

การศึกษาประสิทธิภาพของการบูรณะพื้นสะพานกลับรถ : กรณีศึกษาบนถนนทาง

หลวงหมายเลข 35

Performance Evaluation of U-Turn Bridge Deck Rehabilitation: A Case Study on Highway No. 35 Thailand

กฤตเมธ มีปัญญา^{1*} วันชัย ยอดสุดใจ¹ สุกิจ ยินดีสุข²

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน 50 ถนนงามวงศ์วาน
แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ, 10900

² กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม 2/486 ถนนศรีอยุธยา แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ, 10400

Kittamet Meepunyo^{1*} Wanchai Yodsujai¹ Sukit Yindeesuk²

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, 50 Ngamwongwan
Rd, Chatuchak, Bangkok, 10900

² Department of Highway, Ministry of Transport, 2/486 Si Ayutthaya Rd,
Ratchathewi, Bangkok, 10400

*Corresponding author Email: Kittamet.me@ku.th

(Received: July 22, 2025; Revised: July 31, 2025 ; Accepted: October 6, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเชิงโครงสร้างของสะพานกลับรถ โดยวิเคราะห์พฤติกรรมการโก่งตัวและแรงภายในของโครงสร้างทั้งในช่วงก่อนและระหว่างการดำเนินงานบูรณะ เพื่อประเมินความมั่นคงและความปลอดภัยระหว่างการดำเนินงานบูรณะ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการบูรณะทั้งสองรูปแบบ ได้แก่ การบูรณะโดยไม่เสริมคานเหล็ก และการบูรณะโดยการเสริมคานเหล็ก เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสองวิธี ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การบูรณะแบบไม่เสริมคานเหล็กส่งผลให้ค่าการโก่งตัวเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 188.2% เมื่อเทียบกับช่วงก่อนการบูรณะ แต่ในขณะที่การบูรณะแบบเสริมคานเหล็กสามารถลดค่าการโก่งตัวลงได้เฉลี่ย 67.3% เมื่อเปรียบเทียบกับ การบูรณะแบบไม่เสริมคานเหล็ก แสดงให้เห็นว่าการเสริมคานเหล็กนั้น จะช่วยเพิ่มความปลอดภัยและความมั่นคงของโครงสร้างในระหว่างกระบวนการบูรณะได้อย่างมีนัยสำคัญ ในเชิงปฏิบัติ นั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนพัฒนา หรือปรับปรุงแนวทางการบูรณะสะพานกลับรถในอนาคต โดยเน้นการใช้เทคนิคที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพ และความปลอดภัยในระหว่างดำเนินงาน

คำสำคัญ: สะพานกลับรถ การบูรณะ การโก่งตัว ความมั่นคงของโครงสร้าง การเสริมคานเหล็ก

ABSTRACT

This research aims to evaluate the structural performance of a U-turn bridge by analyzing its deflection behavior and internal forces both before and during the rehabilitation process, in order to assess structural stability and safety throughout the construction phase. The study focuses on

comparing two rehabilitation approaches: one without steel girder reinforcement and the other with steel girder reinforcement, to examine the impacts of each method. The results indicate that rehabilitation without girder reinforcement led to an average deflection increase of 188.2% compared to the pre-rehabilitation condition. In contrast, the use of steel girders reduced the average deflection by 67.3% compared to the non-reinforced method. These findings clearly demonstrate that steel girder reinforcement significantly enhances the safety and stability of the structure during rehabilitation. In practical applications, the results of this study can be utilized to support the planning, development, or improvement of U-turn bridge rehabilitation strategies, with an emphasis on techniques that enhance efficiency and safety during execution.

Keyword: U-turn bridges, Rehabilitation, Deflection, Structural stability, steel girder reinforcement.

1. บทนำ

โครงสร้างพื้นสะพาน ทำหน้าที่รองรับภาระการจราจรและน้ำหนักบรรทุกโดยตรงจากยานพาหนะที่สัญจรในแต่ละวัน ตลอดอายุการใช้งาน พื้นสะพานจะสะสมความเสียหายจากภาระทางกล ได้แก่ แรงล้อและน้ำหนักของรถบรรทุกต่างๆ รวมถึงปัจจัยสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น ความชื้น, คลอไรด์, อุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลง และปฏิกิริยาทางเคมี [1], [2] ความเสียหายที่สะสมดังกล่าว ก่อให้เกิดรอยแตกร้าว การหลุดร่อน การกัดกร่อนของเหล็กเสริม และส่งผลให้พื้นสะพานไม่สามารถรองรับภาระได้ตามที่ออกแบบไว้ [3], [4]

เพื่อรับมือกับปัญหาดังกล่าว การตรวจสอบประเมินสภาพ และการบูรณะซ่อมแซมพื้นสะพานจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง โดยแนวทางในการบูรณะพื้นสะพานมีหลากหลายรูปแบบ ทั้งการซ่อมเฉพาะจุด การเทคอนกรีตเสริมในพื้นที่เกิดความเสียหาย หรือการรื้อและเปลี่ยนพื้นสะพานใหม่ทั้งหมด [5] โดยขึ้นอยู่กับระดับความเสียหาย สภาพโครงสร้างเดิม และข้อจำกัดด้านการจราจร หนึ่งในแนวทางที่ได้รับความนิยมอย่างมากคือการรื้อและเปลี่ยนพื้นสะพานทั้งความลึก(Full depth replacement) ซึ่งเป็นแนวทางแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6], [7]

