

โครงการศึกษาการเสริมกำลังสะพานกรมทางหลวงรุ่นเก่าประเภทคานตัวที่
โดยวิธีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน
เพื่อยกระดับมาตรฐานการให้บริการรองรับการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน

รายงานขั้นสุดท้าย

Final Report

จัดทำโดย



บริษัท แอสโคนา เอ็ม จำกัด

สิงหาคม 2565

รายละเอียดโครงการ

| | |
|-------------------|--------------------------------------|
| ผู้ว่าจ้าง | สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง |
| ผู้รับจ้าง | บริษัท แอสโคนา เอ็ม จำกัด |
| เลขที่สัญญา | สจ.2/2565 ลงวันที่ 30 พฤศจิกายน 2564 |
| วันเริ่มโครงการ | วันที่ 1 ธันวาคม 2564 |
| วันสิ้นสุดโครงการ | วันที่ 27 สิงหาคม 2565 |
| ระยะเวลาดำเนินงาน | 270 วัน |

คณะกรรมการ

| | | | | |
|-----|------------------|-------------------|--------------------------------------|---|
| 1. | ดร.พลเทพ | เลิศรวนนิช | ผู้อำนวยการ สำนักวิจัยและพัฒนาทาง | ประธานกรรมการ |
| 2. | นายเศกชัย | อนุเวชศิริเกียรติ | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | กรรมการ |
| 3. | นายพรชัย | ศิลาธรรมย์ | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | กรรมการ |
| 4. | ดร.กฤษณะ | เพ็ญสมบุรณ์ | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | กรรมการ |
| 5. | ดร.สุกิจ | ยินดีสุข | วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ | กรรมการ |
| 6. | นายวิศิษฐ์ศักดิ์ | หนูสุวรรณ | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ | กรรมการ |
| 7. | นายธีรดา | รุ่งเรืองเจริญสุข | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | กรรมการ |
| 8. | ดร.ราชวัลลภ | กัมพูพงศ์ | วิศวกรโยธาชำนาญการ | กรรมการและวิศวกรกำกับ โครงการ |
| 9. | นายวิกรินทร์ | สอนถม | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | กรรมการและผู้ช่วยวิศวกร กำกับโครงการ |
| 10. | นายอรรถพล | หายทุกษ์ | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ | กรรมการและผู้ช่วยวิศวกร กำกับโครงการ |

ที่ปรึกษา บริษัท แอสโคนา เอ็ม จำกัด

| | | | |
|----|---------------|-----------------|--|
| 1. | นายธีระพงษ์ | วราชาติ | ผู้จัดการโครงการ |
| 2. | นายสันติสุข | เชื่อมชัยตระกูล | ผู้เชี่ยวชาญด้านการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง |
| 3. | ผศ.ภานูเมศวร์ | ศิริรณานันต์ | ผู้เชี่ยวชาญด้านการทดสอบโครงสร้าง |
| 4. | ผศ.ดร.วินัย | อวพรประเสริฐ | ผู้เชี่ยวชาญด้านการบำรุงรักษาสะพาน |
| 5. | นายธภัทร | เล็กเอกรัตน์ | ผู้เชี่ยวชาญด้านการจราจร |

บทคัดย่อ

การศึกษาได้เริ่มจากการทบทวนข้อมูลสะพานประเภทคานตัวที่อยู่ในระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) ของกรมทางหลวง และได้คัดเลือกช่วงความยาวสะพานที่มีสัดส่วนการใช้งานสูงสุด 4 ลำดับแรก รวมทั้งสิ้น 8 สะพาน ได้แก่ สะพานคลองปากแพรก 10 ม. สะพานแม่น้ำลาว 12 ม. สะพานห้วยเงิน 12 ม. สะพานห้วยแม่โป่ง 15 ม. สะพานข้ามคลองบางมัน 15 ม. สะพานข้ามแม่น้ำชี 15 ม. สะพานคลองน้ำรอบ 20 ม. และสะพานคลองยัน 20 ม. เพื่อใช้เป็นตัวแทนสะพานประเภทคานตัวที่ในการตรวจสอบและทดสอบสะพานภาคสนาม สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบเสริมกำลัง

จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์และออกแบบการเสริมกำลังสะพานหลายรูปแบบ เช่น การเสริมกำลังด้วยการเพิ่มขนาดคาน (Concrete Jacketing) การเสริมกำลังด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) การเสริมกำลังด้วยการอัดแรง (Pre-stressing) และการเสริมความหนาพื้นสะพาน (Deck Jacketing) เพื่อใช้คัดเลือกรูปแบบการเสริมกำลังที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายประเภทต่างๆ เช่น ค่าเสริมกำลัง ค่าซ่อมแซม และค่าก่อสร้างใหม่ ตลอดอายุการใช้งาน (Life-cycle Cost) มีราคาต่ำที่สุด พร้อมทั้งจัดทำแบบรายละเอียดการเสริมกำลังสะพานสำหรับกรณีต่าง ๆ รวมถึงได้ประมาณราคาเสริมกำลังและแผนการบำรุงรักษาสะพาน เพื่อให้กรมทางหลวงสามารถใช้ประกอบการเสนอของบประมาณในการเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่ได้ทันที การแนะนำรูปแบบการเสริมกำลังโดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life-cycle Cost) สำหรับสะพานประเภทคานตัวที่ทั้งหมดของกรมทางหลวง สามารถสรุปเป็น 3 กลุ่ม ได้ดังนี้ (1) คานสะพานรูปตัวที่ ความยาวช่วง 10 เมตร และ 12 เมตร แนะนำให้ก่อสร้างใหม่ ยกเว้นในกรณีอายุคานสะพานหรือปริมาณรถบรรทุกหนักน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในรายงานฉบับนี้ ให้เสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 เมตร (2) คานสะพานรูปตัวที่ ความยาวช่วง 15 เมตร รูปแบบการเสริมกำลังที่แนะนำ คือ Pre-stressing ยกเว้นในกรณีอายุคานสะพานหรือปริมาณรถบรรทุกหนักมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในรายงานฉบับนี้ ให้ก่อสร้างใหม่ (3) คานสะพานรูปตัวที่ความยาวช่วง 20 เมตร รูปแบบการเสริมกำลังที่แนะนำ คือ Concrete Jacketing ยกเว้นในกรณีอายุคานสะพานหรือปริมาณรถบรรทุกหนักมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในรายงานฉบับนี้ ให้ก่อสร้างใหม่

ในการประมาณราคาเสริมกำลังสะพานเบื้องต้น พบว่า สะพานคลองปากแพรก สะพานห้วยเงิน สะพานห้วยแม่โป่ง สะพานข้ามคลองบางมัน สะพานข้ามแม่น้ำชี สะพานคลองน้ำรอบ และสะพานคลองยัน พบว่าจะต้องใช้งบประมาณ 1,177,689 บาท, 325,957 บาท, 2,554,490 บาท, 1,532,694 บาท, 1,021,796 บาท, 2,071,874 บาท และ 5,978,936 บาท ตามลำดับ ส่วนการประเมินราคาก่อสร้างใหม่ของสะพานแม่น้ำลาวเท่ากับ 10,080,000 บาท



Abstract

The study began by reviewing T-girder bridges from the Bridge Maintenance and Management System (BMMS), DOH. Then, the top 4 span lengths mostly used in the road network were selected for 8 bridges namely; Klong Pak Prag Bridge 10 m, Mae Nam Lao Bridge 12 m, Hany Ngern Bridge 12 m, Hany Mae Pong Bridge 15 m, Klong Bang Man Bridge 15 m, Mae Nam Chi Bridge 15 m, Klong Nam Rob Bridge 20 m and Klong Yun Bridge 20 m. These 8 bridges were used as representatives of T-girder bridges for conducting field inspection and testing in order to get information for bridge strengthening design.

