



หลักเกณฑ์การตรวจสอบโครงสร้างสะพานและการวางแผนเพื่อซ่อมบำรุงรักษา: กรณีศึกษาเกณฑ์ที่ใช้ในประเทศไทยและต่างประเทศ

ธวัชชัย ปัญญาคิด*

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร
* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: thawatchai@rmuttko.ac.th

วันที่รับบทความ: 12 ธันวาคม 2023; วันที่ทบทวนบทความ: 13 มีนาคม 2024; วันที่ตอบรับ: 28 มีนาคม 2567
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 28 เมษายน 2567

บทคัดย่อ: สะพานเป็นองค์ประกอบสำคัญและมีคุณค่าต่อโครงสร้างพื้นฐานทางบกและทางราง ดังนั้นการแก้ไขสะพานจึงสำคัญต่อผู้จัดการสินทรัพย์และวิศวกร แต่อย่างไรก็ตาม การวางแผนของสะพานเมื่อถูกใช้งานไปนานๆ ก็จะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างต่อเนื่องตามอายุการใช้งาน การตรวจสอบสภาพการใช้งานของสะพานและการซ่อมบำรุงรักษาจึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะช่วยยืดอายุการใช้งานและลดต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาโครงสร้างสะพานให้มีความมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยอย่างปลอดภัย ประเทศญี่ปุ่น และ สหรัฐอเมริกา ในฐานะประเทศที่พัฒนาแล้วต่างก็เคยประสบปัญหาการเสื่อมสภาพของสะพานเนื่องจากอายุการใช้งานที่มากขึ้น ทำให้ทั้งสองประเทศนี้ได้มีการพัฒนาระบบการตรวจสอบสภาพของสะพานและวิธีการซ่อมบำรุงรักษาสะพานมาก่อนแล้ว สำหรับประเทศไทยและประเทศในเอเชียอื่น ๆ นั้นถือว่าเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาจึงยังคงต้องมีการดำเนินการพัฒนาฝีมือเพื่อเป็นแนวทางในการตรวจสอบสะพานและวิธีการซ่อมบำรุงรักษาให้มีความเหมาะสมที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการเดินทางรวมทั้งระบบการขนส่งเพื่อรองรับการพัฒนาด้านเศรษฐกิจของประเทศ บทความนี้ได้นำเสนอมาตรการในการตรวจสอบสะพานที่มีประสิทธิภาพโดยการเปรียบเทียบระหว่างประเทศไทยและประเทศอื่น ๆ ได้แก่ ประเทศ สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น กับประเทศที่กำลังพัฒนาซึ่งได้แก่ประเทศไทยและประเทศในเอเชียอื่น ๆ โดยบทความนี้ได้นำเสนอเอกสารที่ใช้อ้างอิงในการตรวจสอบสะพาน การเตรียมบุคคลากรหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการตรวจสอบสะพาน และการกำหนดระดับการเสื่อมสภาพของสะพานในแต่ละประเภท เพื่อให้ผู้ดูแลหรือเกี่ยวข้องของแต่ละประเทศ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาสะพานต่อไป

คำสำคัญ: การเสื่อมสภาพ; การตรวจสอบสะพาน; การซ่อมบำรุงสะพาน



The Criteria for Bridge Structures Inspecting and Planning for Maintenance: A Case Study of Thailand and the Other Countries

Thawatchai Phanyakit*

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangkok

* Corresponding author, E-mail: thawatchai_ph@rmutto.ac.th

Received: 12 December 2023; Revised: 13 March 2024; Accepted: 28 March 2024

Online Published: 28 April 2024

Abstract: Bridges are critical and valuable components of any road and rail transportation network. Therefore, bridge remediation has always been a top priority for asset managers and engineers. However, long-term use of bridge structure leads to deterioration. Therefore, bridge inspection and bridge maintenance are needed to gain maximum efficiency of bridge serviceability and safety. Developed countries like Japan and USA have encountered more deteriorated bridges due to old age or long use. As a result, both countries have developed manuals for bridge inspection and maintenance. Thailand and Indonesia, as developing countries, are still developing their own manual to support transport system for national economic development purpose. This article presents the criteria for inspecting bridge structures and planning for maintenance compared between developed countries, such as USA and Japan and developing countries, such as Thailand and Indonesia. In addition, it also reports references for bridge inspection, preparation of persons involved in bridge inspection, and specification of bridge deterioration levels that persons involved in each country can apply them to bridge maintenance planning.

Keywords: Deterioration; Bridge inspection; Maintenance bridge



1. บทนำ

การเสื่อมสภาพของสินทรัพย์เชิงโครงสร้างเป็นปัญหาทั่วไปที่เกิดขึ้นทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อบกพร่องที่เกี่ยวข้องกับอายุของสะพานได้กลายเป็นปัญหาสำคัญที่วิศวกร ผู้จัดการสินทรัพย์ และสังคมทั่วโลกต้องเผชิญ [1] การเสื่อมสภาพส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากการขนส่งสินค้า น้ำหนักเพลาที่มากเกินไป สถานการณ์แวดล้อม และอายุที่มากขึ้น [1-2] การเพิ่มขึ้นของอายุเป็นกลไกที่หลีกเลี่ยงไม่ได้สำหรับโครงสร้างพื้นฐานโยธาทุกประเภท ดังนั้นควรดำเนินการตรวจสอบเป็นประจำเพื่อติดตามการเสื่อมสภาพซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานของสะพานสั้นลงเพื่อรักษาประสิทธิภาพของโครงสร้างสะพานที่เหมาะสมที่สุดในระหว่างการให้บริการ นอกจากนี้กิจกรรมการตรวจสอบควรได้รับการพิจารณาเป็นกระบวนการตัดสินใจด้านกลยุทธ์ที่จำเป็นในการรักษาสะพานเนื่องจากมีข้อจำกัดด้านต้นทุน

ประเทศญี่ปุ่นได้มีการจัดสรรต้นทุนการบำรุงรักษาสะพานมากถึง 17 ล้านเหรียญสหรัฐ จากสะพานที่มีอยู่ 730,000 แห่งในประเทศ โดยประมาณร้อยละ 10 ของสะพานจะเสื่อมสภาพเนื่องจากอายุที่มากขึ้นในปี 2570 โดยสะพานส่วนใหญ่มีอายุ 50 ปีขึ้นไป [3]

