

การตรวจสอบสภาพเขื่อนดินโดยวิธีดัชนีความเสี่ยง (Earth Dam Inspection by Risk Index Method)

สุทธิศักดิ์ ศรีลัมภ์ (Suttisak Soralump (Ph.D))¹

ธวัชชัย ปันสุข (Thawatchai Punsook)²

ชินอรส ทองธรรมชาติ (Chinoros Thongthamchart)³

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์และหัวหน้าศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมปฐพี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³นิสิตปริญญาเอกและนักวิจัย ศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ : การตรวจสอบสภาพเขื่อนดินโดยวิธีดัชนีความเสี่ยง (Risk Index Method) เป็นการตรวจสอบสภาพเขื่อนดินด้วยสายตาซึ่งนำหลักการของการประเมินความเสี่ยงและวิธีดัชนีสภาพ (Condition Index Method) มาประยุกต์ใช้เพื่อประเมินความเสี่ยงของเขื่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเขื่อนเพื่อการชลประทานภายในประเทศไทย งานวิจัยนี้เน้นการศึกษาวิธีการตรวจสอบสภาพเขื่อน อันประกอบด้วย การคัดเลือกสภาพของเขื่อนที่บ่งชี้ถึงการพิบัติของเขื่อน การกำหนดค่าเพื่อระบุคะแนนความเสี่ยงต่อการพิบัติ และการสร้างค่าน้ำหนักความสำคัญของสภาพความเสี่ยงตามหลักการประเมินความเสี่ยง ท้ายที่สุดสามารถคำนวณหาค่าดัชนีความเสี่ยงด้วยวิธีปัจจัยร่วม

ABSTRACT : Earthfill dam inspection by Risk Index method is the visual inspection conducted the concepts of risk evaluation and Condition Index method to evaluation the risk of dam, especially for irrigation dams in Thailand. This study focused on the method of dam inspection consisting of the selection risk conditions which cause the dam failed in each mode of failures, identifying the scores of dam and establishing weight factors of risk condition for each element of the dam based on principle of risk evaluation. Eventually Risk Index is calculated by applying the weighting method.

KEYWORDS : Risk Condition, Modes of Failures, Risk Scores, Weighting Method

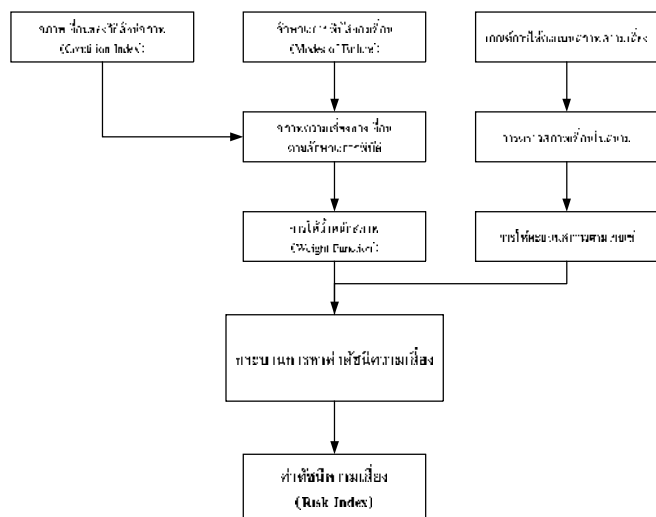
1. บทนำ

เขื่อนเก็บกักน้ำที่ได้สร้างขึ้นและใช้งานจนถึงปัจจุบัน ได้มีการดูแลบำรุงรักษาเขื่อนของแต่ละหน่วยงานที่รับผิดชอบ แต่ยังมีคำถามอยู่เสมอว่า “เขื่อนมีความเสี่ยงหรือไม่?” ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาวิธีการตรวจสอบสภาพเขื่อนด้วยสายตาอย่างเป็นระบบและเหมาะสม ซึ่งสามารถประเมินและวิเคราะห์ความเสี่ยงของเขื่อนได้ เพื่อความแน่ใจในความปลอดภัยของเขื่อน และป้องกันชีวิตทรัพย์สินในพื้นที่ท้ายเขื่อน

2. หลักการ

การตรวจสอบสภาพความเสี่ยงเขื่อนโดยวิธีดัชนีความเสี่ยง เป็นการประเมินสภาพความเสี่ยงของเขื่อนโดยการตรวจสอบสภาพเขื่อนด้วยสายตาซึ่งที่พัฒนาจากวิธีการตรวจสอบสภาพเขื่อนโดยวิธีดัชนีสภาพ (Condition Index; CI) [1] การตรวจสอบสภาพเขื่อนเน้นการให้คะแนนระดับความเสี่ยง (Rate, R) จากการตรวจสอบสภาพด้วยสายตา หลังจากนั้นจึงนำค่าน้ำหนักความสำคัญของสภาพมาถ่วงน้ำหนัก (Weight, W) แล้วคำนวณหาคะแนนของแต่ละสภาพ ได้ผลเป็นผลการวิเคราะห์ของค่าดัชนีความเสี่ยงของเขื่อน (ภาพ

ที่ 1) และสามารถนำแต่ละเงื่อนไขที่ได้ตรวจสอบมาเปรียบเทียบกัน เพื่อจัดลำดับความเสี่ยงของเขื่อนด้วยดัชนีความเสี่ยง [2], [3]