ถึงแม้ว่า แนวทางการรื้อและเปลี่ยนพื้นสะพานทั้งความลึก(Full depth replacement) จะมีข้อดีด้านความมั่นคงของโครงสร้าง และทนทานในระยะยาว แต่มักพบปัญหาในด้านระยะเวลาการก่อสร้าง และความจำเป็นในการปิดสะพาน [8] ซึ่งส่งผลกระทบโดยตรงต่อการจราจรด้วยเหตุผลนี้ หลายประเทศจึงได้พัฒนาเทคโนโลยีการรื้อและติดตั้งพื้นสะพานแบบเร่งด่วน โดยการใช้แผ่นพื้นสำเร็จรูปแบบเต็มความลึก ซึ่งสามารถติดตั้งได้อย่างรวดเร็วหลังการรื้อพื้นเดิม [9]-[11] ไม่เพียงลดระยะเวลาการก่อสร้างและผลกระทบต่อการจราจร แต่ยังเพิ่มความปลอดภัยในการดำเนินงานได้อย่างมีนัยสำคัญ [12], [13]

เช่นเดียวกับงานของ Zhang และ Chai ที่เสนอการรื้อพื้นโดยไม่ต้องใช้ค้ำยันด้านล่าง เพื่อลดผลกระทบต่อการปิดเส้นทาง และโครงสร้างเดิม [14]

แม้เทคโนโลยีแผ่นพื้นสำเร็จรูปจะถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในหลายประเทศ การประยุกต์ใช้ในประเทศไทยยังคงมีข้อจำกัดและไม่แพร่หลายมากนัก โดยเฉพาะในกรณีของสะพานกลับรถ หรือสะพานขนาดเล็กที่ยังคงใช้วิธีการรื้อพื้นเดิมด้วยเครื่องจักรกลทั่วไป การควบคุมพฤติกรรมโครงสร้างระหว่างการรื้อถอนจึงเป็นประเด็นที่มีความสำคัญ แต่ยังคงขาดการศึกษาเชิงโครงสร้างโดยเฉพาะในช่วงระหว่างการรื้อพื้น ซึ่งเป็นช่วงที่เสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายเชิงโครงสร้าง

จากเหตุการณ์ เมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 เวลาประมาณ 20:00 น. ได้เกิดอุบัติเหตุจากการรื้อพื้นสะพานที่บริเวณสะพานกลับรถบนถนนทางหลวงหมายเลข 35 (ถนนพระราม 2) หลักกิโลเมตรที่ 34+000 โดยพบว่าคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ(I-girder) พลิกคว่ำในขณะที่ดำเนินการรื้อพื้นสะพาน สาเหตุเบื้องต้นนั้น อาจเกิดจากขั้นตอนการสกัดพื้นคอนกรีตออก เพื่อทำการปรับปรุงบูรณะพื้นสะพาน แต่การรื้อถอนไม่สามารถสกัดพื้นที่ยื่นออกจากคานตัวริมได้ เนื่องจากราวคอนกรีตกันตก(Barrier) มีการติดตั้งด้วยวิธีการล้วงเหล็กเข้าไปในส่วนของพื้น ซึ่งอาจทำให้คานตัวริมมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และเกิดการเอียงศูนย์ ประกอบกับพื้นที่ไม่มีการยึดรั้ง ทำให้เกิดโมเมนต์และความไม่สมดุล จนอาจเป็นเหตุให้คานหล่นลงมาซึ่งอาจก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งต่อชีวิต และทรัพย์สิน [15]

จากปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาประสิทธิภาพของพื้นสะพาน และพฤติกรรมการโก่งตัวของพื้นสะพานทั้งในช่วงก่อนและระหว่างกระบวนการรื้อพื้นแบบไม่มีการใช้ค้ำยัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของพื้น สะพาน และตรวจสอบความปลอดภัยในช่วงก่อน และระหว่างการบูรณะสะพาน อีกทั้งยังศึกษาวิธีการลดการโก่งตัวของพื้นสะพานในระหว่างการบูรณะ โดยเสนอแนวทางการรื้อให้ปลอดภัยในระหว่างการดำเนินงาน

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

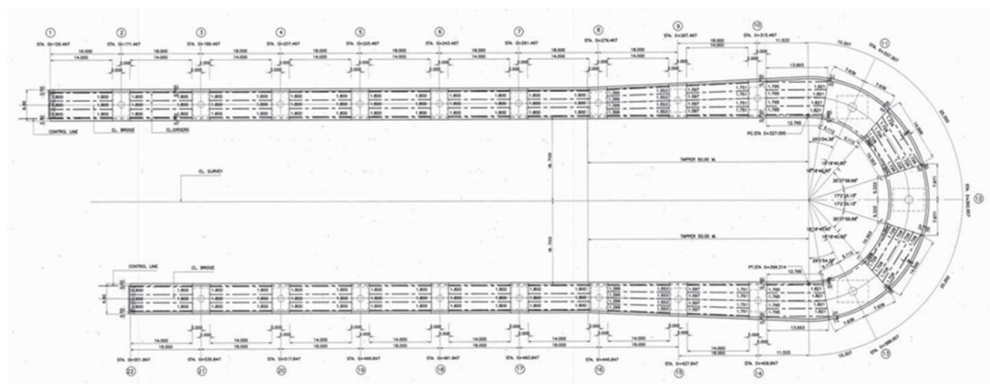
2.1 รายละเอียดสะพานที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษา โดยเลือกสะพานกลับรถหลักกิโลเมตรที่ 34 บนทางหลวงหมายเลข 35(ถนนพระราม 2) ซึ่งได้รับการออกแบบโดยกรมทางหลวง ดังรูปที่ 1

โดยสะพานดังกล่าวเป็นโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงชนิดคานรูปตัวไอ(Prestressed Concrete I-girder) ซึ่งมีจำนวนช่วงคานทั้งหมด 21 ช่วง ความยาวรวมตลอดแนวสะพาน 396.38 เมตร และมีความกว้างของทางเดินรถอยู่ในช่วงระหว่าง 5-8 เมตร โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งของช่วงสะพาน

คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ถูกกำหนดตามมาตรฐานของกรมทางหลวง โดยคอนกรีตทั่วไปจะต้องสามารถรับกำลังอัด(ทดสอบด้วยการหล่อทรงลูกบาศก์ที่อายุ28วัน) $f'c=300$ กก./ cm^2 ชั้นคุณภาพของเหล็กเสริมข้ออ้อยและเหล็กเสริมเส้นกลมใช้ SD30 และ SR24 ตามลำดับ

ในส่วนของคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ(I-girder) จะต้องสามารถรับกำลังอัด(ทดสอบด้วยการหล่อทรงกระบอกที่อายุ 28 วัน) $f'c=350$ กก./ cm^2 กำลังอัดของคอนกรีตขณะดึงลวดอัดแรง $f'ci=288$ กก./ cm^2 ลวดเหล็กอัดแรงขนาด 1/2" กำลังรับแรงดึงสูงสุด $Fpu= 18,730$ กก. Jacking force 13,382 กก./เส้น

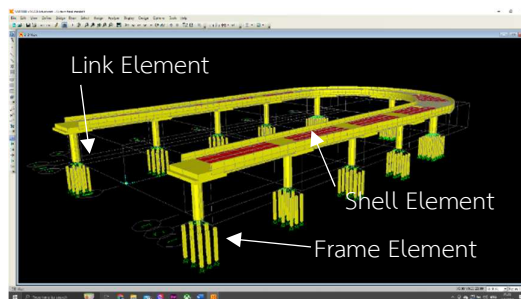


รูปที่ 1 ลักษณะสะพานกลับรถ

2.2 การสร้างแบบจำลองโมเดลในการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินพฤติกรรมของสะพานกลักรก่อนและระหว่างการบูรณะ ได้ดำเนินการด้วยวิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบจำกัด(Finite Element Analysis) ผ่านโปรแกรม SAP2000 โดยในการสร้างแบบจำลองได้ใช้ Frame Element, Shell Element และ Link Element ดังรูปที่ 2

- Frame Element ใช้สำหรับโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเส้น ได้แก่ เสาเข็ม เสา คานขวาง คานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ(I-girder) และราวคอนกรีตกันตก(Barrier)
- Shell Element ใช้ในส่วนของพื้นสะพาน
- Link Element ใช้เชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างต่างชนิดกัน เช่น การเชื่อมระหว่างเสาเข็มกับเสา และการเชื่อมระหว่างคานขวางกับคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ(I-girder)



รูปที่ 2 โมเดลการวิเคราะห์

ในการสร้างแบบจำลอง ได้มีการนำแนวความคิดการกำหนดค่าขั้นตอนการก่อสร้าง(Construction stage Analysis) มาใช้ เพื่อสะท้อนพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละช่วงของการก่อสร้างและการรื้อถอน โดยแบบจำลองสามารถแสดงผลลัพธ์แยกตามลำดับขั้นตอนการก่อสร้าง นอกจากนี้ การวิเคราะห์ยังคำนึงถึงพฤติกรรมของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา(Time-dependent) โดยใช้ CEB-FIP Model Code 1990 ซึ่งพิจารณาผลกระทบของวัสดุ ได้แก่ การคืบ(creep) การหดตัว(Shrinkage) และการพัฒนากำลังของคอนกรีต(Hardening)

2.3 รูปแบบการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ได้ทำการเลือกช่วง 7-17 ซึ่งเป็นช่วงที่มีขนาดความกว้างทางเดินรถ และจำนวนคานมากที่สุด โดยแบบจำลองการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ ก่อนทำการบูรณะ และระหว่างการบูรณะ

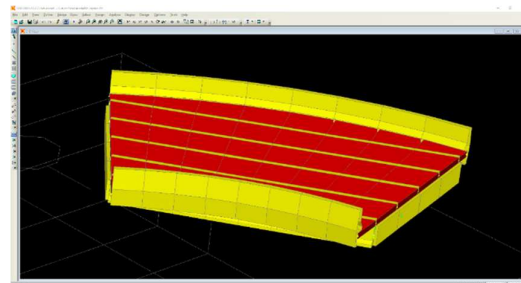
รูปแบบของน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการวิเคราะห์พิจารณาเฉพาะน้ำหนักจากตัวเอง(Self-weight) เป็นหลัก โดยมีได้รวมน้ำหนักบรรทุกจร(Live load) หรือน้ำหนักที่กระทำจากภายนอก เนื่องจากในช่วงที่ศึกษาสะพานอยู่ระหว่างปิดการใช้งานทั้งในกรณีเมื่อก่อสร้างเสร็จ และในช่วงระหว่างการบูรณะ

สำหรับกรณีที่สะพานผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี ได้ใช้หลักการวิเคราะห์พฤติกรรมวัสดุที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา(Time-dependent) ตามมาตรฐาน CEB-FIP Model Code 1990 เพื่อสะท้อนพฤติกรรมที่แท้จริงของโครงสร้างและเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์

นอกจากนี้ ยังได้ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบ ไม่เชิงเส้น (nonlinear analysis) เพื่อพิจารณาผลกระทบจาก secondary effects และประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดพฤติกรรมไม่เสถียร (instability) ของโครงสร้าง โดยเฉพาะในช่วงที่มีการรื้อพื้นสะพานแบบเต็มความลึก (full-depth removal)

2.3.1 การวิเคราะห์ก่อนทำการบูรณะ

ในขั้นตอนนี้ ได้ดำเนินการสร้างแบบจำลองของสะพานดังรูปที่ 3 เพื่อใช้วิเคราะห์ 2 สภาวะ ได้แก่ สะพานเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ และสะพานเมื่อผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี เพื่อประเมินประสิทธิภาพของพื้นสะพาน และตรวจสอบพฤติกรรมการโก่งตัวก่อนทำการบูรณะ

