

การศึกษาพฤติกรรมของสะพานที่มีสภาพชำรุดภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกไทยขนาด 25 ตัน

ประเทือง อินคุ้ม¹

ทนงศักดิ์ อิ่มใจ²

ชยากร พานิชพัฒน์³

สิกันต์ มณี⁴

¹กรรมการผู้จัดการ (prataung@iec-thailand.com)

²วิศวกร โครงสร้าง (thanongsak@iec-thailand.com)

³วิศวกร โครงสร้าง (chayakorn@iec-thailand.com)

⁴วิศวกร โครงสร้าง (sikarn@iec-thailand.com)

International Engineering Consultants Co., Ltd, (IEC)

บทคัดย่อ : การเสื่อมสภาพของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยที่เกิดความเสียหายในระดับที่รุนแรงนั้นส่งผลให้กรมทางหลวง (กระทรวงคมนาคม ประเทศไทย) มีความต้องการที่จะตรวจสอบถึงความน่าเชื่อถือในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานที่มีอายุมากเหล่านั้น วิธีการหนึ่งที่จะตรวจสอบความน่าเชื่อถือในการรับน้ำหนักบรรทุกนั้นคือการทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน ซึ่งสามารถหาการตอบสนองของโครงสร้างต่อน้ำหนักของรถบรรทุกที่ทำการทดสอบนี้จะเป็นวิถีทางที่ดีในการประเมินหาความน่าเชื่อถือและความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานที่แท้จริง บทความนี้รายงานผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกจรบนสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กประเภท Slab Type ที่มีสภาพชำรุดแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยใช้รถบรรทุกขนาดน้ำหนัก 25 ตัน วิ่งผ่านไปบนสะพานตามแนววิ่งหลาย ๆ แนว และด้วยความเร็วหลาย ๆ ค่า ผลของการทดสอบจะแสดงให้เห็นถึงค่าการตอบสนองต่าง ๆ ของโครงสร้างต่อน้ำหนักบรรทุกขนาด 25 ตัน ที่กระทำต่อสะพาน โดยบันทึกค่าการตอบสนองของค่าความเครียด ค่าการแอ่นตัว และค่าความถี่ต้นตัวของแผ่นพื้นสะพาน และทำการบันทึกค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนคานขวางและเสาตอม่อเพื่อทำการประเมินขั้นต่อไป

ABSTRACT : The deterioration of reinforced concrete bridges damaged to severe level in North-Eastern Thailand has prompted the department of Highway (Ministry of Transport, Thailand) to investigate the reliability of aging bridges. One ways to assess reliability of aging bridges is to conduct a field loading test. A field load test can be used to demonstrate the bridge responses subjected to a pre-defined vehicle load. This type of test can be a good solution to assess the bridge capacity and maintains the bridge reliability. This paper presents the live load testing on one of poor conditioning RC bridges located in North-Eastern of Thailand. The slab-type RC bridge was tested by using a defined load (25 ton-truck) moving on the bridge deck with different speeds and loading paths. The results show the responses of bridge structure subjected to a 25 ton-truck. Measurement of strains, deflection and frequency of deck structure and strains of cross beam and column were recorded for further evaluation.

KEYWORDS : Bridge load test, Bridge, BDI, Structural assessment, Load capacity.

1 บทนำ

สะพานของกรมทางหลวงมีจำนวนมากที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน โดยมีอายุการใช้งานที่มากกว่า 30 ปี สะพานโดยทั่วไปที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนานจะมีการเสื่อมสภาพของวัสดุคอนกรีตทำให้ประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักลดน้อยลง ในปัจจุบันรัฐบาลได้มีการออกกฎกระทรวงเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2548 อนุญาตให้เพิ่มน้ำหนักบรรทุกจาก 21 ตัน เป็น 25 ตัน ทำให้เกิดคำถามเกี่ยวกับความปลอดภัยของสะพานกรมทางหลวง โดยเฉพาะสะพานประเภทแผ่นพื้นคอนกรีตหล่อในที่ (Slab Type) ซึ่งเป็นประเภทสะพานที่มีการใช้งานมากที่สุดในเวลานั้น สภาพแวดล้อมก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สะพานมีการเสื่อมสภาพและไม่ปลอดภัยต่อการใช้งาน ดังนั้นกรมทางหลวงโดยสำนักวิจัยและพัฒนางานทางต้องการที่จะสำรวจสภาพความเสียหายของสะพานและทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกที่ปลอดภัย (ภาพที่ 1 และภาพที่ 2) โดยจะดำเนินการศึกษาในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยพื้นที่ศึกษาดังกล่าวเป็นพื้นที่ภูเขา และพื้นที่ราบลุ่ม ซึ่งจากลักษณะภูมิประเทศที่เป็นภูเขา และพื้นที่ราบลุ่ม ทำให้มีน้ำท่วมขัง และประกอบกับแร่สินเทาที่พบในบริเวณดังกล่าว ทำให้สะพานเกิดความเสียหายในลักษณะ Chloride และ Sulfate Attack ส่งผลให้เนื้อคอนกรีตสะพานเกิดการกะเทาะหลุดร่อนและเหล็กเป็นสนิม ดังนั้นเพื่อให้สะพานของกรมทางหลวงมีความปลอดภัยในการใช้งาน จึงมีความจำเป็นที่จะศึกษาหาค่าการรับน้ำหนักบรรทุกที่ปลอดภัยของสะพาน และศึกษาผลกระทบเนื่องจากสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะความเสียหายเนื่องจาก Chloride และ Sulfate Attack เพื่อนำผลการศึกษาไปกำหนดมาตรการหรือใช้ในการบริหารจัดการด้านสะพาน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ทางหลวงต่อไป[1]