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการหาค่าดัชนีความเสี่ยง

สมการเพื่อคำนวณหาดัชนีความเสี่ยงแสดงในสมการที่ (1)

$$RI_i = W_1 * R_1 + W_2 * R_2 + W_3 * R_3 + \dots + W_n * R_n \text{ ---- (1)}$$

เมื่อ

- RI_i = ดัชนีความเสี่ยงของลักษณะการพิบัติใดๆ
- W_i = น้ำหนักปัจจัยร่วมของสภาพขององค์ประกอบใดๆ
- R_i = คะแนนของสภาพความเสี่ยงขององค์ประกอบใดๆ

ดังนั้นความเสี่ยงภัยของเขื่อนดังกล่าวสามารถประเมินได้จาก ผลการวิเคราะห์ข้างต้นของทุกลักษณะการพิบัติ (Modes of Failure) เพื่อให้สามารถจัดเรียงความเสี่ยงของเขื่อนได้อย่างครบถ้วน ซึ่งจำเป็นต้องวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเสี่ยงภัยของแต่ละลักษณะการพิบัติของแต่ละเขื่อน อาจเขียนให้เป็นสมการอย่างง่ายได้ดังสมการที่ (2)

$$RI_{DAM} = a * RI_{OT} + b * RI_{PIP} + c * RI_{SLID} \text{ ---- (2)}$$

เมื่อ

RI_{OT} = ดัชนีความเสี่ยงของเขื่อนจากการไหลล้นข้ามสันเขื่อน

RI_{PIP} = ดัชนีความเสี่ยงของเขื่อนจากการกัดเซาะภายใน

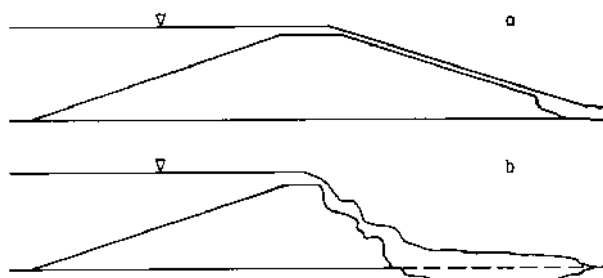
RI_{SLID} = ดัชนีความเสี่ยงของเขื่อนจากการเคลื่อนตัว

a, b, c = สัมประสิทธิ์ความสำคัญของแต่ละลักษณะการพิบัติ [4]

3. ลักษณะการพิบัติของเขื่อน

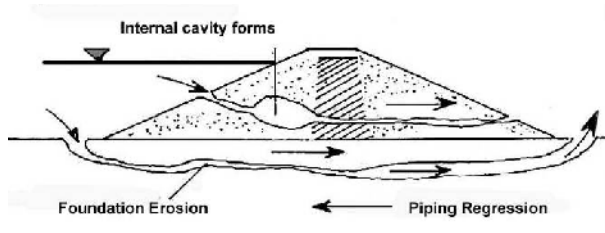
ข้อมูลทางสถิติจากสถิติการพิบัติของเขื่อนดิน [4] พบว่าลักษณะการพิบัติของเขื่อนที่เกิดขึ้นสูงสุด 2 อันดับแรก ได้แก่ การเกิดน้ำล้นสันเขื่อน และการกัดเซาะภายใน สำหรับลักษณะการพิบัติในรูปแบบการเคลื่อนตัวของเขื่อน แม้ปัจจุบันจะมีสถิติลดลงมากเพราะการพัฒนาการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน แต่เป็นลักษณะการพิบัติที่มีผลกระทบสูงจึงต้องนำมาพิจารณา 3 ลักษณะการพิบัติ มีรายละเอียดดังนี้

ก. การไหลล้นข้ามสันเขื่อน (Overtopping) หมายถึง การไหลของน้ำข้ามผ่านสันเขื่อนออกไปทางด้านท้ายน้ำ (ภาพที่ 2) ทำให้เกิดการกัดกร่อนและพัดพาเม็ดดินตัวเขื่อน ก่อให้เกิดการพิบัติของเขื่อนได้อย่างรุนแรง



ภาพที่ 2 การไหลล้นข้ามสันเขื่อน [5]

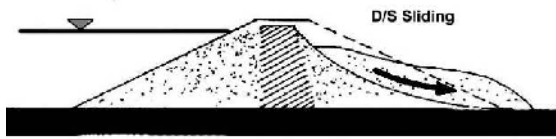
ข. การกัดเซาะภายใน (Piping) หมายถึง การที่น้ำไหลซึมผ่านตัวเขื่อนหรือฐานรากแล้วพัดพาเม็ดดินออกนอกเขื่อน การกัดเซาะภายในมักก่อให้เกิดการพิบัติที่อาจมีเวลาในการเตือนภัยที่ยาวนาน (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 การกัดเซาะภายใน [4]

ค. การเคลื่อนตัวของเขื่อน (Mass movement) หมายถึง การที่ดินตัวเขื่อนเกิดการเคลื่อนตัวเนื่องจากความไม่มั่นคงของลาดชัน หรือเกิดการไถลของตัวเขื่อน

สาเหตุอาจจะเกิดจากการวิเคราะห์ห้ออกแบบผิดพลาด หรือการใช้งานที่ไม่เหมาะสม เช่น เกิดการลดระดับ น้ำหน้าเขื่อนอย่างรวดเร็ว (Rapid Drawdown) ทำให้ เกิดการพิบัติ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การเคลื่อนตัวของเขื่อน [4]