เช่นเดียวกับสหรัฐอเมริกา ปัจจุบันมีสะพานทั้งหมดกว่า 7,000 แห่งทั่วประเทศโดยประมาณร้อยละ 42 ของสะพานทั้งหมดมีถึงขีดสุดอายุการใช้งาน (อายุ 50 ปีขึ้นไป) และอีกกว่าหนึ่งในสามมีสภาพใช้งานหรือมีข้อบกพร่องในโครงสร้าง ในระดับปานกลาง และขออนุมัติงบประมาณ 125 พันล้านเหรียญสหรัฐสำหรับการฟื้นฟูหรือปรับปรุงในปี 2014 [4-5] สะพานเก่าแก่ตั้งนั้น ทั้งสองประเทศจึงได้พัฒนาเอกสารและคู่มือ

สำหรับการตรวจสอบสะพานและวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาเพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ในด้านระบบการจัดการสะพาน

สำหรับประเทศไทยเริ่มมีการสร้างโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญรวมทั้งสะพานในช่วงปี 1980 [6] หน่วยงานที่รับผิดชอบคือ กรมทางหลวง Department of Highway, DOH ซึ่งได้ริเริ่มโครงการทางหลวงแห่งเดนมาร์กในปี 1989 เพื่อสร้างระบบการจัดการและบำรุงรักษาสะพาน (Bridge Management and Maintenance System (BMMS) สำหรับสะพานทางหลวงคอนกรีตในประเทศไทย [8, 9] แต่ BMMS ไม่สามารถนำกลับมาใช้งานได้ในปัจจุบันได้ [8] อย่างไรก็ตาม มีสะพานร้อยละ 12 (สะพาน 1,818 แห่ง) ของสะพานทั้งหมดที่มีอยู่ทั้งหมดในประเทศส่วนใหญ่จะมีอายุมากกว่า 50 ปีในปี 2024 ซึ่งต้องการการบำรุงรักษาในระดับที่สูง ดังนั้น ประเทศไทยจึงเตรียมแผนการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานโดยมีการจัดสรรงบประมาณสูงถึงกว่า 63 พันล้านเหรียญสหรัฐสำหรับสะพานเกือบ 15,000 แห่ง ตั้งแต่ปี 2013 ถึง 2020 [6]

ในขณะเดียวกัน รัฐบาลอินโดนีเซียได้จัดสรรงบประมาณ 42 พันล้านเหรียญสหรัฐตั้งแต่ปี 2013 ถึง 2018 ให้กับกระทรวงโยธาธิการและการเคหะ (Ministry of Public Works and Public Housing) ประเทศอินโดนีเซียเพื่อพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน ซึ่งงบประมาณในส่วนนี้ถูกจัดสรรไว้สำหรับงานสะพาน แหล่งน้ำ ทางหลวง ที่อยู่อาศัย และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด อินโดนีเซียมีแม่น้ำมากกว่า 330 สาย จนถึงปี 2019 มีการสร้างสะพานมากกว่า 18,000 แห่งทั่วประเทศ [7] แม้ว่าจะมีการสร้างสะพานจำนวนมาก





แต่มาตรฐานระบบการจัดการสะพานก็ยังไม่ดีขึ้น ซึ่งมาตรฐานล่าสุดอยู่ในช่วงปลายปี 1993 ระบบปัจจุบันกำหนดให้หน่วยงานตรวจสอบสะพานอยู่ภายใต้อำนาจของรัฐบาลแต่ละจังหวัดโดยไม่มีกฎเกณฑ์ที่เข้มงวดว่าจะต้องดำเนินการตรวจสอบบ่อยเพียงใด

สำหรับประเทศไทยและอินโดนีเซียนั้นถือว่าเป็นประเทศที่อยู่ในฐานะประเทศที่กำลังพัฒนาจึงมีความจำเป็นที่จะต้องคิดวิธีและสร้างคู่มือในการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพานให้มีความเหมาะสมที่สุดอย่างต่อเนื่องเท่าที่จะสามารถทำได้ในปัจจุบัน

ดังนั้นการปรับปรุงเอกสารการตรวจสอบสะพานจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องมีการคิดค้นขึ้นมาเพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของแต่ละประเทศ จากการศึกษาและทบทวนงานวิจัยเพื่อหาแนวทางปฏิบัติที่เป็นไปในปัจจุบันเกี่ยวกับการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพานที่ใช้ใน 4 ประเทศได้แก่ ไทย อินโดนีเซีย ญี่ปุ่นและสหรัฐอเมริกา บทความนี้จะสรุปผลการศึกษานี้เกี่ยวกับการตรวจสอบ บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบ และวิธีการประเมินสภาพสะพานเพื่อช่วยให้ผู้ดูแลโครงข่ายสะพานของประเทศที่กำลังพัฒนาสามารถนำแนวทางปฏิบัติที่นำมาใช้ในการพัฒนาหรือสร้างระบบการตรวจสอบและการบำรุงรักษาสะพาน

1.1 เอกสารอ้างอิงในการตรวจสอบสะพาน

การตรวจสอบสะพานคาดว่าจะเพิ่มขึ้นไปทั่วโลก ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัญหาดังกล่าว ประเทศอินโดนีเซียดำเนินการตรวจสอบสภาพสะพานโดยใช้ระบบการจัดการสะพานระหว่างเมือง หรือ Interurban Bridge Management System (IBMS) ประเทศที่พัฒนาแล้วบางประเทศเช่นสหรัฐอเมริกา

และญี่ปุ่นได้พัฒนาและปรับปรุงคู่มือการตรวจสอบสะพานเพื่อวัตถุประสงค์ด้านระบบการตรวจสอบสะพานในขณะเดียวกันที่ประเทศไทยได้ตั้งระบบการจัดการและบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) ซึ่งเป็นแนวทางในการตรวจสอบและซ่อมแซมการทบทวนขั้นตอนที่เหมาะสมและหนักแน่นซึ่งใช้ใน 4 ประเทศ (สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น ไทย และอินโดนีเซีย) สำหรับการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพานแสดงดังตารางที่ 1 [8-12]

1.2 วิธีการที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบสะพาน

บุคลากรในการรับรองและมีประสบการณ์เป็นสิ่งที่สำคัญต่อกระบวนการตรวจสอบสะพาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นจะต้องมีการฝึกอบรมการตรวจสอบให้แก่ผู้ตรวจสอบสะพานอย่างต่อเนื่อง ในตารางที่ 2 แสดงชื่อตำแหน่ง หน้าที่ และคุณสมบัติของเจ้าหน้าที่ที่ดำเนินการโครงการตรวจสอบสะพานในประเทศอินโดนีเซีย [12]