บทความนี้นำเสนอผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกจรและการตอบสนองของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กประเภท Slab type ที่มีสภาพชำรุด (ภาพที่ 2) แห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ภายใต้รถบรรทุกขนาดน้ำหนัก 25 ตัน



ภาพที่ 1 สะพานรูปแบบ Slab Type ที่ทำการทดสอบ



ภาพที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ



ภาพที่ 3 รอยแตกร้าวที่ฐานรองรับแผ่นพื้นสะพาน

2 การทดสอบความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุก

การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอันแท้จริงของโครงสร้างสะพานภายใต้ น้ำหนักบรรทุกขนาดต่างๆ โดยทั่วไปแล้วจะทำการวิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างด้วยทฤษฎีทางโครงสร้างต่างๆ และการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ การวิเคราะห์เพื่อหาความสามารถในการรับน้ำหนักอันแท้จริงของสะพาน และการประมาณอายุการใช้งานที่ปลอดภัยของสะพาน จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ซึ่งมีผลต่อการรับแรงของโครงสร้างสะพานอย่างละเอียด วิธีการที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบันก็คือ การ

ใช้ผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกจริง (Load Test)[2,3,4] มาประกอบกับการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างสะพานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยรายละเอียดและผลการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จะเสนอในบทความถัดไป[5] ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้วิธีการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริงของสะพานทั้งแบบสถิต (Static) และแบบพลวัต (Dynamic) ของสะพานประเภท Slab Type โดยคัดเลือกมาจากสะพานที่สำรวจละเอียดเพื่อเป็นตัวแทนของกลุ่มสะพานที่ทำการศึกษา เพื่อนำข้อมูลผลการทดสอบที่ได้ จะนำมาปรับปรุงแบบจำลองโครงสร้าง (Mathematical Model) ให้ถูกต้องและสอดคล้องกับพฤติกรรมจริงของสะพานมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกขนาดต่างๆ และเพื่อประเมินอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ต่อไป

2.1 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดพฤติกรรมการรับน้ำหนักของโครงสร้างสะพาน (Load Test) มีดังต่อไปนี้

- 1) Strain transducer ซึ่งมีความละเอียดถึง 1 microstrain พร้อมอุปกรณ์ Extension Bar สำหรับวัดค่าความเครียดเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในโครงสร้างคอนกรีตเหล็ก
- 2) Displacement transducer ความละเอียดถึง 0.01 มม. สำหรับวัดค่าการแอ่นตัวของโครงสร้างสะพาน
- 3) Accelerometer ขนาด $\pm 5g$ ความละเอียด 8 mV/g สำหรับวัดค่าอัตราเร่งของการสั่นไหวของโครงสร้างสะพาน
- 4) Data Acquisition System สำหรับเก็บข้อมูลความเครียด ค่าการแอ่นตัว และความเร่ง และส่งสัญญาณต่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อเก็บข้อมูลและประมวลผลต่อไป
- 5) เครื่องคอมพิวเตอร์ในการเก็บตัวอย่าง บันทึกข้อมูล และประมวลผล
- 6) อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งล้อ Auto-Clicker เพื่อทราบตำแหน่งรถบรรทุก ขณะทำการทำการทดสอบ

2.2 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดพฤติกรรมโครงสร้างสะพาน

งานในส่วนนี้จะเริ่มที่การวางแผนเพื่อกำหนดรูปแบบของการติดตั้งเครื่องมือ การกำหนดทิศทางและทำเครื่องหมายแนววิ่งรถบรรทุก รวมถึงจำนวนของอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดสอบ

โครงสร้าง ตามความละเอียดของข้อมูลที่ต้องการเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ คุณสมบัติการตอบสนองของโครงสร้างแบบสถิตและแบบพลวัต โดยลักษณะของเครื่องมือที่จะใช้ในการทดสอบและลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดบนโครงสร้างสามารถจำแนกดังต่อไปนี้