4. การตรวจสอบเขื่อน

การตรวจสอบเขื่อนในสนามเป็นการเดินตรวจสอบภาพ ด้วยสายตา โดยการเดินแบบเรียงหน้ากระดานจากฐานเขื่อน ฝั่งหนึ่งไปยังอีกฝั่งหนึ่ง เพื่อให้การจัดการตรวจได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วจึง ได้แบ่งพื้นที่และองค์ประกอบการ ตรวจ ดังต่อไปนี้

4.1 ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ

แบ่งช่วงความยาวตามแนวสันเขื่อนเป็นช่วงช่วงละ 50 เมตร และระยะความกว้างของแต่ละผู้ตรวจเท่ากับ 10 เมตรซึ่ง เท่ากับระยะการมองเห็นด้วยสายตา ดังนั้นจึงได้หน่วยของสภาพ พื้นที่ที่ต้องทำการตรวจเป็นพื้นที่ประมาณ 500 ตร.ม. (50 ม. x 10 ม.) (ภาพที่ 5)

4.2 ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ

ลักษณะการตรวจเช่นเดียวกับด้านเหนือน้ำ ดังแสดงใน ภาพที่ 6

4.3 สันเขื่อนและไหล่ทาง

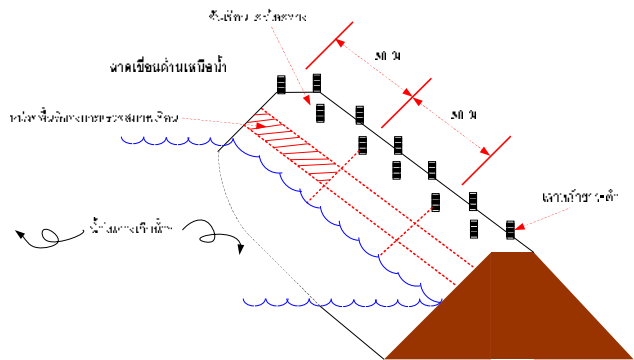
การตรวจสอบสันเขื่อนและไหล่ทางจะแบ่งตามช่วง ระยะความยาวขนานกับสันเขื่อน ช่วงละ 50 เมตร ส่วนความ กว้างจะเท่ากับความกว้างของสันเขื่อน (ภาพที่ 7)

4.4 พื้นที่ด้านท้ายน้ำ

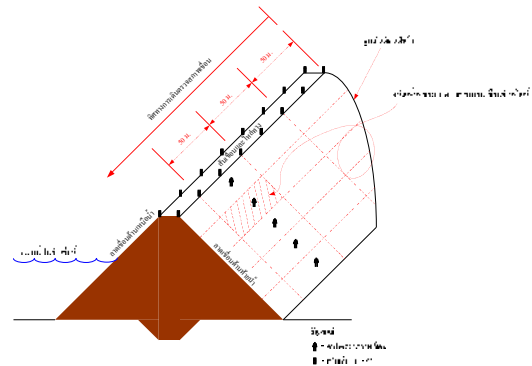
การตรวจสอบพื้นที่ด้านท้ายน้ำจะตรวจบริเวณด้าน ท้ายเขื่อนไปทางท้ายน้ำอย่างน้อยประมาณ 2 เท่าของความสูง ของเขื่อน หรืออย่างน้อย 100 เมตร ซึ่งพื้นที่ท้ายน้ำเป็นตัวบ่งชี้ ความผิดปกติหากเกิดการไหลซึมผ่านฐานรากอันอาจพบการ ลอยตัวของเม็ดดิน (Boiling) เป็นต้น

4.5 อาการระบายน้ำล้น

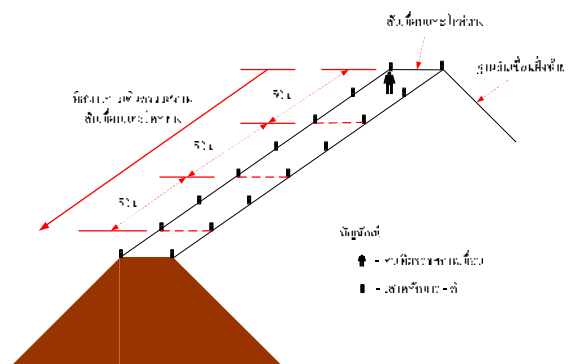
การตรวจสอบบานระบาย อันประกอบด้วย การ ตรวจสอบคู่อ่อนของบานระบาย การตรวจสอบคูสนิมที่เกิดขึ้นบน บานระบาย การตรวจสอบคูกันสนิมและการตรวจสอบโครงสร้างเหล็ก เป็นต้น บานระบายที่ดีจะต้องสามารถรับแรงดันน้ำได้รวมถึง ยกขึ้นลงได้ โดยไม่มีการเสียรูปหรือชำรุด



ภาพที่ 5 การแบ่งพื้นที่การตรวจสอบทางด้านเหนือน้ำ



ภาพที่ 6 การแบ่งพื้นที่การตรวจสอบด้านท้ายน้ำ



ภาพที่ 7 การแบ่งพื้นที่การตรวจสอบสันเขื่อนและไหล่ทาง

การตรวจประสิทธิภาพระบบควบคุมบาน ตรวจสอบสภาพระบบควบคุมบานว่าสามารถปฏิบัติได้โดยทดสอบเปิดปิดการยกบานระบาย ทดสอบระบบควบคุมเพื่อที่ยกบานระบาย

การตรวจสอบสภาพสันอาคารระบายน้ำล้น หาร่องรอยการแตกร้าวหรือการกัดกร่อนของน้ำต่อคอนกรีต รวมถึงการทรุดตัวไม่เท่ากัน

