีความซับซ้อน ดังเช่น การแยกพิจารณาลักษณะการตอบสนองที่ระดับน้ำเก็บกักต่างๆ

ขั้นต่อไปเป็นการรวมความน่าจะเป็นของแต่ละกิ่งเหตุการณ์ โดยใช้ผลคูณความน่าจะเป็นของเหตุการณ์แต่ละสาย (Pathway Probability) ที่เกิดการพิบัติ $IS_1 F_2$ และ $IF_1 F_2$ เมื่อได้ผลรวมของแต่ละกิ่งเหตุการณ์แล้ว จึงหาความน่าจะเป็นรวมของการพิบัติของระบบ (Probability of Failure, P_f) โดยการรวมเหตุการณ์ที่พิบัติในแต่ละกิ่งเหตุการณ์เข้าด้วยกัน



ภาพที่ 4 หลักการของแผนภูมิเหตุการณ์ [3]

ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ต่างๆ ในกิ่งเหตุการณ์ประกอบด้วย ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์เริ่มต้น ความน่าจะเป็นของพฤติกรรมตอบสนองของเขื่อนและความน่าจะเป็นที่เขื่อนจะพิบัติในลักษณะต่างๆ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากแนวทางหลักๆ 3 แนวทางได้แก่

1. การอาศัยหลักสถิติ ที่เก็บรวบรวมข้อมูลไว้ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เช่น ข้อมูลปริมาณน้ำหลากในอดีต เป็นต้น

2. การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับพฤติกรรมที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ เช่น การใช้แบบจำลอง Monte-Carlo Simulation หรือ First Order Second Moment ดังตัวอย่างของการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการพิบัติของลาดชันเขื่อน เป็นต้น

3. การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ ใช้ในบางเหตุการณ์ที่ยังไม่สามารถใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณได้ หรือมีข้อมูลทางสถิติอยู่น้อยมาก

ในการวิเคราะห์ตามแผนภูมิเหตุการณ์นั้นอาจใช้วิธีข้างต้นได้หลายวิธีตามแต่ความเหมาะสมของข้อมูลและแบบจำลอง

สาเหตุและรูปแบบการพิบัติของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน

ผลการรวบรวมสถิติการพิบัติของเขื่อนจากสาเหตุต่างๆ ที่เคยเกิดขึ้น เมื่อพิจารณารูปแบบการพิบัติของเขื่อน ตามลักษณะการรับน้ำหนักของตัวเขื่อนสามารถแบ่งการรับน้ำหนัก 3 ลักษณะได้แก่ การรับน้ำหนักใช้งานปกติ (Static Loading) การรับน้ำหนักในสถานะอุทกภัย (Flood Loading) และการรับน้ำหนักจากแผ่นดินไหว (Earthquake Loading) โดยการพิบัติในสถานะการใช้งานปกติเกิดขึ้นได้จากการเกิด Piping ทำให้เกิดช่องเปิดเป็นวงกลม ทั้งผ่านตัวเขื่อน ผ่านฐานราก และตามแนวรอยต่อของอาคารประกอบ รวมถึงการเกิดการพิบัติของลาดชันที่ทำให้น้ำล้นสันเขื่อน สำหรับกรณีน้ำหลากจะเกิดจากกรณีไม่สามารถเปิดบานระบายได้ตามกำหนด ทำให้น้ำล้นสันเขื่อนโดยจะเริ่มไหลข้ามเขื่อนที่ระดับสันแกนดินเหนียวต่ำที่สุดและมักจะเกิดบริเวณตัวเขื่อนที่ติดกับฐานยันเขื่อน เพราะมีระยะเผื่อล้นน้อยกว่าช่วงกลาง การพิบัติจะทำให้เกิดช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยมคางหมูในกรณีแผ่นดินไหว การพิบัติจะสามารถเกิดได้จาก 2 ลักษณะ คือ การเกิดรอยแตกในตัวเขื่อนซึ่งนำไปสู่การเกิด Piping และการหลุดตัวของสันเขื่อนทำให้น้ำล้นสันเขื่อน สำหรับการเกิด Liquefaction ไม่มีโอกาสเกิดเนื่องจากเป็นเขื่อนที่บดอัดตามมาตรฐานและตั้งอยู่บนฐานรากหิน

ดังนั้นจำนวนกรณีที่จะนำไปใช้วิเคราะห์ความเสี่ยงเขื่อนแควน้อยสามารถแบ่งได้ 37 กรณี โดยแบ่งเป็นสถานะน้ำหลาก 21 กรณีและสถานะปกติและแผ่นดินไหว 16 กรณี

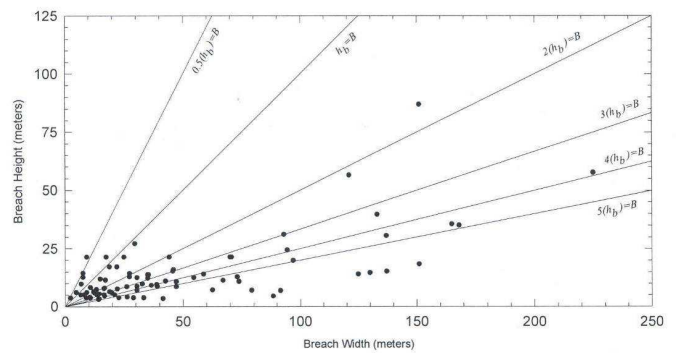
การกำหนดช่องเปิดของเขื่อนแควน้อยบำรุงแดนพิจารณาจากรูปแบบช่องเปิดของเขื่อนหินถมแกนดินเหนียวและเขื่อนดินถม

ที่มีการพัฒนาได้ใน 2 ลักษณะ คือ พิบัติเป็นรูปสามเหลี่ยมแล้วขยายเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู ส่วนใหญ่กรณีนี้เกิดจากการล้นข้ามสันเขื่อนกับการพิบัติเป็นวงกลมแล้วขยายตัวจนเกิดการยุบตัวเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู [4] ได้รวบรวมหน้าตัดสุดท้ายของการพิบัติดังกล่าวที่ 5 ที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลเขื่อน 84 เขื่อน ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าอัตราส่วน B/h_b จะอยู่ในช่วง 2 ถึง 5 เท่าของความกว้างของช่องเปิด โดยในการวิเคราะห์ขนาดช่องเปิดสุดท้ายจะกำหนดให้ความกว้างของช่องเปิดเป็น 3 เท่าของความสูงเขื่อนสำหรับลักษณะการพิบัติจากการกัดเซาะ และ 4.2 เท่าของความสูงหากการพิบัติเกิดจากการล้นข้ามสันเขื่อน โดยตามข้อเสนอแนะของ [4] ที่กำหนดให้ขนาดช่องเปิดเนื่องจากการล้นข้ามสันเขื่อน มีขนาดมากกว่า 1.4 เท่าของช่องเปิดจากการการพิบัติในรูปแบบอื่นๆ โดยตารางที่ 2 ได้สรุปตัวแปรเพื่อการวิเคราะห์ Dam Break ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ Dam break ได้กำหนดให้ดินมีคุณสมบัติตามคุณสมบัติของดินแกนเขื่อนโดยเป็นดินที่มีขนาดเม็ดดินประมาณ 0.002 - 0.01 มม. มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.66 และมีความพรุนเท่ากับ 0.694 การเกิดช่องเปิด (Breach Opening) จาก Piping จะมีรูปร่างเริ่มต้นจากวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้นที่ 0.10 ม. และ Side Erosion Index เป็น 1.0