Several strengthening methods including; concrete jacketing, carbon fiber strengthening, pre-stressing and deck jacketing, were analyzed and designed. Then, the most suitable method that yielded the lowest life cycle cost, which included strengthening cost, repair cost and reconstruction cost yet met the safety criteria, was selected. Finally, the strengthening details for T-girder bridges under given scenarios were provided. The estimation of strengthening cost and maintenance plans were also provided so that the DOH can promptly use them to propose the budget for strengthening T-girder bridges. Recommendations for strengthening of all T-girder bridges owned by DOH when considered life cycle cost can be summarized into 3 groups. (1) T-girder bridges with a span of 10 and 12 meters should be reconstructed unless the age or truck volume is lower than the thresholds specified in this report, they should be deck jacketing. (2) T-girder bridges with a span of 15 meters should be strengthened by pre-stressing method unless the age or truck volume is greater than the thresholds specified in this report, they should be reconstructed. (3) T-girder bridges with a span of 20 meters should be strengthened by concrete jacketing method unless the age or truck volume is greater than the threshold specified in this report, they should be reconstructed.

The preliminary cost estimation for The cost estimation for Klong Pak Prag Bridge, Hany Ngern Bridge, Hany Mae Pong Bridge, Klong Bang Man Bridge, Mae Nam Chi Bridge, Klong Nam Rob Bridge and Klong Yun Bridge were 1,177,689 baht, 1,888,766 baht, 325,957 baht, 2,554,490 baht, 1,532,694 baht, 1,021,796 baht, 2,071,874 baht and 5,978,936 baht, respectively. For the reconstruction cost of Mae Nam Lao Bridge was 10,080,000 baht.

บทสรุปผู้บริหาร

การเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนจะทำให้ประเทศไทยกลายเป็นศูนย์กลางการคมนาคมทางถนนของภูมิภาค ส่งผลให้โครงข่ายทางหลวงจะมีปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ในส่วนสะพานที่ดูแลโดยกรมทางหลวง สะพานประเภทคานตัวที่มีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบจากการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนมากที่สุด เนื่องจากเป็นสะพานรุ่นเก่าที่ออกแบบโดยชุดน้ำหนักบรรทุกในช่วงปีพ.ศ. 2500 ถึง 2520 ซึ่งมีน้ำหนักต่ำกว่าชุดน้ำหนักบรรทุก HL93 (หรือเทียบเท่า) ที่สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง ใช้ออกแบบสะพานในปัจจุบันค่อนข้างมาก อีกทั้งสะพานยังเกิดการเสื่อมสภาพค่อนข้างมากจากการผ่านการใช้งานมานานกว่า 40 ปี ดังนั้น จึงมีความจำเป็นเร่งด่วนที่จะต้องตรวจสอบและประเมินความปลอดภัยของสะพานประเภทคานตัวที่ รวมถึงศึกษาแนวทางการปรับปรุงเสริมกำลังให้กับสะพาน เพื่อให้สภาพการใช้งานมีความปลอดภัยในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

การศึกษาได้เริ่มจากการทบทวนข้อมูลสะพานประเภทคานตัวที่ในระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) ของกรมทางหลวง โดยได้นำข้อมูลช่วงสะพานประเภทคานตัวที่จำนวน 796 ช่วง สะพาน (Span) จาก 258 สะพาน (Bridge) มาจัดกลุ่มตามช่วงความยาวเป็นหลัก และพิจารณาปัจจัยด้านอื่นๆ ประกอบ เช่น พื้นที่ อายุ และปริมาณบรรทุก จากนั้นได้เลือกช่วงความยาวสะพานที่มีสัดส่วนการใช้งานสูงสุด 4 ลำดับแรก รวมทั้งสิ้น 8 สะพาน ได้แก่ สะพานคลองปากแพรก 10 ม. สะพานแม่น้ำลาว 12 ม. สะพานห้วยเงิน 12 ม. สะพานห้วยแม่โป่ง 15 ม. สะพานข้ามคลองบางมัน 15 ม. สะพานข้ามแม่น้ำชี 15 ม. สะพานคลองน้ำรอบ 20 ม. และสะพานคลองยัน 20 ม. เพื่อใช้เป็นตัวแทนสะพานประเภทคานตัวที่ในการตรวจสอบภาคสนาม ประกอบด้วย การสำรวจขนาดชิ้นส่วนโครงสร้าง และระดับความเสียหาย การสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมของชิ้นส่วนโครงสร้าง การตรวจสอบคุณสมบัติวัสดุต่าง ๆ (กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต กำลังรับแรงดึงของคอนกรีต กำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม และความถี่การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น) การทดสอบพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานแบบสถิตและแบบพลวัต นอกจากนี้ยังได้ตรวจวัดความเครียดของคานที่เกิดจากการจราจรภายใต้สภาวะการใช้งานจริงเป็นระยะเวลา 3 วัน เพื่อประมาณการจำนวนและน้ำหนักของรถบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพาน

โครงการนี้ได้วิเคราะห์และออกแบบการเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่หลากหลายรูปแบบ เช่น การเสริมกำลังด้วยการเพิ่มขนาดคาน (Concrete Jacketing) การเสริมกำลังด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ (CFRP) การเสริมกำลังด้วยการอัดแรง (Pre-stressing) และ การเสริมความหนาพื้นสะพาน (Deck Jacketing) จากนั้นได้คัดเลือกรูปแบบการเสริมกำลังที่เหมาะสมที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายประเภทต่างๆ เช่น

ค่าเสริมกำลัง ค่าซ่อมแซม และค่าก่อสร้างใหม่ ตลอดอายุการใช้งาน (Life-cycle Cost) มีราคาต่ำที่สุด โดยสะพานยังคงมีระดับความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การวิเคราะห์จะอาศัยข้อมูลสภาพปัจจุบันของสะพานจากการทดสอบกำลังวัสดุและการตรวจวัดพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุก มาประกอบกับการคาดการณ์ปริมาณการจราจรที่สัญจรผ่านสะพานนั้น ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของสะพานร่วมกับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูสะพานให้กลับมามีสภาพพร้อมใช้งาน ซึ่งจะทำให้การเสริมกำลังมีความคุ้มค่าตามสภาพการใช้งานจริง จากนั้นได้จัดทำเป็นแบบรายละเอียดการเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่สำหรับกรณีต่าง ๆ รวมถึงได้ประมาณราคาค่าเสริมกำลังและแผนการบำรุงรักษาสะพาน เพื่อให้กรมทางหลวงสามารถใช้ประกอบการเสนอขอของบประมาณในการเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่ได้ทันที

