

ความเสี่ยงและการประเมินความเสี่ยงของเขื่อน

Risk and Risk Assessment of Dams

สุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ – โทรสาร : 0-2579-2265

E-mail : fengsus@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ความเสี่ยงเกิดจากความไม่แน่นอน หรือความแปรปรวนของสิ่งต่างๆ ความเสี่ยงเป็นสิ่งที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้แต่สามารถที่จะบริหารหรือจัดการให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ความเสี่ยงของเขื่อนที่ก่อสร้างแล้วหรือเขื่อนปัจจุบัน เกิดได้จากหลายที่มาอันได้แก่ การเสื่อมสภาพตามกาลเวลา ภัยพิบัติที่รุนแรงขึ้นมากกว่าที่คาดไว้ในตอนออกแบบ ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบมีความแปรปรวนสูง การวิเคราะห์หรือหลักทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงไปและการพัฒนาที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการขยายตัวหรือเพิ่มจำนวนประชากรในพื้นที่เสี่ยงภัย ที่มาของความเสี่ยงดังกล่าวสามารถบริหารจัดการได้โดยใช้หลักการประเมินความเสี่ยง การประเมินความเสี่ยงนั้นใช้หลักการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมและการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ควบคู่กัน ไป เพื่อทำการประเมินว่าความเสี่ยงก่อนที่จะมีการดำเนินการใดๆ เพื่อปรับปรุงเขื่อน สามารถยอมรับได้หรือไม่ ถ้ายอมรับไม่ได้จะต้องใช้มาตรการใดๆ เพื่อที่จะลดความเสี่ยง การเรียงลำดับความสำคัญของมาตรการลดความเสี่ยงเป็นอย่างไร มาตรการใดจะทำให้ความเสี่ยงลดลงเร็วที่สุด และสุดท้ายคือมาตรการลดความเสี่ยงดังกล่าวคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งคือ ถ้าไม่ดำเนินการลงทุนในการลดความเสี่ยงจะมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดความสูญเสียได้เท่าไร การประเมินความเสี่ยงจึงเป็นเครื่องมือที่ดียิ่งในการตั้งงบประมาณเพื่อบำรุงรักษาเขื่อน

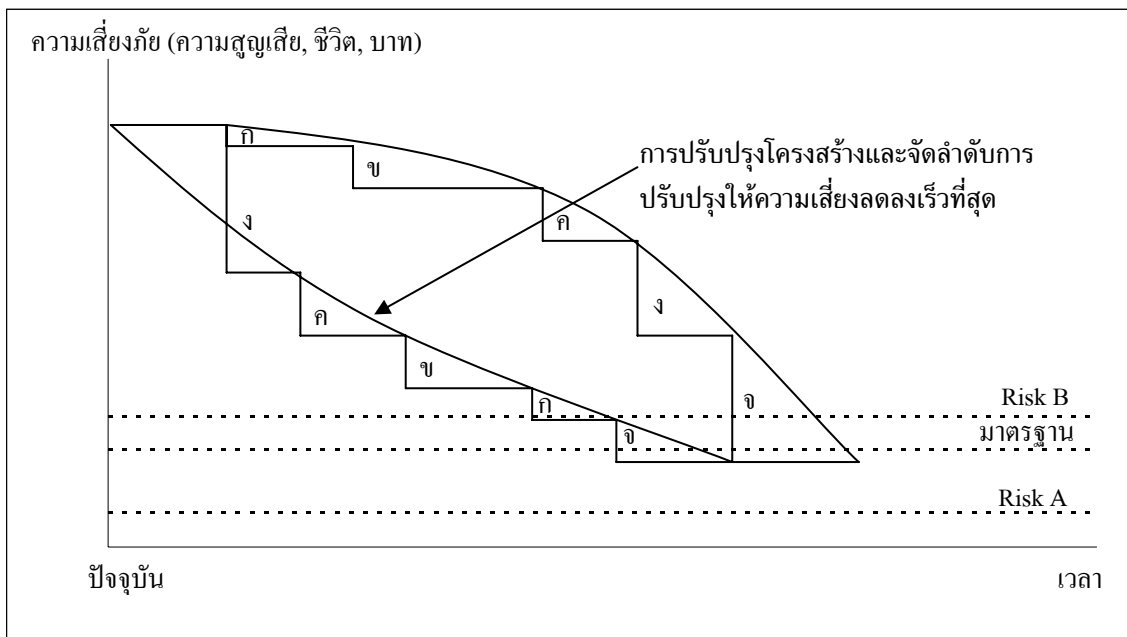
1. บทนำ

เขื่อนเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ที่มีโอกาสน้อยในการพิบัติแต่เมื่อเกิดการพิบัติย่อมมีผลกระทบสูง ดังนั้นการบำรุงรักษาเพื่อความปลอดภัยของเขื่อนและความปลอดภัยของประชากรท้ายน้ำ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง การบำรุงรักษาควรกระทำอย่างต่อเนื่อง ถูกต้องและตรงจุด การบำรุงรักษาที่ถูกต้องและตรงจุดจะสามารถลดโอกาสที่เขื่อนจะพิบัติลงไปได้อย่างมาก หรือสามารถมองอีกมุมหนึ่งได้ว่าการบำรุงรักษาที่ถูกต้องและตรงจุดจะสามารถป้องกันและลดโอกาสเกิดความสูญเสียหรือความเสี่ยงต่อการสูญเสียได้เป็นอย่างมาก การบริหารความเสี่ยงเป็นส่วนหนึ่งของการประเมินความเสี่ยงที่สามารถนำมาใช้ในการกำหนดมาตรการลดความเสี่ยงที่ถูกต้องและตรงจุด โดยทำให้ความเสี่ยงลดลงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