สำหรับหน่วยงานกรมทางหลวง (DOH) ภายใต้การกำกับของกระทรวงคมนาคม (Ministry of Transport, MOT) มีหน้าที่รับผิดชอบในการก่อสร้าง และการบำรุงรักษาโครงข่ายสะพานทั่วประเทศไทย ระบบการจัดการและบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) [11] ได้กำหนดอำนาจหน้าที่ความรับผิดชอบสำหรับเจ้าหน้าที่เป็นเพียงแค่ผู้ตรวจสอบสะพานเท่านั้น ซึ่งผู้ตรวจสอบสะพานมีอำนาจในการวางแผนการตรวจสอบสะพาน เตรียมการสำหรับตรวจสอบ ดำเนินการตรวจสอบ จัดทำรายงานการตรวจสอบว่าควรจะมีการดำเนินการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษาหรือไม่ ในคู่มือการตรวจสอบสะพานนั้นจะต้องมีการรับรองโดยผู้ตรวจสอบสะพานที่มีความ



เชี่ยวชาญในการตรวจสอบ และสามารถวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมสะพานได้อย่างชัดเจน ในทำนองเดียวกันระบบการจัดการและบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) ในประเทศญี่ปุ่นก็ไม่ได้มีคู่มือสำหรับการตรวจสอบสะพานตามระยะเวลา (Manual for Bridge Periodic Inspection MBPI) เช่นเดียวกันที่กำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติ ผู้ช่วยช่างเทคนิคและผู้ช่วยผู้ตรวจสอบสะพานเหมือนกับประเทศไทย อย่างไรก็ตาม ผู้ทำหน้าที่ตรวจสอบสะพานควรมีความเข้าใจเพียงพอในการตรวจสอบ ผู้ตรวจสอบสะพานจะต้องมีคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับการดำเนินงานภาคสนามและความเข้าใจขั้นพื้นฐานในการออกแบบและสร้างสะพาน นอกจากการตรวจสอบสะพานแล้ว ผู้จัดการตรวจสอบสะพานจำเป็นต้องมีใบอนุญาตเป็นผู้ตรวจสอบสะพานประกอบวิชาชีพวิศวกรรม หรือเรียกว่า ใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรม (Professional Engineer License) ในการออกแบบ การก่อสร้าง และจัดการสะพาน [10] นอกจากนี้ในญี่ปุ่น เช่น สำนักงานภูมิภาค (Regional Development Bureau) กระทรวงที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน การขนส่ง และการท่องเที่ยว (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism) รวมไปถึงเทศบาล บริษัททางด่วน และองค์กรสาธารณูปโภค จะตั้งกองกรมผู้ตรวจสอบจัดการ ประเมิน และรายงานตรวจสอบและซ่อมแซมที่รับผิดชอบในการอยู่ [3]

กรมการตรวจสอบและบำรุงรักษาสะพานในสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะสะพานที่เป็นของรัฐจะถูกดูแลโดยกรมการขนส่ง (Departments of Transportations, DOT) ของ แต่ละรัฐ [2] ในขณะที่เดียวกันองค์การบริหารทางหลวงของรัฐ หรือ

Federal Highway Administration (FHWA) มีหน้าที่รับผิดชอบด้านแผนการตรวจสอบสะพานแห่งชาติ รวมถึงการจัดสรรเงินทุนจากรัฐบาลผ่านทางหน่วยงานที่รวบรวมฐานข้อมูลสะพานแห่งชาติทั้งหมดของประเทศ (National Bridge Inventory, NBI) [13] ผู้ตรวจสอบสะพานแบ่งออกเป็น 4 ตำแหน่ง ซึ่งผู้ตรวจสอบสะพานดังกล่าวจะต้องจัดทำแผนการตรวจสอบสะพานและมีประสบการณ์อย่างน้อย 10 ปีในด้าน การตรวจสอบสะพาน สำหรับตำแหน่งนี้จะต้องผ่านการฝึกอบรมการตรวจสอบสะพานและมีใบประกอบวิชาชีพและมีทั้งประสบการณ์ร่วมการตรวจสอบสะพานเป็นเวลา 2 ปี และมีใบประกอบวิชาชีพ ต้องมีประสบการณ์ร่วมการตรวจสอบสะพานเป็นเวลา 5 ปี) ผู้ประเมินน้ำหนักบรรทุกควรจะเป็นวิศวกรมืออาชีพและตำแหน่งคนขับยานพาหนะที่ใช้เพื่อตรวจสอบสะพานในส่วนที่อยู่ใต้จำเป็นต้องมีการฝึกอบรมการตรวจสอบอย่างเข้มงวด [2, 9]

สหรัฐอเมริกา มีเอกสารอ้างอิงสำหรับการตรวจสอบสะพานที่ครอบคลุมและทันสมัยกว่าเมื่อเทียบกับอีกสามประเทศ เอกสารอ้างอิงของสหรัฐระบุตำแหน่งเจ้าหน้าที่สะพาน หน้าที่ และคุณสมบัติอย่างละเอียดและเจาะจงมากขึ้นหมายความว่าเอกสารที่ใช้อ้างอิงของสหรัฐอเมริกาเป็นผลมาจากเทคโนโลยีการพัฒนา วัสดุ เทคนิคการประเมิน และวิธีการก่อสร้างเพื่อจัดการกับความท้าทายในปัจจุบันของปัญหาสะพาน