2.2.1 อุปกรณ์วัดค่าความเครียด

Strain Transducer จะถูกติดตั้งที่หน้าตัดรับโมเมนต์ดัดสูงสุด จากการวิเคราะห์พฤติกรรมของโครงสร้างเบื้องต้นพบว่าตำแหน่งหน้าตัดที่รับโมเมนต์ดัดสูงสุดในช่วงกึ่งกลางโดยจะทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อที่จะตรวจวัดค่าความเครียดของหน้าตัดพื้นบริเวณผิวด้านบน และผิวด้านล่างของพื้นสะพาน รายละเอียดแสดงไว้ใน ภาคผนวก ก และเพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมการยั้งตัวของจตุรกรรับจึงได้ติดตั้งอุปกรณ์ที่ตำแหน่งใกล้จตุรกรรับ

2.2.2 อุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัว

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ Displacement Transducer ที่กึ่งกลางของช่วงสะพานเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่โครงสร้างสะพานมีการแอ่นตัวมากที่สุด

2.2.3 อุปกรณ์วัดค่าอัตราเร่งของการสั่นไหว

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ Accelerometer ที่กึ่งกลางของช่วงสะพานเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่โครงสร้างสะพานมีการสั่นไหวมากที่สุด สำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติแบบพลวัต

2.2.4 อุปกรณ์ในการทำ Data Acquisition (STS-WiFi)

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ STS-WiFi ที่บริเวณใกล้เคียงกับอุปกรณ์วัดค่าความเครียด ค่าการแอ่นตัว และค่าอัตราเร่งของการสั่นไหว เพื่อให้สายส่งสัญญาณ (wireless) สามารถต่อถึงได้ โดยตำแหน่งคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมควรอยู่ไม่ห่างจากอุปกรณ์ STS-WiFi เกิน 30 เมตร เพื่อให้สัญญาณที่ส่งมามีคุณภาพดี

2.2.5 อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งล้อ (Auto-Clicker)

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ชุดจับตำแหน่งล้อ (Auto-Clicker) ที่บริเวณล้อหน้าด้านซ้าย เพื่อทำการบันทึกตำแหน่งรถบรรทุก ขณะทำการทดสอบ เพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิงของรถบรรทุกบนสะพาน เมื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการตอบสนองของโครงสร้าง

2.3 การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกแบบสถิต

การตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานนั้นจะดำเนินการโดยวิธี Bridge Diagnostics Instruments Test (BDI) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบเพื่อประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน ที่พัฒนาขึ้นมาจากความต้องการทราบถึงพฤติกรรมการรับน้ำหนักของโครงสร้างจริงว่ามีความแตกต่างจากโครงสร้างในขั้นตอนของการวิเคราะห์และออกแบบมากน้อยเพียงใด โดยการประยุกต์หลักการพื้นฐานของความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเค้นและความเครียดในตัวโครงสร้างเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกกระทำ

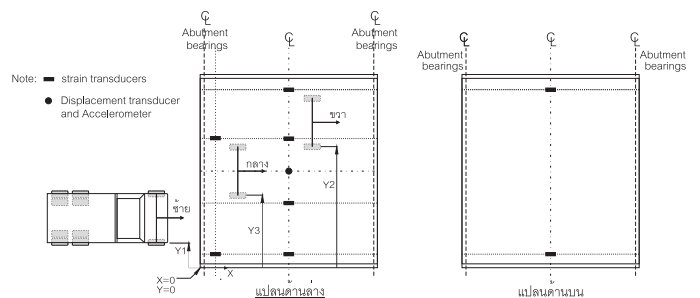
การทดสอบน้ำหนักบรรทุกจรประกอบไปด้วย การติดตั้งเครื่องมือวัดความเครียด เครื่องมือวัดการแอ่นตัว และเครื่องมือวัดความเร่งที่มีความแม่นยำสูงในบริเวณจุดที่สำคัญตลอดช่วงความยาวของสะพาน เครื่องมือที่ใช้สามารถที่จะแปลงสัญญาณที่ได้จากการวัดออกมาในรูปของคลื่นไฟฟ้าไปยังส่วนบันทึกข้อมูลซึ่งข้อมูลที่ตรวจวัดได้จะมีลักษณะเฉพาะสำหรับสะพานแต่ละตัวที่มีความแตกต่างกันในเรื่องวัสดุ ระบบโครงสร้าง ช่วงความยาว สภาพการยึดรั้งของจตุรองรับ โดยข้อมูลต่างๆ จะถูกบันทึกอย่างต่อเนื่องตลอดการทดสอบ และจะถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างจริงที่จะใช้วิเคราะห์และปรับแก้เพื่อใช้ประเมินน้ำหนักบรรทุกอย่างถูกต้องของสะพานต่อไป ขั้นตอนทั่วไปของการทดสอบสามารถจำแนกได้ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.3.1 การให้น้ำหนักทดสอบ