การออกแบบเสริมกำลังสะพานได้ใช้มาตรฐาน ASSHTO LRFD โดยแบ่งสะพานออกเป็น 3 กลุ่ม ตามความยาวช่วงสะพาน (Span Length) กลุ่มที่ 1: ช่วงสะพาน 10 ถึง 12 เมตร ได้แก่ สะพานคลองปากแพรก สะพานแม่น้ำลาว และสะพานห้วยเงิน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังของสะพานตามสภาพปัจจุบันยังสามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก HL-93 ได้ อย่างไรก็ตาม เพื่อความคงทนของสะพานในระยะยาว จึงเสนอให้เพิ่มความหนาของพื้นสะพานอีกประมาณ 0.10 เมตร แต่เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานแล้ว พบว่ากรณี สะพานแม่น้ำลาว ควรก่อสร้างใหม่เป็นสะพาน Plank Girder กลุ่มที่ 2: ช่วงสะพาน 15 เมตร ได้แก่ สะพานห้วยแม่โป่ง สะพานข้ามคลองบางมัน และสะพานข้ามแม่น้ำชี ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังของสะพานตามสภาพปัจจุบันไม่สามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก HL-93 ได้ และจากการคัดเลือกรูปแบบการเสริมกำลังโดยพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life-cycle Cost) พบว่า ควรเสริมกำลังคานสะพานด้วยวิธี Pre-stressing กลุ่มที่ 3: ช่วงสะพาน 20 เมตร ได้แก่ สะพานคลองน้ำรอบ และสะพานคลองยัน ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า กำลังของสะพานตามสภาพปัจจุบันไม่สามารถรองรับน้ำหนักเนื่องจาก HL-93 ได้ และจากการคัดเลือกรูปแบบการเสริมกำลังโดยพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน พบว่า ควรเสริมกำลังคานสะพานด้วยวิธี Concrete Jacketing อย่างไรก็ตาม สะพานคลองน้ำรอบ ซึ่งประกอบด้วยช่วงสะพาน 20 เมตร 1 ช่วง และ 15 เมตร 2 ช่วงสะพาน เมื่อพิจารณาว่าการเสริมกำลังควรมีเพียงรูปแบบเดียวทั้งสะพาน จึงแนะนำว่าควรเสริมกำลังคานสะพานโดยวิธี Pre-stressing แทน

การประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานในโครงการนี้เป็นเพียงการแนะนำราคาเบื้องต้นเท่านั้น โดยได้พิจารณาปริมาณวัสดุตามแบบรายละเอียดการเสริมกำลังสะพาน ผลการประเมินราคาของสะพานคลองปากแพรก สะพานห้วยเงิน สะพานห้วยแม่โป่ง สะพานข้ามคลองบางมัน สะพานข้ามแม่น้ำชี สะพานคลองน้ำรอบ และสะพานคลองยัน พบว่าจะต้องใช้งบประมาณ 1,177,689 บาท, 325,957 บาท, 2,554,490 บาท, 1,532,694 บาท, 1,021,796 บาท, 2,071,874 บาท และ 5,978,936 บาท ตามลำดับ ส่วนการประเมินราคาก่อสร้างใหม่ของสะพานแม่น้ำลาวเท่ากับ 10,080,000 บาท

การแนะนำรูปแบบการเสริมกำลังโดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน (Life-cycle Cost) สำหรับสะพานประเภทคานตัวที่ทั้งหมดของกรมทางหลวง สามารถสรุปเป็น 3 กลุ่ม ได้ดังนี้ (1) คานสะพานรูปตัวที ความยาวช่วง 10 เมตร (คานกว้าง 0.35 เมตร ลีค 1.25 เมตร) และความยาวช่วง 12 เมตร ทั้งสองรูปแบบ (คานกว้าง 0.50 เมตร ลีค 0.90 เมตร และ คานกว้าง 0.45 เมตร ลีค 0.85 เมตร) แนะนำให้ก่อสร้างใหม่ ยกเว้นในกรณีอายุคานสะพานหรือปริมาณรถบรรทุกหนักน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในรายงานฉบับนี้ ให้เสริมความหนาพื้นสะพาน 0.10 เมตร (2) คานสะพานรูปตัวที ความยาวช่วง 15 เมตร (คานกว้าง 0.35 เมตร ลีค 1.30 เมตร) รูปแบบการเสริมกำลังที่แนะนำ คือ Pre-stressing ยกเว้นในกรณีอายุคานสะพานหรือปริมาณรถบรรทุกหนักมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในรายงานฉบับนี้ ให้รื้อก่อสร้างใหม่ (3) คานสะพานรูปตัวทีความยาวช่วง 20 เมตร (คานกว้าง 0.45 เมตร ลีค 1.45 เมตร) รูปแบบการเสริมกำลังที่แนะนำ คือ Concrete Jacketing ยกเว้นในกรณีอายุคานสะพานหรือปริมาณรถบรรทุกหนักมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในรายงานฉบับนี้ ให้รื้อก่อสร้างใหม่

จากผลการศึกษาข้างต้น กรมทางหลวงควรวางแผนการเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่บนทางหลวงสายหลักเป็นการเร่งด่วน เพื่อให้การขนส่งสินค้าและการเดินทางบนโครงข่ายหลักของประเทศมีความปลอดภัย ทันต่อการเข้าสู่ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน และควรวางแผนทยอยเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่บนทางหลวงสายรองตามงบประมาณที่จะสามารถจัดสรรได้ในแต่ละปี เพื่อให้สะพานทุกแห่งบนโครงข่ายทางหลวงมีความสามารถรองรับน้ำหนักบรรทุกได้ตามมาตรฐานกรมทางหลวงในปัจจุบัน

Executive Summary Report

The launch of ASEAN Economic Community (AEC) will make Thailand the centre of road network in the region, resulting in significantly increase in traffic volume as well as traffic weight. For the bridges owned by the Department of Highways (DOH), T-girder bridges are the most vulnerable to the launch of AEC. This was due to the bridges were designed by the old truck load used during the period 1957 - 1977, which was considerably lower than the new truck load HL93 (or equivalent) currently adopted by the Bureau of Location and Design, DOH. Furthermore, the bridges have been severely deteriorated after being used by more than 40 years. Therefore, T-girder bridges were urgently needed inspection and evaluation for safety and it also need to study the guidelines for bridge strengthening in order to restore their load capacities up to the acceptable level.

