แนวทางการประเมินความเสี่ยงการพังทลายของสะพาน จากปัญหาน้ำท่วมในประเทศไทย

ดวงฤดี โฆษิตกิตติวงศ์*
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

ปัญหาการพังทลายของสะพานจากเหตุการณ์น้ำท่วม นับเป็นปัญหาใหญ่ที่มักเกิดขึ้นทั่วโลก โดยทั่วไปแล้ว วิธีหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงการพังทลายของสะพานมีสองวิธี ได้แก่ การใช้มาตรการทางชลศาสตร์ และการใช้มาตรการทางโครงสร้าง นอกจากนี้แล้วยังมีการนำเสนอมาตรการที่เหมาะสมกับสภาพปัจจุบัน คือ การวิเคราะห์โดยมาตรการทางด้านการกัดเซาะ อย่างไรก็ดี ปัญหาการพังทลายของสะพานที่เกิดขึ้นในประเทศไทย คือ การพังทลายจากการยกตัวของสะพานส่วนบน (Deck) ซึ่งเกิดจากปริมาณน้ำท่วมด้านล่างยกชิ้นส่วนของสะพานลอยขึ้น แตกต่างจากการเกิดการพังทลายของสะพานในประเทศอื่นๆ ดังนั้นแนวทางการประเมินความเสี่ยงการพังทลายของสะพานจากปัญหาน้ำท่วมในประเทศไทยจึงจำเป็นต้องมีความแตกต่างจากประเทศอื่นๆ และมีวิธีการที่เหมาะสม ใช้เทคโนโลยีที่เข้าถึงได้ง่ายและต้นทุนต่ำ เนื่องจากปัญหาการพังทลายที่เกิดขึ้นมักเกิดกับสะพานขนาดเล็ก การนำเสนอแนวทางการประเมินความเสี่ยงการพังทลายของสะพานจากปัญหาน้ำท่วมในประเทศไทยที่เหมาะสมและสามารถทำได้อย่างต่อเนื่องจึงจะช่วยลดปัญหา อันตราย และความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินอันอาจเกิดจากปัญหาดังกล่าว จากการศึกษาพบว่า มาตรฐาน Hydraulic Vulnerability Manual ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย New York State Department of Transportation มีข้อดี คือ สามารถนำไปปฏิบัติได้ง่าย ลงมือปฏิบัติได้จริงในพื้นที่โดยไม่ต้องใช้เทคโนโลยีสูง และเมื่อนำเอา Hydraulic Vulnerability Manual มาใช้ร่วมกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระดับน้ำ ซึ่งได้นำเสนอเพิ่มเติมในการศึกษานี้ จะทำให้สามารถประเมินความเสี่ยงการพังทลายของสะพานจากปัญหาน้ำท่วมได้สะดวกขึ้น ซึ่งแนวทางการประเมินความเสี่ยงการพังทลายของสะพานจากปัญหาน้ำท่วมในประเทศไทยได้ถูกนำเสนอไว้ ณ ที่นี้

คำสำคัญ : ความเสี่ยง / การพังทลายของสะพาน / น้ำท่วม / ประเทศไทย

* *Corresponding Author : duangrudee.kos@kmutt.ac.th*
อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

Evaluation of the Risk of Bridge Failure from Flood Event in Thailand

Duangrudee Kositgittiwong*

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thungkru, Bangkok, 10140

Abstract

A problem related to bridge failure from flood event is a problem that occurs globally. There are two main methods to analyze the risk of bridge failure, i.e., hydraulic countermeasure and structure countermeasure. There are also other recommended countermeasures, which may be suitable for the present situation via. scour monitoring countermeasures. Nevertheless, in Thailand, the problem is specific to the upper part of a bridge or deck. Flood water would lift up the upper part and move it away from the main structures. Therefore, an appropriate method that should be used to evaluate the risk of bridge failure from flood event in Thailand would be different from those in other countries. The method of evaluation should also be easy for an evaluator and appropriate for the cost of evaluation and maintenance. Based on the review, it is found that the Hydraulic Vulnerability Manual developed by New York State Department of Transportation is an appropriate method with the advantage of easiness of evaluation. There is no need to use a high technology for this method. Combination of the steps from the Hydraulic Vulnerability Manual and the variables related to the water level proposed in the present study should be applicable to the problem of bridge failure in Thailand.

Keywords : Risk / Bridge Failure / Flood Event / Thailand

* *Corresponding Author : duangrudee.kos@kmutt.ac.th*

Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering.

1. บทนำ

ปัญหาการพังทลายของสะพานจากเหตุการณ์น้ำท่วมนับเป็นปัญหาใหญ่ที่มักเกิดขึ้นทั่วโลก ทั้งนี้ สาเหตุหลักของการพังทลายเกิดจากน้ำท่วมและการกัดเซาะรอบโครงสร้าง [1-4] ใน 3 ทศวรรษที่ผ่านมา ประเทศสหรัฐอเมริกามีสถิติสะพานพังทลายจากการกัดเซาะรอบโครงสร้างกว่า 600 แห่ง [5,6] ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบเหตุการณ์ความรุนแรงของน้ำท่วมและความเสียหายของสะพาน พบว่าเมื่อมีความถี่ของน้ำท่วมมากขึ้นและเหตุการณ์รุนแรงขึ้น ผนวกกับอายุการใช้งานของสะพานที่มากขึ้น จะส่งผลให้ความเสี่ยงต่อการพังทลายของสะพานมีมากขึ้น [7] โดยทั่วไปแล้ว วิธีหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงการพังทลายของสะพานมีสองวิธีได้แก่ i) การใช้มาตรการทางชลศาสตร์ และ ii) การใช้มาตรการทางโครงสร้าง นอกจากนี้แล้วยังมีการนำเสนอมาตรการใหม่ที่เหมาะสมกับสภาพปัจจุบันคือการวิเคราะห์โดยมาตรการทางด้านการกัดเซาะ [8]

มาตรการทางด้านชลศาสตร์ โดยสรุปคือการพิจารณาและควบคุมในเรื่องของช่องเปิดของทางน้ำไหล บริเวณตอม่อสะพาน โดยต้องมีการควบคุมให้ช่องเปิดของทางน้ำมีความกว้างเหมาะสม ไม่มากเกินไปจนทำให้เกิดการขยายหน้าตัดการไหล และไม่แคบเกินไปจนก่อให้เกิดปัญหาการกีดขวางการไหลของน้ำ ซึ่งทั้งสองกรณีนี้จะทำให้ความเร็วการไหลผิดไปจากความเร็วการไหลธรรมชาติ [9] มาตรการทางโครงสร้าง โดยสรุป หมายถึงการพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ โดยต้องออกแบบให้ฐานรากอยู่ลึกกว่าความลึกกัดเซาะที่ออกแบบ และควรมีการออกแบบโครงสร้างป้องกันการกัดเซาะรอบตอม่อสะพานด้วย เช่น การใช้ rip-rap การใช้หินทิ้งรอบโครงสร้าง เป็นต้น [9,10]