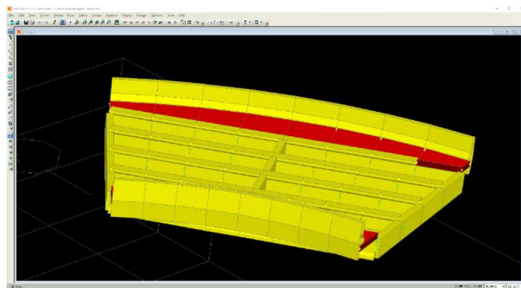


รูปที่ 3 แบบจำลองก่อนทำการบูรณะ

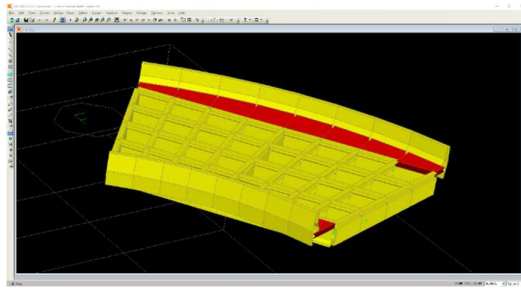
2.3.2 การวิเคราะห์ระหว่างการบูรณะ

ในระหว่างการบูรณะ ได้จำลองสถานการณ์การรื้อพื้นแบบเต็มความลึก(Full depth) โดยทำการตรวจสอบพฤติกรรมการโก่งตัวของพื้นสะพาน และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกรณีที่ไม่มีเสริมคานเหล็กดังรูปที่ 4 และมีการเสริมคานเหล็กดังรูปที่ 5

โดยการบูรณะแบบเสริมคานเหล็กนั้น จะทำการติดตั้งคานเหล็กยัดระหว่างคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ(I-girder) แล้วจึงทำการรื้อพื้น เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการโก่งตัวของพื้นสะพาน



รูปที่ 4 แบบจำลองเมื่อทำการบูรณะแบบไม่เสริมคานเหล็ก



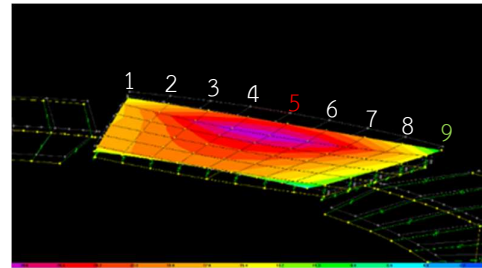
รูปที่ 5 แบบจำลองเมื่อทำการบูรณะแบบเสริมคานเหล็ก

3. ผลการวิเคราะห์งานวิจัย

โดยแบบจำลองการวิเคราะห์ จะแบ่งออกเป็น 4 สภาวะ ได้แก่ สะพานเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ สะพานเมื่อมีการใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี สะพานเมื่อมีการบูรณะแบบยังไม่มีเสริมคานเหล็ก และสะพานเมื่อมีการบูรณะแบบเสริมคานเหล็ก

3.1 สะพานเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ

หลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จ ได้ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการโก่งตัวของพื้นสะพาน โดยรูปที่ 6 แสดงลักษณะการโก่งตัวของพื้นสะพาน และตารางที่ 2 แสดงค่าการโก่งตัว ณ ตำแหน่งต่างๆ

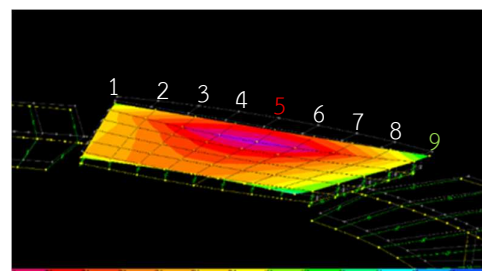


รูปที่ 6 การโก่งตัวของสะพานเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ

ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าการโก่งตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากตำแหน่งด้านนอกไปยังตำแหน่งกึ่งกลางของพื้นสะพาน โดยตำแหน่งที่มีค่าการโก่งตัวมากที่สุดคือบริเวณตำแหน่งที่ 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ -23.95 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นช่วงที่พื้นสะพานยื่นออกจากแนวคานมากที่สุด จึงส่งผลต่อค่าการโก่งตัวที่สูง เมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ

3.2 สะพานเมื่อมีการใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี

หลังจากสะพานถูกใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี ได้ทำการวิเคราะห์ค่าการโก่งตัวของพื้นสะพานอีกครั้ง เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของพื้นสะพาน โดยรูปที่ 7 แสดงลักษณะการโก่งตัวของพื้นสะพานหลังการใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี และตารางที่ 2 แสดงค่าการโก่งตัวแต่ละตำแหน่ง



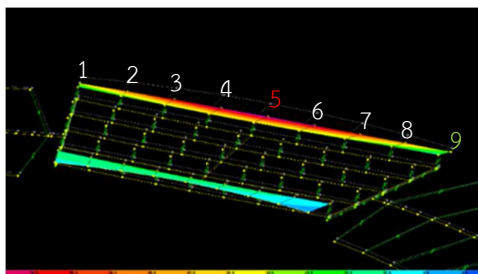
รูปที่ 7 การโก่งตัวของสะพานเมื่อมีการใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี

จากการเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวกับกรณีเมื่อสะพานก่อสร้างแล้วเสร็จ พบว่าค่าการโก่งตัวมีการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ในแต่ละตำแหน่ง โดยเฉพาะบริเวณตำแหน่งที่ 5 ยังคงแสดงค่าการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ -26.52 มิลลิเมตร