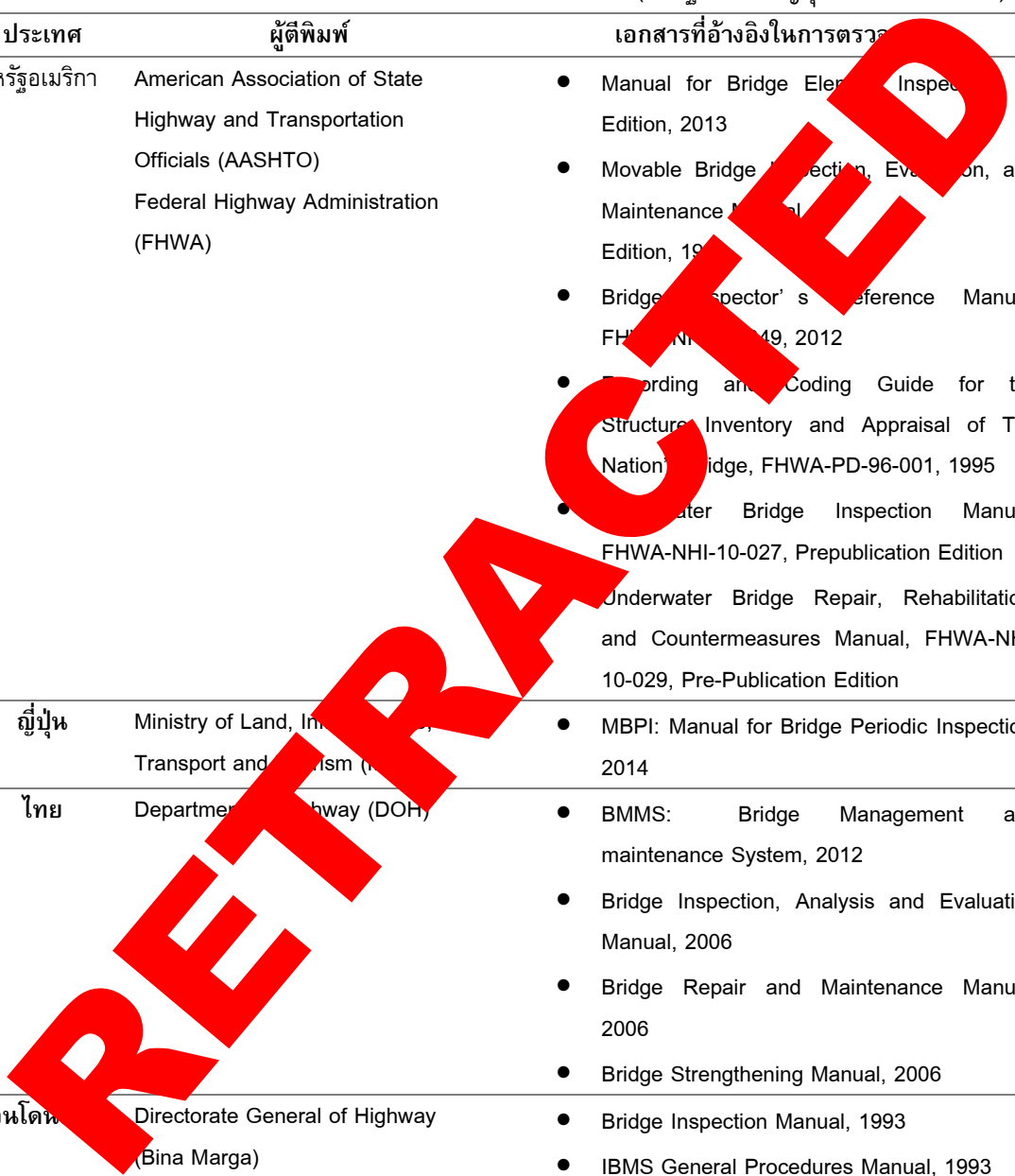
ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเอกสารอ้างอิงที่ในการตรวจสอบสะพานเพื่อสร้างมาตรฐานและลดความซับซ้อนของขั้นตอนที่บังคับใช้ในทุกพื้นที่ของประเทศ





ตารางที่ 1 ตัวอย่างขั้นตอนและเอกสารที่ใช้อ้างอิงใน 4 ประเทศ (สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น ไทย อินโดนีเซีย) [12]

ประเทศ	ผู้ตีพิมพ์	เอกสารที่อ้างอิงในการตรวจ
สหรัฐอเมริกา	American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Federal Highway Administration (FHWA)	<ul style="list-style-type: none"> ● Manual for Bridge Element Inspection, 1st Edition, 2013 ● Movable Bridge Inspection, Evaluation, and Maintenance Manual, 1st Edition, 1993 ● Bridge Inspector's Reference Manual, FHWA-NHI-10-049, 2012 ● Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of The National Bridge, FHWA-PD-96-001, 1995 ● Underwater Bridge Inspection Manual, FHWA-NHI-10-027, Prepublication Edition ● Underwater Bridge Repair, Rehabilitation, and Countermeasures Manual, FHWA-NHI-10-029, Pre-Publication Edition
ญี่ปุ่น	Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT)	<ul style="list-style-type: none"> ● MBPI: Manual for Bridge Periodic Inspection, 2014
ไทย	Department of Highway (DOH)	<ul style="list-style-type: none"> ● BMMS: Bridge Management and maintenance System, 2012 ● Bridge Inspection, Analysis and Evaluation Manual, 2006 ● Bridge Repair and Maintenance Manual, 2006 ● Bridge Strengthening Manual, 2006
อินโดนีเซีย	Directorate General of Highway (Bina Marga)	<ul style="list-style-type: none"> ● Bridge Inspection Manual, 1993 ● IBMS General Procedures Manual, 1993 ● Bridge Maintenance and Rehabilitation Manual, 1993 ● Bridge Design Code Vol. 1, 1992





ตารางที่ 2 บุคลากรที่เกี่ยวข้องในการดำเนินงานตรวจสอบสะพานในประเทศไทยอินโดนีเซีย

ตำแหน่ง	หน้าที่	คุณสมบัติ
คณะกรรมการออกแบบสะพานสำนักทางหลวง (The Sub-Directorate of Bridge Design of Directorate General of Highways, DGH)	<ul style="list-style-type: none"> จัดเตรียมแผนการตรวจสอบ วางกลยุทธ์การตรวจสอบ กำหนดแผนการฝึกอบรมให้แก่ผู้ตรวจสอบสะพาน ทดสอบคุณสมบัติและออกไปรับรองให้เป็นผู้สามารถตรวจสอบสะพานได้ 	- ไม่ระบุ
ผู้ตรวจสอบสะพานระดับจังหวัด (Provincial bridge inspectors)	<ul style="list-style-type: none"> เตรียมแผนงานในการตรวจสอบ กำหนดและดำเนินการมาตรฐานการตรวจสอบสะพานทั้งหมด นำข้อมูลรายการตรวจสอบสะพานเข้าสู่ระบบระบบการจัดการและบำรุงรักษาสะพาน (BMS) ติดต่อประสานงานกับ Bina Marg เพื่อจัดพื้นที่เพื่อการศึกษาตรวจสอบ จัดตั้งคู่มือเกี่ยวกับขั้นตอนการตรวจสอบ จัดหาบุคลากรตรวจสอบ BMS และ 	<ul style="list-style-type: none"> จบปริญญาตรีด้านวิศวกรรมโยธา มีประสบการณ์อย่างน้อย 5 ปีเกี่ยวกับงานด้านสะพาน
เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ (Inspectors)	<ul style="list-style-type: none"> รับผิดชอบต่อความปลอดภัยของสาธารณะชน รับผิดชอบต่อความปลอดภัยตนเองของผู้ตรวจสอบ 	- ไม่ระบุ