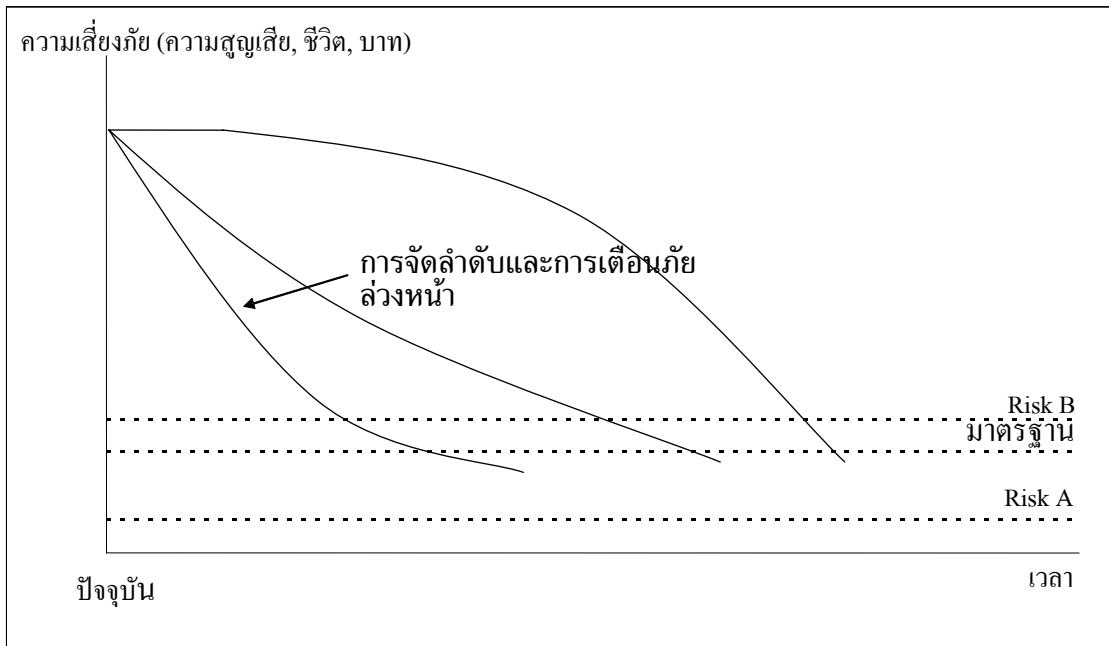
2. ที่มาขอความเสี่ยง

การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงเงื่อนไขปัจจุบัน ได้แก่การวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของเงื่อนไขปัจจุบันที่ได้ก่อสร้างเสร็จสิ้นและอยู่ระหว่างการใช้งาน การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงเงื่อนไขปัจจุบันมีความจำเป็นอย่างยิ่งในด้านความปลอดภัยด้วยเหตุผลดังต่อไปนี้

ก. ความปลอดภัยหรือความมั่นคงของเขื่อนมีค่าลดลงตามเวลาได้แก่ ความจริงที่สภาพเขื่อนหลังจากใช้งานจะทรุดโทรมลงทำให้ความเสี่ยงต่อความสูญเสียมีค่ามากขึ้นสวนทางกัน การติดตั้งระบบตรวจสอบพฤติกรรมหรือการบำรุงรักษาที่ถูกต้องจะสามารถยืดอายุการใช้งาน รวมทั้งเพิ่มความปลอดภัยหรือความมั่นคงของเขื่อนให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ การวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงสามารถวิเคราะห์ถึงการบำรุงรักษาที่เหมาะสมและตรงจุดได้ อีกทั้งยังสามารถลำดับความสำคัญของการบำรุงรักษาหรือซ่อมแซมให้ความเสี่ยงลดลงเร็วกว่าการบำรุงรักษาปกติ ดังแสดงในรูปที่ 1 จะเห็นว่ามาตรการบำรุงรักษา ก-จ สามารถนำมาลำดับใหม่เพื่อให้อัตราการลดลงของความเสี่ยงหรือความสูญเสียมีอัตราการลดลงที่เร็วขึ้น รูปที่ 2 ยังแสดงว่าระบบการเตือนภัยที่มีราคาไม่มากนัก สามารถที่จะลดความเสี่ยงได้ดีเช่นเดียวกัน