นอกจากการวิเคราะห์โดยใช้สมการทางสถิตินี้ที่กล่าวมาข้างต้น ยังสามารถใช้สมการจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎีร่วมด้วยได้ โดยพิจารณาคุณสมบัติของดินในการต้านทานแรงเฉือนจากการไหลของน้ำ อันจะก่อให้เกิดการกัดเซาะและพัดพาทำให้ช่องเปิดขยายตัว โดยความสามารถในการต้านทานแรงเฉือนจากการไหลของน้ำ เรียกว่า ค่าแรงเฉือนวิกฤติ (Critical Shear Stress) ซึ่งวิเคราะห์จากขนาดผลของเม็ดดินที่ถูกกัดเซาะ ดังนั้นการขยายของช่องเปิดจะเกิดขึ้นอย่างอิสระจากผลการกัดเซาะตามสมการ (2) [5]

$$\tau_c = 0.1 + 0.1779 (SC\%) + 0.0028 (SC\%)^2 - 2.34 \times 10^{-5} (SC\%)^3 \quad (2)$$

เมื่อ τ_c = Critical shear stress N/m^2
 $SC\%$ = Percentage of silt – clay by weight



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความกว้างกับความสูงของ Breach Opening [6]

ตารางที่ 2 สรุปตัวแปรเพื่อการวิเคราะห์ Dam Break

ตัวแปรเพื่อการวิเคราะห์	เขื่อน แควน้อย	เขื่อน สันตะเดียน	เขื่อน ปิดช่องเขาต่ำ
ระดับน้ำสันผ่านสันเขื่อน	+135.0 (ม.รทก.)	+135.0 (ม.รทก.)	+133.5 (ม.รทก.)
ระดับท้องของช่องเปิด	+58.0 (ม.รทก.)	+61.0 (ม.รทก.)	+124.0 (ม.รทก.)
ความสูงเขื่อน	77.7 (ม.)	74.0 (ม.)	11.0 (ม.)
ปริมาณน้ำในอ่างที่สูงกว่าระดับท้องช่องเปิด	769 (ล้าน ลบ.ม.)	769 (ล้าน ลบ.ม.)	209 (ล้าน ลบ.ม.)
ความกว้างของช่องเปิด			
- กรณีพิบัติจากน้ำล้นข้ามสันเขื่อน	-	310 (ม.)	33 (ม.)
- กรณีพิบัติรูปแบบอื่น	45.32 (ม.)	222 (ม.)	33 (ม.)
เวลาของการก่อตัว	2.7 (ชม.)	2.7 (ชม.)	3.0 (ชม.)
Side slope	1	1	1
Side erosion index	1	1	1
Collapse ratio (D/Y)	-	1.5	1.5

ตารางที่ 2 (ต่อ) สรุปตัวแปรเพื่อการวิเคราะห์ Dam Break

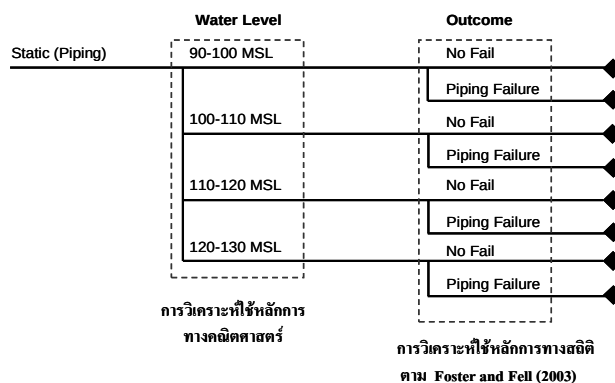
ตัวแปรเพื่อการวิเคราะห์	เขื่อน แควน้อย	เขื่อน สันตะเกียน	เขื่อน ปิดช่องเขาต้า
ระดับน้ำ เมื่อเริ่ม Breach			
- กรณีพิบัติจากน้ำล้น ข้ามสันเขื่อน	-	+135.6 (ม.รทก.)	+135.3 (ม.รทก.)
- กรณีพิบัติรูปแบบอื่น	ระดับเก็บกัก	ระดับเก็บกัก	ระดับเก็บกัก
ปริมาณน้ำเข้าอ่าง			
- กรณีพิบัติจากน้ำล้น ข้ามสันเขื่อน	มีน้ำหลาก	มีน้ำหลาก	มีน้ำหลาก
- กรณีพิบัติรูปแบบอื่น	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

การวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นต่อการพิบัติ

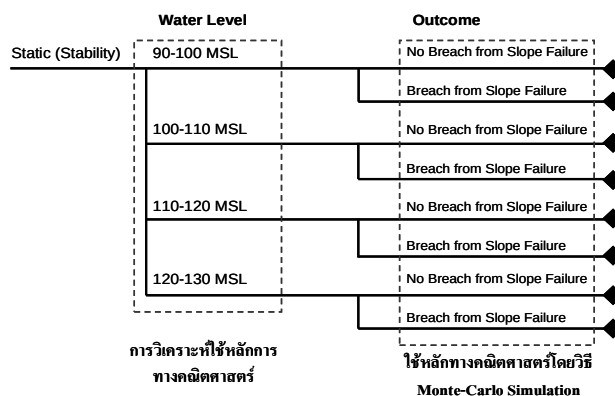
ความน่าจะเป็นในการพิบัติเป็นค่าที่สำคัญอย่างยิ่งในการประเมินความเสี่ยงของเขื่อน การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นจะดำเนินการร่วมกับการใช้แผนภูมิเหตุการณ์ โดยดำเนินการแยกตามเหตุการณ์เริ่มต้นที่ก่อให้เกิดการพิบัติ ดังมีรายละเอียดดังนี้

1. สภาวะปกติ

ในสภาวะการใช้งานปกติ เชื้อนจะมีโอกาสพบได้ 2 รูปแบบ คือ การเกิด Piping และการพัวพันของลาดชั้นเขื่อนดังแสดงใน แผนภูมิเหตุการณ์ของเขื่อนสันตะเกียนและปิดช่องเขาต่ำใน ภาพที่ 6 ทั้งนี้ได้พิจารณาการกักเก็บน้ำในช่วงหนึ่งปี ที่ระดับ ต่างๆกันตามการบริหารจัดการน้ำตาม Rule Curve ตั้งแต่ระดับน้ำ คำสุด ถึงระดับเก็บกักปกติ การวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นของ ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ เริ่มคิดได้จากระดับน้ำคำสุดคือ +90.00 ม. รทก. ซึ่งหมายความว่า ความน่าจะเป็นที่ระดับน้ำอยู่สูงกว่า +90.00 ม.รทก. มีค่าเป็น 1 และเมื่อคำนวณโอกาสที่ระดับน้ำอยู่ สูงกว่าทุกช่วงค่าตั้งแต่ +90.00 ถึง +130.00 ม.รทก. จะได้ความ น่าจะเป็นที่ระดับน้ำจะสูงกว่าระดับที่พิจารณาในหนึ่งปีเป็นดัง ภาพที่ 7