The study began by reviewing T-girder bridges from the Bridge Maintenance and Management System (BMMS), DOH. 796 T-girder spans from 258 bridges were classified by span length primarily, and also by other factors such as area, age and truck volume. Then, the top 4 span lengths mostly used in the road network were selected for 8 bridges namely; Klong Pak Prag Bridge 10 m, Mae Nam Lao Bridge 12 m, Hauy Ngerm Bridge 12 m, Hauy Mae Pong Bridge 15 m, Klong Bang Man Bridge 15 m, Mae Nam Chi Bridge 15 m, Klong Nam Rob Bridge 20 m and Klong Yun Bridge 20 m. These 8 bridges were used as representatives of T-girder bridges for conducting field operations, including; survey of structural member size, damage inspection, survey of reinforcement details of structural members, material testings (concrete compressive strength, concrete tensile strength, rebar tensile strength and carbonation depth), static and dynamic load tests. In addition, strain measurements of deflected beam under real traffic loads were collected for 3 days in order to estimate truck volume and their weight passing the 8 selected bridges.

The project performed analysis and design for several strengthening methods, including; concrete jacketing, carbon fiber strengthening, pre-stressing and deck jacketing. Then, the most suitable method that yielded the lowest life cycle cost, which included strengthening cost, repair cost and reconstruction cost yet met the safety criteria, was selected. The analysis considered the current bridge conditions from the results of material tests and load tests in conjunction with

the estimated traffic volume passing on each bridge in order to evaluate bridge deterioration and restoring cost to yield the best value for usage in real conditions. Finally, the strengthening details for T-girder bridges under given scenarios were provided. The estimation of strengthening cost and maintenance plans were also provided so that the DOH can promptly use them to propose the budget for strengthening T-girder bridges.

The design of bridge strengthening followed AASHTO LRFD. The bridges were classified into 3 groups according to span lengths. Group 1: span length 10-12 meters included Klong Pak Prag Bridge, Mae Nam Lao Bridge and Hauy Ngern Bridge. The analysis showed that their load capacities were still adequate for HL93; however, to ensure the load capacity in the long term, it recommended deck jacketing by about 0.10 m. For the case of Mae Nam Lao Bridge, after considering the life cycle cost analysis, it should be reconstructed to plank girder bridge instead. Group 2: span length 15 included Hauy Mae Pong, Klong Bang Man Bridge and Mae Nam Chi Bridge. The analysis showed that their load capacities were not adequate for HL93. After considering life cycle cost analysis, this group should be strengthened by pre-stressing method. Group 3: span length 20 meters included Klong Nam Rob Bridge and Klong Yun Bridge. The analysis showed that their load capacities were not adequate for HL93. After considering life cycle cost analysis, this group should be strengthened by concrete jacketing method. Nevertheless, when considering a bridge should be strengthened by only one method, Klong Nam Rob Bridge that consisted of a span of 20 meters and 2 spans of 15 meters should be strengthened by pre-stressing method instead.

The cost estimation for bridge strengthening in this project was only a preliminary cost. It considered all the costs associate with bill of materials as specified in the details of bridge strengthening. The cost estimation for Klong Pak Prag Bridge, Hauy Ngern Bridge, Hauy Mae Pong Bridge, Klong Bang Man Bridge, Mae Nam Chi Bridge, Klong Nam Rob Bridge and Klong Yun Bridge were 1,177,689 baht, 1,888,766 baht, 325,957 baht, 2,554,490 baht, 1,532,694 baht, 1,021,796 baht, 2,071,874 baht and 5,978,936 baht, respectively. For the reconstruction cost of Mae Nam Lao Bridge was 10,080,000 baht.

Recommendations for strengthening of all T-girder bridges owned by DOH when considered life cycle cost can be summarized into 3 groups. (1) T-girder bridges with a span of 10 meters (width x depth of 0.35 x 1.25 meters) and a span of 12 meters (width x depth of 0.50 x 0.90 meters and 0.45 x 0.85 meters) should be reconstructed unless the age or truck volume

is lower than the thresholds specified in this report, they should be deck jacketing. (2) T-girder bridges with a span of 15 meters (width x depth of 0.35 x 1.30 meters) should be strengthened by pre-stressing method unless the age or truck volume is greater than the thresholds specified in this report, they should be reconstructed. (3) T-girder bridges with a span of 20 meters (width x depth of 0.45 x 1.45 meters) should be strengthened by concrete jacketing method unless the age or truck volume is greater than the threshold specified in this report, they should be reconstructed.

Based on the findings of this project, DOH should plan strengthening T-girder bridges on primary highways urgently in order to provide safety for transport of goods and traveling in time the country entering to the AEC. Subsequently, DOH should strengthening the rest of T-girder bridges on the secondary highways or lower in order to upgrade the load capacities of all bridges in the road network to meet the current DOH standard

สารบัญ

| | | |
|----------------|--|------------|
| บทที่ 1 | บทนำ | 1-1 |
| 1.1 | ที่มาและความสำคัญ | 1-1 |
| 1.2 | วัตถุประสงค์ | 1-2 |
| บทที่ 2 | การทบทวนข้อมูลสะพาน | 2-1 |
| 2.1 | การทบทวนข้อมูลสะพาน | 2-1 |
| 2.2 | การคัดสะพานเบื้องต้น | 2-12 |
| 2.3 | คัดเลือกสะพานสำหรับการสำรวจและทดสอบ | 2-13 |
| 2.4 | รายชื่อสะพานสำหรับการสำรวจและทดสอบสะพาน | 2-21 |
| บทที่ 3 | วิธีการสำรวจและทดสอบสะพาน | 3-1 |
| 3.1 | วิธีการสำรวจมิติสะพาน | 3-2 |
| 3.2 | วิธีการตรวจสอบความเสียหายของสะพาน | 3-4 |
| 3.3 | วิธีการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน | 3-10 |
| 3.4 | วิธีการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 3-16 |
| 3.5 | วิธีการตรวจวัดพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างสะพาน | 3-30 |
| บทที่ 4 | สะพานคลองปากแพรก | 4-1 |
| 4.1 | ข้อมูลทั่วไปของสะพานคลองปากแพรก (Tested Span: 10 m) | 4-1 |
| 4.2 | ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน | 4-2 |
| 4.3 | ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน | 4-8 |
| 4.4 | การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 4-10 |
| 4.5 | ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 4-14 |
| 4.6 | ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานคลองปากแพรก | 4-21 |