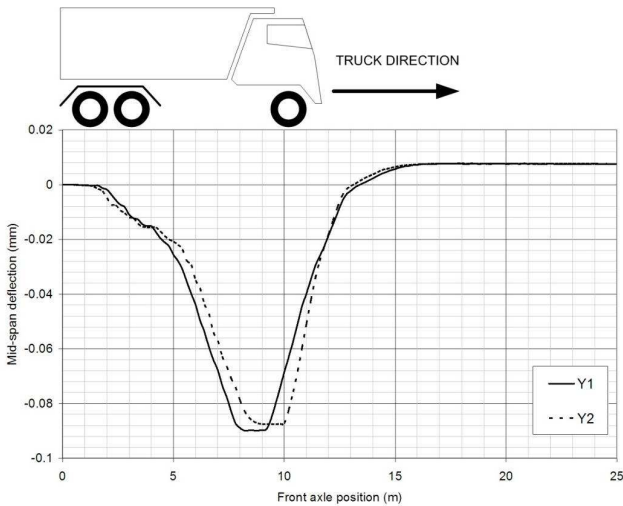
การให้น้ำหนักทดสอบเป็นขั้นตอนหลังจากเตรียมงานในส่วนติดตั้งเครื่องมือแล้วเสร็จและระบบของการทดสอบถูกติดตั้งและอยู่ในลักษณะพร้อมทดสอบ เริ่มต้นโดยการปล่อยให้รถซึ่งมีน้ำหนักบรรทุกรวมประมาณ 25 ตัน แบบรถบรรทุกเดี่ยว 10 ล้อเคลื่อนที่ไปตลอดสะพานอย่างช้าๆ (ความเร็วประมาณ 5 กม./ชม.) เนื่องจาก โครงสร้างไม่ควรได้รับผลกระทบจากการกระแทกอย่างฉับพลันระหว่างการทดสอบและมีการบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอดการเคลื่อนที่ของรถ จึงจำเป็นต้องมีการปิดการจราจรในช่วงระยะเวลาหนึ่งในระหว่าง การทดสอบ แนวอ้างอิงสำหรับให้รถบรรทุกวิ่ง 3 แนว ด้านริมซ้าย (Y1) ทางด้านริมขวา (Y2) ของสะพานโดยห่างจากขอบแผ่นคอนกรีตกันตึก 1.20 เมตร และแนวกึ่งกลางของสะพาน (Y3) ดังแสดง ในภาพที่ 5



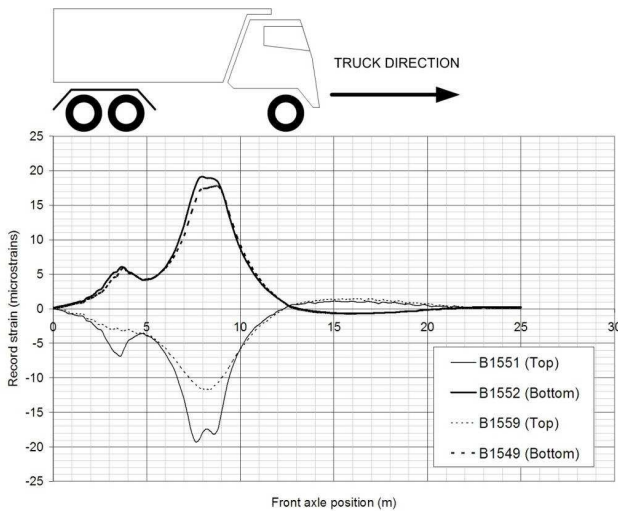
ภาพที่ 5 แนววิ่งของรถบรรทุกที่ใช้ทดสอบ

2.3.2 ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกแบบสถิต

ผลการบันทึกค่าการแอ่นตัวของสะพาน และความเครียด บนพื้นสะพาน ตามทิศทางการวิ่งของรถบรรทุก Y1 และ Y2 แสดงในภาพที่ 6 และ 7 สำหรับค่าความเครียดสูงสุดและการแอ่นตัวสูงสุดของสะพานตามแนววิ่งของรถบรรทุก Y1 (ซ้าย) Y2 (ขวา) ได้แสดงไว้ในตาราง ภาคผนวก ข



ภาพที่ 6 ผลการแ่นตัวบริเวณกึ่งกลางสะพานตามทิศทางการวิ่งของรถบรรทุกที่แนววิ่ง Y1 และ Y2



ภาพที่ 7 ค่าความเครียดของแผ่นพื้นสะพานตามทิศทางการวิ่งของรถบรรทุกที่แนววิ่ง Y1 จากขอบสะพาน

2.4 การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต

การทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมการเสียรูปเชิงพลวัตของโครงสร้างสะพานอันเนื่องมาจากผลกระทบร่วมกันของน้ำหนักและความเร็วของรถบรรทุกทดสอบที่วิ่งบนสะพาน (แนววิ่งกลางสะพาน Y3 ในภาพที่ 5) โดยแต่ละความเร็วทดสอบจะทำการตรวจวัดและบันทึกค่าการเสียรูปของโครงสร้างสะพาน ได้แก่ ค่าความเครียด (Strain) โดยวัดจาก Strain Transducer และความเร่งในแนวตั้ง (Vertical Acceleration) โดยวัดจาก Accelerometer เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้างสะพาน ได้แก่ ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio)