2. ประเภทของการตรวจสอบ

การตรวจสอบสะพานมีหลายประเภท แต่โดยทั่วไปการตรวจสอบจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การตรวจสอบตามปกติ การตรวจสอบเชิงลึก และการตรวจสอบพิเศษ นอกจากนี้ ระยะเวลาการหยุดพักการตรวจสอบจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับผลการตรวจสอบครั้งก่อนหน้า [2] ในสหรัฐอเมริกามีการใช้ระดับการตรวจสอบสะพาน 7 ประเภทตาม AASHTO และ FHWA ซึ่งการ

ตรวจสอบเบื้องต้นจะทำได้ตามปกติเมื่อสะพานเพิ่งเปิดใช้ ในขณะที่เดียวกันการตรวจสอบตามปกติจะดำเนินการในเวลาน้อยกว่า 24 เดือน นอกจากนี้ การตรวจสอบภาวะวิกฤตการแตกหัก (Fracture-Critical inspection) จะดำเนินการภายในเวลาไม่ถึง 24 เดือน จากนั้น การตรวจสอบได้นำจะดำเนินการในเวลาน้อยกว่า 60 เดือน การตรวจสอบอื่น ๆ เช่น การตรวจสอบความเสียหายการตรวจสอบเชิงลึก และการตรวจสอบพิเศษจะดำเนินการตามช่วงเวลาต่าง ๆ [2, 7-9]



ข้อมูลการตรวจสอบทั่วไปจะทำการรวบรวมและรายงานต่อรัฐบาลกลางทุกปี

การตรวจสอบตามปกติเป็นประเภทการตรวจสอบสะพานประเภทเดียวที่กำหนดโดยประเทศญี่ปุ่นอย่างเป็นทางการ ซึ่งการตรวจสอบก่อนหน้านี้จะดำเนินการไม่เกิน 2 ปี หลังจากที่เปิดให้ประชาชนใช้งานภายใต้ระเบียบของคู่มือสำหรับการตรวจสอบสะพานตามระยะเวลา (Manual for Bridge Periodic Inspection MBPI) จากนั้น การตรวจสอบตามปกติจะดำเนินการทุก ๆ 5 ปีตามการตรวจสอบ MBPI โดยวิธีการตรวจสอบด้วยสายตาอย่างใกล้ชิด ส่วนการตรวจสอบตามระยะเวลานั้นไม่ได้ระบุในเอกสารคู่มือสำหรับการตรวจสอบสะพานตามระยะเวลา (MBPI) อย่างไรก็ตาม กระบวนการที่ดิน โครงสร้างพื้นฐาน การขนส่ง การท่องเที่ยว และ หน่วยงาน (Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MITI)) ได้ทำการตรวจสอบบางอย่างที่จำเป็นเป็นประจำเพื่อประเมินสภาพ (Degradation Category) และความรุนแรง (Harshness) [2] ประเทศญี่ปุ่นที่ไม่ได้ดำเนินการตรวจสอบทั่วไป การตรวจสอบขั้นต้นและการตรวจสอบในขณะที่เกิดความผิดปกติและการตรวจสอบเฉพาะ (เช่น ความเสียหาย การดัดแปลง ปฏิบัติการที่รวมตัวกับต่าง เป็นต้น) ประเทศญี่ปุ่นมีหน้าที่ในการจัดการจราจรที่คับคั่งทางหลวงโดยเริ่มตั้งแต่การตรวจสอบสะพาน การดำเนินการ ไปจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการด้วยการบันทึก

ระบบการจัดการและบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) ของประเทศไทยได้กำหนดการตรวจสอบสะพานออกเป็น 3 ประเภทตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง

ของไทย (DOH) ดังนั้น ในประเทศไทยจึงมีการตรวจสอบเป็นประจำทุกปีโดยกำหนดให้ระดับสภาพของสะพานโดยรวม (Overall Condition Rating, OCR) น้อยกว่า 3 ($OCR < 3$) จะถูกตรวจสอบด้วย $OCR \geq 4$ การตรวจสอบดังกล่าวดำเนินการทุก 4 ปีโดยค่า $OCR \leq 3$ และจะตรวจสอบด้วย $OCR \geq 4$ ในขณะเดียวกัน การตรวจสอบจะดำเนินการตามช่วงเวลาตามข้อกำหนดเนื่องจากการตรวจสอบเพิ่มเติมหลังจากที่ความเสียหายของสะพาน [8]

การตรวจสอบโครงสร้างสะพาน 4 ประเภทในรูปแบบของผู้อำนวยความสะดวกทั่วไปของ Bina Marga (Directorate General of Bina Marga) ของอินโดนีเซียแสดงดังรูปที่ 1 การตรวจสอบวัสดุสามารถดำเนินการได้ตั้งแต่อันแรกจากนั้นจึงดำเนินการตรวจสอบโดยละเอียดในช่วงระยะเวลาสูงสุด 5 ปี โดยจะทำการตรวจสอบเป็นประจำทุกปี นอกจากนี้กำหนดการในการตรวจสอบพิเศษนั้นยังไม่มีมาตรฐานชัดเจน เนื่องจากการตรวจสอบประเภทนี้จะดำเนินการในกรณีพิเศษเท่านั้น เช่น เมื่อผู้ตรวจสอบประสบปัญหาการขาดบุคลากรที่มีการฝึกอบรม และมีประสบการณ์ [12] นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบทั่วไปด้วยสายตาของทั้ง 4 ประเทศ ซึ่งข้อดีคือจะช่วยให้ได้รับข้อมูลการตรวจสอบที่แม่นยำ ถูกต้อง และเป็นปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม ผลการตรวจสอบข้อมูลขึ้นอยู่กับวิจรณ์ญาณของผู้ตรวจสอบสะพาน ด้วยเหตุนี้ผลลัพธ์ของข้อมูลการตรวจสอบจึงบ่งบอกถึงวิธีการที่อาจจะแฝงด้วยอคติ ดังนั้น ทักษะและประสบการณ์ของผู้ตรวจสอบสะพานจึงมีความสำคัญเนื่องจากความรับผิดชอบของผู้ตรวจสอบสะพาน