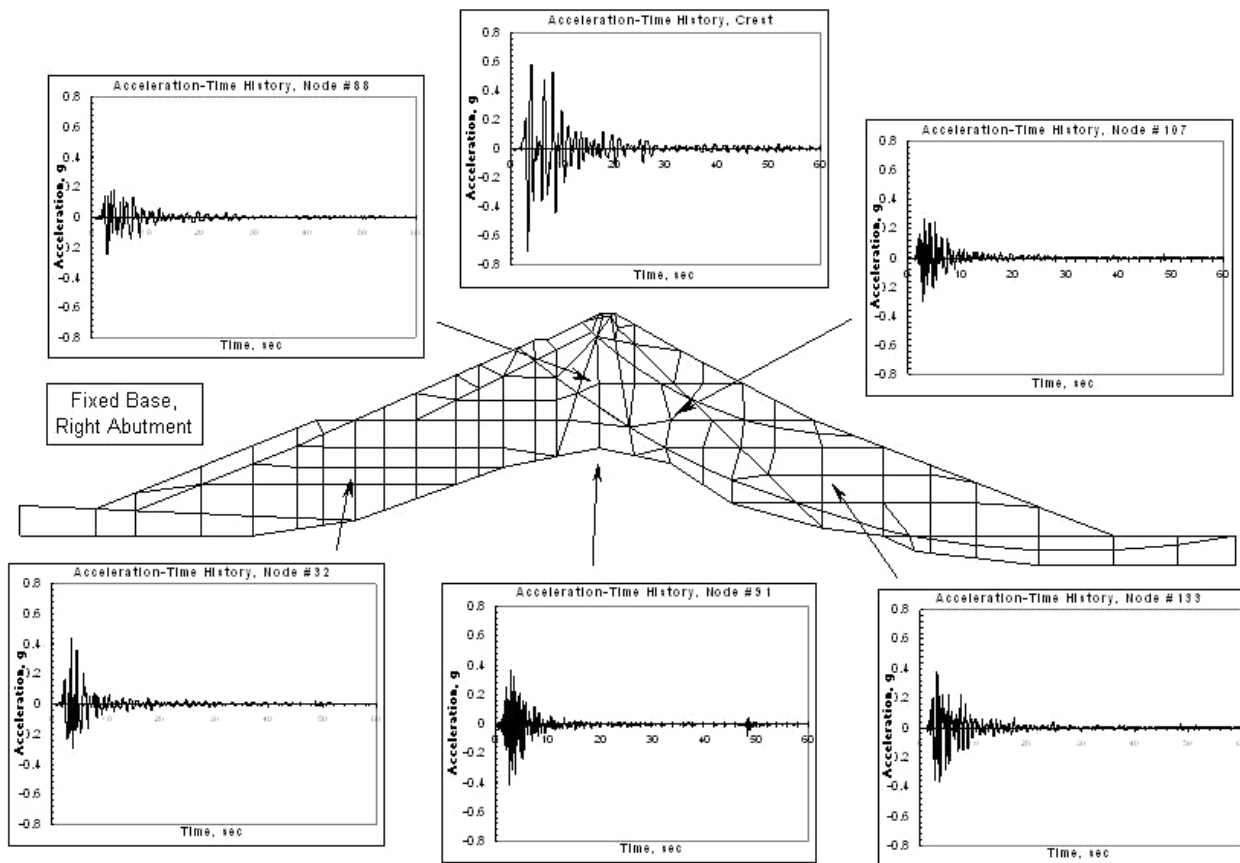


รูปที่ 1 การจัดลำดับการบำรุงรักษาที่เหมาะสม



รูปที่ 2 อิทธิพลของระบบเตือนภัยต่อการลดลงของความเสี่ยง

ข. การวิเคราะห์หรือหลักทฤษฎีเปลี่ยนแปลงไป เช่น ในกรณีที่มีการพบความรู้ใหม่ที่เปิดเผยความบกพร่องของทฤษฎีเก่าที่ใช้ในการออกแบบ ได้แก่การวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันของเขื่อนในกรณีที่เกิดแผ่นดินไหวมีวิวัฒนาการในการวิเคราะห์ที่เหมาะสมมากขึ้น โดยการวิเคราะห์ โดยวิธี Dynamic Response Analysis ดังแสดงในรูปที่ 3 แทนที่วิธี Psuedostatic ที่มีความผิดพลาดสูงดังแสดงในตารางที่ 1 หรือในกรณีที่เขื่อน Teton เกิดการพิบัติเนื่องจากการนำดินที่มีการกระจายตัวมาใช้เป็นวัสดุภายในตัวเขื่อนเนื่องจากความไม่รู้ในอดีต หรือแม้กระทั่งการพังทลายของลาดชันของเขื่อน Lower San Fernando ที่ใกล้พิบัติเนื่องจากเกิด Liquefaction ของดินภายในตัวเขื่อน เนื่องจากแผ่นดินไหว การพิบัติของเขื่อน Teton และ Lower San Fernando ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้ส่งผลให้เกิดการวิจัยและการศึกษาอย่างกว้างขวางทำให้เกิดทฤษฎีใหม่ๆ อีกมากมายที่ได้นำมาใช้ในการออกแบบให้เขื่อนมีความปลอดภัยมากขึ้น ทฤษฎีและการวิเคราะห์ใหม่นี้ยังได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เขื่อนปัจจุบันให้ได้ความมั่นใจด้านความมั่นคง และเพื่อให้ทราบปริมาณความเสี่ยงจากเขื่อนที่ออกแบบและวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีเก่า เพื่อให้สามารถลดความเสี่ยงตรงจุดและให้ปริมาณความเสี่ยงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้