รวมถึงผลการสั่นไหวของโครงสร้างสะพานที่พิจารณาในรูปของค่าคูณเพิ่มทางพลศาสตร์หรือปัจจัยการกระแทก (Impact Factor) ซึ่งค่าเหล่านี้จะถูกใช้ประกอบในการวิเคราะห์และประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักต่อไป การทดสอบและตรวจวัดพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบพลวัตมีรายละเอียดของการดำเนินงานดังนี้

- ทำการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของโครงสร้างสะพานและทำการวิเคราะห์โครงสร้างเบื้องต้นเพื่อหาค่าความถี่ธรรมชาติและรูปแบบการสั่นไหวของโครงสร้างสะพาน แล้วจึงนำผลการวิเคราะห์ดังกล่าวมากำหนดตำแหน่งและจำนวนในการติดตั้งอุปกรณ์ที่เหมาะสม
- ติดตั้งอุปกรณ์และระบบทดสอบพฤติกรรมของโครงสร้างซึ่งในที่นี้ประกอบด้วย Strain Transducer, Accelerometer, Displacement Transducer และชุดอุปกรณ์ตรวจวัดสัญญาณ (Data Acquisition)
- ทำการทดสอบและตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานโดยให้บรรทุกทดสอบวิ่งต่อเนื่องด้วยความเร็วต่าง ๆ กัน ซึ่งความเร็วของรถบรรทุกจะต้องไม่ทำให้เกิดแรงกระแทกที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้าง หรือมีผลต่อความปลอดภัยระหว่างการดำเนินการทดสอบ โดยกำหนดให้ทำการวิ่งด้วยความเร็ว 20, 40 และ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ

2.3.3 ผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต

สำหรับการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกแบบพลวัตนี้ จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดสอบเพื่อประเมินพฤติกรรมการสั่นไหวของโครงสร้างสะพานรวมถึงคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของสะพานซึ่งประกอบด้วย ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) และ ปัจจัยการกระแทก (Impact Factor) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ค่า Dynamic Amplification Factor (DAF)

DAF คือค่าอัตราส่วนระหว่างผลการตอบสนองรวมต่อผลการตอบสนองเชิงสถิต โดยที่ผลการตอบสนองหมายถึง ค่าความเครียด หรือ ค่าการแ่นตัว เป็นต้น DAF เป็นตัวแปรสำคัญในการพิจารณาผลกระทบเนื่องจากการสั่นไหวของโครงสร้าง

สะพานในการออกแบบ เพราะเป็นตัวแปรที่บอกถึงผลการตอบสนองของ โครงสร้างที่เพิ่มขึ้นในสภาวะพลศาสตร์ นอกเหนือจากแรงกระทำแบบสถิต โดยที่

$$DAF = \frac{R_{total}}{R_{sta}} = \frac{R_{sta} + R_{dyn}}{R_{sta}} \quad (1)$$

เมื่อ DAF = Dynamic Amplification Factor, R_{sta} = ผลการตอบสนองสูงสุดเชิงสถิต R_{dyn} = ผลการตอบสนองเชิงพลศาสตร์ ณ เวลาเดียวกับ R_{sta}

การประเมินค่า DAF ของโครงสร้างสะพานจะใช้ผลการตอบสนองของโครงสร้าง คือ ค่าการแอ่นตัวที่กลางสะพาน ส่วนในการหา DAF ตามมาตรฐาน AASHTO[6] นั้นได้จากสูตร $DAF = (1+I)$ โดยที่ I หรือ Impact Factor มีค่าเท่ากับ $15.24/(L+38)$ แต่ไม่มากกว่า 0.30

ตารางที่ 1 การประเมินค่า DAF

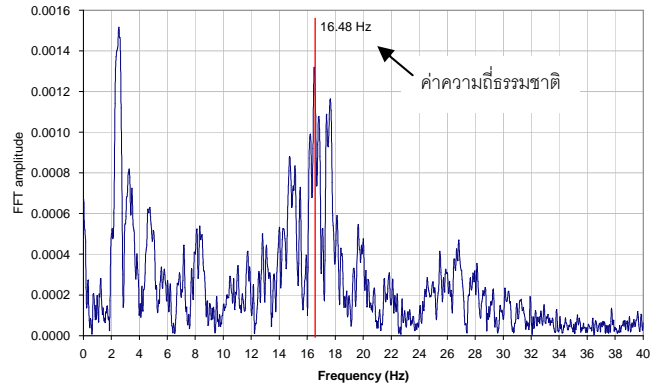
Truck speed (กม./ชม.)				DAF		
5	20	40	60	20	40	60
-0.97	-1.12	-1.22	-1.51 mm	1.15	1.26	1.56

Note: span deflection is in mm.