การตรวจสอบสภาพกำแพงบังค้ำน้ำ การตรวจสอบสภาพกำแพงบังค้ำน้ำของอาคารระบายน้ำล้นทั้งทางด้านเหนือน้ำและทางด้านท้ายน้ำ เพื่อตรวจสอบการเอียงตัว การแตกร้าวที่อาจเกิดขวางการระบายน้ำ

การตรวจสอบสภาพอาคารสลายพลังงานและลาดหินเรียงท้ายอาคารสลายพลังงาน สภาพการผุกร่อนและประสิทธิภาพของการสลายพลังงาน

4.6 อาคารส่งน้ำ

การตรวจสอบสภาพอาคารทางเข้าของน้ำ (Intake) ซึ่งอยู่บริเวณด้านเหนือน้ำ หากอยู่เหนือน้ำให้ทำการใช้สายตามองให้ทั่วบริเวณอาคารทางเข้าของน้ำเพื่อตรวจสอบคุณภาพผิดปกติ แต่หากจมอยู่ใต้น้ำให้ทำการตรวจสอบสภาพใต้น้ำโดยนักประดาน้ำ หรือใช้เครื่องมือตรวจสอบสภาพใต้น้ำ

การตรวจสอบสภาพท่อส่งน้ำ (Steel Pipe) หากเป็นท่อส่งน้ำขนาดใหญ่ การตรวจสอบสภาพโดยการเดินเข้าไปตรวจสอบสภาพภายในท่อ แต่ต้องทำการตรวจเช็คปริมาณอากาศว่าเพียงพอต่อการหายใจของคณะที่เข้าทำการตรวจสอบสภาพ และห้ามทำการจุดไฟแช็ค หรือตะเกียง ต้องใช้ไฟจากไฟฉายที่มีแสงสว่างเพียงพอต่อการมองเห็นสภาพ สำหรับท่อส่งน้ำขนาดเล็กจะใช้เครื่องมือตรวจสอบสภาพภายในท่อ หรือหากไม่สามารถตรวจสอบสภาพภายในท่อได้ด้วยตนเอง อาจใช้วิธีการสอบถามประวัติการบำรุงรักษา

5. สภาพความเสี่ยง

หลักการตรวจเขื่อนด้วยวิธีดัชนีความเสี่ยงจำเป็นต้องศึกษาถึงสภาพที่ปรากฏที่สามารถมองเห็นด้วยสายตา โดยสภาพดังกล่าวสื่อถึงสัญญาณบอกเหตุก่อนเกิดการพิบัติในรูปแบบต่างๆ โดยคณะผู้วิจัยได้กำหนดสภาพความเสี่ยงที่เกิดขึ้นแยกตามพื้นที่และองค์ประกอบของเขื่อนรวมถึงลักษณะการพิบัติจากข้อมูลทางวิชาการ [1], [6], [7], [8], และ [9] โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. สภาพความเสี่ยงจากการไหลล้นข้ามสันเขื่อน
 - 1.1 สันเขื่อนและไหล่ทาง
 - การขุดตัวของสันเขื่อน [RO01]
 - 1.2 อาคารระบายน้ำล้น
 - สภาพของบานระบาย [RO02]
 - ประสิทธิภาพของระบบควบคุมบาน [RO03]
 - ประสิทธิภาพของระบบส่งกำลังไฟฟ้าสำรอง [RO04]
 - สภาพผนังคอนกรีตของอาคารระบายน้ำล้น [RO05]
 - ความไม่มั่นคงของลาดทางเข้าอาคารระบายน้ำล้น [RO06]
 - สภาพของตะแกรง [RO07]
 - ท่อนกันสวะ [RO08]
 - 1.3 อาคารส่งน้ำ
 - ประสิทธิภาพของการเปิดวาล์วของท่อส่งน้ำ [RO09]
 - สภาพของตะแกรง [RO10]
 - สภาพของท่อนกันสวะ [RO11]
 - ประสิทธิภาพของระบบควบคุมบาน [RO12]
2. สภาพความเสี่ยงจากการกัดเซาะภายใน
 - 2.1 สันเขื่อนและไหล่ทาง
 - หลุมยุบ [RP01]
 - ดันไม้, วัชพืช [RP02]
 - รอยแตกตามขวาง [RP03]
 - การขุดหรือย้ายวัสดุถมเขื่อน [RP04]
 - รู, โปรง, ท่อ, ถ้ำ [RP05]
 - 2.2 ลาดเขื่อนด้านเหนือน้ำ
 - หลุมยุบ [RP06]
 - รู, โปรง, ท่อ, ถ้ำ [RP07]
 - การขุดหรือย้ายวัสดุถมเขื่อน [RP08]
 - การผุสลายของหินกันคลื่น [RP09]
 - การกัดเซาะโดยคลื่น [RP10]
 - รอยร้าวบริเวณผิวคอนกรีตลาดหน้า [RP11]
 - ดันไม้, วัชพืช [RP12]
 - ชนิดของหิน [RP13]