มาตรการด้านการกัดเซาะ เป็นการตรวจวัดค่าหรือปริมาณการกัดเซาะที่เกิดขึ้นจริงรอบโครงสร้างฐานรากหรือตอม่อสะพาน เครื่องมือที่ใช้ในมาตรการนี้มักถูกติดตั้งหรือตรวจวัดได้ใต้น้ำและต้องมีเทคโนโลยีสำหรับการประเมินหลุมกัดเซาะที่เกิดขึ้นใต้น้ำ [8] อุปกรณ์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป เช่น Tethered Buried Switches จะถูกติดตั้งอยู่บริเวณใต้ดิน ใกล้กับโครงสร้างและจะส่งสัญญาณขึ้นบนบกเมื่อมีการกัดเซาะถึงตำแหน่งที่เครื่องมือถูกติดตั้งอยู่ นอกจากนี้ยังมีการใช้ Time Domain Reflectometry (TDR) ซึ่งใช้หลักการเกี่ยวกับความแตกต่างของความต้านทานไฟฟ้าในการพิจารณาการกัดเซาะ ข้อเสียของการตรวจวัดโดยเครื่องมือเหล่านี้คือมีราคาสูงและต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ใต้น้ำ และทำให้การตรวจวัดการกัดเซาะไม่สามารถทำได้ในช่วงเวลานานเนื่องจากข้อจำกัดในด้านเครื่องมือ ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาวิธีสำหรับตรวจวัดการกัดเซาะโดยเทคนิคการสั่นสะเทือนขึ้น และยังเป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน โดยเทคนิคการสั่นสะเทือนมีความซับซ้อนและมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องจำนวนมาก ทั่วไปจะติดตั้งเครื่องมือสำหรับการตรวจวัดการสั่นสะเทือนไว้ที่ตอม่อสะพานและเก็บข้อมูลพลวัตของการสั่นสะเทือนเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับกรณีที่เคยเกิดขึ้นในอดีตซึ่งได้มีการรวบรวมสถิติไว้ แปรผลออกมาเป็นความน่าจะเป็นในการเกิดการกัดเซาะ [11]

ปัญหาการพังทลายของสะพานที่เกิดขึ้นในประเทศไทยเกิดจากปริมาณน้ำท่วมด้านล่างยกชิ้นส่วนของสะพานลอยขึ้น เช่น สะพานข้ามแม่น้ำตาปีขาดในเขตอำเภอเคียนซาเดือนเมษายน 2554 สะพานข้ามแม่น้ำวังขาดในอำเภอเถิน เมื่อเดือนตุลาคม 2554 เป็นต้น จึงควรมีการประเมินสภาพสะพานโดยวิธีการที่เหมาะสม ใช้เทคโนโลยีที่เข้าถึงได้ง่ายและต้นทุนต่ำ และนอกจากนี้แล้วปัญหาน้ำท่วมเป็นภัยพิบัติที่เกิดขึ้นทุกปีในหลายพื้นที่ และอาจทำให้เกิดการพังทลายของสะพานอย่างกะทันหัน ดังนั้นการนำเสนอแนวทางการประเมินความเสี่ยงการพังทลายของสะพานจากปัญหาน้ำท่วมในประเทศไทยที่เหมาะสมและสามารถทำได้อย่างต่อเนื่อง จึงจะช่วยลดปัญหา อันตราย และความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินอันอาจเกิดจากปัญหาดังกล่าว

2. การประเมินการพังทลายของสะพานจากปัญหาน้ำท่วมในต่างประเทศ

การประเมินการพังทลายของสะพานจากปัญหาน้ำท่วมในต่างประเทศ ที่สำคัญและนำมาทบทวนในการศึกษาครั้งนี้คือ [12]

i) มาตรฐาน Hydraulic Engineering Circular No. 18 (HEC-18) - Evaluating Scour at Bridges ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา [13]

ii) มาตรฐาน BA 74/06 Assessment of Scour at Highway Bridges (DMRB 2006) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในสหราชอาณาจักร [14]

iii) มาตรฐาน Hydraulic Vulnerability Manual โดย New York State Department of Transportation ใช้ในมลรัฐนิวยอร์ก ประเทศสหรัฐอเมริกา [15]

2.1 Hydraulic Engineering Circular No. 18 (HEC-18) - Evaluating Scour at Bridges

HEC-18 เป็นเทคนิคการประเมินการออกแบบสะพานซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Federal Highway Administration และเป็นแนวทางให้แต่ละมลรัฐนำไปใช้ในการพัฒนารูปแบบการประเมินของรัฐของตน ขั้นตอนโดยทั่วไปของการประเมินโดยวิธี HEC-18 แบ่งออกเป็น 5 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 ประเมินสะพานข้ามลำน้ำทุกแห่งและจัดกลุ่ม โดยใช้กลไกการตรวจวัดภาคสนาม มีหัวข้อที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

(a) กลุ่มสะพานที่มีความเสี่ยงต่ำ

(b) กลุ่มสะพานที่มีความอ่อนไหวต่อการกัดเซาะ

(c) กลุ่มสะพานที่มีความวิกฤติจากการกัดเซาะ

(d) กลุ่มสะพานที่ไม่รู้สภาพฐานราก

(e) กลุ่มสะพานที่ได้รับผลกระทบจากน้ำขึ้นน้ำลง

ระยะที่ 2 เป็นกระบวนการลงรายละเอียด ในแต่ละหัวข้อที่สำคัญ เช่น การประเมินความปลอดภัย การบันทึกผล สภาพทั่วไป การประเมินโครงสร้างโดยรอบ ลักษณะโครงสร้างใต้ผิวน้ำ เป็นต้น

สะพานที่อยู่ในกลุ่มที่ (b) และ (d) คือ ความอ่อนไหวต่อการกัดเซาะ และไม่รู้สภาพฐานราก จะถูกจัดอยู่ในลำดับต้นๆ ที่ต้องมีการตรวจวัดภาคสนามอย่างละเอียด

ระยะที่ 3 มีการตรวจวัดภาคสนามสำหรับสะพานที่อยู่ในกลุ่มของขั้นตอนที่ 2 โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญหรือวิศวกรด้านชลศาสตร์ เทคนิคธรณี และโครงสร้าง

ระยะที่ 4 สะพานที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่ม (c) มีความวิกฤติจากการกัดเซาะ ทั้งจากการจัดกลุ่มในการออกแบบและการตรวจวัดภาคสนาม ควรได้รับการซ่อมแซมและแก้ไขจากการกัดเซาะทันที

ระยะที่ 5 เมื่อทำการประเมินโครงสร้างสะพานในระยะที่ 1 ทั้งหมดแล้ว ควรมีการประเมินสภาพสะพานที่ไม่ได้สร้างข้ามลำน้ำด้วย โดยให้ลำดับความสำคัญตามที่ตั้ง หรือฟังก์ชั่นการทำงานที่เป็นจุดเชื่อมต่อทางหลวงสะพานนั้นจะมีความสำคัญสูงกว่า

2.2 BA 74/06 Assessment of Scour at Highway Bridges (DMRB 2006)

BA 74/06 เป็นเทคนิคการประเมินประสิทธิภาพในการกัดเซาะและทำลายสะพานซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Highways Agency เทคนิคนี้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ การประเมิน และการวิเคราะห์ นอกจากนี้แล้วยังอาจเพิ่มเติมขั้นตอนของการแนะนำและลงมือปฏิบัติงาน หลังจากได้มีการจัดลำดับความสำคัญของแต่ละสะพานเรียบร้อยแล้ว

ระยะที่ 1 ได้แก่ขั้นตอนของการประเมินสะพานข้ามลำน้ำทุกแห่ง ประกอบด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลของแต่ละสะพาน ลักษณะโครงสร้าง ลักษณะลำน้ำ รวมถึงประวัติและสถิติปริมาณน้ำ จากนั้นจะทำการตรวจสอบภาคสนามเกี่ยวกับลักษณะลำน้ำ ทางน้ำหลัก พื้นที่น้ำท่วม และตัวสะพานทั้งส่วนที่อยู่เหนือผิวน้ำและใต้น้ำ แล้วจึงทำการประเมินการกัดเซาะ ว่ามีความเสี่ยงสูงหรือต่ำต่อการพังทลาย