ค่า DAF ที่ได้จากการทดสอบ สะพานที่ความเร็วต่างๆ แสดงในตารางที่ 1 (ดูรายละเอียด ภาคผนวก ค) จากการตรวจสอบพบว่า ที่ความเร็ว 60 กม./ชม. ค่า DAF = 1.56 ซึ่งเกินกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน AASHTO (DAF = 1.30) ทั้งนี้เพราะว่า ค่า DAF นั้นจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น น้ำหนักและความเร็วของรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ รูปตัดตามยาวของสะพาน และความเรียบของพื้นผิวสะพาน โดยที่การควบคุมคุณภาพการก่อสร้างพื้นผิวสะพานที่ดี จะสามารถส่งผลให้ค่า DAF ลดลงได้

การวิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติ

ค่าความถี่ของการสั่นไหวของโครงสร้างสะพานที่ได้จากการตรวจวัดสามารถนำมาประเมินหา ค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างได้โดยอาศัยกระบวนการ Frequency Spectrum Analysis หรือ Fast Fourier Transformation (FFT) โดยแปลงข้อมูลความถี่จากพิสัยเวลาให้อยู่ในพิสัยความถี่ (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 ผลการวิเคราะห์ค่าความถี่ธรรมชาติ

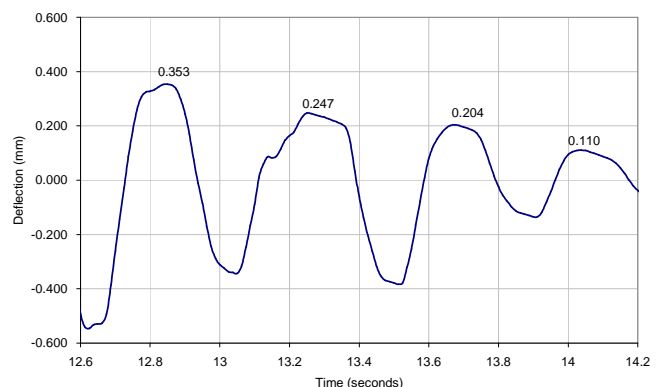
ค่าความหน่วงของโครงสร้าง (Damping Ratio, DR)

เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของโครงสร้างในการสลายพลังงานการสั่นไหวที่สะสม โดยปกติสะพานจะมีค่าความหน่วงอยู่ที่ประมาณ 2-10% สะพานที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงมาก ก็จะมีแนวโน้มที่จะไม่เกิดปัญหาเนื่องจากการสั่นไหวของโครงสร้างสะพาน นั่นคือสะพานจะเกิดการแกว่งตัวในระยะเวลาสั้นๆ ก็จะกลับมาอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง ค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$DR = \frac{1}{2\pi m} \ln \frac{d_n}{d_{n+m}} \quad (2)$$

เมื่อ m = จำนวนรอบที่นำมาคำนวณหา Damping Ratio, d_n = ค่าการเคลื่อนที่สูงสุดของรอบที่ n, d_{n+m} = ค่าการเคลื่อนที่สูงสุดของรอบที่ n+m

ผลการวิเคราะห์ค่าความหน่วงของโครงสร้างสะพาน แสดงในภาพที่ 9 และตารางที่ 2



ภาพที่ 9 ผลการวิเคราะห์ค่าความหน่วงของโครงสร้าง

จากตารางที่ 2 สามารถหาค่าอัตราส่วนความหน่วงเฉลี่ยได้เท่ากับ 0.054 หรือ 5.4 % ซึ่งสะพานปกติจะมี อัตราส่วนความหน่วงอยู่ในช่วง 2 - 10%

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วง

m	d_n	d_{n+m}	DR
1		0.247	0.057
2	0.353	0.204	0.044
3		0.110	0.062

3 สรุปผลการศึกษา

บทความนี้บทความนี้รายงานการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกจรบนสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กประเภท Slab Type ที่มีสภาพชำรุดแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยใช้รถบรรทุกน้ำหนักบรรทุกรวมประมาณ 25 ตัน จำนวน 1 คัน เคลื่อนที่บนสะพานด้วยความเร็วประมาณ 5, 20, 40 และ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง พบว่าค่าความเครียดสูงสุดที่วัดได้เท่ากับ 69.6 microstrains ภายใต้น้ำหนักบรรทุก มีค่าน้อยกว่าค่าความเครียดที่เกิดการแตกร้าวของคอนกรีต (200 microstrains) สำหรับค่าการแอ่นตัวของสะพานที่ทำการทดสอบ พบว่ามีค่าไม่เกินค่าที่ AASHTO กำหนด