รูปที่ 3 การวิเคราะห์ โดยวิธี Dynamic Response Analysis Pseudostatic (Soralump, 2002)

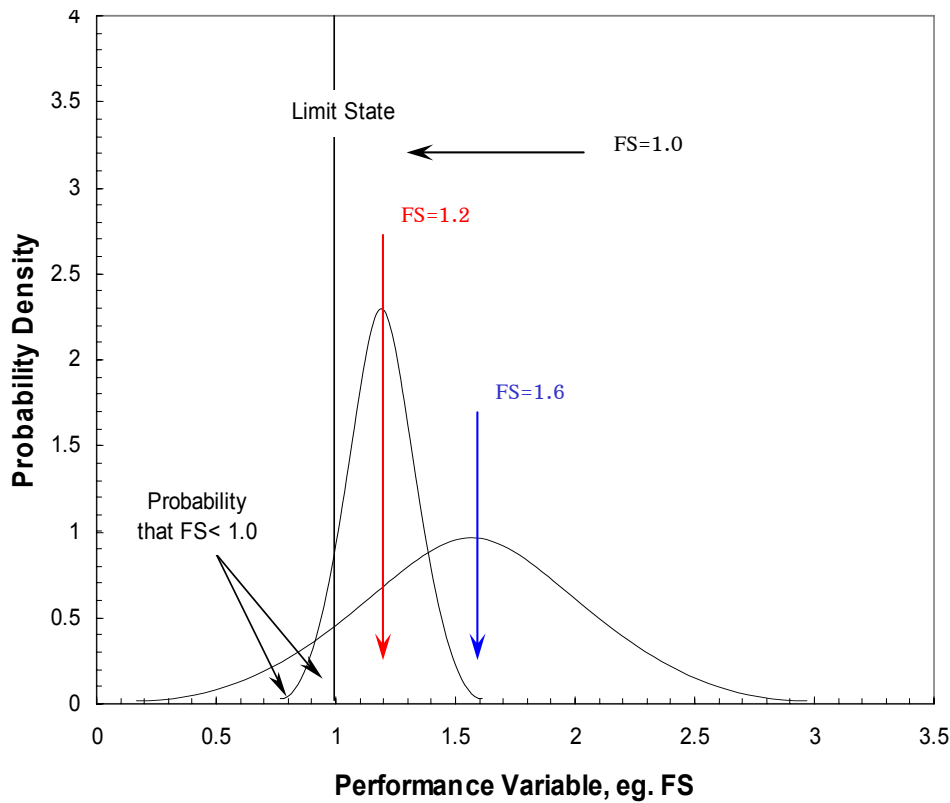
ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ โดยวิธี Pseudostatic

<i>Dam</i>	<i>Seismic coefficient</i>	<i>Computed factor of safety</i>	<i>Effect of earthquake</i>
Sheffield Dam	0.1	1.2	Complete failure
Lower San Fernando Dam	0.15	1.3	Upstream slope failure
Upper San Fernando Dam	0.15	2 to 2.5	Downstream shell including crest slipped about 6 ft downstream
Tailings Dam (Japan)	0.2	1.3	Failure of dam with release of tailings

Table 1. Pseudo-static analysis of dams with slope failures during earthquakes (Seed 1979)

ก. ความแปรปรวนของตัวแปรและแบบจำลองของการวิเคราะห์ เหตุผลในข้อนี้มิได้เกิดขึ้นเฉพาะเขื่อนปัจจุบัน แต่หากยังเป็นเหตุผลสำหรับเขื่อนที่กำลังดำเนินการออกแบบและก่อสร้างอยู่ด้วย การวิเคราะห์ความเสี่ยงเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมอย่างยิ่งในการจัดการกับความแปรปรวนของตัวแปรและแบบจำลอง เนื่องจากสามารถนำหลักการวิเคราะห์ความน่าจะเป็น, หลักสถิติประยุกต์ และหลักการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนมาบริหารความ

แปรปรวนให้อยู่ในระดับที่ควบคุมได้ ตัวอย่างของความแปรปรวนที่ส่งผลต่อค่าความปลอดภัยจากการออกแบบได้แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความแปรปรวนของค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