แม้ว่าค่าการโก่งตัวที่เพิ่มขึ้นจะไม่มากนัก แต่จากการสำรวจสภาพภาคสนามด้วยการสังเกต พบว่าพื้นสะพานมีร่องรอยความเสียหายสะสม เช่น รอยร้าว การแตกร่อน และการหลุดร่อนของผิวคอนกรีต ซึ่งบ่งชี้ถึงการเสื่อมสภาพของพื้นสะพาน จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการบูรณะพื้นสะพาน เพื่อยืดอายุการใช้งาน และเพื่อความปลอดภัยของผู้สัญจรในอนาคต

3.3 สะพานเมื่อมีการบูรณะแบบยังไม่มีการเสริมคานเหล็ก

ในขั้นตอนการบูรณะพื้นสะพาน ได้ดำเนินการรื้อพื้นที่เสื่อมสภาพออก แต่บริเวณพื้นที่ยื่น ไม่สามารถทำการรื้อได้เนื่องจากการติดตั้งราวคอนกรีตกันตก(Barrier) จึงทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการโก่งตัวของพื้นที่ยื่น โดยปรากฏในรูปที่ 8 และค่าการโก่งตัวแสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 8 การโก่งตัวของสะพานแบบยังไม่เสริมคานเหล็ก

จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่าการโก่งตัวมีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้จากกรณีสะพานที่ใช้งานมาแล้วเป็นระยะเวลา 10 ปี โดยตำแหน่งที่มีค่าการโก่งตัวสูงสุดยังคงเป็นตำแหน่งที่ 5 ซึ่งมีค่าถึง -77.72 มิลลิเมตร และมีอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยถึง 188.18% เมื่อเทียบกับสะพานเมื่อมีการใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการโก่งตัวเมื่อมีการบูรณะแบบยังไม่มีการเสริม

ตำแหน่ง	อัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการโก่งตัว (%)
1	150.70
2	179.91
3	186.68
4	190.55
5	193.06
6	195.38
7	197.54
8	204.34
9	195.45
เฉลี่ย	188.18

สาเหตุของการโก่งตัวนั้น เกิดจากข้อจำกัดการรื้อพื้นที่ไม่สามารถทำการรื้อพื้นที่ยื่นออกมา เนื่องจากมีการติดตั้งราวคอนกรีตกันตก(Barrier) ยึดเข้ากับตัวพื้นในส่วนที่ยื่นออกมา ส่งผลให้เกิดค่าการโก่งตัวที่สูงมากยิ่งขึ้น

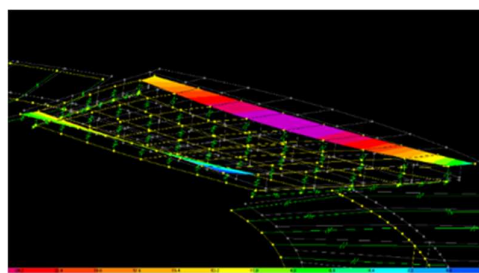
พฤติกรรมดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของการบูรณะด้วยการรื้อพื้นเพียงอย่างเดียว โดยไม่มีการเสริมกำลัง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาวิธีการบูรณะที่ครอบคลุมมากขึ้น เช่น การเสริมคานเหล็ก หรือการรับแรงเพิ่มเติม เพื่อควบคุมการโก่งตัวและเพิ่มความมั่นคงของโครงสร้างทั้งหมด

3.4 สะพานเมื่อมีการบูรณะแบบเสริมคานเหล็ก

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเสริมคานเหล็กชนิด WF ขนาด 250x250x72.4 kg/m โดยการเชื่อมระหว่างคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ(I-girder) ทุกระยะ 2 เมตร ก่อนทำการรื้อพื้นสะพาน ลักษณะการโก่งตัวของพื้นดังรูปที่ 9 และค่าการโก่งตัวของพื้นสะพานในแต่ละตำแหน่งแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการโก่งตัวของสะพานแต่ละสภาวะ

ตำแหน่ง	สะพานเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ (มิลลิเมตร)	สะพานเมื่อมีการใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี (มิลลิเมตร)	สะพานเมื่อมีการบูรณะแบบยังไม่มีเสริมคานเหล็ก (มิลลิเมตร)	สะพานเมื่อมีการบูรณะแบบเสริมคานเหล็ก (มิลลิเมตร)
1	-12.40	-12.92	-32.39	-12.14
2	-17.26	-18.62	-52.12	-19.04
3	-21.20	-23.27	-66.71	-24.37
4	-23.47	-25.93	-75.34	-27.32
5	-23.95	-26.52	-77.72	-27.68
6	-22.71	-25.10	-74.14	-25.55
7	-19.60	-21.52	-64.03	-20.75
8	-14.57	-15.68	-47.72	-13.30
9	-8.59	-8.79	-25.97	-4.50
เฉลี่ย	-18.19	-19.82	-57.35	-19.41



รูปที่ 9 การโก่งตัวของสะพานเมื่อมีการบูรณะแบบเสริมคานเหล็ก

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการเสริมคานเหล็กช่วยลดค่าการโก่งตัวของพื้นสะพานได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะตำแหน่งที่ 5 ซึ่งค่าการโก่งตัวมีการลดลงเหลือเพียง -27.68 มิลลิเมตร และมีอัตราการลดลงเฉลี่ยถึง 67.28% เมื่อเทียบกับการบูรณะแบบยังไม่มีเสริมคานเหล็ก ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อัตราการลดลงของค่าการโก่งตัวเมื่อมีการบูรณะแบบมีการเสริมคานเหล็ก