3. ระบบการจัดระดับสภาพของสะพาน

คุณภาพการจัดการสะพานขึ้นอยู่กับข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของสะพาน ดังนั้น การจัดระดับสภาพของโครงสร้างสะพานจึงเป็นสิ่งสำคัญ ระบบการจัดระดับสภาพจะเป็นการประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างสะพานเพื่อคาดการณ์โอกาสการเสื่อมสภาพของสะพาน [2] ทำให้สามารถกำหนดแผนการเร่งด่วนในการบำรุงรักษาและการฟื้นฟูตามระยะเวลาได้อย่างเหมาะสม ระบบการจัดระดับสภาพของสะพานทั้ง 3 ประเทศ นั่นคือ สหรัฐอเมริกา ไทย และอินโดนีเซียสามารถจำแนกได้ตามลักษณะทางกายภาพของสภาพองค์ประกอบสะพานที่ปรากฏ เช่น โครงสร้างส่วนล่างของสะพาน (Substructure) โครงสร้างส่วนบน (Superstructure) และพื้นสะพาน (Deck) การจัดระดับสภาพของสะพานในประเทศไทยจะประยุกต์ใช้การประเมินเชิงพรรณนาเกี่ยวกับชิ้นส่วนของโครงสร้างสะพาน จากนั้นทำการแบ่งระดับสภาพของสะพานตามอยู่ในเชิงตัวเลขโดยมีตั้งแต่ระดับ 5 คือ อยู่สภาพดีมาก จนถึงระดับรุนแรง นั่นคือ ระดับ 0 ดังตารางที่ 3 [12] การแบ่งระดับสภาพของสะพานในประเทศไทยนั้นตรงกันข้ามกับระดับสภาพของอินโดนีเซียซึ่งเรียงจากระดับของสภาพสะพานจากตัวเลข 0 ถึง 5 ดังตารางที่ 4 ในการประเมินสภาพของสะพานประกอบแต่ละส่วนและการกำหนดระดับสภาพของสะพานไม่ว่าจะเป็นระดับ "ดีเยี่ยม" "พอใช้" หรือ "รุนแรง" ของแต่ละองค์ประกอบนั้น จะพิจารณาตามวิธีมาตรฐานและประสบการณ์ทางวิศวกรรมของวิศวกรตรวจสอบสะพาน [12]

การแบ่งระดับสภาพของสะพานในประเทศไทยนั้นตรงกันข้ามกับระดับสภาพของอินโดนีเซียซึ่งเรียงจากระดับของสภาพสะพาน จากตัวเลข 0 ถึง 5 ดังตารางที่ 4

วิธีการประเมินระดับสภาพของสะพานที่ใช้ในญี่ปุ่นนั้นเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติจริง (การดำเนินการติดตามผล) การตีความข้อมูลการตรวจสอบสะพานที่ขึ้นอยู่กับในการจัดระดับความเร่งด่วนในการซ่อมแซมสะพานตามจำเป็นในแต่ละระดับดังต่อไปนี้ [5]

ตารางที่ 3 การจัดระดับสภาพของสะพานในประเทศไทย [12]

ระดับ	คำอธิบาย
5	ดีเยี่ยม ไม่มีข้อบกพร่องหรือโครงสร้างใหม่
4	สภาพดี มีการพิจารณาถึงการบำรุงรักษา การซ่อมแซม และการบำรุงรักษาตามกำหนดเวลาอย่างสม่ำเสมอ
3	พอใช้ โครงสร้างอยู่ในสภาพพอใช้ และต้องได้รับการพิจารณาซ่อมแซมและบำรุงรักษาตามกำหนดเวลา
2	ปกติ สภาพชำรุดซึ่งต้องได้รับการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษาเป็นพิเศษ
1	รุนแรง ข้อบกพร่องที่รุนแรงของโครงสร้างสะพานต้องได้รับการซ่อมแซมหรือบูรณะอย่างเร่งด่วนเพื่อให้กลับคืนสู่สภาพเดิม
0	เสื่อมสภาพ โครงสร้างสะพานได้รับความเสียหายอย่างรุนแรงจนต้องดำเนินการรื้อถอนและสร้างใหม่



รูปที่ 1 ขั้นตอนการตรวจสอบสะพานในอินโดนีเซีย [12]



บทความวิชาการ

ตารางที่ 4 การจัดระดับสภาพของสะพานในประเทศไทยอินโดนีเซีย [12]

ระดับ	คำอธิบาย
0	ไม่มีข้อบกพร่องหรือโครงสร้างใหม่
1	มีข้อบกพร่องเล็กน้อยมาก แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อด้านความปลอดภัยและการให้บริการของสะพาน
2	มีข้อบกพร่องที่ต้องตรวจสอบหรือบำรุงรักษาในอนาคต
3	มีข้อบกพร่องที่ต้องตรวจสอบหรือบำรุงรักษาทันทีเพราะอาจส่งผลร้ายแรงภายใน 12 เดือน
4	มีสภาพวิกฤตและข้อบกพร่องร้ายแรงที่ต้องดำเนินการทันที
5	วัสดุเกิดความเสียหายหรือไม่สามารถใช้งานได้ อีกต่อไป

ตารางที่ 5 ระดับการประเมินระดับความเสียหายในการซ่อมบำรุงรักษาสะพานในประเทศไทย [10]

ระดับ	คำอธิบาย
A	ไม่จำเป็นต้องซ่อมแซม
B	ไม่จำเป็นต้องซ่อมแซมเร่งด่วน
C1	จำเป็นต้องซ่อมแซมทันทีสำหรับการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
C2	จำเป็นต้องซ่อมแซมโดยด่วนเพื่อความเสียหายของโครงสร้างสะพาน
E1	จำเป็นต้องตอบสนองฉุกเฉิน เพื่อความเสียหายของโครงสร้างสะพาน
E2	จำเป็นต้องมีการตอบสนองฉุกเฉินเพิ่มเติม
M	จำเป็นต้องจัดการกับปัญหาด้านการบำรุงรักษา
S1	ต้องการการตรวจสอบอย่างละเอียด
S2	ต้องการการติดตามผลการซ่อมแซม