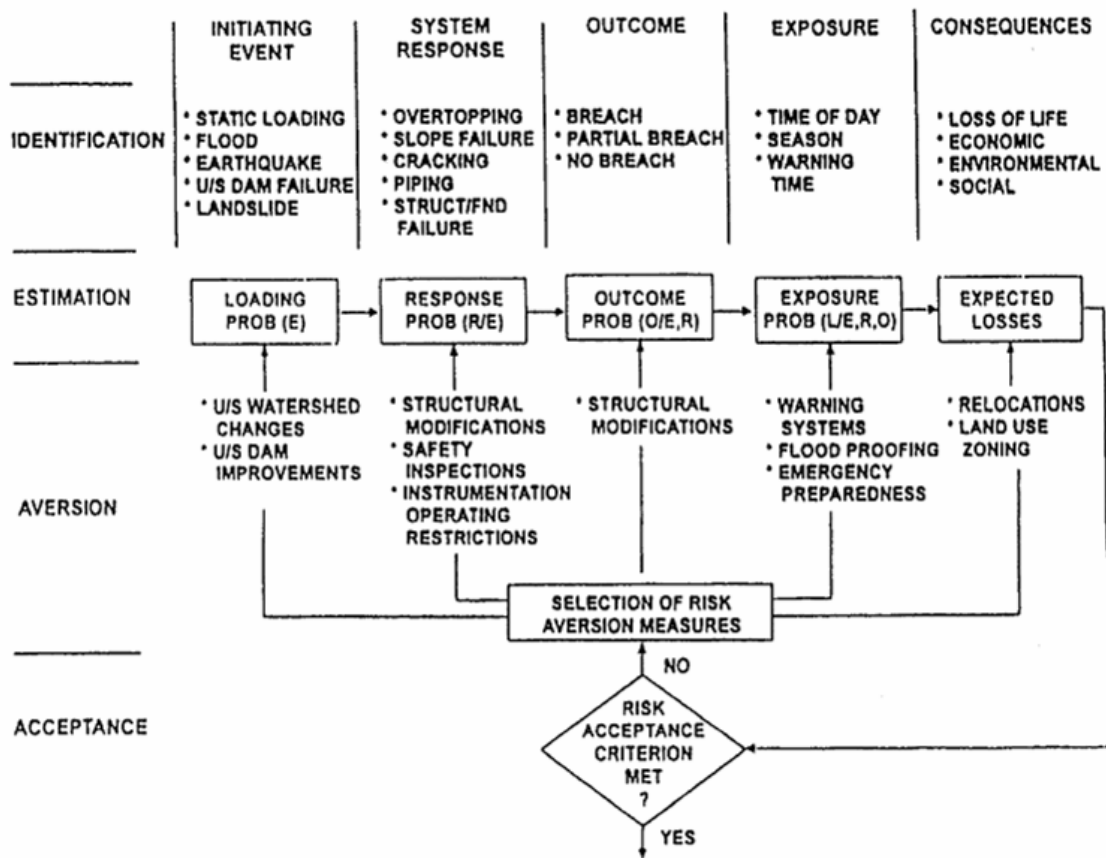
3. แนวทางในการบริหารความเสี่ยง

การบริหารความเสี่ยงคือแนวทางการจัดการความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ทั้งจากวิธีทางวิศวกรรมและทางด้านการบริหารจัดการในด้านวิศวกรรม อาจประกอบด้วยความรู้ในหลายด้านทั้งทางอุทกวิทยา, แหล่งน้ำ, ชลศาสตร์, ธรณีวิทยา และวิศวกรรมปฐพี ในด้านการบริหารจัดการประกอบด้วยการบริหารจัดการที่จะลดความเสี่ยงต่อการพิบัติของตัวเขื่อนและการบริหารจัดการที่จะลดความสูญเสีย ตัวอย่างแนวทางในการบริหารความเสี่ยงได้แก่

1. การตรวจสอบสภาพเขื่อนโดยใช้วิธีดัชนีสภาพ (วรากร ไม่เรียง, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 6, พ.ศ. 2543)
2. การตรวจสอบพฤติกรรมด้วยเครื่องมือวัด
3. การบำรุงรักษาตามแนวทางในการลดความเสี่ยง
4. การสร้างระบบเตือนภัย ทั้งจากตัวเขื่อนและภายในชุมชน
5. มาตรการฉุกเฉินเพื่อลดความสูญเสีย