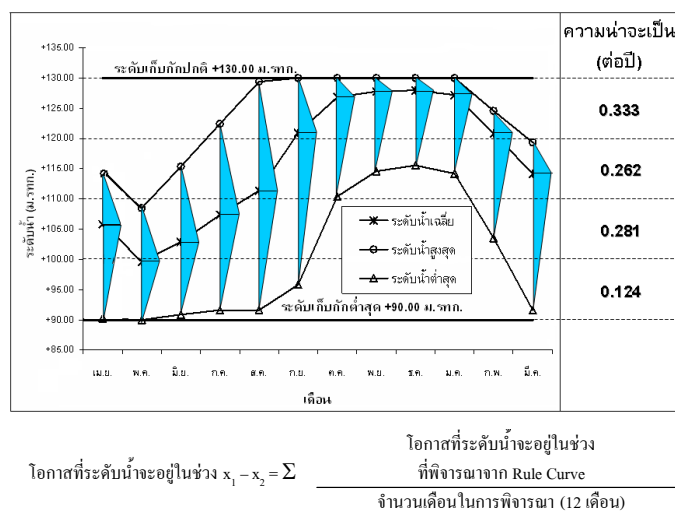


ករណី Piping



กรณี Stability

ภาพที่ 6 แผนภูมิเหตุการณ์ของเขื่อนสันตะเจียนและเขื่อนปิดช่องเขาต้า
ในสภาวะสถิต (Static)



ภาพที่ 7 การหาความน่าจะเป็นของระดับกักเก็บจาก Rule Curve

ในทางทฤษฎีค่าความน่าจะเป็นของการผิดพลาดจากการเกิด Piping ไม่ควรใช้ค่าความน่าจะเป็นจากสถิติการผิดพลาดของเขื่อน แต่เพียงอย่างเดียว เนื่องจากสาเหตุของการผิดพลาดจากการเกิด Piping เป็นเงื่อนไขเฉพาะของแต่ละเขื่อนซึ่งไม่สัมพันธ์เป็นค่าทางสถิติ [7] ดังนั้นในการวิเคราะห์หาโอกาสในการผิดพลาดของ

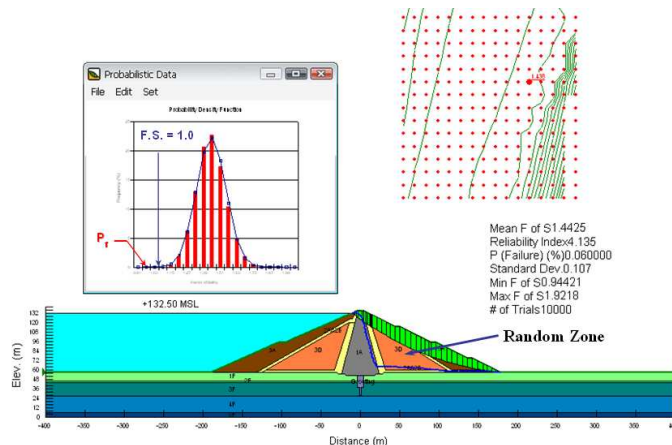
เขื่อนเนื่องจาก Piping จึงอาศัยหลักการของ Foster และคณะ[8] ซึ่งใช้ข้อมูลสถิติการพิบัติของเขื่อนร่วมกับการพิจารณาถึงข้อมูลองค์ประกอบเขื่อนและวัสดุตัวเขื่อนตามการก่อสร้างจริง มาใช้ในการประเมินหาความน่าจะเป็น ด้วยวิธีการใช้ตัวคูณลดทอน (Weighting Factor) ตัวอย่างเช่น ปัจจัยที่ต้องพิจารณาสำหรับการพิบัติจากการเกิด Piping ผ่านตัวเขื่อน ประกอบด้วย Embankment filters, Core geological origin, Core soil, Compaction, Conduits, Foundation treatment, Observation of seepage, Monitoring and surveillance

จากการประมาณหาตัวคูณลดทอนจะได้โอกาสของการพิบัติของตัวเขื่อนสันตะเขื่อนและเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ จากการเกิด Piping ทั้งในกรณีเก็บกักน้ำใน 5 ปีแรก และมากกว่า 5 ปี ตามลำดับเท่ากับ

เขื่อนสันตะเขื่อน	เขื่อนปิดช่องเขาต่ำ
$P_{f < 5 \text{ ปี}} = 1.82 \times 10^{-4}$ ต่อปี	$P_{f < 5 \text{ ปี}} = 5.52 \times 10^{-4}$ ต่อปี
$P_{f > 5 \text{ ปี}} = 0.18 \times 10^{-4}$ ต่อปี	$P_{f > 5 \text{ ปี}} = 0.46 \times 10^{-4}$ ต่อปี

สำหรับการพิบัติของลาดเขื่อน ตัวแปรสำคัญที่มีผลให้เกิดการพิบัติ คือ ความแปรปรวนจากคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือนของวัสดุตัวเขื่อนโดยเฉพาะ Random Zone ของเขื่อนสันตะเขื่อนที่มีความแปรปรวนมาก ทั้งนี้โดยอาศัยผลการศึกษาด้านความแปรปรวนของวัสดุโดย [9] เราจึงสามารถประเมินเสถียรภาพของลาดชันเขื่อนเนื่องจากความแปรปรวนของคุณสมบัติวัสดุ โดยการวิเคราะห์ Monte-Carlo Simulation ที่กำหนดให้ช่วงพิบัติมีความลึกพอให้เกิดการไหลล้นข้ามสันเขื่อนได้ (Breach)

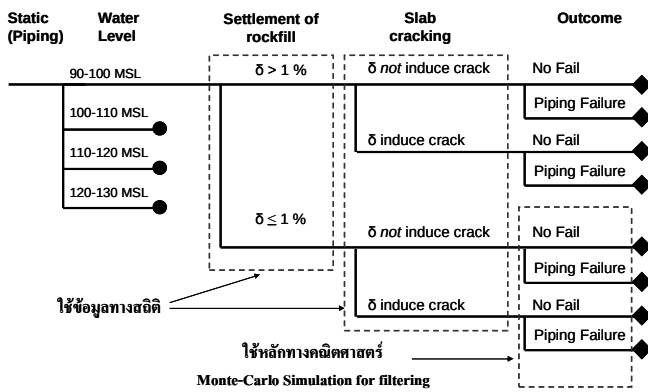
ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ที่ระดับน้ำ +132.5 ม.รทก. ดังแสดงในภาพที่ 8 ทั้งนี้จากการวิเคราะห์พบว่าค่า F.S. ในทุกกรณีอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัยและโอกาสเกิดการพิบัติของลาดชันเขื่อนสันตะเขื่อนอยู่ที่ 6.94×10^{-4} ต่อปี และเขื่อนปิดช่องเขาต่ำมีค่าเป็นศูนย์