ระยะที่ 2 คือการวิเคราะห์ รวมถึงการคำนวณโดยละเอียด เพื่อให้ทราบถึงปริมาณการกัดเซาะ โดยมีขั้นตอนต่างๆ คือ

- เก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับลำน้ำ ณ จุดที่ตั้งของสะพาน โดยควรใช้แผนที่ และ สถานีเก็บข้อมูลที่ติดตั้งอยู่โดยรอบ
- ประมาณค่าสถิติต่างๆ ที่มีรอบการเกิด 200 ปี
- ประเมินความลึกและความเร็วการไหล ณ จุดที่ตั้งของสะพาน
- ประเมินความลึกการกัดเซาะ บริเวณฐานรากของโครงสร้าง
- ประเมินและจัดลำดับความสำคัญของสะพานที่มีความเสี่ยงสูงไปหาต่ำ เพื่อเตรียมวางแผนการจัดการบำรุงรักษาและซ่อมแซม

2.3 Hydraulic Vulnerability Manual

Hydraulic Vulnerability Manual เป็นเทคนิคการประเมินการออกแบบสะพานซึ่งพัฒนาขึ้นโดย New York State Department of Transportation การประเมินแบบนี้จะใช้ข้อมูลทางสถิติของข้อมูลอุทกวิทยาและการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ในการประเมินปริมาณน้ำท่วม ความลึกการไหล และความเร็วการไหล จากนั้นนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณการกัดเซาะ เปรียบเทียบกับความลึกฐานรากสะพาน ซึ่งต้องใช้เวลาและทรัพยากรด้านข้อมูลจำนวนมาก และหากไม่มีข้อมูลพื้นฐานของแต่ละสะพานแล้ว ก็จะไม่สามารถประเมินความเสี่ยงได้ด้วยวิธีนี้

3. การพังทลายของสะพานจากปัญหาน้ำท่วมในประเทศไทย

ปัญหาน้ำท่วมเป็นภัยพิบัติทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นกับประเทศไทยทุกปี ในพื้นที่บางแห่งจัดได้ว่าเป็นพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก กล่าวคือ ประสบน้ำท่วมซัง 8-10 ครั้งในรอบ 10 ปี และมีความเสี่ยงสูงต่อการลงทุนพัฒนาทางการเกษตร เช่น บริเวณ อ.บางระกำ จ.พิษณุโลก จ.สุโขทัย จ.พระนครศรีอยุธยา เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีพื้นที่บางส่วนทางภาคใต้ของประเทศไทย ที่ประสบปัญหาน้ำท่วมสูงรุนแรง ปัญหาน้ำท่วม ล้วนส่งผลกระทบโดยตรงต่อระบบทางหลวงทั้งถนนและสะพาน ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับถนนส่วนใหญ่จะเป็นน้ำท่วม ถนนขาดหรือชำรุด ส่วนความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพานส่วนใหญ่จะเป็นคอสะพานขาดและตอม่อกลางน้ำทรุดตัว [15, 16] จึงควรมีการวางแผน ออกแบบ และซ่อมบำรุง ถนนเหล่านี้อยู่อย่างต่อเนื่อง และแก้ไขปัญหาได้อย่างทันท่วงที

อย่างไรก็ตาม ระบบการเฝ้าติดตามและบำรุงรักษาถนนและสะพานที่ดำเนินการโดยกรมทางหลวงในปัจจุบันจะใช้ในการวางแผนเพื่อซ่อมบำรุงถนนและสะพานที่เสื่อมสภาพเนื่องจากการใช้งานและสภาพแวดล้อมเป็นหลัก ซึ่งความเสียหายในลักษณะนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการเสื่อมสภาพและจะมีลักษณะค่อยเป็นค่อยไป ทำให้สามารถทำการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขได้ง่าย จึงถือได้ว่าถนนและสะพานมีความเสี่ยงต่อการพังทลายต่ำ เนื่องจากการเสื่อมสภาพในทางตรงกันข้าม ปัญหาน้ำท่วมเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างกระทันหัน มีความไม่แน่นอนสูง และหากเกิดปัญหาแล้วจะส่งผลกระทบอย่างรุนแรงและอาจมีผลกระทบในบริเวณกว้าง ทำให้ถนนและสะพานมีความเสี่ยงต่อการพังทลาย ดังนั้นการเฝ้าติดตามและบำรุงรักษาถนนและสะพานในปัจจุบันจึงยังไม่สามารถใช้วางแผนการบำรุงรักษาเพื่อป้องกันถนนและสะพานจากการพังทลายเนื่องจากปัญหาน้ำท่วมได้

ปัญหาการพังทลายของสะพานที่เกิดจากน้ำท่วมในประเทศไทยเกิดจากปริมาณน้ำท่วมด้านล่างยกชิ้นส่วนของสะพานลอยขึ้น ดังนั้นแนวทางการประเมินความเสี่ยงการพังทลายของสะพานจากปัญหาน้ำท่วมในประเทศไทยจึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์หรือคำนึงถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำในลำน้ำด้วย และควรนำเอาข้อดีและความง่ายในการประเมินของมาตรฐานอื่นมาใช้ แล้วปรับปรุงให้เข้ากับพฤติกรรมและความเสียหายของสะพานในประเทศไทย นอกจากนี้แล้วควรใช้เทคโนโลยีที่เข้าถึงได้ง่ายและต้นทุนต่ำ สามารถดำเนินการได้ง่าย ไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านงบประมาณต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

4. แนวทางการประเมินความเสี่ยงการพังทลายของสะพานจากปัญหาน้ำท่วมในประเทศไทย

แนวทางการประเมินความเสี่ยงการพังทลายของสะพานจากปัญหาน้ำท่วมในประเทศไทยที่ศึกษาและนำเสนอในครั้งนี้ ได้นำเอาข้อดีของมาตรฐาน Hydraulic Vulnerability Manual ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย New York State Department of Transportation [17] มาใช้ร่วมกับการปรับแก้วิธีการบางส่วนให้เหมาะสมกับประเทศไทย โดยมีขั้นตอนการประเมิน ดังนี้

4.1 การประเมินค่า Pier Vulnerability (PV)

การประเมินค่า PV จะพิจารณาจากลักษณะและข้อมูลของ Pier แล้วนำคะแนนทั้งหมดที่ได้มารวมกัน เป็นค่า PV โดยมีหัวข้อดังนี้

1. การป้องกันการกัดเซาะ

ให้ผู้ประเมินพิจารณาวิธีการป้องกันการกัดเซาะรอบ Pier ว่ามีหรือไม่ และเป็นแบบใด แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 1

2. มุมที่กระแสน้ำทำกับ Pier

ให้ผู้ประเมินพิจารณามุมที่กระแสน้ำทำกับ Pier

หากมีค่ามากจะทำให้การพังทลายของโครงสร้างมีโอกาสเกิดขึ้นได้มาก แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การป้องกันการกัดเซาะ