- 2.3 ลาดเชื่อมด้านท้ายน้ำ
- น้ำไหล, น้ำซึม, น้ำใส, พื้นที่เปียก [RP14]
 - หลุมยุบ [RP15]
 - รุ, โปรง, ท่อ, ถ้ำ [RP16]
 - รอยแตกตามขวาง [RP17]
 - การขุดรื้อย้ายวัสดุถมเขื่อน [RP18]
 - ดินไม้, วัชพืช [RP19]
 - การผุสลายของหิน [RP20]
- 2.4 พื้นที่ด้านท้ายน้ำ
- น้ำผุด, พื้นที่เปียก, การไหลซึม [RP21]
 - พื้นที่เปียกเป็นแอ่งกระทะ [RP22]
- 2.5 อาคารระบายน้ำล้น
- รอยร้าวบริเวณผนังด้านข้างทางระบายน้ำล้น [RP23]
- 2.6 อาคารส่งน้ำ
- น้ำโคลนไหลออกจากจุดควบคุมท้ายเขื่อน [RP24]
 - การรั่วซึมของท่อส่งน้ำ [RP25]
3. สภาพความเสี่ยงจากการเคลื่อนตัวของเขื่อน
- 3.1 สันเขื่อนและไหล่ทาง
- รอยแตกตามยาว [RM01]
 - สันเขื่อนบิโดออกจากแนว [RM02]
 - รอยแตกตามขวางและการบิโดออกจากแนวเขื่อน [RM03]
 - การกัดเซาะบริเวณสันเขื่อน [RM04]
- 3.2 ลาดเชื่อมด้านเหนือน้ำ
- การเลื่อนไถล, เคลื่อนตัว, ยุบตัว, อดตัว [RM05]
 - ร่องน้ำลึกจากการกัดเซาะของน้ำฝน [RM06]
 - รอยแตกตามยาว [RM07]
 - การยุบตัว [RM08]
- 3.3 ลาดเชื่อมด้านท้ายน้ำ
- การเลื่อนไถล, เคลื่อนตัว, ยุบตัว, อดตัว [RM09]
 - ร่องน้ำลึกจากการกัดเซาะของน้ำฝน [RM10]
 - รอยแตกตามยาว [RM11]
 - การยุบตัว [RM12]

- ประสิทธิภาพของระบบระบายน้ำลาดเขื่อน [RM13]
 - ประสิทธิภาพของระบบระบายน้ำท้ายเขื่อน [RM14]
 - การเคลื่อนตัวของรางระบายน้ำท้ายเขื่อน [RM15]
- 3.4 พื้นที่ด้านท้ายน้ำ
- พื้นที่อุดขึ้นบริเวณท้ายน้ำ [RM16]
- 3.5 ระบบระบายน้ำ
- การปิดกั้นการระบายน้ำ [RM17]
- 3.6 อาคารระบายน้ำล้น
- การยุบตัวในแนวโค้ง [RM18]
 - พื้นคอนกรีตของสันอาคารระบายน้ำล้นแตกร้าว [RM19]

6. เกณฑ์การให้คะแนนสภาพ (Score)

เกณฑ์การให้คะแนนสภาพความเสี่ยงแบ่งออกเป็น 4 ระดับดังต่อไปนี้

ระดับที่ 1 หมายถึง สภาพองค์ประกอบ มีความสมบูรณ์หรือทำหน้าที่เป็นปกติ หรือไม่ปรากฏสภาพความเสี่ยงนั้น

ระดับที่ 2 หมายถึง สภาพองค์ประกอบ มีความเสียหายเล็กน้อย (มีแนวโน้มไปในทางปกติ)

ระดับที่ 3 หมายถึง สภาพองค์ประกอบ มีความเสียหายควรวิเคราะห์หรือตรวจวัดและติดตามพฤติกรรมเป็นพิเศษเพื่อประเมินความปลอดภัย อาจสามารถรอการซ่อมแซมได้ (มีแนวโน้มไปในทางไม่ปกติ)

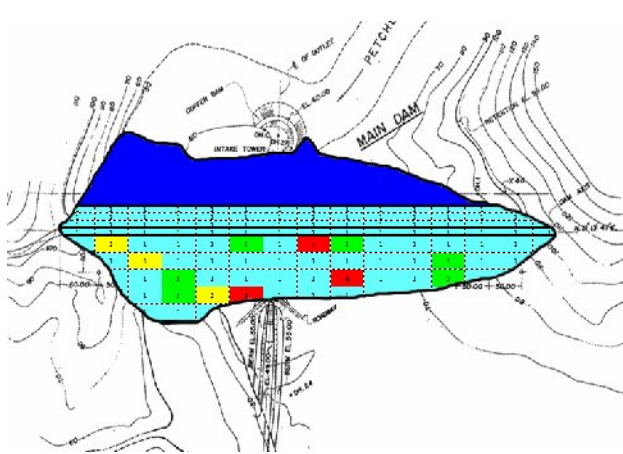
ระดับที่ 4 หมายถึง สภาพองค์ประกอบ มีความเสียหายมาก มีผลต่อการพิบัติอย่างเห็นได้ชัด จำเป็นที่ต้องการซ่อมแซมโดยทันที หรือเขื่อนจำเป็นต้องมีองค์ประกอบดังกล่าวแต่ไม่มี

ภาพที่ 8 แสดงตัวอย่างเกณฑ์การให้คะแนนตามหลักเกณฑ์ดังกล่าว

โดยในทุกองค์ประกอบได้กำหนดระดับคะแนนไว้สำหรับการตรวจรายละเอียดไม่สามารถแสดงได้ทั้งหมดในบทความนี้ แต่อยู่ใน [4] ภาพที่ 9 แสดงผลการตรวจสภาพหลุมยุบของเขื่อนแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี

	ระดับคะแนน 1 – สภาพปกติ ไม่เกิดการกัดเซาะ บริเวณสันเขื่อน
	ระดับคะแนน 2 – เกิดการกัดเซาะบริเวณผิวเล็กน้อย ไม่เกิดร่องลึก
	ระดับคะแนน 3 – เกิดการกัดเซาะบริเวณที่ผิวเป็น บริเวณกว้าง แต่ไม่เกิดร่องลึก
	ระดับคะแนน 4 – เกิดการกัดเซาะในบริเวณดังกล่าว และเกิดร่องลึกจนสูญเสียเนื้อเขื่อน

ภาพที่ 8 ตัวอย่างเกณฑ์การให้คะแนนร่องน้ำลึกจากการกัดเซาะของน้ำฝน



ภาพที่ 9 แสดงผลการตรวจสอบสภาพหลุมยุบของเขื่อนแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี

7. น้ำหนักความสำคัญของสภาพ

เนื่องจากสภาพความเสี่ยงส่งผลกระทบไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องทำการให้น้ำหนักความสำคัญของสภาพความเสี่ยงโดยพิจารณาจากปัจจัยสาเหตุและผลกระทบของเขื่อน 3 ด้าน คือ

7.1 ด้านความรุนแรง

ด้านความรุนแรง ได้แก่ระดับของผลกระทบจากสภาพความเสียหายในองค์ประกอบ โดยมีเกณฑ์ของระดับคะแนนความรุนแรง ดังนี้

ระดับ 1 คือ องค์ประกอบที่เกิดความเสียหาย ไม่ส่งผลโดยตรงต่อการพิบัติของเขื่อนโดยตรง (บำรุงรักษาตามปกติ)

ระดับ 2 คือ องค์ประกอบที่เกิดความเสียหาย ทำให้เขื่อนพิบัติได้ในที่สุด หากไม่ปรับปรุงแก้ไข (ซ่อมบำรุงเป็นพิเศษ)

ระดับ 3 คือ องค์ประกอบที่เกิดความเสียหาย จะทำให้เขื่อนพิบัติได้ทันที หรือในระยะเวลาอันสั้น (ต้องแก้ไขในทันที)

7.2 ด้านความยากง่ายในการแก้ไขซ่อมแซม

ด้านความยากง่ายในการแก้ไขซ่อมแซม บ่งบอกถึงเวลาในการแก้ไขปัญหาโดยมีเกณฑ์ของระดับคะแนนความยากง่ายดังนี้

ระดับ 1 คือ การปรับปรุง ซ่อมแซม ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญ ใช้เครื่องจักรหรือเทคนิคที่หาได้ง่าย และใช้เวลาน้อย

ระดับ 2 คือ การปรับปรุง ซ่อมแซม ใช้ผู้เชี่ยวชาญ ใช้เครื่องจักรเฉพาะหรือเทคนิคที่หาได้ยากหรือใช้เวลานาน

ระดับ 3 คือ การปรับปรุง ซ่อมแซม ใช้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะและต้องมีการวิเคราะห์ ใช้เครื่องจักรเฉพาะหรือเทคนิคขั้นสูง หรือใช้เวลานาน

7.3 จำนวนรูปแบบการพิบัติเขื่อนที่เกี่ยวข้อง

จำนวนรูปแบบการพิบัติเขื่อนที่เกี่ยวข้องบ่งบอกถึงสภาพที่ตรวจพบดังกล่าวอาจนำไปสู่ลักษณะการพิบัติได้หลายลักษณะ เช่น หลุมยุบ (Sinkhole) บริเวณสันเขื่อน ข่อมแสดงถึงความเสี่ยงต่อการกัดกร่อนภายในตัวเขื่อนดินถม หรือการยุบตัวบริเวณสันเขื่อนดังกล่าว จะเพิ่มโอกาสการไหลล้นข้ามสันเขื่อน ในกรณีนี้จะมีคะแนนเป็น 2

สภาพความเสี่ยงแต่ละสภาพได้ถูกให้คะแนนเพื่อถ่วงน้ำหนักความสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 1, ตารางที่ 2, ตารางที่ 3 ตามลำดับ

8. กรณีศึกษาเขื่อนตัวอย่าง

คณะผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบวิธีการตรวจเขื่อนโดยวิธีดัชนีความเสี่ยงกับเขื่อน 3 เขื่อน ได้แก่ เขื่อนปิดช่องเขาต่ำของเขื่อนขุนด่านปราการชล จังหวัดนครนายก, เขื่อนแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี และเขื่อนปราชญ์บุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากกรมชลประทาน ผลการตรวจสอบเขื่อนได้แสดงเป็นรูปภาพแสดงระดับสภาพขององค์ประกอบเขื่อนดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 10 ภาพดังกล่าวสามารถใช้เป็นบรรทัดฐานสำหรับการตรวจสอบเขื่อนเป็นประจำต่อไป โดยไม่จำเป็นต้องตรวจอย่างละเอียด เช่น การตรวจที่แสดงผลนี้ แต่

เน้นตำแหน่งที่มีสภาพคะแนนความเสี่ยงระดับ 3 และระดับ 4
สุดท้ายในการสรุปผลความเสี่ยงภัยของเขื่อนได้นำเสนอใน 2
ลักษณะ ได้แก่ การเฉลี่ยค่าคะแนนสภาพในแต่ละช่วง 50 x 10
เมตร และการใช้ค่าคะแนนที่แย่ที่สุดในช่วงนั้น ตัวอย่างผล
แสดงในภาพที่ 11, ภาพที่ 12 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 การหาค่าน้ำหนักของสภาพความเสี่ยง สำหรับการ
พิบัติแบบการไหลล้นข้ามสันเขื่อน