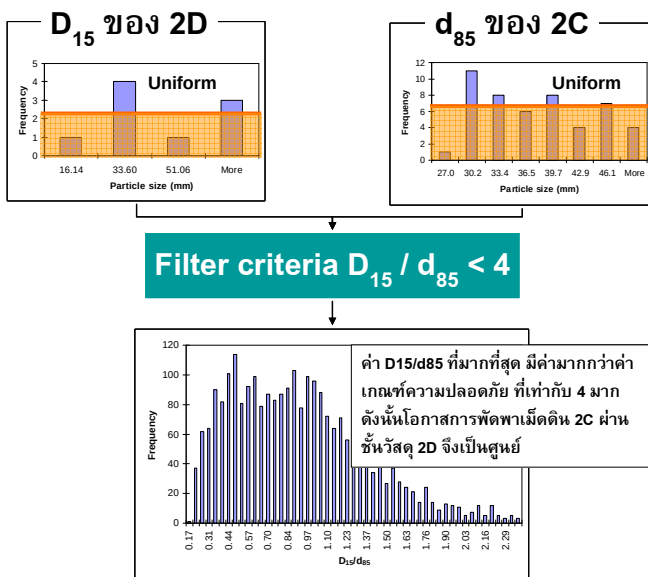
ภาพที่ 8 การวิเคราะห์หาความแปรปรวนของอัตราส่วนความปลอดภัยของลาดชันเขื่อนโดยวิธีการ Monte-Carlo Simulation

สำหรับเขื่อนแควน้อยซึ่งเป็นเขื่อนหินถมคอนกรีตคานหน้า หากก่อสร้างตามที่ออกแบบไว้ การพิบัติจากการเคลื่อนพังของลาดเขื่อนมีโอกาสน้อยมากถึงไม่มีโอกาส เนื่องจากกำลังรับแรงเฉือนของหินถมมีกำลังสูงและแรงดันน้ำไม่สะสมในมวลหิน เนื่องจากสามารถระบายน้ำได้ดี ดังนั้นแผนภูมิเหตุการณ์ของเขื่อนแควน้อยจึงพิจารณาเฉพาะกรณีการไหลซึมที่อาจส่งผลให้เกิด Piping โดยใช้หลักทางสถิติเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างการทรุดตัวของเขื่อนกับการแตกของแผ่นคอนกรีตคานหน้า ดังแสดงแผนภูมิเหตุการณ์ในภาพที่ 9

การพิจารณาพฤติกรรมการเกิด Piping ผ่านเขื่อนแควน้อยมีสมมติฐานว่า หากเกิดการแตกของคอนกรีตคานหน้า การพัฒนาวัสดุอาจเกิดขึ้นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการกรอง (Filter criteria) ของวัสดุตัวเขื่อน โดยหากนำการกระจายตัวของเม็ดดินขนาด D_{15} และ d_{85} ที่ได้จากการรวบรวมผลทดสอบวัสดุตัวเขื่อนขณะทำการก่อสร้าง มาทำการวิเคราะห์จะพบว่ามีการกระจายตัวใกล้เคียงกันแบบคงที่ (Uniform) และผลจากการวิเคราะห์ Monte-Carlo Simulation พบว่าไม่มีผลการสุ่ม D_{15} และ d_{85} ที่ทำให้ $D_{15}/d_{85} > 4$ (ภาพที่ 10) ดังนั้นโอกาสการพัฒนาจึงเป็นศูนย์ เขื่อนแควน้อยจึงไม่มีโอกาสเกิดการพัฒนาหรือ Piping



ภาพที่ 9 แผนภูมิเหตุการณ์ของเขื่อนแควน้อยในสภาวะสถิตย์ (Static)



ภาพที่ 10 การวิเคราะห์การกระจายตัวของ Filter criteria ของเขื่อนแควน้อยโดยวิธี Monte-Carlo Simulation

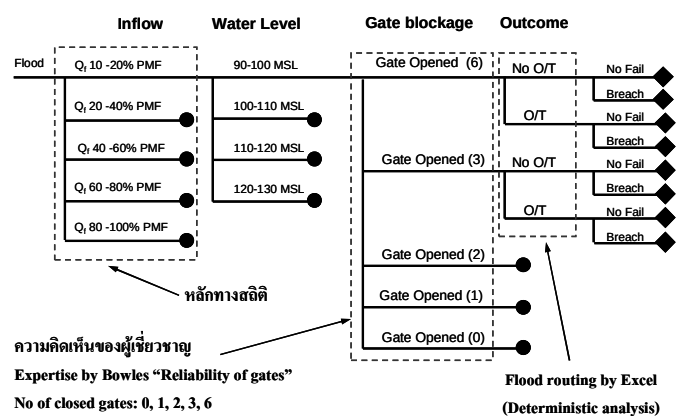
2. สภาน้ำหลาก

การพัดของเขื่อนในสภาน้ำหลากเกิดขึ้นได้ในฤดูฝน โดยอาจเกิดจากบานระบายของอาคารระบายน้ำล้นเกิดขัดข้องเปิดไม่ได้จนทำให้น้ำล้นสันเขื่อน อย่างไรก็ตามความสูญเสียที่เกิดขึ้นทางด้านท้ายน้ำ ไม่จำเป็นต้องเกิดจากการพัดของเขื่อนเพียงอย่างเดียว การปล่อยน้ำผ่านอาคารระบายที่มากพอ จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่ท้ายน้ำด้วยเช่นกัน

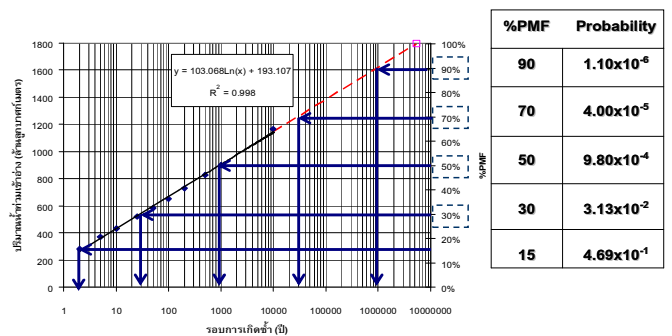
แผนภูมิเหตุการณ์ในสภาน้ำหลากของทั้งระบบอ่างเก็บน้ำแสดงดังภาพที่ 11 โดยสาเหตุของการเกิดน้ำล้นสันเขื่อนขึ้นอยู่กับการพิจารณาปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง ระดับกักเก็บและจำนวนบานระบายน้ำที่เปิดไม่ได้ เหตุการณ์นี้จำเป็นต้องวิเคราะห์พร้อมกันทั้งสามเขื่อน เนื่องจากการล้นข้ามสันเขื่อนเป็นเหตุการณ์ร่วมโดย [10] ได้แนะนำความสูงของน้ำที่ล้นสันเขื่อนที่จะทำให้เขื่อนพังทลาย ซึ่งสรุปได้ว่า เขื่อนดินถมจะมีโอกาสการพัดเนื่องจากน้ำ

ล้นสันเขื่อนมีค่าสูง เมื่อระดับน้ำสูงกว่าระดับสันเขื่อน 0.30 ม. เขื่อนหินถมเท่ากับ 0.60 ม. และ เขื่อนที่มีกำแพงกันน้ำเท่ากับ 0.80 ม. แต่ละเขื่อนจึงเกิดการพัดที่ระดับน้ำล้นต่างกัน

การหาความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำหลากใช้หลักสถิติ โดยแบ่งเป็นช่วงๆ ตามระดับปริมาณน้ำที่เข้าอ่างเป็นเปอร์เซ็นต์ของ PMF ได้แก่ 10-20%, 20-40%, 40-60%, 60-80% และ 80-100% ดังแสดงในภาพที่ 12 ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์การตัดขาดของประตูระบายน้ำล้นในกรณีต่างๆ ใช้ข้อมูลจากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ จากงานวิจัยของ [11] ดังตารางที่ 3



ภาพที่ 11 แผนภูมิเหตุการณ์ในสภาน้ำหลาก (Flooding)



ภาพที่ 12 การหาความน่าจะเป็นของปริมาณน้ำท่วมที่ไหลเข้าอ่าง

ตารางที่ 3 ความน่าจะเป็นของการเปิดบานระบายน้ำล้น กรณี 6 บาน [11]

จำนวนประตูระบายน้ำล้นที่เปิดได้	จำนวนประตูระบายน้ำล้นที่ปิด	โอกาสเกิดจากผู้เชี่ยวชาญ
0	6	0.0001
3	3	0.001
4	2	0.01
5	1	0.1
6	0	0.8889

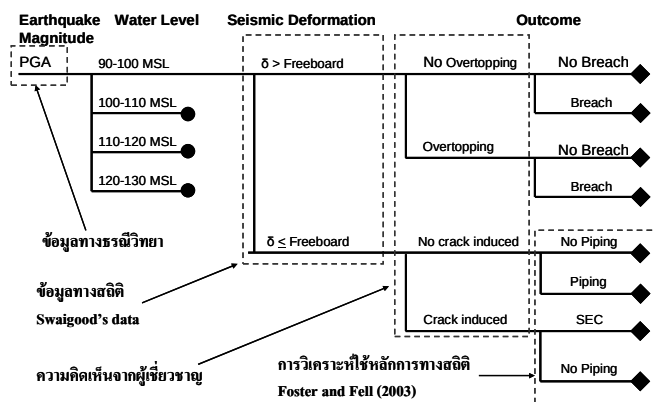
ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าโอกาสพบโรคจากการล้นข้ามสันเขื่อนเมื่อเกิดน้ำหลาก สามารถเกิดขึ้นได้สองกรณี คือ เกิดการล้นข้ามเฉพาะเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ มีโอกาสเกิดเท่ากับ 1.1×10^{-6} ต่อปี ซึ่งการล้นข้ามจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อมีระดับเก็บกัก +105 ม.รทก. ปริมาณน้ำหลากเข้าสู่อ่างเท่ากับ 70% PMFและบานระบายเกิดขัดข้องทั้งหมด ส่วนการล้นข้ามทั้งเขื่อนปิดช่องเขาต่ำพร้อมกับเขื่อนต้นตะกวด มีโอกาสเกิดเท่ากับ 3.9×10^{-8} ต่อปี การล้นข้ามทั้งสองเขื่อนเริ่มเกิดขึ้นเมื่อมีระดับเก็บกัก +95 ม.รทก. ปริมาณน้ำหลากเข้าสู่อ่างเท่ากับ 90% PMFและบานระบายเกิดขัดข้องทั้งหมดหรือหากมีระดับน้ำกักเก็บสูงเกิน +125 ม.รทก. มีปริมาณน้ำหลาก 50% PMF สามารถเกิดน้ำล้นข้ามสันเขื่อนได้ ถ้าบานระบายเกิดขัดข้องทั้งหมด

นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์ยังสามารถกำหนดความน่าจะเป็นเมื่อน้ำไหลผ่านอาคารระบายน้ำล้นในปริมาณต่างๆ โดยไม่เกิดการพิบัติได้ ผลดังกล่าวจะได้นำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงต่อไป

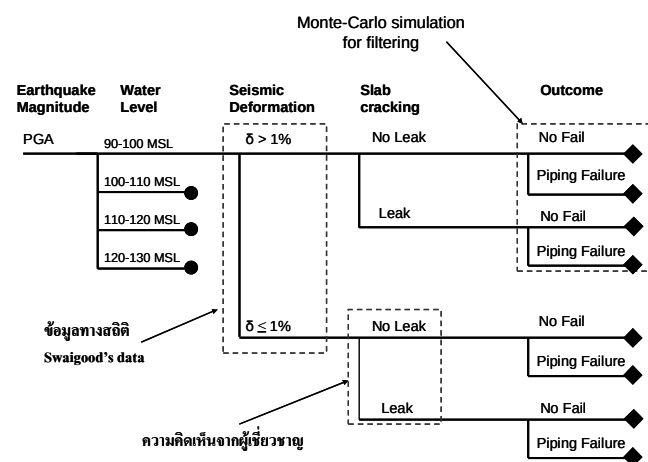
3. สภาวะแผ่นดินไหว (Earthquake)

เขื่อนแควน้อยตั้งอยู่ในพื้นที่แผ่นดินไหวระดับ 2ก ตามประกาศของกรมทรัพยากรธรณี (2548) และใกล้แนวรอยเลื่อนอุตรดิตถ์ซึ่งเป็นรอยเลื่อนที่มีพลัง จากผลการขุดร่องสำรวจเพื่อตรวจสอบรอยเลื่อนเขาคันโช้ง ระยะห่าง 15 กม. จากบริเวณพื้นที่รอบโครงการเขื่อนแควน้อย สรุปได้ว่าเป็นรอยเลื่อนที่มีพลัง (Active Fault) โดยมีขนาดแผ่นดินไหวที่พิจารณาเป็น Maximum Credible Earthquake (MCE) เท่ากับ 6.5(M_w) และก่อให้เกิด Peak Ground Acceleration (PGA) ที่ตัวเขื่อนเท่ากับ 0.2g โดยมีรอบการเกิดซ้ำประมาณ 3,000 ปี จากการหาคาบการอุบัติซ้ำโดยวิธี TL Dating [12] การวิเคราะห์จึงได้พิจารณาโอกาสการพิบัติของเขื่อนจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว โดยพิจารณาพฤติกรรมการทรุดตัวจากแรงพลศาสตร์ของเขื่อนหินถมแกนดินเหนียว เขื่อนดินถมและเขื่อนหินถมคอนกรีตคานหน้า เนื่องจากเป็นพฤติกรรมที่พบได้มากที่สุดหลังจากเขื่อนถูกแรงกระทำจากแผ่นดินไหว การทรุดตัวดังกล่าวย่อมก่อให้เกิดการแตกร้าวในตัวเขื่อน ซึ่งอาจนำไปสู่การเกิด Piping ในที่สุดสำหรับการทรุดตัว ในบางกรณีอาจก่อให้เกิดการไหลของน้ำข้ามสันเขื่อน กรณีเช่นนี้ถึงแม้ว่าจะไม่เคยเกิดขึ้น แต่ย่อมมี

โอกาสเกิดขึ้นได้ ภาพที่ 13 แสดงแผนภูมิเหตุการณ์ของการพิบัติ
ของเขื่อนทั้งสาม



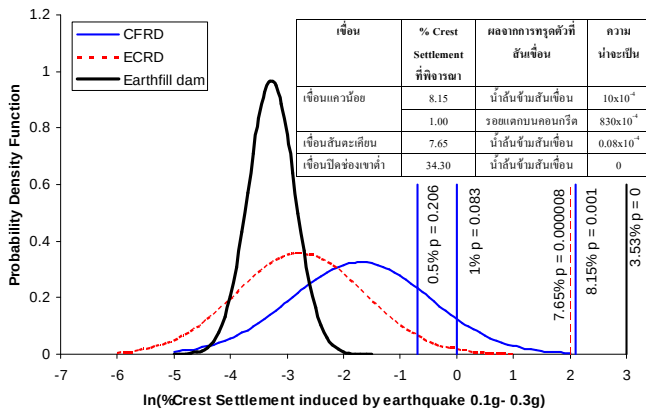
(ก) เชื้อนสันตะเกียนและเชื้อนปิดช่องเขาต่ำ