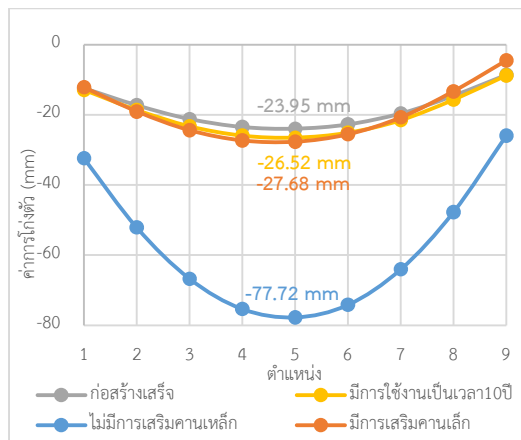
ตำแหน่ง	อัตราการลดลงของค่าการโก่งตัว (%)
1	62.52
2	63.47
3	63.47
4	63.74
5	64.38
6	65.54
7	67.59
8	72.13
9	82.67
เฉลี่ย	67.28

3.5 การเปรียบเทียบผลก่อนบุงและระหว่างการบุง

เพื่อประเมินประสิทธิภาพของพื้นสะพาน ได้ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก่อนการบุง และระหว่างการบุง โดยพิจารณาจากค่าการโก่งตัว (Deflection), แรงเฉือน (Shear Force), โมเมนต์ดัด (Bending Moment) และแรงบิด (Torsion)

3.5.1 ค่าของการโก่งตัว (Deflection)

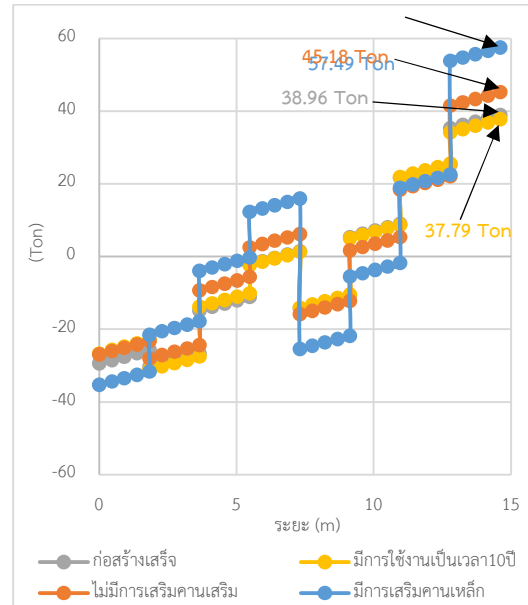
จากการวิเคราะห์พบว่า ค่าการโก่งตัวของพื้นในแต่ละตำแหน่งมีความใกล้เคียงกันในกรณีก่อนการบุง และระหว่างการบุงแบบมีการเสริมคานเหล็ก ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของการเสริมคานเหล็กช่วยลดค่าการโก่งตัวของพื้นสะพานอย่างมีนัยสำคัญในทุกตำแหน่ง เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเสริมคานเหล็ก โดยเฉพาะตำแหน่งที่ 5 ซึ่งมีการโก่งตัวสูงสุดลดลงจาก -77.72 มิลลิเมตร เหลือ -27.68 มิลลิเมตร คิดเป็นความแตกต่างเท่ากับ 50.04 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบค่าการโก่งตัว

3.5.2 ค่าแรงเฉือน (Shear Force)

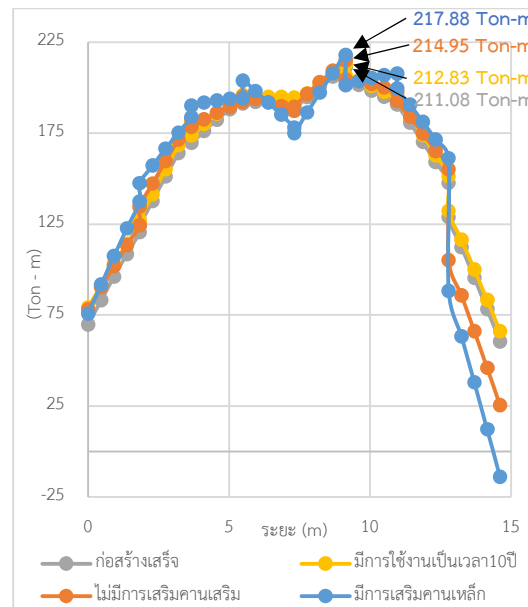
จากการวิเคราะห์พบว่า ค่าแรงเฉือนในกรณีก่อนการบุง และระหว่างการบุงแบบมีการเสริมคานเหล็ก มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันในทุกตำแหน่งของคาน แสดงให้เห็นว่าการดำเนินการบุงพื้นสะพานในลักษณะที่ศึกษา ไม่มีผลกระทบต่อแรงเฉือนอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบค่าแรงเฉือน

3.5.3 โมเมนต์ดัด (Bending Moment)

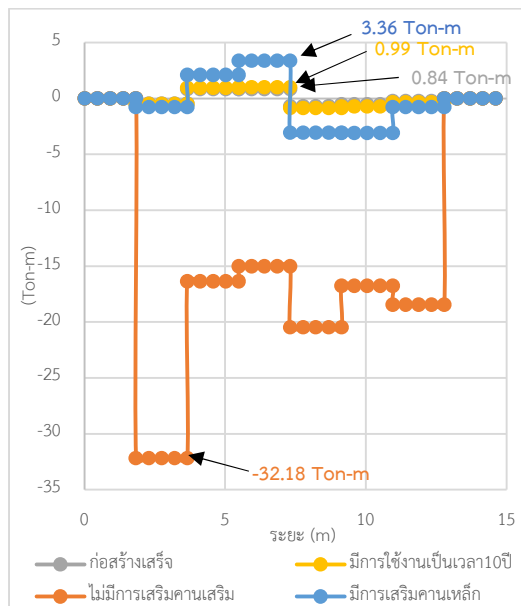
เมื่อพิจารณาค่าโมเมนต์ดัด ที่เกิดขึ้นพบว่าในแต่ละสถานะ พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นอยู่ที่ประมาณ 217.88 ตัน-เมตร ดังแสดงในรูปที่ 12 ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าการเสริมคานเหล็กไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโมเมนต์ดัด