			คะแนน
1.1	Not req'd	Pier ตั้งอยู่ในบริเวณที่ไม่มีความเสี่ยงการกัดเซาะ คือ ไม่ได้ตั้งอยู่บนทางน้ำหรือบริเวณที่น้ำจะท่วมถึง	0
1.2	Sheet pile wall	ป้องกัน Pier โดยใช้ Sheet pile ซึ่งเป็นโครงสร้างถาวร ไม่มีความเสี่ยง	0
1.3	Cofferdam	ป้องกัน Pier โดยใช้ Cofferdam ซึ่งเป็นโครงสร้างถาวร ไม่มีความเสี่ยง	0
1.4	Riprap	ป้องกัน Pier โดยใช้ Riprap ซึ่งเป็นโครงสร้างชั่วคราว มีความเสี่ยงสูง	1
1.5	Other	ป้องกัน Pier โดยใช้โครงสร้างชั่วคราว มีความเสี่ยงสูง	1
1.6	None	ไม่มีการป้องกันการกัดเซาะรอบ Pier มีความเสี่ยงสูงมาก	5

ตารางที่ 2 มุมที่กระแสน้ำทำกับ Pier

		คะแนน
2.1	0-20 องศา	0
2.2	20-45 องศา	1
2.3	45-90 องศา	2
2.4	> 90 องศา	4

3. ความกว้าง Pier

ให้ผู้ประเมินพิจารณาความกว้างของ Pier หากมีความกว้างไม่มาก จะกีดขวางการไหลน้อย และเกิดความเสี่ยงต่อการพังทลายน้อย แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ความกว้าง Pier

		คะแนน
3.1	< 0.90 ม.	1
3.2	0.90 - 1.50 ม.	2
3.3	1.50 – 2.40 ม.	3
3.4	2.40 - 3.00 ม.	4
3.5	> 3.00 ม.	5

4. จำนวน Pier ที่อยู่บนพื้นที่น้ำท่วมถึง

ให้ผู้ประเมินพิจารณาจำนวน Pier ที่อยู่บนพื้นที่น้ำท่วมถึง แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 4 หากมี Pier จำนวนมากอยู่บนพื้นที่น้ำท่วมถึง จะมีความเสี่ยงต่อการพังทลายสูง

ตารางที่ 4 จำนวน Pier บนพื้นที่น้ำท่วมถึง

		คะแนน
4.1	จำนวน Pier มากกว่า 50% ตั้งอยู่ในน้ำ	2
4.2	จำนวน Pier มากกว่า 50% ตั้งอยู่บนบก	0

5. ฐานรากของ Pier

ให้ผู้ประเมินพิจารณาฐานรากของ Pier แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ฐานรากของ Pier

		คะแนน
5.1	เสาเข็มเหล็กหรือคอนกรีต	0
5.2	ฐานรากแผ่บนหินที่กัดเซาะไม่ได้	0
5.3	เสาเข็มไม้	4
5.4	ฐานรากแผ่บนหินที่กัดเซาะได้	5
5.5	ฐานรากแผ่บนพื้นดิน	10
5.6	ไม่ทราบชนิดของฐานราก	10

6. ความลึกของฐานรากใต้ท้องน้ำ

ให้ผู้ประเมินพิจารณาความลึกของฐานรากใต้ท้องน้ำ แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 6 หากมีค่ามาก จะเกิดความเสี่ยงต่อการพังทลายน้อย

ตารางที่ 6 ความลึกของฐานรากใต้ท้องน้ำ

		คะแนน
6.1	> 6.00 ม.	0
6.2	4.50 – 6.00 ม.	1
6.3	3.00 – 4.50 ม.	2
6.4	2.10 – 3.00 ม.	3
6.5	1.20 – 2.10 ม.	4
6.6	< 1.20 ม.	5

7. รูปแบบของช่วงสะพาน

ให้ผู้ประเมินพิจารณารูปแบบของช่วงสะพาน แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 7 หากเป็นช่วงสะพานแบบธรรมดาช่วงเดียวจะทำให้โครงสร้างต้องรับน้ำหนักแบบจุดมาก จะมีความเสี่ยงต่อการพังทลายสูง

ตารางที่ 7 รูปแบบของช่วงสะพาน

		คะแนน
7.1	โครงสร้างสะพานมีหลายช่วง บนลำน้ำ	0
7.2	โครงสร้างสะพานมีช่วงเดียว บนลำน้ำ	1

4.2 การประเมินค่า Abutment Vulnerability (AV)

การประเมินค่า AV จะพิจารณาจากลักษณะและข้อมูลของ Abutment แล้วนำคะแนนทั้งหมดที่ได้มารวมกัน เป็นค่า AV โดยมีหัวข้อดังนี้

1. การป้องกันการกัดเซาะ

ให้ผู้ประเมินพิจารณาวิธีการป้องกันการกัดเซาะรอบ Abutment ว่ามีหรือไม่ และเป็นแบบใด แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การป้องกันการกัดเซาะ

			คะแนน
1.1	Not req'd	Abutment ตั้งอยู่ในบริเวณที่ไม่มีความเสี่ยงการกัดเซาะ คือไม่ได้ตั้งอยู่บนทางน้ำหรือบริเวณที่น้ำจะท่วมถึง	0
1.2	Sheet pile wall	ป้องกัน Abutment โดยใช้ Sheet pile ซึ่งเป็นโครงสร้างถาวร ไม่มีความเสี่ยง	0
1.3	Cofferdam	ป้องกัน Abutment โดยใช้ Cofferdam ซึ่งเป็นโครงสร้างถาวร ไม่มีความเสี่ยง	0
1.4	Riprap	ป้องกัน Abutment โดยใช้ Riprap ซึ่งเป็นโครงสร้างชั่วคราว มีความเสี่ยงสูง	1
1.5	Other	ป้องกัน Abutment โดยใช้โครงสร้างชั่วคราว มีความเสี่ยงสูง	1
1.6	None	ไม่มีการป้องกันการกัดเซาะรอบ Abutment มีความเสี่ยงการพังทลายสูงมาก	5

2. ตำแหน่งของ Abutment

ให้ผู้ประเมินพิจารณาตำแหน่งของ Abutment ซึ่งส่งผลกระทบต่อความเสี่ยงต่อการกัดเซาะรอบโครงสร้าง โดยหาก Abutment ตั้งอยู่โค้งน้ำด้านใน มีการทับถมตะกอนและความเร็วน้ำต่ำ หรือตั้งอยู่บนทางน้ำตรงความเร็วน้ำคงที่ จะมีความเสี่ยงการพังทลายต่ำ แต่หาก Abutment ตั้งอยู่โค้งน้ำด้านนอก จะมีการกัดเซาะและความเร็วน้ำสูง มีความเสี่ยงสูง จากนั้นให้คะแนนตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ตำแหน่งของ Abutment

		คะแนน
2.1	Abutment ตั้งอยู่โค้งน้ำด้านใน มีการทับถมตะกอนและความเร็วน้ำต่ำ ไม่มีความเสี่ยง	0
2.2	Abutment ตั้งอยู่บนทางน้ำตรง ความเร็วน้ำคงที่ ไม่มีความเสี่ยง	0
2.3	Abutment ตั้งอยู่โค้งน้ำด้านนอก มีการกัดเซาะและความเร็วน้ำสูงต่ำ มีความเสี่ยงสูง	1

3. การวาง Abutment รุกล้ำลำน้ำ

ให้ผู้ประเมินพิจารณาการวาง Abutment รุกล้ำลำน้ำ แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 10 หาก Abutment วางบนบริเวณพื้นที่น้ำท่วมถึง ที่มีปริมาณน้ำล้นมาไม่เกิน 10% ของปริมาณน้ำในลำน้ำ จะถือว่าโครงสร้างไม่มีความเสี่ยง