| | |
|--|------------|
| บทที่ 5 สะพานแม่น้ำลาว | 5-1 |
| 5.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานแม่น้ำลาว (Test Span: 12 m) | 5-1 |
| 5.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน | 5-2 |
| 5.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน | 5-8 |
| 5.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 5-10 |
| 5.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 5-15 |
| 5.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานแม่น้ำลาว | 5-22 |
| บทที่ 6 สะพานห้วยเงิน | 6-1 |
| 6.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานห้วยเงิน (Tested Span: 12 m) | 6-1 |
| 6.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน | 6-2 |
| 6.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน | 6-8 |
| 6.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 6-10 |
| 6.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 6-14 |
| 6.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานห้วยเงิน | 6-21 |
| บทที่ 7 สะพานห้วยแม่โป่ง | 7-1 |
| 7.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานห้วยแม่โป่ง (Test Span: 15 m) | 7-1 |
| 7.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน | 7-2 |
| 7.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน | 7-8 |
| 7.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 7-10 |
| 7.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 7-15 |
| 7.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานห้วยแม่โป่ง | 7-22 |
| บทที่ 8 สะพานข้ามคลองบางมัน | 8-1 |
| 8.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานข้ามคลองบางมัน (Tested Span: 15 m) | 8-1 |
| 8.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน | 8-2 |
| 8.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน | 8-8 |
| 8.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 8-10 |
| 8.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 8-15 |
| 8.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานคลองบางมัน | 8-22 |

| | |
|--|-------------|
| บทที่ 9 สะพานข้ามแม่น้ำชี | 9-1 |
| 9.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานข้ามแม่น้ำชี (Tested Span: 15 m) | 9-1 |
| 9.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน | 9-2 |
| 9.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน | 9-8 |
| 9.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 9-10 |
| 9.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 9-15 |
| 9.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานข้ามแม่น้ำชี | 9-22 |
| บทที่ 10 สะพานคลองน้ำรอบ | 10-1 |
| 10.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานคลองน้ำรอบ (Tested Span: 20 m) | 10-1 |
| 10.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน | 10-2 |
| 10.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน | 10-7 |
| 10.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 10-9 |
| 10.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 10-14 |
| 10.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานคลองน้ำรอบ | 10-21 |
| บทที่ 11 สะพานคลองยัน | 11-1 |
| 11.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานคลองยัน (Tested Span: 20 m) | 11-1 |
| 11.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน | 11-2 |
| 11.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน | 11-7 |
| 11.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 11-9 |
| 11.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 11-12 |
| 11.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานคลองยัน | 11-19 |
| บทที่ 12 สรุปผลการทดสอบภาคสนาม | 12-1 |
| 12.1 สรุปการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน | 12-1 |
| 12.2 สรุปผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน | 12-3 |
| 12.3 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน | 12-4 |
| 12.4 ผลการตรวจวัดพฤติกรรม | 12-9 |

| | |
|--|-------------|
| บทที่ 13 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพาน | 13-1 |
| 13.1 ระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ (Finite Element Analysis, FEA) | 13-1 |
| 13.2 การตรวจสอบความสามารถการรับน้ำหนักของสะพาน | 13-6 |
| 13.3 การประเมินราคาต้นทุนการเสริมกำลังของสะพาน | 13-12 |
| 13.4 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานคลองบางมัน | 13-13 |
| 13.5 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานคลองยัน | 13-33 |
| 13.6 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานคลองน้ำรอบ | 13-53 |
| 13.7 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานห้วยแม่โป่ง | 13-73 |
| 13.8 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานข้ามแม่น้ำชี | 13-93 |
| 13.9 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานคลองปากแพรก | 13-113 |
| 13.10 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานแม่น้ำลาว | 13-120 |
| 13.11 การออกแบบเสริมกำลังโครงสร้างสะพานห้วยเงิน | 13-127 |
| บทที่ 14 การประมาณราคาค่าเสริมกำลังโครงสร้างสะพาน | 14-1 |
| 14.1 ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานข้ามคลองบางมัน | 14-1 |
| 14.2 ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานข้ามคลองยัน | 14-8 |
| 14.3 ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานข้ามคลองน้ำรอบ | 14-15 |
| 14.4 ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานข้ามห้วยแม่โป่ง | 14-22 |
| 14.5 ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานข้ามแม่น้ำชี | 14-29 |
| 14.6 ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานข้ามคลองบางแพรก | 14-36 |
| 14.7 ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานข้ามแม่น้ำลาว | 14-37 |
| 14.8 ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานข้ามห้วยเงิน | 14-38 |



บทที่ 15 การคัดเลือกรูปแบบการเสริมกำลังคานสะพาน 15-1

| | | |
|-------|---|-------|
| 15.1 | กำลังต้านทานความล้าของคานคอนกรีตเสริมเหล็กรูปตัวที่ | 15-1 |
| 15.2 | การจราจรของรถบรรทุก | 15-2 |
| 15.3 | การกระจายน้ำหนักและแรงกระทำจากการจราจรของรถบรรทุก | 15-3 |
| 15.4 | ราคาค่าเสริมกำลัง | 15-3 |
| 15.5 | รูปแบบการเสริมกำลังสะพานคลองบางมัน | 15-3 |
| 15.6 | รูปแบบการเสริมกำลังสะพานคลองยัน | 15-9 |
| 15.7 | รูปแบบการเสริมกำลังสะพานคลองน้ำรอบ | 15-14 |
| 15.8 | รูปแบบการเสริมกำลังสะพานห้วยแม่โป่ง | 15-22 |
| 15.9 | รูปแบบการเสริมกำลังสะพานแม่น้ำชี | 15-26 |
| 15.10 | รูปแบบการเสริมกำลังสะพานคลองปากแพรก | 15-29 |
| 15.11 | รูปแบบการเสริมกำลังสะพานแม่น้ำลาว | 15-34 |
| 15.12 | รูปแบบการเสริมกำลังสะพานห้วยเงิน | 15-37 |
| 15.13 | รูปแบบการเสริมกำลังคานสะพานตามปีที่ก่อสร้างเสร็จและปริมาณการจราจร | 15-41 |

บทที่ 16 จัดทำแผนการตรวจสอบสะพานภายหลังการบูรณะ 16-1

| | | |
|------|--|-------|
| 16.1 | บทนำ | 16-1 |
| 16.2 | องค์ประกอบของโครงสร้างสะพานคานรูปตัวที่ | 16-5 |
| 16.3 | ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับองค์ประกอบสะพาน | 16-9 |
| 16.4 | การตรวจสอบสะพาน | 16-18 |
| 16.5 | เอกสารอ้างอิง | 16-29 |

บทที่ 17 สรุปผลการดำเนินงาน 17-1

ภาคผนวก รายละเอียดการวิเคราะห์รูปแบบการเสริมกำลังคานสะพานตามปีที่ก่อสร้างเสร็จ
และปริมาณการจราจร

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนทำให้ประเทศไทยกลายเป็นศูนย์กลางการคมนาคมทางถนนของภูมิภาค ส่งผลให้ทั้งการจราจรและน้ำหนักบรรทุกทุกที่สัญจรผ่านโครงข่ายทางหลวงมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้ ยังมีความจำเป็นต้องผ่อนผันให้รถบรรทุกหนักเป็นพิเศษใช้ทางเพื่อรองรับการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ถนนและสะพานของกรมทางหลวงที่ผ่านการใช้งานมานานจึงมีระดับความปลอดภัยที่ลดต่ำลงจนอาจเกิดความเสียหาย ส่งผลกระทบต่อการสัญจร