(ข) เชื้อนแควน้อย

ภาพที่ 13 แผนภูมิเหตุการณ์ของการพิบัติของเขื่อนจากแรงกระทำแผ่นดินไหว

ข้อมูลการทรุดตัวของเขื่อนชนิดต่างๆ จากแรงกระทำแผ่นดินไหวได้รวบรวมไว้โดย [13] เมื่อนำมาพิจารณาพบว่า การทรุดตัวจากแรงกระทำแผ่นดินไหวมีการกระจายตัวแบบ Normal logarithm ดังภาพที่ 14 จากนั้นจึงได้หาค่าความน่าจะเป็นของการทรุดตัวของเขื่อนตามค่าร้อยละการทรุดตัวที่จะก่อให้เกิดน้ำล้นสันเขื่อนหรือเกิดการแตกของแผ่นคอนกรีตคาดหน้า



ภาพที่ 14 การทรุดตัวและความน่าจะเป็นของเขื่อนประเภทต่างๆจากเหตุการณ์แผ่นดินไหว

ผลการวิเคราะห์พบว่าโอกาสเกิดการพิบัติของเขื่อนจากแรงกระทำแผ่นดินไหวของเขื่อนปิดช่องเขาต่ำมีค่าเท่ากับ 6.2×10^{-7} ต่อปี เขื่อนสันตะเกียงเท่ากับ 3.27×10^{-6} ต่อปี และเขื่อนแควน้อยมีค่าเป็นศูนย์

การประเมินความเสี่ยง

ผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของโอกาสในการพิบัติของตัวเขื่อนทั้ง สภาวะปกติ สภาวะน้ำหลากและสภาวะแผ่นดินไหว สามารถสรุปโอกาสของการพิบัติต่อปี ดังตารางที่ 4 ซึ่งพบว่าเขื่อนจะมีโอกาสในการพิบัติได้มากที่สุด ในสภาวะปกติ

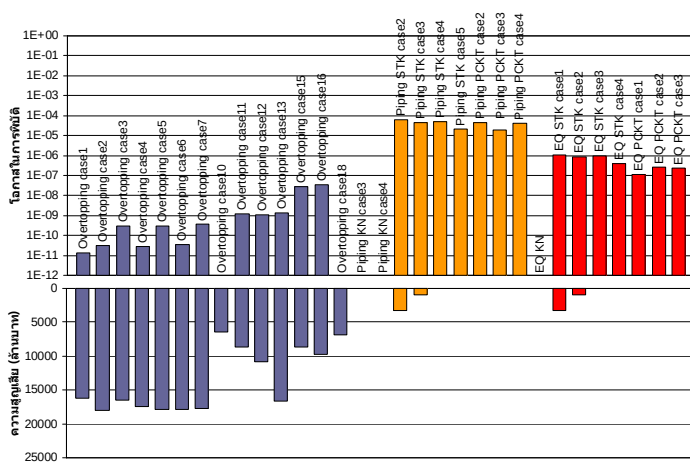
ตารางที่ 4 ความน่าจะเป็นของการพิบัติของเขื่อน (Σp)

สภาวะ	ความน่าจะเป็นของโอกาสในการพิบัติต่อปี		
	เขื่อนปิดช่องเขาต่ำ	เขื่อนสันตะเกียง	เขื่อนแควน้อย
สภาวะปกติ กรณี Piping ที่อายุเขื่อน ≤ 5 ปี	5.52×10^{-4}	1.82×10^{-4}	0
สภาวะปกติ กรณี Piping ที่อายุเขื่อน > 5 ปี	4.60×10^{-5}	1.80×10^{-5}	0
สภาวะปกติ กรณี Stability U/S	0	0	0
สภาวะปกติ กรณี Stability D/S	0	6.94×10^{-4}	0
สภาวะน้ำหลาก (Flooding)	6.54×10^{-8}	3.83×10^{-8}	0
สภาวะแผ่นดินไหว (Earthquake)	6.20×10^{-7}	3.27×10^{-6}	0

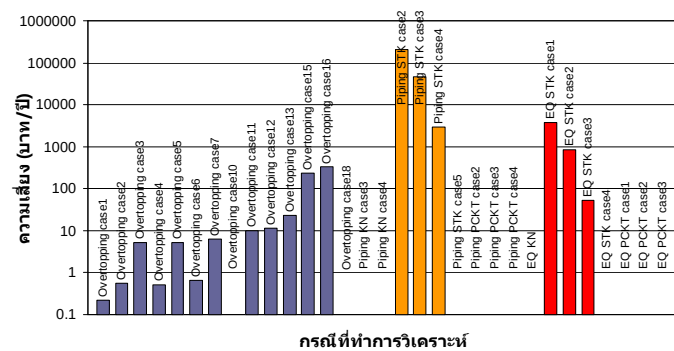
โอกาสของการพิบัติที่มีโอกาสเกิดได้สูงสุดคือ เหตุการณ์พิบัติของเขื่อนในสภาวะปกติ โดยการเกิดการพิบัติของลาดชันเขื่อนด้านท้ายน้ำของเขื่อนสันตะเกียงและการเกิด Piping ของเขื่อนสันตะเกียงและเขื่อนปิดช่องเขาต่ำ มีโอกาสใกล้เคียงกัน โดยมีโอกาสเกิดสูงกว่า 10^{-5} ต่อปี ใกล้เคียงกับเหตุการณ์เสียชีวิตจากเครื่องบินตก ซึ่งมีค่าประมาณ 9×10^{-6} [14] นอกจากนี้ การศึกษานี้ได้พิจารณาโอกาสในการพิบัติของเขื่อนหลายๆเขื่อนพร้อมกันเนื่องจากแรงกระทำเดียวกัน โดยสภาวะน้ำหลากมีโอกาเป็นไปได้มากที่สุด ในขณะที่สภาวะแรงกระทำอื่นมีโอกาสเกิดการพิบัติหลายเขื่อนพร้อมกันต่ำมาก

ขั้นตอนต่อไปคือการหาความสูญเสียจากเหตุการณ์ที่เขื่อนเกิดการพิบัติ โดยการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำและการวิเคราะห์ความสูญเสียจากน้ำหลาก [15] ทั้งนี้พบว่าเหตุการณ์ที่สร้างความเสียหายแก่ทรัพย์สินมากที่สุด คือ เหตุการณ์พิบัติจากสภาวะน้ำหลาก (Flooding) ที่ก่อให้เกิดความสูญเสียสูงที่สุด โดยแบ่งความสูญเสียได้เป็น 2 ระดับ ตามจำนวนเขื่อนที่แตก หากเขื่อนสันตะเกียงและเขื่อนปิดช่องเขาต่ำเกิดการพิบัติพร้อมกันจะทำให้เกิดความสูญเสียได้ประมาณ 15,000 ล้านบาท แต่หากเขื่อนปิดช่องเขาต่ำพิบัติเพียงเขื่อนเดียวจะก่อให้เกิดความสูญเสียประมาณ 7,500 ล้านบาท ส่วนความสูญเสียจากกรณีสภาวะปกติและสภาวะแผ่นดินไหว สร้างความสูญเสียได้มากที่สุดประมาณ 6,000 ล้านบาท หรือมีค่าเป็น 1 ใน 3 ของการพิบัติจากการล้นข้ามสันเขื่อนดังภาพที่ 15 ที่แสดงผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นและความสูญเสียตามกรณีการวิเคราะห์ต่างๆ