ซึ่งการตรวจสอบดำเนินการโดยวิศวกรที่มีประสบการณ์ [10] อย่างไรก็ตาม การติดตามผลนี้อาจทำให้ได้ข้อมูลไม่เพียงพอสำหรับการเสื่อมสภาพของสะพานในอนาคต ประสิทธิภาพและความเร็วในการบำรุงรักษาไม่ได้เป็นไปตามมาตรฐานตัวเลข เช่น ความถี่และระยะเวลาของรอยแตก ผลการประเมินระดับความเสียหายที่ซ่อมบำรุงรักษาจะจัดกลุ่มเป็นระดับความสมบูรณ์ดังตารางที่ 6 [2, 10] ความหมายของระดับคือการประเมินโครงสร้างสะพานที่สร้างขึ้น [10]

ระบบการวัดระดับความสมบูรณ์และระบบการจัดการความเสียหายในการซ่อมบำรุงรักษาควรดำเนินการแยกกัน อย่างไรก็ตาม โดยปกติจะดำเนินการตามขั้นตอนโดยที่ ระดับ "I" เท่ากับระดับ A และ B, ระดับ "II" มีค่าเท่ากับระดับ C1 และ M, เกรด "III" เท่ากับระดับ C2, และระดับ "IV" เทียบเท่ากับ E1 และ E2 หากการพิจารณาในระดับ I ถึง IV ไม่สามารถดำเนินการได้อย่างเหมาะสมและขาดการตรวจสอบอย่างละเอียด จะต้องจัดทำบันทึกผลกระทบดังกล่าวและดำเนินการตรวจสอบโดยละเอียดอย่างเร่งด่วนเพื่อให้ได้ผลที่จะต้องนำไปใช้สำหรับการพิจารณาตัดสินใจสำหรับระดับ I ถึง IV [10] การกำหนดระดับสภาพของสะพานในสหรัฐอเมริกาใช้วิธีการเดียวกันกับประเทศไทยและอินโดนีเซียแต่มีทางเลือกในการจำแนกประเภทมากกว่า ดังตารางที่ 7 ผู้มีอำนาจตัดสินใจสามารถนำประเภทการจัดระดับสภาพเหล่านี้ไปใช้ในการจัดการและกำหนดเวลาการซ่อมแซม/การฟื้นฟูสภาพสะพานที่เสื่อมโทรม [2] การเปรียบเทียบระบบการจัดระดับสภาพระหว่างสหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น ไทย และอินโดนีเซียแสดงดังตารางที่ 7 [2, 8 – 10, 12]



ตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่าการประเมินระดับในการตรวจสอบโครงสร้างสะพานระดับชาติ หรือ National Bridge Inspection (NBI) ของสหรัฐอเมริกา มีความละเอียดและเจาะจงมากกว่าระบบของอีกสามประเทศที่เหลือ แม้ว่าประเมินระดับจะมีลักษณะคล้ายกัน แต่คำอธิบายและคำนิยามที่กำหนดสำหรับแต่ละระดับนั้นต่างกัน ซึ่งระบบการประเมินระดับที่มีความละเอียดสูงจะช่วยลดความคลาดเคลื่อนในการประเมินสภาพของสะพาน ดังนั้น ระบบการประเมินระดับของสหรัฐอเมริกาจึงเป็นข้อมูลอ้างอิงที่ดีที่ประเทศอื่น ๆ สามารถนำไปใช้เพื่อการเปรียบเทียบ [2] ด้วยเหตุนี้การได้มาซึ่งข้อมูลอาจไม่สมบูรณ์สำหรับเป็นพื้นฐานในการตัดสินใจเกี่ยวกับลำดับความสำคัญในการจัดการสะพาน ระบบการประเมินระดับสภาพของสะพานในสหรัฐอเมริกา ไทย และอินโดนีเซียเป็นประโยชน์ในประเทศที่ต้องการที่จะคาดการณ์สถานการณ์การเสื่อมสภาพของสะพานได้อย่างไรก็ตาม ระบบการประเมินระดับสภาพที่ใช้ในประเทศอื่น ๆ นั้นเหมาะสมสำหรับประเทศที่ต้องการข้อมูลเบื้องต้นของการตัดสินใจ เนื่องจากต้องดำเนินการดำเนินการซ่อม

ตารางที่ 6 ระบบการประเมินระดับความสมบูรณ์ในประเทศญี่ปุ่น [12]

เกรด	สภาพ	คำอธิบาย
I	ดี	การให้บริการของสะพานไม่
II	การบำรุงรักษา	แต่การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
III	การซ่อมแซม	การให้บริการของสะพานอาจมีบกพร่อง และควรมีการประเมินตั้งแต่เนิ่นๆ
IV	การตอบสนองฉุกเฉิน	การให้บริการของสะพานมีบกพร่องหรือมีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นอย่างมาก และควรมีการประเมินอย่างเร่งด่วน

บำรุงทันทีเมื่อมีความจำเป็น โดยไม่มีข้อมูลในการทำนายการเสื่อมสภาพของสะพาน

ตารางที่ 7 ระบบการประเมินระดับสภาพของสะพาน ทั้ง 4 ประเทศ (อเมริกา ญี่ปุ่น ไทย และอินโดนีเซีย) [12]

การกำหนดสภาพสำหรับการตรวจสอบโครงสร้างสะพาน ((National Bridge Inspection, NBI)	อเมริกา	ญี่ปุ่น	ไทย	อินโดนีเซีย
	ระดับ NBI	ความสมบูรณ์	ระดับ BMMS	ระดับ BIM
สะพานที่พบข้อบกพร่องเล็กน้อย	9	I	5	0
พบข้อบกพร่องเล็กน้อยบางอย่าง	8		4	
พบการเสื่อมสภาพเล็กน้อยในองค์ประกอบโครงสร้าง	7	II		1
	6		3	2



ตารางที่ 7 (ต่อ)