ตารางที่ 10 การวาง Abutment รุกล้ำลำน้ำ

		คะแนน
3.1	Abutment วางบนบริเวณพื้นที่น้ำท่วมถึงที่มีปริมาณน้ำล้นมาไม่เกิน 10% ของปริมาณน้ำในลำน้ำ ไม่มีความเสี่ยง	0
3.2	Abutment วางบนบริเวณพื้นที่น้ำท่วมถึงที่มีน้ำล้นมา 10-25% ของปริมาณน้ำในลำน้ำ มีความเสี่ยงปานกลาง	2
3.3	Abutment วางบนบริเวณพื้นที่น้ำท่วมถึงที่มีปริมาณน้ำล้นมามากกว่า 25% ของปริมาณน้ำในลำน้ำ มีความเสี่ยงสูง	4

4. ฐานรากของ Abutment

ให้ผู้ประเมินพิจารณาฐานรากของ Abutment แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ฐานรากของ Abutment

		คะแนน
Abutment แบบ Spill through		
4.1	Pile เป็นเหล็กหรือคอนกรีตยาวกว่า 6 ม. หรือฐานรากแผ่บนหินที่ไม่มีการกัดเซาะ	0
4.2	Pile สั้นกว่า 6 ม. หรือเป็น Pile ไม้ หรือฐานรากแผ่บนหินที่มีการกัดเซาะได้	2
4.3	ฐานรากแผ่บนดิน	3
4.4	ไม่รู้ชนิดของฐานราก	3
Abutment แบบ Vertical wall		
4.5	Pile เหล็กหรือคอนกรีตยาวกว่า 20 ฟุต หรือฐานรากแผ่บนหินไม่มีการกัดเซาะ	0
4.6	Pile เป็นไม้	3
4.7	Pile สั้นกว่า 6 ม. หรือเป็น Pile ไม้ หรือฐานรากแผ่บนหินที่มีการกัดเซาะได้	5
4.8	มีฐานรากแผ่บนดิน	10
4.9	ไม่รู้ชนิดของฐานราก	10
4.10	Abutment แบบ ท่อลอด	0

5. มุมที่กระแสน้ำทำกับ Embankment

ให้ผู้ประเมินพิจารณามุมที่กระแสน้ำทำกับ Embankment แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 12 หากมีค่ามากจะทำให้การพังทลายของโครงสร้างมีโอกาสเกิดขึ้นได้มาก

ตารางที่ 12 มุมที่กระแสน้ำทำกับ Embankment

		คะแนน
2.1	0-20 องศา	0
2.2	20-45 องศา	1
2.3	45-90 องศา	2
2.4	> 90 องศา	4

4.3 การประเมินค่า Hydraulic Assessment (HA)

การประเมินค่า HA จะพิจารณาจากลักษณะและข้อมูลทางชลศาสตร์ แล้วนำคะแนนทั้งหมดที่ได้มารวมกันเป็นค่า HA โดยมีหัวข้อดังนี้

1. ความลาดชันของลำน้ำ

ให้ผู้ประเมินพิจารณาในระยะ 150-300 เมตร ขึ้นไปจากโครงสร้างที่อยู่ในน้ำ ทั้งในทิศทางด้านเหนือและท้ายน้ำ แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ความลาดชันของลำน้ำ

		คะแนน
1.1	ทางน้ำที่มีความลาดชันน้อย มีความลาดชันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.0004	0
1.2	ทางน้ำที่มีความลาดชันปานกลาง มีความลาดชันระหว่าง 0.0004 ถึง 0.0015	1
1.3	ทางน้ำที่มีความลาดชันสูง มีความลาดชันมากกว่าหรือเท่ากับ 0.0015	2

2. รูปร่างของทางน้ำ

ให้ผู้ประเมินพิจารณาในระยะ 150-300 เมตร ขึ้นไปจากโครงสร้างที่อยู่ในน้ำ ทั้งในทิศทางด้านเหนือและท้ายน้ำ แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 14

ตารางที่ 14 รูปร่างของทางน้ำ

			คะแนน
2.1	Straight	ทางน้ำเป็นเส้นตรง	0
2.2	Braided	ทางน้ำไขว้	1
2.3	Meandering	ทางน้ำคดเคี้ยว มีรูปแบบการไหลคล้ายตัว “S”	2

3. ที่ตั้งโครงสร้างสะพาน

ให้ผู้ประเมินพิจารณาที่ตั้งโครงสร้างสะพานว่าอยู่ใกล้จุดตัดทางน้ำหรือไม่ หากอยู่ในระยะที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ จะมีความเสี่ยงต่อการกัดเซาะโครงสร้างมาก แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ที่ตั้งโครงสร้างสะพาน

		คะแนน
3.1	ไม่อยู่ในระยะที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ มีความเสี่ยงน้อย	0
3.2	อยู่ในระยะที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ มีความเสี่ยงมาก	1

4. การกัดเซาะรอบโครงสร้าง

ให้ผู้ประเมินพิจารณาการกัดเซาะรอบโครงสร้าง โดยทำการเปรียบเทียบลักษณะพื้นที่รอบโครงสร้างสะพานตั้งแต่เริ่มสร้าง เพื่อหารูปแบบการเปลี่ยนแปลง และอัตราการกัดเซาะที่เกิด เท่าที่จะสามารถสืบค้นได้ แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 16

ตารางที่ 16 การกัดเซาะรอบโครงสร้าง

		คะแนน
4.1	ไม่มีการกัดเซาะรอบโครงสร้าง ไม่มีความเสี่ยง	0
4.2	มีการกัดเซาะรอบโครงสร้าง น้อยกว่า 0.30 ม. มีความเสี่ยงน้อย	1
4.3	มีการกัดเซาะรอบโครงสร้าง 0.30 ม. - 0.90 ม. มีความเสี่ยงปานกลาง	2-3
4.4	มีการกัดเซาะรอบโครงสร้าง มากกว่า 0.90 ม. มีความเสี่ยงสูง	4-5

5. ช่องเปิดโครงสร้างสะพาน

ให้ผู้ประเมินพิจารณาระยะห่างระหว่างโครงสร้างที่ตั้งอยู่ในน้ำ เช่นระยะห่างระหว่างตอม่อสะพาน หรือระยะห่างระหว่าง Pier และ Abutment เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของการบีบลดหน้าตัดลำน้ำ ซึ่งอาจส่งผลให้ความเร็วของน้ำมากขึ้นและเกิดการกัดเซาะรอบโครงสร้าง แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ช่องเปิดโครงสร้างสะพาน

		คะแนน
5.1	ระยะห่างระหว่างโครงสร้างที่ตั้งอยู่ในน้ำ มีความเหมาะสม ไม่เห็นการไหล เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ไม่มีความเสี่ยง	0
5.2	ระยะห่างระหว่างโครงสร้างที่ตั้งอยู่ในน้ำ ไม่มีความเหมาะสม เห็นการไหล เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน มีความเสี่ยง	2

6. การเปลี่ยนแปลงลักษณะท้องน้ำ

ให้ผู้ประเมินพิจารณาการเปลี่ยนแปลงลักษณะท้องน้ำทั้งในรูปแบบของการพัดพาและการทับถมของตะกอน แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 18 โดยสังเกตจากลักษณะของตะกอนในบริเวณทางน้ำ หากมีการคละขนาดกันอย่างดีแสดงว่าทางน้ำมีเสถียรภาพ มีอัตราการพัดพาและทับถมของตะกอนต่ำ มีความเสี่ยงการพังทลายของโครงสร้างน้อย เนื่องจากมีการนำตะกอนมาทับถมบริเวณโครงสร้างอยู่เป็นประจำ