องค์ประกอบเขื่อน	รหัสสภาพความเสี่ยง	ความรุนแรงของผลกระทบภัยที่เกิดขึ้น	ความยากง่ายของการแก้ไขซ่อมแซม	จำนวนรูปแบบการพิบัติ	ผลคูณ	ค่าน้ำหนัก
สันเขื่อนและ ไหล่เขื่อน	RO01	3	1	1	3	0.037
	อาคารระบายน้ำ ล้น	RO02	3	3	1	9
	RO03	3	3	1	9	0.111
	RO04	2	1	1	2	0.025
	RO05	3	3	2	18	0.222
	RO06	3	3	1	9	0.111
	RO07	2	3	1	6	0.074
	RO08	2	1	1	2	0.025
อาคารส่งน้ำ	RO09	2	3	1	6	0.074
	RO10	2	3	1	6	0.074
	RO11	2	1	1	2	0.025
	RO12	3	3	1	9	0.111

หมายเหตุ : อักษรย่อ ของการไหลล้นข้ามสันเขื่อน

R = Risk, O = Overtopping

ตารางที่ 2 การหาค่าน้ำหนักของสภาพความเสี่ยง สำหรับการ
พิบัติแบบการกัดเซาะภายใน

องค์ประกอบเขื่อน	รหัสสภาพความเสี่ยง	ความรุนแรงของผลกระทบภัยที่เกิดขึ้น	ความยากง่ายของการแก้ไขซ่อมแซม	จำนวนรูปแบบการพิบัติ	ผลคูณ	ค่าน้ำหนัก
สันเขื่อนและ ไหล่เขื่อน	RP01	3	3	2	18	0.083
	RP02	2	1	1	2	0.009
	RP03	3	3	2	18	0.083
	RP04	1	1	2	2	0.009
	RP05	1	1	1	1	0.005
ลาดเขื่อนด้าน เหนือน้ำ	RP06	3	3	1	9	0.042
	RP07	3	3	1	9	0.042
	RP08	3	1	2	6	0.028
	RP09	2	2	1	4	0.019
	RP10	3	2	2	12	0.056
	RP11	3	3	1	9	0.042
	RP12	3	1	1	3	0.014
	RP13	1	3	1	3	0.014
ลาดเขื่อนด้าน ท้ายน้ำ	RP14	3	3	2	18	0.083
	RP15	3	3	1	9	0.042
	RP16	3	1	1	3	0.014
	RP17	3	3	2	18	0.083
	RP18	2	1	2	4	0.019
	RP19	3	1	1	3	0.014
	RP20	1	2	1	2	0.009
พื้นที่ด้านท้ายน้ำ	RP21	3	3	2	18	0.083
	RP22	3	3	2	18	0.083
อาคารระบายน้ำ ล้น	RP23	3	3	1	9	0.042
อาคารส่งน้ำ	RP24	3	3	1	9	0.042
	RP25	3	3	1	9	0.042

หมายเหตุ : อักษรย่อ ของการกัดเซาะภายใน

R = Risk, P = Piping

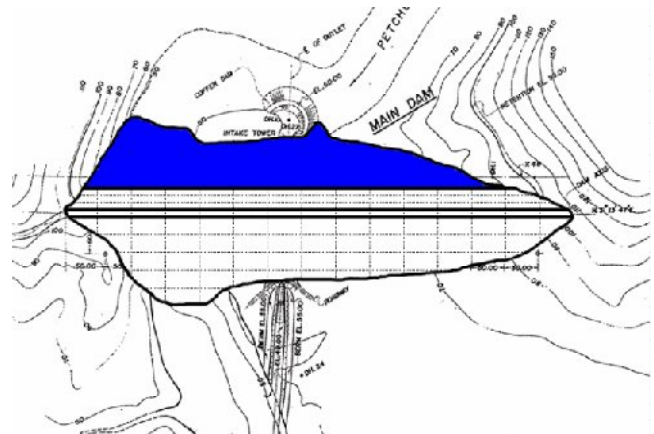
ตารางที่ 3 การหาค่าน้ำหนักของสภาพความเสี่ยง สำหรับกร
พิบัติแบบการเคลื่อนตัวของเขื่อน

องค์ประกอบเขื่อน	รหัสสภาพความเสี่ยง	ความรุนแรงของผลกระทบภัยที่เกิดขึ้น	ความยากง่ายของการแก้ไขซ่อมแซม	จำนวนรูปแบบการพิบัติ	ผลคูณ	ค่าน้ำหนัก
สันเขื่อนและ ไหลเขื่อน	RM01	3	3	1	9	0.059
	RM02	3	3	1	9	0.059
	RM03	3	3	2	18	0.118
	RM04	1	1	1	1	0.007
ลาดเขื่อนด้าน เหนือน้ำ	RM05	3	3	2	18	0.118
	RM06	3	2	1	6	0.039
	RM07	3	3	1	9	0.059
	RM08	1	2	1	2	0.013
ลาดเขื่อนด้าน ท้ายน้ำ	RM09	3	2	2	12	0.079
	RM10	3	2	1	6	0.039
	RM11	3	3	1	9	0.059
	RM12	1	2	1	2	0.013
	RM13	1	3	1	3	0.020
	RM14	3	3	1	9	0.059
	RM15	3	2	1	6	0.039
พื้นที่ด้านท้ายน้ำ	RM16	3	2	1	6	0.039
ระบบระบายน้ำ	RM17	3	3	1	9	0.059
อาคารระบายน้ำ ล้น	RM18	3	3	1	9	0.059
	RM19	3	3	1	9	0.059