การกำหนดระดับสภาพสำหรับการตรวจสอบ โครงสร้างสะพานระดับชาติ ((National Bridge Inspection, NBI)	อเมริกา	ญี่ปุ่น	ไทย	อินโดนีเซีย
	ระดับ NBI	ความ สมบูรณ์	BMM5	BIM
องค์ประกอบโครงสร้างพื้นฐานทั้งหมดแข็งแรง แต่อาจมี บางส่วนที่สูญหาย เสื่อมสภาพ หลุดร่อน หรือลอก	5			
การสูญเสียหน้าตัด การเสื่อมสภาพ การหลุดร่อน การหลุด ร่อนของคอนกรีตมีเพิ่มขึ้น	4			3
การสูญเสียหน้าตัด เป็นต้น ก่อให้เกิดความเสียหายต่อ โครงสร้างพื้นฐาน	3	III,		
มีการเสื่อมสภาพขององค์ประกอบโครงสร้างพื้นฐาน เพิ่มขึ้น				
การเสื่อมสภาพขนาดใหญ่หรือการสูญเสียหน้าตัด ชั้นส่วนโครงสร้างที่สำคัญ หรือเปลี่ยนแปลงแนวตั้ง แนวนอนที่ชัดเจนที่ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงของโครงสร้าง	1		1	4
สภาพย่อย นอกเหนือไปจากแผนการแก้ไข	0		0	5

4. สรุปผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลที่สำคัญในการตรวจสอบและประเมินสภาพโครงสร้างสะพานในประเทศอินโดนีเซีย ไทย ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกา โดยสังเขป ข้อเสนอแนะที่ได้คือการดำเนินการตรวจสอบสะพานและกลยุทธ์การบำรุงรักษาที่ใช้ใน 4 ประเทศ ดังที่กล่าวมาข้างต้นแตกต่างกัน แต่ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินสภาพมีความคล้ายคลึงกัน แต่ความแตกต่างที่สำคัญคือการขาดเอกสารที่ใช้อ้างอิงสำหรับการตรวจสอบสะพาน และแผนงานด้านบุคลากรที่เตรียมไว้เพื่อใช้ในการตรวจสอบสะพาน และระบบการจัดระดับของสภาพ ที่สามารถการใช้งานของสะพานได้อย่างปลอดภัยซึ่งข้อสรุปที่ได้นี้สามารถนำมาใช้เป็น

ประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องในประเทศกำลังพัฒนาสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการตรวจสอบโครงข่ายสะพานและวางกลยุทธ์การบำรุงรักษาได้โดยพบว่าการตรวจสอบโครงสร้างสะพานและกลยุทธ์การบำรุงรักษาของประเทศสหรัฐอเมริกามีความครอบคลุมและสอดคล้องกันมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าการตรวจสอบด้วยการชำรุดหรือเสื่อมสภาพของโครงสร้างสะพานด้วยสายตา นั้นขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ที่ตรวจสอบสะพาน ด้วยเหตุผลนี้ ข้อมูลที่ได้การตรวจสอบอาจอาจเป็นวิธีการที่แฝงไปด้วยอคติ ดังนั้นผู้ตรวจสอบสะพานที่มีทักษะและมีประสบการณ์ในการตรวจสอบสะพานจึงมีความสำคัญต่อการตัดสินใจที่จะกำหนดวิธีซ่อมบำรุงหรือปรับปรุงโครงสร้างสะพานด้วยวิธีการใด



วัตถุประสงค์ของบทความนี้เป็นการเปรียบเทียบปัญหาในการซ่อมบำรุงรักษาสะพานเฉพาะส่วนที่เป็นจุดสำคัญที่เกิดขึ้นกับสะพานที่มีอยู่ในประเทศไทยหรืออินโดนีเซียกับประเทศที่พัฒนาแล้วอย่างสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่นในด้านคุณภาพและการทำงานตลอดจนแนวปฏิบัติด้านการจัดการการบำรุงรักษา เพื่อนำข้อมูลของปัญหาเหล่านี้ไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาและประยุกต์ใช้ระบบการจัดการการบำรุงรักษาสะพานใหม่ รวมถึงการสร้างฐานข้อมูลทางคอมพิวเตอร์เพื่อใช้แก้ไขปัญหาการซ่อมบำรุงรักษาเหล่านี้ หรืออย่างน้อยก็ช่วยลดผลกระทบในทางลบลงได้ หวังว่าระบบการตรวจสอบและกลยุทธ์ในการวางแผนเพื่อการซ่อมบำรุงรักษาโครงสร้างสะพานจากที่ได้นำเสนอไว้ในบทความนี้จะ เป็นประโยชน์ในการบำรุงรักษาและการจัดการสะพานที่มีอยู่ไม่เพียงแต่ในประเทศไทยหรืออินโดนีเซียเท่านั้น แต่ยังรวมถึงในประเทศกำลังพัฒนาอื่น ๆ ต่อไปอีกด้วย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] M.C. Scutaru, C.C. Cornea, G. Bărbulescu and N. Taranu, 9th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS), Proceedings, 2018, 231-238.
- [2] Y. Jeong, W. Wang, L. Li and J. Lee, Bridge integrity management practice and bridge maintenance programs in China, Japan, Korea and US, Journal of Structural Integrity and Maintenance, 2018, 3(2), 126-135.
- [3] https://www.mlit.go.jp/road/road_e/s3_maintenance.html. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). (Accessed on 10 June 2024)
- [4] <https://infrastructure.report/career/wp-content/uploads/2023/02/> (Accessed on 15 June 2024)
- [5] A.B. Sørensen and B. Min, Bridge management: Inspection, Maintenance, Assessment and Repair, London, UK, 1990. pp. 28-30.
- [6] S.S. Wadhwa and K.N. Jha, Determination of bridge health index using analytical hierarchy process, Construction Management and Economics, 2012, 30(2), 133-149.
- [7] <https://www.google.com/search?q=%5B7%5D%09Indonesia>. (Accessed on 25 April 2023)
- [8] Thailand Department of Highway 10-30, Bridge Management and Maintenance System, Bangkok, Thailand, 2012. (in Thai)
- [9] <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbis.cfm>. (Accessed on 10 October 2023)
- [10] https://www.mlit.go.jp/road/road_e/pdf/RoadMaintenance.pdf. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT). (Accessed on 16 June 2023)



[11] https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12145983_01.pdf (Accessed on 2 December 2023)

[12] S.D Puspitasari, S Harahap and I.R. Suyanto, Bridge inspection implementations and maintenance planning - A comparative analysis of low productive countries, AIP Conference Proceedings, 2023, 2482, 040007

RETRACTED