7. การเกิดน้ำป่าไหลหลาก

ให้ผู้ประเมินพิจารณาเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการเกิดน้ำป่าไหลหลาก แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 19 ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางสถิติที่ถูกเก็บไว้โดยหน่วยงานต่างๆ มาใช้ หรือใช้วิธีการสอบถามจากชาวบ้านในพื้นที่ หากสะพานตั้งอยู่ในบริเวณที่ไม่มีสถิติการเกิดน้ำป่าไหลหลาก จะกล่าวได้ว่าไม่มีความเสี่ยงต่อการพังทลาย แต่หากสะพานตั้งอยู่ในบริเวณที่มีสถิติการเกิดน้ำป่าไหลหลากเป็นประจำ จะส่งผลให้ความเสี่ยงต่อการพังทลายของโครงสร้างค่อนข้างสูง เนื่องจากพื้นที่โดยรอบโครงสร้างเกิดการกัดเซาะได้มาก และเกิดการกระแทกของทั้งน้ำและมวลหินขนาดใหญ่ต่อโครงสร้าง

ตารางที่ 18 การเปลี่ยนแปลงลักษณะท้องน้ำ

		คะแนน
6.1	ทางน้ำที่มีการทับถมของตะกอน มีความเสี่ยงการพังทลายของโครงสร้างน้อย เนื่องจากมีการนำตะกอนมาทับถมบริเวณโครงสร้างอยู่เป็นประจำ	0
6.2	ทางน้ำที่มีเสถียรภาพ อัตราการพัดพาและทับถมของตะกอนต่ำ มีความเสี่ยงในระดับปานกลาง	1
6.3	ทางน้ำที่มีการพัดพาตะกอน หากมีอัตราการพัดพาตะกอนสูง จะยิ่งส่งผลให้ความเสี่ยงต่อการพังทลายของโครงสร้าง เนื่องจากเกิดการกัดเซาะได้มาก	2-4

ตารางที่ 19 การเกิดน้ำป่าไหลหลาก

		คะแนน
7.1	สะพานที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่ไม่มีสถิติการเกิดน้ำป่าไหลหลาก	0
7.2	สะพานที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีสถิติการเกิดน้ำป่าไหลหลาก แต่ไม่บ่อยครั้ง	1-2
7.3	สะพานที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีสถิติการเกิดน้ำป่าไหลหลากเป็นประจำ	3-4

8. ผลกระทบที่เกิดจากการเอ่อของน้ำ

ให้ผู้ประเมินพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากการเอ่อของน้ำย้อนขึ้นมาจากทางท้ายน้ำของโครงสร้างสะพาน แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 20 โดยจะทำการสำรวจพื้นที่ทางด้านท้ายน้ำของโครงสร้าง ว่ามีโครงสร้างทางชลศาสตร์อื่นๆ ตั้งอยู่หรือไม่ และจำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางสถิติที่ถูกเก็บไว้โดยหน่วยงานหรือชาวบ้านมาใช้พิจารณา

ว่าเคยเกิดน้ำเอ่อย้อนขึ้นมาทางโครงสร้างหรือไม่ หากพิจารณาแล้วพบว่าไม่มีโครงสร้างทางชลศาสตร์ที่จะส่งผลให้น้ำเอ่อทางด้านท้ายน้ำ โครงสร้างจะเกิดการกัดเซาะทางฝั่งเดียว ทำให้มีความเสี่ยงการพังทลายเกิดขึ้น แต่หากตั้งอยู่พื้นที่ที่มีโครงสร้างทางชลศาสตร์ขวางอยู่ด้านท้ายน้ำ อาจทำให้มีน้ำไหลเอ่อขึ้นมาในทิศทางตรงกันข้ามได้ และเกิดการทับถมตะกอนกลับ ทำให้ไม่มีความเสี่ยงต่อการพังทลายจากการกัดเซาะ

ตารางที่ 20 ผลกระทบที่เกิดจากการเอ่อของน้ำ

		คะแนน
8.1	มีโครงสร้างทางชลศาสตร์ท้ายน้ำ อาจทำให้มีน้ำไหลเอ่อขึ้นมาในทิศทางตรงกันข้ามได้ และเกิดการทับถมตะกอนกลับทำให้ไม่มีความเสี่ยง	0
8.2	ไม่มีโครงสร้างทางชลศาสตร์ จะเกิดการกัดเซาะทางฝั่งเดียว ทำให้มีความเสี่ยงเกิดขึ้น	1

9. ประวัติการเกิดน้ำท่วมรุนแรง

ให้ผู้ประเมินพิจารณาประวัติการเกิดน้ำท่วมรุนแรงแล้วให้คะแนนตามตารางที่ 21 โดยจะพิจารณาจากสถิติที่ถูกเก็บวัดโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง หรือจากสถานีน้ำท่าที่อยู่ใกล้เคียง หรือสอบถามจากชาวบ้านในพื้นที่

ตารางที่ 21 ประวัติการเกิดน้ำท่วมรุนแรง

		คะแนน
9.1	สะพานตั้งอยู่ในบริเวณที่ความสูงน้ำท่วมในบริเวณโครงสร้างไม่เกิน 3 ม. ความเสี่ยงต่อการพังทลายของโครงสร้างน้อย	1
9.2	สะพานที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีประวัติการเกิดน้ำท่วมรุนแรง ความสูงน้ำท่วมในบริเวณโครงสร้างเกิน 3 ม.	2

10. โอกาสการเกิดน้ำล้นตลิ่ง

ให้ผู้ประเมินพิจารณาโอกาสการเกิดน้ำล้นตลิ่งแล้วให้คะแนนตามตารางที่ 22 จะทำการเปรียบเทียบลักษณะพื้นที่รอบโครงสร้างสะพานตั้งแต่เริ่มสร้างว่ามีการเกิดน้ำล้นตลิ่งบ่อยครั้งเพียงใด สะพานที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่ไม่มีการเกิดน้ำล้นตลิ่ง ทางน้ำบริเวณดังกล่าวจะมีความเร็วการไหลคงที่ มีความเสี่ยงต่อการพังทลายมากกว่าสะพานที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่มีโอกาสการเกิดน้ำล้นตลิ่ง เนื่องจากทางน้ำบริเวณที่มีการไหลล้นตลิ่งจะมีพื้นที่การไหลเพิ่มขึ้น ทำให้ความเร็วการไหลลดลงและเกิดการกัดเซาะน้อยลง

ตารางที่ 22 โอกาสการเกิดน้ำล้นตลิ่ง

		คะแนน
10.1	สะพานตั้งอยู่ในบริเวณที่มีโอกาสการเกิดน้ำล้นตลิ่ง	0
10.2	สะพานตั้งอยู่ในบริเวณที่ไม่มีการเกิดน้ำล้นตลิ่ง	1

4.4 การประเมินค่า Failure consequences: (FC)

การประเมินค่า FC จะพิจารณาข้อมูล แล้วนำคะแนนทั้งหมดที่ได้มารวมกัน เป็นค่า FC โดยมีหัวข้อดังนี้

1. รูปแบบการพังทลายของโครงสร้าง

ให้ผู้ประเมินพิจารณาและประเมินรูปแบบการพังทลายของโครงสร้างที่อาจเกิดขึ้นได้ แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 23

ตารางที่ 23 รูปแบบการพังทลายของโครงสร้าง

		คะแนน
1.1	โครงสร้างพังทลายและถล่มทันที	5
1.2	โครงสร้างมีการพังเสียหายบางส่วน	3
1.3	โครงสร้างมีความเสียหายเป็นจุดๆ จากการร้าวหรือเสียรูปของโครงสร้างบางส่วน	1