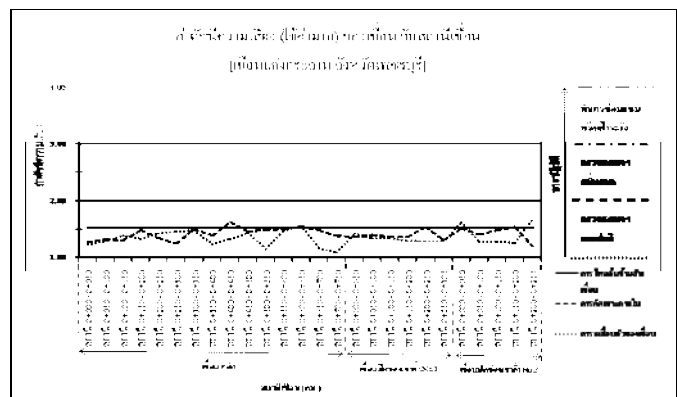
หมายเหตุ : อักษรย่อ ของการเคลื่อนตัวของเขื่อน
R = Risk, M = Mass movement

9. สรุป

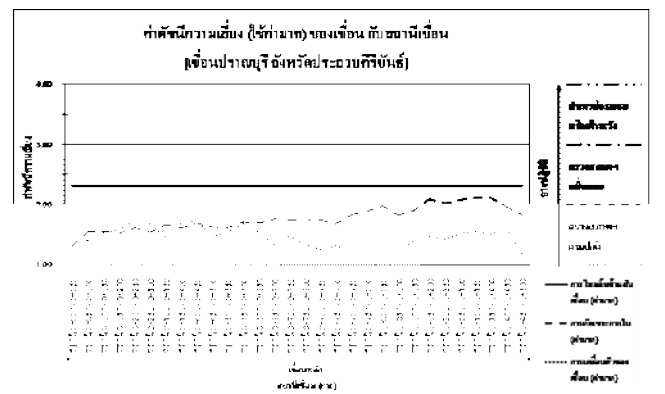
จากการตรวจสอบสภาพความเสี่ยงของเขื่อน ได้ค่าดัชนีความเสี่ยงตามลักษณะของการพิบัติ 3 รูปแบบ ตามสถานีเขื่อนค่าที่ได้มีค่าดัชนีสูง – ต่ำ ตามความเสี่ยงที่เกิดขึ้น ตามระดับของดัชนี สามารถบ่งบอกถึงความเสี่ยงที่เกิดขึ้น ทำให้สามารถทำการบำรุงรักษาบริเวณที่เกิดความเสี่ยง และทำการซ่อมแซมความเสี่ยงที่เกิดขึ้นได้



ภาพที่ 10 การแบ่งพื้นที่การตรวจสอบสภาพเขื่อนแก่งกระจาน
จังหวัดเพชรบุรี



ภาพที่ 11 ค่าดัชนีความเสี่ยง (ใช้ค่ามาก) ของเขื่อนแก่งกระจาน
จังหวัดเพชรบุรี



ภาพที่ 12 ค่าดัชนีความเสี่ยง (ใช้ค่ามาก) ของเขื่อนปราณบุรี
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

10. กิติกรรมประกาศ

การศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัย “การวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของเขื่อนเพื่อการชลประทานในประเทศไทย” สนับสนุนทุนวิจัยโดย สถาบันวิจัยแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สนับสนุนการวิจัย และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขอขอบคุณ สำนักชลประทานที่ 9 และสำนักชลประทานที่ 14 กรมชลประทาน ในการอนุเคราะห์สถานที่สำหรับงานวิจัย

11. บรรณานุกรม

- [1] อนุสรณ์ ทองสร้อย, 2542. การประเมินความปลอดภัยและบำรุงรักษาเขื่อนดินโดยวิธีดัชนีสภาพ. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] Glen R. Andersen, and Vistor H. Torrey III, August 1995. Function-Based Condition Indexing for Embankment Dams. Journal of Geotechnical Engineering. Page 579 – 588.
- [3] Glen R. Andersen, Luc E. Chouinard, William H. Hover, and Chad W. Cox, April 2001. Risk Indexing Tool to Assist in Prioritizing Improvements to Embankment Dam Inventories. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Page 325-334.
- [4] สุทธิศักดิ์ ศรีสัมพันธ์ และคณะ, 2550. การวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงภัยของเขื่อนเพื่อการชลประทานในประเทศไทย. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ เสนอ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [5] Tony L. Wahl, July 1998. Prediction of Embankment Dam Breach Parameters A Literature Review and Needs Assessment. Bureau of Reclamation Water Resources Research Laboratory Technical Service Center PO Box 25007 Denver CO 80225-0007.
- [6] วรากร ไม้เรียง, พิมพ์ครั้งที่ 2 พฤศจิกายน 2541. วิศวกรรมเขื่อนดิน, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [7] Bill Owens, and Hal D. Simson, January 2002, Dam Safety Manual. State Engineer’s Office, State of Colorado, 158 Pages.
- [8] FEMA L-264, September 2005. Dam Owner’s Guide to Animal Impacts on Earthen Dams. U.S. Department of Homeland Security.
- [9] ISBN 0-908960-23-9, November 1997, Guidelines on Inspection small dams. Copyright 1997 New Zealand Society on Large Dams. 20 pages.