เอกสารอ้างอิง

[1] บริษัท อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล เอ็นจิเนียริง คอนซัลแต้นส์ จำกัด, 2552. โครงการสำรวจสภาพความเสียหายและทดสอบการรับน้ำหนักของสะพานแบบ SLAB TYPE ในพื้นที่ สำนักทางหลวงที่ 3 (สกลนคร), สำนักทางหลวงที่ 7 (อุบลราชธานี), สำนักทางหลวงที่ 8 (นครราชสีมา). สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม

[2] ประเทือง อินคัม, 2552. การทดสอบความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุก (Load Carrying Capacity Test). International Engineering Consultants Co., Ltd. (IEC)

[3] Peter J. S. 2004. Field Instrumentation and Live Load Testing to Evaluate Behavior of Three Reinforced Concrete Bridge Decks. Master Thesis, Montana State University, Bozeman, Montana.

[4] Wipf T.J., Phares B.M., Klaiber F.W., Wood D.L., Mellinger E., and Samuelson A. 2003. Development of Bridge Load Testing Process for Load Evaluation. Project TR-445, Center for Transportation Research and Education. Department of Civil, Construction and Environmental Engineering, Iowa State University.

[5] ประเทือง อินคัม, ทนงศักดิ์ อิ่มใจ, ชยากร พานิชพัฒน์, สิกานต์ มณี. 2553. การตรวจสอบและวิเคราะห์สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในภาคสนาม. ในงานประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 12-14 พฤษภาคม 2553.

[6] ASSHTO LRFD, 2000. Bridge Design Specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D C.

ภาคผนวก ก รายละเอียดแบบสะพานและ ตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุก

โครงการสำรวจสภาพความเสียหายและทดสอบการรับน้ำหนักของสะพาน
กรมทางหลวงในพื้นที่สำนักงานทางหลวงที่ 7 (อุบลราชธานี)

<p>KINGDOM OF THAILAND MINISTRY OF TRANSPORT DEPARTMENT OF HIGHWAYS</p>	<p>TESCO LTD.</p>	<p>P&C MANAGEMENT CO., LTD.</p>	
สถานีทางหลวงที่ : 7	แขวงทางทาง : ร้อยเอ็ด	ทล 2418	กม 34+231
ตอน : แยกทางหลวงหมายเลข 2136 (โพนทอง) - บรรจบแยกทางหลวงหมายเลข 2136 (หนองพอก)	ชื่อสะพาน : ห้วยทราย	วันที่	

Bridge N° _____

สะพานขนาด $ST(1 \times 7.5) + ST(4 \times 10) + ST(2 \times 7.5) = 62.50$ M.

ผิวจราจร Concrete

อายุ _____

ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด **แปลนด้านบน**

แปลนด้านบน

แปลนด้านล่าง

มุมมองปีที่ 2

รายละเอียดอุปกรณ์ตรวจวัด

ID	STRUCTURE	SENSOR	REMARKS
1	DECK SLAB (TOP)	B1551	
2	DECK SLAB (TOP)	B1559	
3	DECK SLAB (BOTTOM)	B1561	
4	DECK SLAB (BOTTOM)	B1554	
5	DECK SLAB (BOTTOM)	B1552	
6	DECK SLAB (BOTTOM)	B1547	
7	DECK SLAB (BOTTOM)	B1549	
8	DECK SLAB (BOTTOM)	B1548	
9	CAP BEAM	B1558	
10	CAP BEAM	B1553	
11	COLUMN	B1546	
12	COLUMN	B1557	
13	COLUMN	B1556	
14	DECK SLAB (BOTTOM)	SP267	
15	DECK SLAB (BOTTOM)	A455	