2. ค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรรายวัน

ให้ผู้ประเมินพิจารณาปริมาณการจราจรจากค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรรายวันตลอดปี หากปริมาณการจราจรตลอดปีมากกว่า 25,000 คันต่อวัน จะมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดผลกระทบจากความเสียหายของการพังทลายของโครงสร้าง แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ค่าเฉลี่ยปริมาณจราจรรายวัน

		คะแนน
2.1	> 25,000 คัน/วัน	2
2.2	4,000 - 25,000 คัน/วัน	1
2.3	< 4,000 คัน/วัน	0

3. ความสำคัญของสะพานต่อโครงข่ายการขนส่ง

ให้ผู้ประเมินพิจารณาความสำคัญของสะพานต่อโครงข่ายการขนส่ง พบว่าหากเป็นถนนหลักระหว่างเมืองจะมีความสำคัญและมีความเสี่ยงต่อการพังทลายสูง แล้วให้คะแนนตามตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ความสำคัญของสะพานต่อโครงข่ายการขนส่ง

		คะแนน
3.1	ถนนหลักระหว่างเมือง	3
3.2	ถนนที่มีการใช้เพื่อเดินทางสูง	2
3.2	ถนนที่มีการใช้เพื่อเดินทางปานกลาง	1
3.4	ถนนที่มีการใช้เพื่อเดินทางต่ำ	0

4.5 การประเมินค่า Vulnerability score (VS)

เมื่อทำการสำรวจและประเมินคะแนนจากสภาพทางกายภาพของสะพานตามหัวข้อที่ 4.1 - 4.4 แล้ว นำไปคำนวณค่าตามลำดับขั้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 จากนั้นจะได้ค่า VS ซึ่งมีจำนวนเต็มอยู่ที่ 20 คะแนน มีลำดับขั้นที่สามารถอธิบายได้ดังนี้

1. หาค่า Bridge foundation (BF) จากการเปรียบเทียบค่า PV จากขั้นตอนที่ 4.1 และค่า AV จากขั้นตอนที่ 4.2 ค่าใดที่มากกว่าให้ใช้ค่านั้นระบุชื่อใหม่เป็นค่า Bridge foundation (BF)

2. หาค่า Consequence score (CS) โดยการนำค่า BF ไปรวมกับค่า HA ที่ได้จากหัวข้อที่ 4.3 ซึ่งจะได้ค่า Consequence score (CS)

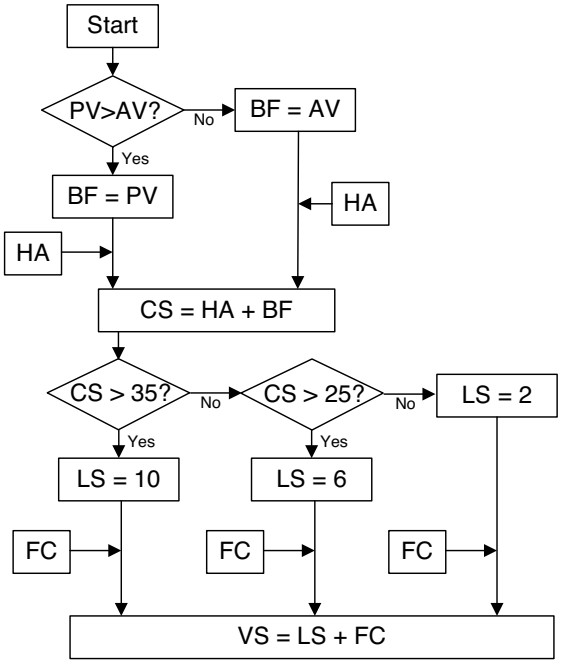
3. หาค่า Likelihood score (LS) โดยการพิจารณาค่า CS

ถ้า CS > 35 ดังนั้น LS = 10

ถ้า 35 > CS > 25 ดังนั้น LS = 6

ถ้า CS < 35 ดังนั้น LS = 2

4. หาค่า Vulnerability score (VS) โดยการนำค่า LS ไปรวมกับค่า FC ที่ได้จากหัวข้อที่ 4.4 ซึ่งจะได้ค่า Vulnerability score (VS)



รูปที่ 1 ลำดับการคำนวณค่า VS

อย่างไรก็ดี s จากสถิติการพังทลายของสะพานในเมืองไทย พบว่าสะพานที่ถูกน้ำท่วม มักจะเกิดการพังทลายจากการขาดของรอยต่อระหว่างตัวสะพาน (Deck) และเสาสะพาน (Pier) ซึ่งเป็นผลมาจากการพัดพาของน้ำทำให้เกิดแรงด้านข้าง และแรงดันน้ำด้านล่างจากการเอ่อล้นของน้ำใต้สะพาน ดังนั้น จึงได้เพิ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระดับน้ำเข้าไปในการคำนวณ

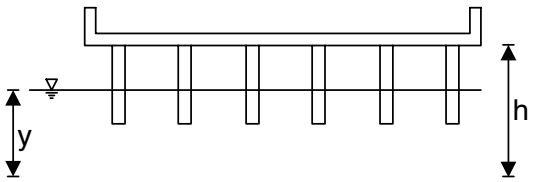
4.6 การประเมินค่า New vulnerability score (NVS)

การกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องด้านระดับน้ำ จะใช้ตัวแปรที่สำคัญ ดังรูปที่ 2 คือ

h = ค่าระดับท้องสะพาน (เมตร รทก.)

y = ค่าระดับที่ผิวน้ำ (เมตร รทก.)

จากนั้นตัวแปรที่สนใจคือช่องว่างระหว่างท้องสะพานและระดับน้ำ (*h-y*) ซึ่งพบว่า ยิ่งค่า (*h-y*) มีค่าน้อย สะพานดังกล่าวจะยิ่งมีความเสี่ยงต่อการพังทลายสูง



รูปที่ 2 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระดับน้ำ

ผู้ศึกษาได้ทำการพิจารณาอัตราส่วนของตัวแปรที่สำคัญทั้งหมด และพบว่าตัวแปรรูปแบบการพังทลายของโครงสร้าง (Potential failure type) เป็นตัวแปรที่ระบบเดิมให้ความสำคัญค่อนข้างมาก โดยให้มีคะแนนสูงสุดได้ถึง 5 คะแนน จากคะแนนรวมทั้งระบบของทุกตัวแปร (VS) ซึ่งมีคะแนนเต็มเป็น 20 คะแนน หรืออาจกล่าวได้ว่ามีคะแนนสูงถึง 25 เปอร์เซนต์ของคะแนน VS ดังนั้นการพังทลายที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มของระดับน้ำ (*h-y*) ซึ่งเป็นตัวแปรที่กำลังสนใจและเป็นปัญหาสำคัญของประเทศไทย ควรจะมีค่าน้ำหนักใกล้เคียงกันกับตัวแปร Potential failure type ดังนั้น จึงได้กำหนดให้ตัวแปร VS ถูกคูณด้วยค่าน้ำหนักร้อยละ 80 ดังนั้น คะแนนสูงที่สุดของ Potential failure type จะคิดเป็น 4 คะแนนในระบบ