เมื่อนำผลข้างต้นมาประเมินความเสี่ยงภัยของการพิบัติของเขื่อน พบว่ากรณีเขื่อนพิบัติโดยการเกิด Piping ของเขื่อนสันตะเกียง เมื่อระดับน้ำอยู่ที่ +120.00 ถึง +130.00 ม.รทก. (Piping STK case 2) มีค่าความเสี่ยงสูงที่สุด (ภาพที่ 16) ประมาณ 203,000 บาท/ปี จากที่ได้กล่าวไว้แล้วมูลค่าความสูญเสียจากการพิบัติเขื่อนจากน้ำหลากจะมีมูลค่าสูงกว่ารูปแบบอื่น แต่เนื่องจากมีโอกาสเกิดได้น้อยกว่ารูปแบบอื่นมาก จึงทำให้ความเสี่ยงของการพิบัติของเขื่อนจากน้ำล้นข้ามสันเขื่อนจะมีค่าน้อยกว่ารูปแบบอื่นด้วย

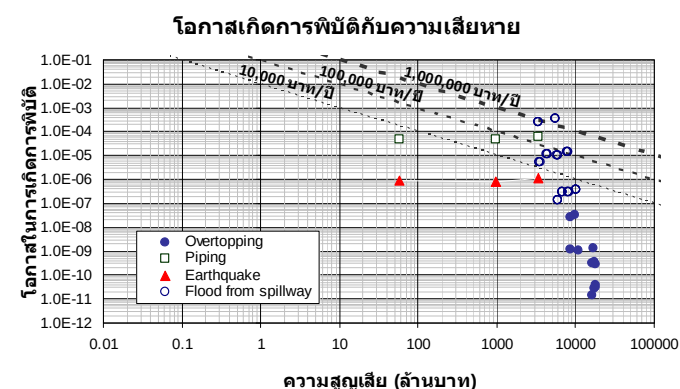


ภาพที่ 15 ความน่าจะเป็นและความสูญเสียของเขื่อนในกรณีต่างๆ



ภาพที่ 16 ความเสี่ยงของเขื่อนในกรณีต่างๆ

นอกจากนั้นหากพิจารณาความเสี่ยงในกรณีที่เขื่อนไม่พังทลายร่วมด้วยจะพบว่า การพังทลายของเขื่อนเนื่องจากการล้นข้ามสันเขื่อนมีความเสี่ยงต่ำกว่าความเสี่ยงจากการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำ ดังแสดงใน F-N Chart ในภาพที่ 17 ที่พบว่าความเสี่ยงจากการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้นมีค่าความเสี่ยงสูงสุด โดยสูงกว่าการพังทลายจาก Piping เล็กน้อย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีปฏิบัติที่จะใช้ความรอบคอบในการบริหารจัดการเขื่อนในสภาวะน้ำหลาก โดยตรวจสอบระดับน้ำที่ต้องพร่องให้เพียงพอต่อปริมาณน้ำหลากที่ไหลเข้าอ่างเพื่อมิให้เกิดน้ำท่วมจากการระบายน้ำล้น



ภาพที่ 17 แผนภูมิความเสี่ยงภัยของโครงการเขื่อนแก่งเสือเต้น (F-N Chart)

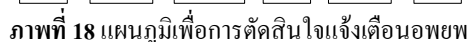
การกำหนดแผนอพยพ

ผลการวิเคราะห์ความเสี่ยงสามารถนำมาใช้สร้างแนวทางเพื่อกำหนดแผนการอพยพภัยจากน้ำท่วมได้ ซึ่งเหตุการณ์ที่ใช้กำหนดเป็นแผนต้องมีความเสี่ยงสูงที่สุด โดยจำแนกกรณีการเตือนภัยออกเป็นอย่างน้อย 2 กรณี คือ กรณีที่มีน้ำหลากเข้าอ่าง (Rainy Day) และกรณีที่ไม่มีน้ำหลากเข้าอ่าง (Sunny Day)

ผลการประเมินความเสี่ยงสรุปได้ว่า สำหรับกรณีที่มีน้ำหลากเข้าอ่าง (Rainy day) และเขื่อนเกิดการพังทลายในกรณี Overtopping เมื่อมีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง 50% ของ PMF (คาบการเกิด 1,000 ปีโดยประมาณ) และไม่สามารถระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้นได้ (กรณี 16) พบว่าเป็นกรณีระดับที่มีความเสี่ยงสูงที่สุดจากทุกกรณี โดยมีความสูญเสียรวม 9,800 ล้านบาท ครอบคลุมพื้นที่น้ำท่วมประมาณ 840 ตร.กม. ขณะที่กรณี Overtopping ที่มีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่าง 70%PMF (หรือประมาณคาบการเกิด 25,000 ปี) และไม่สามารถระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้นได้ (กรณี 13) มีความเสี่ยงต่ำกว่ากรณีแรก (เนื่องจากโอกาสเกิดน้อยกว่า) แต่ก่อให้เกิดความสูญเสียมากกว่ากรณีที่มีน้ำไหลเข้าอ่าง 50%PMF โดยมีความสูญเสียรวม 16,600 ล้านบาท ครอบคลุมพื้นที่น้ำท่วมประมาณ 1,300 ตร.กม. ดังนั้นจึงกำหนดแผนการอพยพกรณี Rainy Day ตามข้อมูลน้ำหลากจากกรณีแรก

นอกจากนั้นยังได้พิจารณากรณี Rainy Day เพิ่มเติมหากน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำและสามารถระบายน้ำได้ทันโดยเขื่อนไม่เกิดการพังทลายแต่ส่งผลทำให้เกิดผลกระทบต่อพื้นที่ท้ายน้ำ (และมีความเสี่ยงสูงสุด) ทำให้ต้องนำมาพิจารณาทำแผนอพยพ โดยกระบวนการตัดสินใจในการใช้แผนในการเตือนภัยตามสถานการณ์ต่างๆ แสดงในแผนภูมิการตัดสินใจดังภาพที่ 18

ส่วนกรณีที่ไม่มีน้ำหลากเข้าอ่าง (Sunny Day) ได้แก่กรณีการพังทลายจากแผ่นดินไหวและการพังทลายในสภาวะสถิตย์ ทั้งนี้จากการวิเคราะห์พบว่ากรณีที่มีความเสี่ยงสูงสุดคือ กรณีการเกิด Piping ของเขื่อนสันตะเคียน เมื่อระดับน้ำอยู่ ณ ระดับ +125.00 ถึง +130.00 ม.รทก.(กรณี 2)