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ดัด

3.5.4 ค่าแรงบิด (Torsion)

การวิเคราะห์แรงบิดที่เกิดขึ้นก่อนการบูรณะพบว่า มีค่าที่ใกล้เคียงกันในแต่ละสภาวะ อย่างไรก็ตามระหว่างการบูรณะ พบความแตกต่างกันอย่างชัดเจนของค่าแรงบิดระหว่างกรณีที่ไม่มีการเสริมคานเหล็ก และกรณีที่มีการเสริมคานเหล็ก โดยกรณีที่ไม่มีการเสริมคานเหล็ก ค่าแรงบิดสูงถึง -32.18 ตัน-เมตร ขณะที่มีการเสริมคานเหล็ก ค่าแรงบิดลดลงเหลือเพียง 3.36 ตัน-เมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดลงของแรงบิดจากการเสริมคานเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 การเปรียบเทียบค่าแรงบิด

โดยค่าการโก่งตัว และแรงบิดที่ลดลงในกรณีที่มีการเสริมคานเหล็ก แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการเสริมคานเหล็ก ที่ช่วยลดค่าการโก่งตัว และแรงบิด ส่งผลให้มีความปลอดภัยในระหว่างการบูรณะได้มากขึ้น

4. สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ประเมินพฤติกรรมการโก่งตัวของสะพานกลับรถบนถนนทางหลวงหมายเลข 35 ภายใต้สภาวะต่างๆ ทั้งช่วงก่อนและระหว่างการบูรณะ รวมถึง

วิเคราะห์ผลจากการเสริมคานเหล็ก และไม่เสริมคานเหล็ก เพื่อประเมินความปลอดภัย โดยมีข้อสรุปดังนี้

4.1 สะพานในช่วงก่อนการบูรณะ

การเปรียบเทียบผลระหว่างสะพานเมื่อก่อสร้างแล้วเสร็จ กับกรณีสะพานเมื่อมีการใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี พบว่าค่าการโก่งตัวในทั้งสองสภาวะมีความใกล้เคียงกัน โดยเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 2-3 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามในการสำรวจสภาพภาคสนามด้วยการสังเกต พบความเสียหายของพื้นคอนกรีต เช่น รอยร้าว แตกร่อน และการหลุดร่อนของผิว ซึ่งเป็นผลจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการดำเนินการบูรณะ เพื่อความปลอดภัยต่อผู้สัญจร และยืดอายุการใช้งานของสะพานให้มากขึ้น

4.2 สะพานในช่วงดำเนินการบูรณะ

ในการดำเนินการบูรณะโดยการรื้อพื้นสะพาน พบว่าในกรณีที่ไม่มีการเสริมคานเหล็ก ค่าการโก่งตัวของพื้นสะพานเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง -77.72 มิลลิเมตร ซึ่งคิดเป็นการเพิ่มขึ้นของการโก่งตัวร้อยละ 193.06 เมื่อเทียบกับกรณีสะพานเมื่อมีการใช้งานเป็นระยะเวลา 10 ปี ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยในระหว่างดำเนินงาน อาจเสี่ยงต่อการพลิกคว่ำ และเกิดอุบัติเหตุได้มากที่สุด

ในทางตรงกันข้าม การบูรณะแบบมีคานเหล็กเสริม นั้น จะช่วยลดค่าการโก่งตัวอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งค่าการโก่งตัวลดลงเหลือเพียง -27.68 มิลลิเมตร โดยค่าการโก่งตัวลดลงร้อยละ 64.38 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่เสริมคานเหล็ก จึงแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และลดการเกิดอุบัติเหตุในระหว่างการดำเนินงาน

4.3 การเปรียบเทียบผลแรงภายใน

จากการเปรียบเทียบแรงภายในที่กระทำต่อคานในแต่ละสภาวะ พบว่า ค่าแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดมีความใกล้เคียงกันในทุกสภาวะ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในแต่ละสภาวะไม่ได้ส่งผลกระทบต่อแรงเฉือนและโมเมนต์ดัด

แต่เมื่อพิจารณาแรงบิด จะพบได้ว่า มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนในช่วงระหว่างการบูรณะ ในกรณีที่ไม่มีการเสริมคานเหล็ก ค่าแรงบิดสูงสุดจะอยู่ที่ -32.18 ตัน แต่เมื่อมีการเสริมคานเหล็ก ค่าแรงบิดที่จะลดลงเหลือเพียง

3.36 ต้น คิดเป็นการลดลงของแรงบิดร้อยละ 89.56 แสดงให้เห็นความสามารถของคานเหล็กเสริมในการควบคุมแรงบิดระหว่างการบุงน