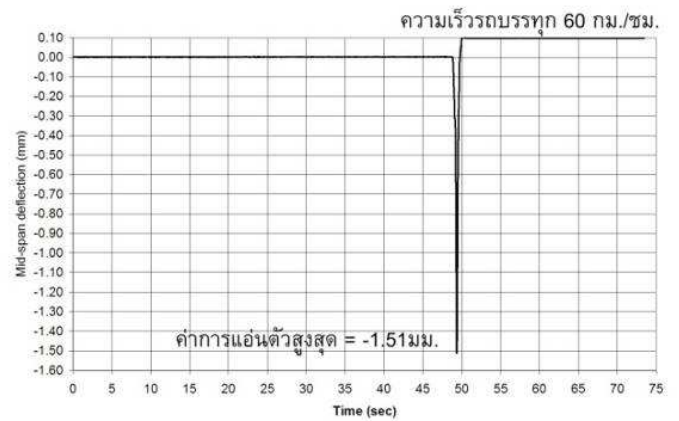
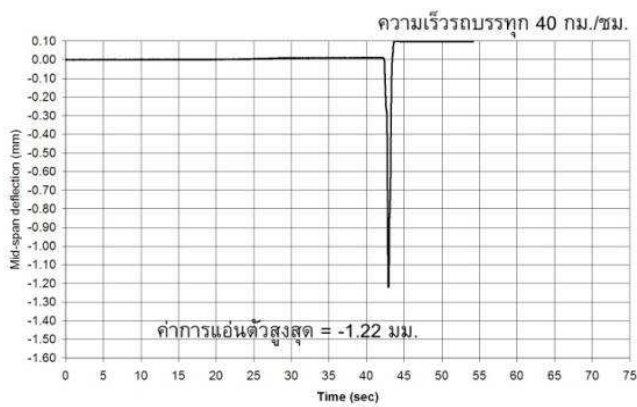
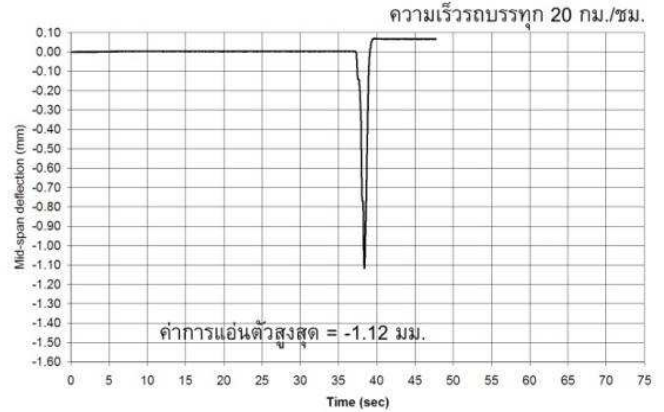
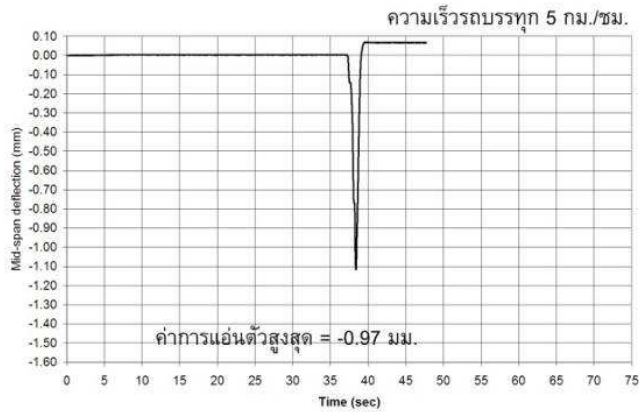
ภาคผนวก ข ค่าสูงสุดที่ได้จากการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบสถิติ

N ^o	Type of Structure	Type of Sensor	Sensor ID	แนววิ่งของรถ		Unit
				บรรทุกทดสอบ		
				ซ้าย	ขวา	
1	Deck Slab (top)	Strain Transducer	B1551	-19.90	-10.11	
2	Deck Slab (top)	Strain Transducer	B1559	-11.80	-24.24	
3	Deck Slab (bottom)	Strain Transducer	B1561	12.33	3.53	
4	Deck Slab (bottom)	Strain Transducer	B1554	46.37	22.27	
5	Deck Slab (bottom)	Strain Transducer	B1552	69.60	44.36	
6	Deck Slab (bottom)	Strain Transducer	B1547	4.46	7.81	
7	Deck Slab (bottom)	Strain Transducer	B1549	64.71	88.14	microstrain
8	Deck Slab (bottom)	Strain Transducer	B1548	18.22	36.58	
9	Cap Beam	Strain Transducer	B1558	6.87	6.63	
10	Cap Beam	Strain Transducer	B1553	18.27	15.40	
11	Column	Strain Transducer	B1546	-6.66	-4.89	
12	Column	Strain Transducer	B1557	-8.46	-10.63	
13	Column	Strain Transducer	B1556	-9.01	-12.40	
14	Deck Slab (bottom)	Displacement Transducer	SP267	-0.90	-0.88	millimeter

หมายเหตุ

1. Tensile Strain มีค่าเป็นบวก และ Compressive Strain มีค่าเป็นลบ
2. ค่าการแอ่นตัวลงมีค่าเป็นลบ
3. ตามมาตรฐาน AASHTO กำหนดให้ค่าการแอ่นตัวจากน้ำหนักบรรทุกจรมีค่าไม่เกิน $L/800$
สะพานทดสอบมีช่วงสะพานยาว 7.5 เมตร $L/800 = 7500/800 = 9.375$ mm

ภาคผนวก ค ผลการตรวจวัดการแอ่นตัวบริเวณกึ่งกลางสะพาน



ผลการประเมินค่า Dynamic Amplification Factor (DAF)

Span Length (m)	Name of Sensor	Unit	ความเร็วรถบรรทุกทดสอบ (กม./ชม.)				DAF			
			5 km/hr	20 km/hr	40 km/hr	60 km/hr	20 km/hr	40 km/hr	60 km/hr	AASHTO
7.5	SP267	mm	-0.97	-1.12	-1.22	-1.51	1.15	1.26	1.56	1.30