นอกเหนือจากด้านความเสียหายในรูปของตัวเงินแล้ว การสูญเสียชีวิตของประชากรเป็นสิ่งที่สำคัญ การบริหารจัดการด้านความเสี่ยงของเขื่อนที่ดีจะสามารถจำกัดการสูญเสียชีวิตของประชากรที่อยู่อาศัยได้โดยเกณฑ์ของ [16] เสนอวิธีประมาณหาความสูญเสียในชีวิต ตามระยะเวลาที่แจ้งเตือนภัย ดังสมการ (3) ถึง (5)

$$\text{LOL} = 0.5 \text{ PAR} \quad (3)$$
$$\text{LOL} = \text{PAR}^{0.6} \quad (4)$$
$$\text{LOL} = 0.0002 \times \text{PAR} \quad (5)$$

LOL (Loss of Life) แสดงถึงจำนวนประชากรที่จะเกิดการสูญเสียหากเขื่อนเกิดการพิบัติ

หากได้ดำเนินการแจ้งเตือนตามมาตรการดังกล่าวแล้ว ในกรณี Rainy day จะมีเวลาการเตือนภัยได้มากกว่า 90 นาที ทำให้จำนวนการสูญเสียในชีวิต (LOL) ลดลงจนถือว่ามีความเสี่ยงที่จะมีผู้เสียชีวิตน้อยมาก(ตามสมการที่ 5) สำหรับในกรณี Sunny day

หากมีเหตุการณ์ผิดปกติอันแสดงจากสภาพตัวเขื่อน หรือภายหลังเกิดแผ่นดินไหวแล้วพบว่าตัวเขื่อนมีสภาพผิดปกติ อันอาจนำไปสู่การพิบัติได้ เมื่อผู้ดูแลเขื่อนแจ้งผู้บังคับบัญชาตามลำดับชั้น เพื่อตัดสินใจแจ้งเตือนภัย และดำเนินการตามแผนด้านความปลอดภัยเขื่อนตามที่ได้กำหนดไว้ จะมีเวลาแจ้งเตือนภัยและอพยพเกิน 90 นาที ทำให้การสูญเสียในชีวิตรลดลง ตารางที่ 5 สรุปจำนวนผู้มีโอกาสสูญเสียชีวิตในกรณีต่างๆ

รายการ	จำนวนประชากรที่สูญเสียในกรณีต่างๆ (คน)		
	กรณีฝนตกหนักและ เขื่อนพิบัติ	กรณีฝนไม่ตกแต่เขื่อนพิบัติ	กรณีเขื่อนระบายน้ำเป็น ปริมาณมาก
(PAR)	6580	4986	6045
(LOL)กรณีไม่มีการ แจ้งเตือนภัย	3290	2493	3022
(LOL)กรณีมีการ แจ้งเตือนภัย	1.30 (2)	0.98 (1)	1.19 (2)

ดังนั้นเห็นได้ว่าเมื่อมีแผนด้านความปลอดภัยเช่นจำนวน
การสูญเสียในชีวิตจะมีน้อยมาก หากเทียบกับไม่มีการแจ้ง
เตือนภัย

ผู้เขียนขอขอบคุณกรมชลประทาน ,บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด และศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากการศึกษาข้างต้นสามารถสรุปสาระสำคัญทางวิชาการได้ดังต่อไปนี้

1. การจัดทำแผนอพยพและเตือนภัยโดยอาศัยหลักการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยง จะทำให้ได้แผนการปฏิบัติที่มีประสิทธิภาพและประหยัดต่อการดำเนินงาน
2. การใช้กรณีการพิบัติที่ก่อให้เกิดความสูญเสียสูงสุด หรือมีโอกาสมากที่สุด มักพบว่าจะไม่ใช้กรณีที่มีความเสี่ยงสูงสุด
3. แผนอพยพควรจัดทำให้เหมาะสมตามลักษณะของสาเหตุและเวลาที่เกิดการพิบัติ ทั้งนี้สามารถมีหลายแผนได้ตามความจำเป็น

4. ในกรณีของโครงการเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน พบว่าความเสี่ยงต่อความสูญเสียกรณีที่เกิดขึ้นไม่พบบัด มีความเสี่ยงสูงกว่ากรณีเกิดการพบบัด เนื่องจากโอกาสเกิดมากและอาการระบายน้ำล้นมีขนาดใหญ่ ทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านก่อให้เกิดความเสียหายได้มาก

บรรณานุกรม

- [1] สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์ และ วรากรไม้เรียง, (2548). การวิเคราะห์ความเสี่ยงของเขื่อนในประเทศไทย EIT-Japan-AIT Joint Workshop 2005, Geo-Risk Engineering and Management.
- [2] สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์, (2547). ความเสี่ยงและการประเมินความเสี่ยงของเขื่อน. บทความในงานสัปดาห์วิศวกรรมแห่งชาติ, ณ ศูนย์ประชุมไบเทคบางนา 29 กันยายน 2547.
- [3] USNRC (U.S. Nuclear Regulatory Commission). (1975). Reactor Safety Study., An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants, WASH-1400. NUREG-75/014., Washington D.C., October 1975.
- [4] Froehlich, D. C. (1995). Embankment Dam Breach Parameters Revisited., Journal of Water Resources Planning and Management, 121(1),: 90-97.
- [5] Julian, J. P. and R. Torres. (2006)., Hydraulic erosion of cohesive riverbanks. Geomorphology 76 (2006): 193–206
- [6] USBR (1998). Prediction of Embankment Dam Breach Parameters., DSO-98-004., Dam Safety Research Report. : P 33.
- [7] Stewart, R.A. (2000) Dam Risk Management. An international conference on Geotechnical and Geological Engineering., Melbourne Australia., 19-24 November 2000.
- [8] Foster, M., Fell, R., and Spannagle, M. (2000). The statistics of embankment dam failures and accidents., Canadian Geotechnical Journal, 37: 1000–1024.
- [9] K.K. Phoon and Fred H. Kulhawy. (1998). Characterization of geotechnical variability, Can. Geotech. J., Vol.36, 1999 : 612-639.
- [10] Bowles, D.S., L.R., Anderson and T.F., Glover. (1997). A role of risk assessment in dam safety management., 3rd International Conference HYDROPOWER' 97, Trondheim, Norway., June 30-July 2, 1997.
- [11] Lewin, J., G. Ballard and D.S., Bowles (2003). Spillway gate reliability in the context of overall dam failure risk., The 2003 USSD Annual Lecture, Charleston, South Carolina. April 2003.
- [12] กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, (2552). รายงานการศึกษา Dam Break เขื่อนแควน้อย จังหวัดพิษณุโลก.
- [13] Swaisgood, J.R. (2003). Embankment dam deformations caused by earthquakes., 2003 Pacific conference on earthquake engineering.
- [14] Rissler, P. (1998). Talsperrenpraxis. Oldenbourg Verlag, Germany.
- [15] วุฒิชัย วิชัยเมฆพัตร, สุรัชย์ ลายกาญจน์ไพบูรณ์, สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์. (2552). การจำลองน้ำหลากเนื่องจากกรณีสมมติเขื่อนแควน้อยพบบัด.

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 14, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 13-15 พฤษภาคม 2552.

- [16] USBR (1999). A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure., U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, Denver, Colorado.