จากนั้น ให้เพิ่มค่าตัวแปรระดับน้ำ (*h-y*) เข้าไปในระบบอีกร้อยละ 20 ซึ่งจากอัตราส่วนดังกล่าว คะแนนความเสี่ยงสูงสุดของค่าตัวแปรระดับน้ำ จะอยู่ที่ 4 คะแนนในระบบ เท่ากับ Potential failure type พอดี และเมื่อพิจารณาแล้วพบว่า การให้คะแนนความเสี่ยงด้านระดับน้ำ ควรมีค่าดังตารางที่ 26 เมื่อทราบค่า (*h-y*) แล้ว จึงพิจารณาคะแนนความเสี่ยงจากระดับน้ำ Water level (WL) จากนั้น ใช้สมการเพื่อหาค่า NVS ได้จาก

$$NVS = (0.8\ VS) + (WL) \quad \textbf{(1)}$$

ตารางที่ 26 เงื่อนไขคะแนน สำหรับการประเมินความเสี่ยงด้านระดับน้ำ

ช่องว่างระหว่างท้องสะพานและผิวน้ำ (h-y)	คะแนนความเสี่ยง (WL)
< 0.5 m	4
0.5 m - 0.99 m	3
1.00 m - 1.49 m	2
1.50 m - 1.99 m	1
>= 2.0 m	0

เมื่อคำนวณค่า NVS ได้ดังสมการที่ (1) แล้วจะสามารถพิจารณาความเสี่ยงของการพังทลายของสะพานได้ทันที โดยคะแนนและเงื่อนไขต่างๆ สามารถพิจารณาได้ดังตารางที่ 27 และควรมีการดำเนินการตามที่ได้นำเสนอไว้

ตารางที่ 27 เงื่อนไขคะแนน สำหรับการประเมินความเสี่ยงจำแนกตามกลุ่มสะพาน

คะแนน NVS	กลุ่มสะพาน
0	ไม่ต้องการการซ่อมแซมใดๆ
1-8	ไม่ต้องการการซ่อมแซมใดๆ แต่ควรมีการบำรุงรักษาสม่ำเสมอ
9-12	มีการบำรุงรักษาสม่ำเสมอ มีการเฝ้าระวังพฤติกรรมโครงสร้าง
13-14	มีการบำรุงรักษาสม่ำเสมอ มีการเฝ้าระวังพฤติกรรมโครงสร้าง และซ่อมแซมปรับปรุงบางส่วนเพื่อความปลอดภัย
15	ซ่อมแซมปรับปรุงโครงสร้างจำนวนมากเพื่อความปลอดภัย
16-20	ซ่อมแซมปรับปรุงโครงสร้างเกือบทั้งสะพานเพื่อความปลอดภัย

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาพบว่า มาตรฐาน Hydraulic Vulnerability Manual ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย New York State Department of Transportation สามารถนำไปปฏิบัติได้ง่าย เนื่องจากเป็นการเก็บสำรวจข้อมูลภาคสนาม และมีขั้นตอนการทำงานที่สามารถเข้าใจง่าย และลงมือปฏิบัติได้จริงในพื้นที่โดยไม่ต้องใช้เทคโนโลยีสูง และเมื่อนำเอาข้อดีของ Hydraulic Vulnerability Manual มาใช้ร่วมกับการปรับแก้วิธีการบางส่วนให้เหมาะสมกับประเทศไทย ซึ่งปัญหาน้ำท่วมทำให้สะพานส่วนบนเกิดการชำรุดเสียหาย จะทำให้สามารถประเมินความเสี่ยงการพังทลายของสะพานจากปัญหาน้ำท่วมได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถประเมินความเสี่ยงได้เหมาะสมกับพฤติกรรมของโครงสร้างที่ตั้งอยู่ในประเทศไทยได้อีกด้วย อย่างไรก็ดี หากมีการปรับเทียบสมการและวิธีการให้แม่นยำยิ่งขึ้นและสามารถประยุกต์ใช้ให้เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีการใช้งานผ่านแอพพลิเคชั่นทางโทรศัพท์หรือแท็บเล็ตและดึงข้อมูลไปใช้งานแบบ real-time จะช่วยให้ระบบดังกล่าวใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการการสร้างความเข้มแข็งให้กับหน่วยวิจัยในภาควิชาวิศวกรรมโยธา มจธ. สัญญาเลขที่ CE-KMUTT 5906

7. เอกสารอ้างอิง

1. Melville, B.W. and Coleman, S.E., 2000, Bridge Scour, Water Resources Publications, Highlands Ranch, USA.

2. Briaud, J.L., Ting, F., Chen, H.C., Cao, Y., Han, S.W. and Kwak, K., 2001, "Erosion Function Apparatus for Scour Rate Predictions," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127 (2), pp. 105-113.

3. Briaud, J.L., Chen, H., Li, Y., Nurtjahyo, P. and Wang, J., 2005, "SRICOS-EFA Method for Contraction Scour in Fine-grained Soils," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 131 (10), pp. 1283-1294.

4. Wardhana, K. and Hadipriono, F.C., 2003, "Analysis of Recent Bridge Failure in the United States," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 17 (3), pp. 144-150.

5. Shirole, A.M. and Holt, R.C., 1991, Planning for a Comprehensive Bridge Safety Assurance Program, Transport Research Record, Washington DC, pp. 137-142.

6. Briaud, J.L., Ting, F., Chen, H.C., Gudavalli, R., Perugu, S. and Wei, G., 1999, "SRICOS: Prediction of Scour Rate in Cohesive Soils at Bridge Piers," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125 (4), pp. 237-246.

7. Catbas, F.N., Susoy, M. and Frangopol, D.M., 2008, "Structural Health Monitoring and Reliability Estimation: Long Span Truss Bridge Application with Environmental Monitoring Data," *Engineering Structures*, 30, pp. 2347-2359.

8. Prendergast, L.J., Hester, D., Gavin, K. and O'Sullivan, J.J., 2013, "An Investigation of the Changes in the Natural Frequency of a Pile Affected by Scour," *Journal of Sound and Vibration*, 332 (25), pp. 6685-6702.

9. May, R.W.P., Ackers, J.C. and Kirby, A.M., 2002, Manual on Scour at Bridges and other Hydraulic Structures, London.

10. Heidarpour, M., Afzalimehr, H. and Izadinia, E., 2010, "Reduction of Local Scour around Bridge Pier Groups using Collars," *International Journal of Sediment Research*, 25, pp. 411-422.

11. Foti, S., and Sabia, D., 2011, "Influence of Foundation Scour on the Dynamic Response of an Existing Bridge," *Journal of Bridge Engineering*, 16, pp. 295-304.

12. Heron, B. and Bowe, C., 2012, Bridge Scour Investigation: Developing a Screening and Hydraulic Vulnerability Rating System for Bridge

[Online], Available : http://www.ocsc.ie/wp-content/uploads/2012/10/Bridge-Scour-Investigation-Developing-a-Screening-and-Hydraulic-Vulnerability-Rating-System-for-Bridges-by-B.-Heron-OCSC-and-C.-Bowe-IE.pdf.

13. U.S. Department of Transportation, 2012, Evaluating Scour at Bridges, Publication No. FHWA-HIF-12-003, USA.

14. Highways Agency, 2006, Design Manual for Roads and Bridges BA 74/06, Assessment of Scour at Highway Bridges, London.

15. Poka, S., Sangtian, N., Sriworamas, K. and Kaewkulchai, G., 2008, "Considerations in Design of Highway and Bridge in Large Flood Plain, A Case Study: Ubon Ratchathani," *Proceedings of the 3rd Seminar on Highway Engineering*, Bangkok, Thailand, pp. 731-740. (In Thai)

16. Bureau of Highway Maintenance Management Singh Buri Province, Department of Highways, Manual on Flood Prevention and Management. (In Thai)

17. New York State Department of Transportation, 2003, Hydraulic Vulnerability Manual, New York State Department of Transportation, USA.