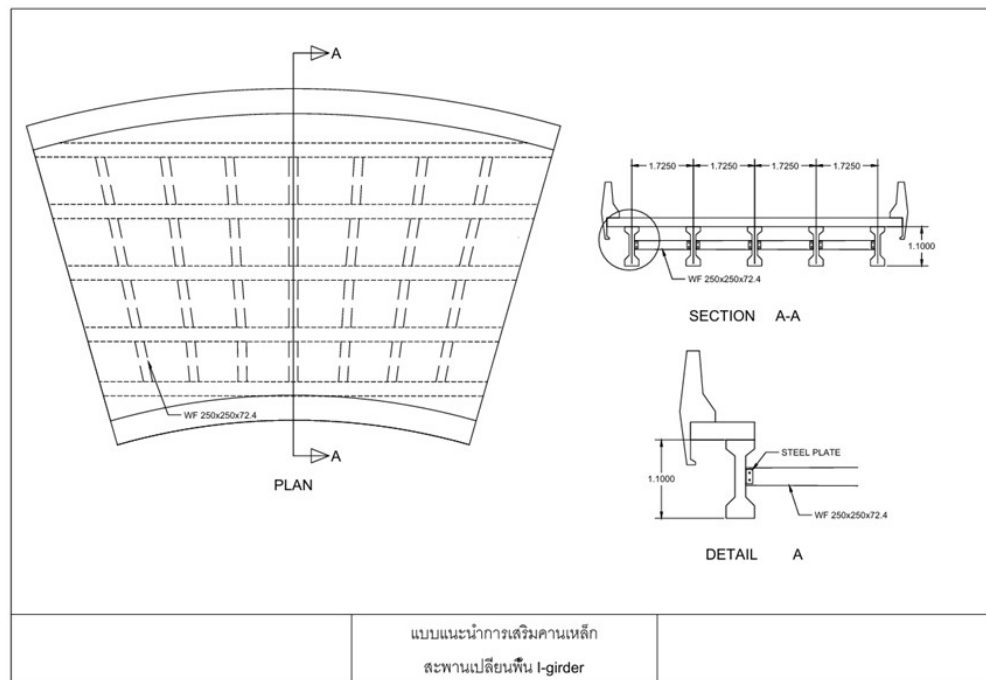
อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ยังไม่ได้มีการดำเนินการวางแผนและทดสอบภาคสนามจริง เพื่อยืนยันค่าการโก่งตัว และพฤติกรรมแรงภายในที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ทั้งนี้ในอนาคตอาจมีการวางแผนดำเนินการทดสอบเพิ่มเติม เพื่อยืนยันความถูกต้องของผลการวิเคราะห์และสนับสนุนการบุงนให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5. ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาพบว่า การติดตั้งคานเหล็กเสริมในระหว่างการดำเนินงาน สามารถช่วยลดค่าการโก่งตัว ให้ความปลอดภัย และลดการเกิดอุบัติเหตุได้มากขึ้น แต่เนื่องจากการติดตั้งคานเหล็กเสริมในทุกช่วงอาจส่งผลต่อภาระต้นทุนที่สูง จึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

- ควรมีการวิเคราะห์รูปแบบและปริมาณของคานเหล็กเสริมให้มีความเหมาะสม
- การพิจารณาหน้าตัด และรูปแบบการติดตั้ง
- ติดตั้งแผ่นเหล็กกับคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ(I-girder) จากโรงงานเพื่อความสะดวกในการบุงน
- แบบแนะนำการติดตั้ง ดังรูปที่ 14

ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณสมบัติของสะพานแต่ละตัว



รูปที่ 14 แบบแนะนำเสริมคานเหล็ก

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] T. E. Boothby and J. A. Laman, "Cumulative damage to bridge concrete deck slabs due to vehicle loading," *Journal of Bridge Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 80–82, 1999.
- [2] E. Shahrokhinasab and D. Garber, "Long-term performance of full-depth precast concrete (FDPC) deck panels," *Engineering Structures*, vol. 244, p. 112738, 2021.

- [3] S. Seguirant and R. Miller, "Precast, prestressed concrete products for infrastructure," *PCI Journal*, vol. 68, no. 1, pp. 3–05, 2023.
- [4] R. Al-Rousan, "Behavior of prefabricated full-depth precast concrete bridge deck panel system: Optimum prestress level," *Procedia Manufacturing*, vol. 44, pp. 607–614, 2020.
- [5] G. Ramey and S. O. Russell, *Rapid rehabilitation/replacement of bridge decks*. Montgomery, AL: Alabama Dept. of Transportation, 1998.
- [6] M. P. Culmo, "Rapid bridge deck replacement with full-depth precast concrete slabs," *Transportation Research Record*, vol. 1712, no. 1, pp. 139–146, 2000.
- [7] M. Biswas, "On modular full depth bridge deck rehabilitation," *Journal of Transportation Engineering*, vol. 112, no. 1, pp. 105–120, 1986.
- [8] M. Hu, Z. Jia, Q. Han, Y. Ni, C. Jiao and P. Long, "Shear behavior of innovative high performance joints for precast concrete deck panels," *Engineering Structures*, vol. 261, p. 114307, 2022.
- [9] D. Garber and E. Shahrokhinasab, *Performance comparison of in-service, full-depth precast concrete deck panels to cast-in-place decks*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, Tech. Rep., 2019. [Online]. Available: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/41831>
- [10] J. Umphrey, D. Beck, G. E. Ramey, and M. L. Hughes, "Rapid replacement of four GDOT bridge decks," *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, vol. 12, no. 1, pp. 48–58, 2007.
- [11] T. J. Mander, M. D. Henley, R. M. Scott, M. H. Head, J. B. Mander, and D. Trejo, "Experimental performance of full-depth precast, prestressed concrete overhang, bridge deck panels," *Journal of Bridge Engineering*, vol. 15, no. 5, pp. 503–510, 2010.
- [12] H. L. Stefaniuk, A. A. Semendary, and D. Svecova, "Full scale testing of ultra-high performance concrete closure joint for prefabricated full-depth precast concrete bridge deck panel system," *Advances in Structural Engineering*, vol. 27, no. 10, pp. 1791–1809, 2024.
- [13] M. Abokifa, M. A. Moustafa, and A. M. Itani, "Comparative structural behavior of bridge deck panels with polymer concrete and UHPC transverse field joints," *Engineering Structures*, vol. 247, p. 113195, 2021.
- [14] Y. Zhang and Y. H. Chai, "Bridge deck replacement of posttensioned concrete box-girder bridges," *Journal of Bridge Engineering*, vol. 25, no. 12, p. 04020107, 2020.
- [15] P. Thammarak, "Explain the mechanism of the incident in which a prestressed concrete I-girder on a U-turn bridge at kilometer marker 34 on Rama II Road overturned and fell onto vehicles traveling below," *Thailand Engineering Journal*, vol. 75, no. 3, pp. 34–42, 2022.