4. การวิเคราะห์ความเสี่ยง

Bowles, Anderson and Glover (1997) ได้เสนอหลักการในการวิเคราะห์เขื่อนซึ่งเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ที่มีความน่าจะเป็นในการพิบัติต่ำแต่สร้างความเสียหายสูง การวิเคราะห์นี้เรียกว่าการประเมินความเสี่ยงภัยของเขื่อน (Risk Assessment of Dams) การประเมินความเสี่ยงภัยมีขั้นตอนที่เป็นระบบ ดังแสดงในแผนภูมิการวิเคราะห์ความเสี่ยงในรูปที่ 4 นอกจากนี้ยังต้องอาศัยความรู้และข้อคิดเห็นจากวิศวกรผู้มีประสบการณ์ในงานเขื่อนรวมถึงผู้เกี่ยวข้อง ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ในการประเมินพฤติกรรมตอบสนองของเขื่อน (System Response) ขณะใช้งานทั้งในสภาพปกติและเมื่อเกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ เช่น ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมีปริมาณเกินกว่าที่เขื่อนจะรับได้, แผ่นดินไหว หรือเกิดการชำรุดของตัวเขื่อนในสภาวะการใช้งานปกติ ขั้นตอนที่สำคัญของการวิเคราะห์ความเสี่ยงของเขื่อนคือการประเมินค่าความน่าจะเป็นที่พฤติกรรมเหล่านั้นจะเกิดขึ้น โดยใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นและสถิติประยุกต์ หรือใช้ข้อคิดเห็นจากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ Whitman (2000) และ Soralump (2002) ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของพฤติกรรมต่างๆ ที่เขื่อนตอบสนองเมื่อเกิดแผ่นดินไหว โดยใช้หลักสถิติประยุกต์และทฤษฎีความน่าจะเป็นรวมทั้งการวิเคราะห์การตอบสนองของเขื่อน โดยใช้วิธี Dynamics Finite Element Analysis



รูปที่ 5 แผนภูมิการประเมินความเสี่ยงของเขื่อน (Bowles, Anderson and Glover, 1997)

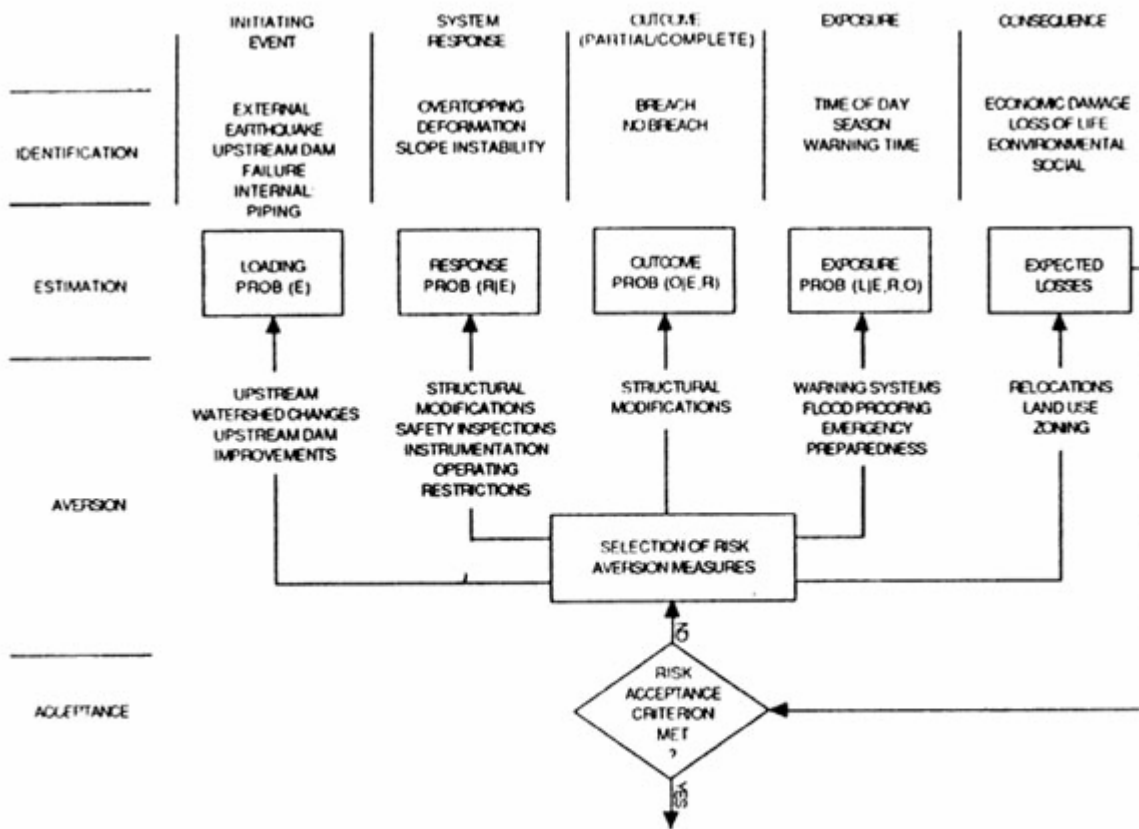


Figure 1. Risk-based Method for Assessing Dam Safety Improvements. Adapted from Anderson and Bowles (1984).

<http://www.engineering.usu.edu/uwrl/www/faculty/DSB/Risk.html>

ขั้นตอนของการประเมินความเสี่ยงสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 6 โดยประกอบด้วยหลักการเบื้องต้นดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์เหตุการณ์เริ่มต้น ได้แก่การวิเคราะห์ถึงสาเหตุเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการพิบัติของเขื่อน เช่น แผ่นดินไหว, น้ำท่วม หรือการรั่วซึมภายในเนื่องจาก Piping สิ่งที่แตกต่างกันของการวิเคราะห์ความเสี่ยงจากการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมทั่วไป คือการวิเคราะห์ความเสี่ยงได้วิเคราะห์โดยพิจารณาถึงช่วงของเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดย มิได้คำนึงถึงสถานการณ์แยที่สุดอย่างเดียวมเหมือนการวิเคราะห์ทั่วไป
2. การวิเคราะห์เหตุการณ์การตอบสนองและลักษณะการพิบัติ ได้แก่การวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของระบบต่างๆ เช่น การวิเคราะห์พฤติกรรมเมื่อประตูละบายน้ำเกิดติดขัดขณะเกิดน้ำหลาก พฤติกรรมเมื่อน้ำล้นสันเขื่อน, ความมั่นคงของลาดชันเมื่อเกิด Liquefaction ภายในตัวเขื่อนเนื่องจากแผ่นดินไหว ฯลฯ ทั้งนี้การวิเคราะห์พฤติกรรมจะได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการพิบัติเนื่องจากแรงกระทำต่างๆ

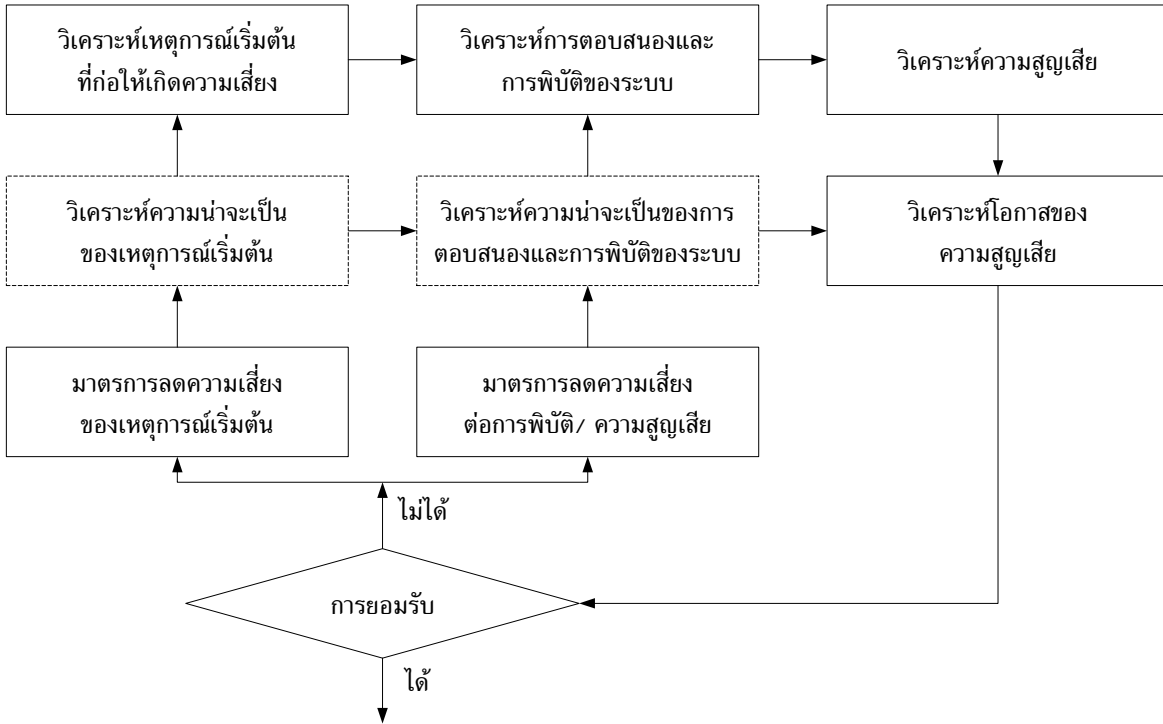
3. การวิเคราะห์ความสูญเสีย ได้แก่ การประเมินความสูญเสียที่อาจจะเกิดขึ้นจากการพิบัติในรูปแบบต่างๆ หรือแม้แต่ในกรณีที่ไม่เกิดการพิบัติ ความสูญเสียดังกล่าวจะประกอบด้วยความสูญเสียใน 2 ลักษณะ ได้แก่ ความสูญเสียในเชิงเศรษฐกิจอันประกอบด้วยทรัพย์สิน, ผลผลิตทางการเกษตร ฯลฯ และความสูญเสียในชีวิต

4. การประเมินความน่าจะเป็น ได้แก่ การประเมินความน่าจะเป็นของเหตุการณ์เริ่มต้น ซึ่งประกอบด้วย การวิเคราะห์ความถี่ของการเกิดเพื่อหาความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ในแต่ละช่วงที่มีโอกาสเป็นไปได้ทั้งหมด นอกจากการประเมินความน่าจะเป็นของเหตุการณ์เริ่มต้นแล้วยังต้องทำการประเมินความน่าจะเป็นของการตอบสนองของระบบรวมทั้งความน่าจะเป็นของการพิบัติในสุดท้าย การหาความน่าจะเป็นดังกล่าวสามารถหาได้โดย 3 วิธีหลักๆ ได้แก่ การใช้สถิติประยุกต์, การวิเคราะห์โดยใช้หลักความน่าจะเป็นและการวิเคราะห์จากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ

5. การประเมินความเป็นไปได้ของการสูญเสีย ใช้หลักของการวิเคราะห์ร่วมจากผลการวิเคราะห์ความน่าจะเป็น (4) และผลการวิเคราะห์ความสูญเสีย (3) ผลลัพธ์ที่ได้จะได้เป็นความเป็นไปได้ของการสูญเสียของแต่ละชุดของเหตุการณ์ ซึ่งสามารถรวมเป็นความเป็นไปได้ของการสูญเสียรวมต่อไป

6. การวิเคราะห์การยอมรับความเสี่ยง ต่อการสูญเสีย ได้แก่การเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความเป็นไปได้ของความสูญเสียที่ยอมรับได้กับความสูญเสียที่ได้จากการวิเคราะห์ นอกจากนั้นยังมีการเปรียบเทียบถึงความน่าจะเป็นในการพิบัติกับค่าความน่าจะเป็นมาตรฐานอีกด้วย เกณฑ์การยอมรับความเสี่ยงหรือปริมาณความสูญเสียที่ยอมรับได้จากเขื่อนนั้นยังไม่มีมาตรฐานที่ชัดเจนในประเทศไทย

7. การวิเคราะห์และกำหนดมาตรการในการลดความเสี่ยง หากความเสี่ยงหรือปริมาณความสูญเสียมากเกินกว่าที่จะยอมรับได้ หรือความน่าจะเป็นของการพิบัติของเขื่อนมีค่ามากกว่ามาตรฐาน มาตรการลดความเสี่ยง เช่นการเสริมความแข็งแรงของเขื่อน, เพิ่มความสามารถในการระบายน้ำ ฯลฯ จำเป็นต้องนำมาใช้ในการลดความสูญเสีย มาตรการลดความเสี่ยงนี้ไม่จำเป็นจะต้องเกี่ยวข้องกับการปรับปรุงโครงสร้างแต่เพียงอย่างเดียว การจัดการในระบบเตือนภัยที่เหมาะสม, การจัดลำดับขั้นของความรับผิดชอบต่อเหตุการณ์ ฯลฯ เป็นตัวอย่างของมาตรการลดความเสี่ยงที่มีประสิทธิภาพแต่ใช้ค่าใช้จ่ายไม่มาก



รูปที่ 6 แผนภูมิขั้นตอนการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยง

5. ประโยชน์ของการวิเคราะห์ความเสี่ยง

การวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงสามารถดำเนินการได้โดยใช้ความพยายามในการวิเคราะห์เพิ่มในระดับที่ยอมรับได้แต่ผลประโยชน์ที่ได้คุ้มค่ากว่าทั้งในด้านการลดความเสี่ยงและการใช้งบประมาณได้เต็มประสิทธิภาพ ประโยชน์เบื้องต้นของการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. สามารถทราบปริมาณความเสี่ยงหรือความสูญเสียจากเขื่อนปัจจุบัน โดยใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจดำเนินการได้อย่างชาญฉลาด
2. ทำให้เข้าใจและยอมรับในสถานการณ์ของความเสี่ยงของเขื่อน หากไม่ได้ดำเนินการซ่อมบำรุงเพื่อลดความเสี่ยง
3. เป็นเครื่องมือที่ใช้ควบคู่ไปกับการออกแบบหรือประเมินความเป็นไปได้ของโครงการ ซึ่งทำให้ได้องค์ประกอบเขื่อนที่เหมาะสมและมีความเสี่ยงต่อความสูญเสียในระดับที่ยอมรับได้
4. เป็นเครื่องมือในการกำหนดมาตรการเพื่อการบำรุงรักษาหรือซ่อมแซมได้อย่างประหยัดและตรงจุด ทำให้อัตราการลดลงของความเสี่ยงเร็วกว่าการดำเนินการปกติ และยังเป็นการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. สามารถดำเนินการซ้ำได้เมื่อเวลาผ่านไปเนื่องจากแบบจำลองของการวิเคราะห์สามารถดำเนินการได้โดยการใส่ตัวแปรที่มีผลเปลี่ยนแปลงเนื่องจากเวลาได้ ทำให้สามารถสังเกตการปริมาณความเสี่ยงต่อการสูญเสียได้ตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้าง

6. เป็นการวิเคราะห์ที่มีแนวคิดฐานศูนย์ (Zero-Based) ทำให้มองผลประโยชน์ที่ได้รับอย่างชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

Soralump, Suttisak 2002. “Estimating Probability of Earthquake induced Failure of Earth Dams”, Dissertation, Utha State University, Logan, Utah, USA.

Whitman, R.V. 2000. “Organizing and evaluating Uncertainty in Geotechnical Engineering ”. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 126(7):583-593.