ในส่วนสะพานของกรมทางหลวง สะพานประเภทคานตัวที่มีแนวโน้มที่จะได้รับผลกระทบจากการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนมากที่สุด ทั้งนี้ เนื่องจากเป็นสะพานรุ่นเก่าที่ออกแบบโดยชุดน้ำหนักบรรทุกทุกช่วงปีพ.ศ. 2500 ถึง 2520 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าชุดน้ำหนักบรรทุกทุกที่สำนักสำรวจและออกแบบกรมทางหลวง ใช้ออกแบบในปัจจุบันค่อนข้างมาก อีกทั้งสะพานยังเกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากการใช้งานมากกว่า 40 ปี โดยในจำนวนสะพานประเภทคานตัวที่กว่า 500 สะพานทั่วประเทศ มีอยู่กว่า 200 สะพานที่อยู่บนทางหลวงสายหลัก ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องตรวจสอบและประเมินความปลอดภัยสะพานประเภทคานตัวที่ รวมถึงปรับปรุงเสริมกำลังให้สะพานมีความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เพื่อให้มั่นใจว่าสะพานประเภทคานตัวที่มีความปลอดภัยในการใช้งาน ส่งเสริมโครงข่ายทางหลวงให้สามารถรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจทั้งของประเทศและภูมิภาคได้ต่อไป

อนึ่ง การเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่มีรูปแบบให้เลือกหลายรูปแบบ เช่น การเสริมทาบด้วยแผ่นเหล็กหรือคาร์บอนไฟเบอร์ หรือ การเสริมกำลังโดยการอัดแรงจากภายนอก โครงการนี้จะทำการวิเคราะห์หารูปแบบการเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่าย เช่น ค่าเสริมกำลัง ค่าซ่อมแซม และค่าก่อสร้างใหม่ ตลอดอายุการใช้งาน (Life-cycle Cost) มีราคาต่ำที่สุด โดยสะพานยังคงมีความปลอดภัยอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การวิเคราะห์จะอาศัยข้อมูลสภาพปัจจุบันของสะพานจากการทดสอบกำลังวัสดุและการตรวจวัดพฤติกรรมการรับน้ำหนัก มาประกอบกับการคาดการณ์ปริมาณการจราจรที่สัญจรผ่านสะพานนั้นๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของสะพานร่วมกับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูสะพานให้กลับมามีสภาพพร้อมใช้งาน ซึ่งจะทำให้การเสริมกำลังมีความคุ้มค่าตามสภาพการใช้งานจริง จากนั้น จะจัดทำแบบรายละเอียดการเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่กรณีต่างๆ รวมถึง การประมาณราคาเสริมกำลังและแผนการบำรุงรักษา เพื่อให้กรมทางหลวงสามารถประกอบการเสนอของบประมาณในการเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่ได้ทันที

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1. ตรวจสอบสภาพปัจจุบันกลุ่มตัวอย่างสะพานประเภทคานตัวที่
- 1.2.2. ออกแบบเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่กรณีต่างๆ โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน
- 1.2.3. จัดทำแบบรายละเอียดการเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่
- 1.2.4. ประมาณราคาค่าเสริมกำลังสะพานประเภทคานตัวที่
- 1.2.5. จัดทำแผนการตรวจสอบสะพานประเภทคานตัวที่ ภายหลังจากการเสริมกำลัง

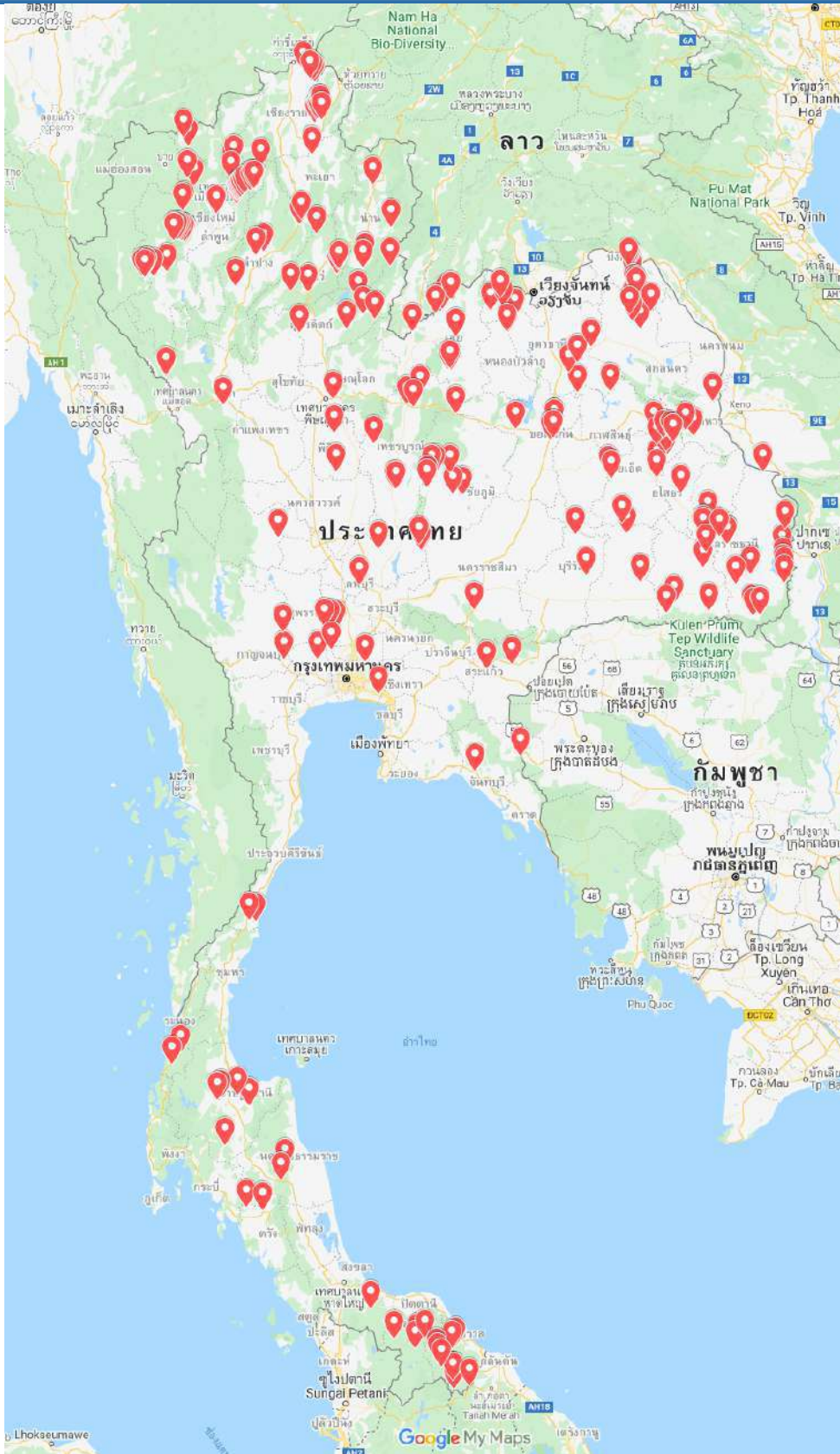
บทที่ 2 การทบทวนข้อมูลสะพาน

การทบทวนข้อมูลสะพานเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลสะพานทั้งหมดที่มีช่วงสะพานประเภทคานตัวที่จากระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) ของกรมทางหลวง จากนั้นทำการจำแนกข้อมูลสะพานตามความยาวช่วงสะพาน พื้นที่ อายุ และปริมาณจราจร สุดท้ายทำการคัดเลือก 8 ช่วงสะพานตามความเหมาะสมทางวิศวกรรม เพื่อใช้เป็นตัวแทนช่วงสะพานประเภทคานตัวที่ในการตรวจสอบสภาพปัจจุบัน การสำรวจขนาดและมิติโครงสร้าง การสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ และการตรวจวัดพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุก

2.1 การทบทวนข้อมูลสะพาน

สะพานที่อยู่บนทางหลวงสายต่าง ๆ อาจประกอบด้วยสะพานประเภทเดียวทั้งหมด เช่น Slab Type ทั้งหมด หรือหลายประเภทผสมกันก็ได้ เช่น Plank Girder ผสมกับ Box Beam หรือ T-Girder ผสมกับ I-Girder หรืออื่นๆ ในระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) ประเภทของสะพานจะถูกจำแนกตามประเภทของสะพานช่วงที่ยาวที่สุดที่อยู่กลางแม่น้ำ/ลำคลอง/ทางแยก ดังนั้นสะพานประเภท T-Girder ในระบบ BMMS จึงเป็นเพียงชื่อเรียกสะพานที่มีช่วงสะพานประเภทคานตัวที่ที่อยู่กลางแม่น้ำ/ลำคลองเท่านั้น ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงได้เริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลสะพานที่มีช่วงสะพานประเภทคานตัวที่อย่างน้อย 1 ช่วง ที่มีในระบบ BMMS ทั้งหมด ซึ่งอาจจะมีชื่อเรียกเป็นสะพาน T-Girder หรือสะพานประเภทอื่นก็ได้ จากผลการรวบรวมข้อมูล พบว่ามีจำนวนสะพานที่มีช่วงสะพานประเภทคานตัวที่รวมทั้งสิ้น 258 แห่ง กระจายอยู่ทั่วประเทศดังรูปที่ 2-1

รายละเอียดเบื้องต้นของสะพานที่มีช่วงสะพานประเภทคานตัวที่ทั้งหมดได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-1 (โดยสะพานแต่ละแห่งอาจมีมากกว่า 1 ช่วงสะพาน) ข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญประกอบด้วย รหัสสะพานจากระบบ BMMS พื้นที่สำนักงานทางหลวง ปีที่ก่อสร้างเสร็จ (ทำให้ทราบอายุสะพาน) ปริมาณรถบรรทุกหนัก ปริมาณจราจรรวม (AADT) ความยาวช่วงสะพานเฉพาะสะพานประเภทคานตัวที่ที่พบในสะพานนั้น ๆ



รูปที่ 2-1 ตำแหน่งสะพานที่มีช่วงสะพานประเภทคานตัวที่



ตารางที่ 2-1 สะพานที่มีช่วงสะพานประเภทคานตัวที่ในระบบ BMMS

| No. | รหัสสะพาน (BMMS) | สำนักงานทางหลวง | ปีที่ ก่อสร้าง เสร็จ | ปริมาณ รถบรรทุก หนัก (คัน/วัน) | ปริมาณ จราจรรวม (AADT, คัน/ วัน) | จำนวนช่วงสะพานจำแนกตามช่วง ความยาว (ม.)** | | | | |
|-----|---------------------|-----------------|----------------------------|---|---|--|--------------|--------------|--------------|-------|
| | | | | | | 10 - 10.9 | 12 - 12.9 | 15 - 15.9 | 20 - 20.9 | อื่นๆ |
| 1 | 15260009 | 1 เชียงใหม่ | 2500 | 219 | 1051 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 2 | 15270150 | 1 เชียงใหม่ | 2525 | 168 | 1110 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 3 | 15270153 | 1 เชียงใหม่ | 2525 | 168 | 1110 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 15280071 | 1 เชียงใหม่ | 2539 | 4494 | 13713 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 15280045 | 1 เชียงใหม่ | 2505 | 1804 | 5408 | 0 | 0 | 2 | 0 | 3 |
| 6 | 15280048 | 1 เชียงใหม่ | 2512 | 1356 | 4300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 7 | 15270051 | 1 เชียงใหม่ | 2543 | 952 | 9238 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 15270052 | 1 เชียงใหม่ | 2543 | 952 | 9238 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 15270073 | 1 เชียงใหม่ | 2520 | 956 | 5175 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 10 | 15270046 | 1 เชียงใหม่ | 2542 | 952 | 9238 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 15270087 | 1 เชียงใหม่ | 2520 | 244 | 2029 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 15220091 | 1 เชียงใหม่ | 2544 | 3575 | 33277 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 13 | 15220044 | 1 เชียงใหม่ | 2540 | 589 | 5576 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 14 | 15220046 | 1 เชียงใหม่ | 2540 | 589 | 5576 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 15 | 15220047 | 1 เชียงใหม่ | 2540 | 589 | 5576 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 16 | 15220048 | 1 เชียงใหม่ | 2540 | 589 | 5576 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 17 | 15220049 | 1 เชียงใหม่ | 2540 | 589 | 5576 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 18 | 15220050 | 1 เชียงใหม่ | 2540 | 589 | 5576 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 19 | 15220051 | 1 เชียงใหม่ | 2540 | 589 | 5576 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 20 | 15220052 | 1 เชียงใหม่ | 2540 | 589 | 5576 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 21 | 15220053 | 1 เชียงใหม่ | 2540 | 589 | 5576 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 15220055 | 1 เชียงใหม่ | 2540 | 589 | 5576 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 15210044 | 1 เชียงใหม่ | 2502 | 193 | 1226 | 0 | 6 | 0 | 2 | 0 |
| 24 | 15210045 | 1 เชียงใหม่ | 2502 | 193 | 1226 | 0 | 4 | 0 | 2 | 1 |
| 25 | 15210046 | 1 เชียงใหม่ | 2502 | 193 | 1226 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| 26 | 15210047 | 1 เชียงใหม่ | 2505 | 193 | 1226 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| 27 | 15210052 | 1 เชียงใหม่ | 2518 | 34 | 1299 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| 28 | 15210053 | 1 เชียงใหม่ | 2518 | 34 | 1299 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 29 | 15210054 | 1 เชียงใหม่ | 2518 | 34 | 1299 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 30 | 15210055 | 1 เชียงใหม่ | 2518 | 34 | 1299 | 2 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 31 | 15210056 | 1 เชียงใหม่ | 2518 | 34 | 1299 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 32 | 15210057 | 1 เชียงใหม่ | 2518 | 34 | 1299 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 33 | 15210058 | 1 เชียงใหม่ | 2518 | 34 | 1299 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 34 | 15230163 | 1 เชียงใหม่ | 2527 | 296 | 2614 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 35 | 15230164 | 1 เชียงใหม่ | 2527 | 296 | 2614 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 36 | 15220164 | 1 เชียงใหม่ | 2520 | 19 | 1280 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 37 | 15220165 | 1 เชียงใหม่ | 2520 | 19 | 1280 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 38 | 25360038 | 2 แพร่ | 2518 | 279 | 1657 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 39 | 25360042 | 2 แพร่ | 2535 | 279 | 1657 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 40 | 25360100 | 2 แพร่ | 2510 | 255 | 450 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 41 | 25350128 | 2 แพร่ | 2534 | 96 | 1098 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 42 | 25350201 | 2 แพร่ | 2525 | 139 | 1032 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 43 | 25370140 | 2 แพร่ | 2537 | 197 | 1587 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |

โครงการศึกษาการเสริมกำลังสะพานกรมทางหลวงรุ่นเก่าประเภทคานตัวที่โดยวิธีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน
รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report) เพื่อยกระดับมาตรฐานการให้บริการรองรับการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน

| No. | รหัสสะพาน (BMMS) | สำนักงานทางหลวง | ปีที่ ก่อสร้าง เสร็จ | ปริมาณ รถบรรทุก หนัก (คัน/วัน) | ปริมาณ จราจรรวม (AADT, คัน/ วัน) | จำนวนช่วงสะพานจำแนกตามช่วง ความยาว (ม.)** | | | | |
|-----|---------------------|-----------------|----------------------------|---|---|--|--------------|--------------|--------------|-------|
| | | | | | | 10 - 10.9 | 12 - 12.9 | 15 - 15.9 | 20 - 20.9 | อื่นๆ |
| 44 | 25370141 | 2 แพร่ | 2537 | 197 | 1587 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 45 | 25370142 | 2 แพร่ | 2537 | 197 | 1587 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 46 | 25370145 | 2 แพร่ | 2536 | 194 | 1318 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 47 | 25370146 | 2 แพร่ | 2536 | 194 | 1318 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 48 | 25370147 | 2 แพร่ | 2536 | 194 | 1318 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 49 | 25370148 | 2 แพร่ | 2537 | 194 | 1318 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 25370096 | 2 แพร่ | 2510 | 532 | 2527 | 0 | 0 | 6 | 1 | 0 |
| 51 | 25370097 | 2 แพร่ | 2510 | 532 | 2527 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| 52 | 25370104 | 2 แพร่ | 2535 | 1399 | 2992 | 0 | 0 | 2 | 4 | 0 |
| 53 | 25370175 | 2 แพร่ | 2510 | 1289 | 2803 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 54 | 25370003 | 2 แพร่ | - | 1012 | 3749 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 55 | 25310085 | 2 แพร่ | 2528 | 6 | 632 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 56 | 25310086 | 2 แพร่ | 2528 | 6 | 632 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 57 | 25310087 | 2 แพร่ | 2528 | 6 | 632 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 |
| 58 | 25310161 | 2 แพร่ | 2538 | 127 | 169 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 59 | 25310177 | 2 แพร่ | 2523 | 361 | 1166 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 60 | 25310003 | 2 แพร่ | 2521 | 1710 | 4757 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 61 | 15280105 | 1 เชียงใหม่ | 2526 | 835 | 14999 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 62 | 25310020 | 2 แพร่ | 2505 | 272 | 3785 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 63 | 25330154 | 2 แพร่ | - | 0 | | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 64 | 25330055 | 2 แพร่ | 2525 | 1598 | 10598 | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| 65 | 25390044 | 2 แพร่ | 2525 | 475 | 1288 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 66 | 36420157 | 3 สกลนคร | 2522 | 87 | 962 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 67 | 36430050 | 3 สกลนคร | 2539 | 630 | 3533 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 68 | 36430051 | 3 สกลนคร | 2539 | 630 | 3533 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 69 | 36430057 | 3 สกลนคร | 2539 | 630 | 3533 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 70 | 36430058 | 3 สกลนคร | 2539 | 630 | 3533 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 71 | 36430059 | 3 สกลนคร | 2539 | 630 | 3533 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 72 | 36430061 | 3 สกลนคร | 2539 | 630 | 3533 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 73 | 36430046 | 3 สกลนคร | 2539 | 1020 | 2639 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 74 | 36430044 | 3 สกลนคร | 2539 | 1020 | 2639 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 75 | 36430034 | 3 สกลนคร | 2539 | 950 | 2636 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 76 | 36430040 | 3 สกลนคร | 2539 | 1020 | 2639 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 77 | 36430041 | 3 สกลนคร | 2539 | 1020 | 2639 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 78 | 36430042 | 3 สกลนคร | 2539 | 1020 | 2639 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 79 | 36420074 | 3 สกลนคร | 2507 | 950 | 2636 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 36420117 | 3 สกลนคร | 2531 | 488 | 1187 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 81 | 36420078 | 3 สกลนคร | 2507 | 950 | 2636 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| 82 | 55580144 | 5 พิษณุโลก | - | 0 | | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 83 | 76210005 | 7 ขอนแก่น | 2535 | 0 | | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 |
| 84 | 76210006 | 7 ขอนแก่น | 2542 | 5776 | 31802 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 |
| 85 | 55190152 | 5 พิษณุโลก | 2519 | 385 | 2050 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 86 | 76230096 | 7 ขอนแก่น | 2510 | 639 | 2269 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 87 | 76230097 | 7 ขอนแก่น | 2510 | 639 | 2269 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |



| No. | รหัสสะพาน (BMMS) | สำนักงานทางหลวง | ปีที่ ก่อสร้าง เสร็จ | ปริมาณ รถบรรทุก หนัก (คัน/วัน) | ปริมาณ จราจรรวม (AADT, คัน/ วัน) | จำนวนช่วงสะพานจำแนกตามช่วง ความยาว (ม.)** | | | | |
|-----|---------------------|-----------------|----------------------------|---|---|--|--------------|--------------|--------------|-------|
| | | | | | | 10 - 10.9 | 12 - 12.9 | 15 - 15.9 | 20 - 20.9 | อื่นๆ |
| 88 | 76230098 | 7 ขอนแก่น | 2510 | 639 | 2269 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 89 | 76230110 | 7 ขอนแก่น | 2531 | 162 | 2075 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 90 | 76230125 | 7 ขอนแก่น | 2530 | 146 | 976 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 91 | 76230128 | 7 ขอนแก่น | 2530 | 146 | 976 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 92 | 76210113 | 7 ขอนแก่น | 2532 | 1268 | 4202 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 93 | 76210128 | 7 ขอนแก่น | 2540 | 2243 | 14006 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 94 | 76210129 | 7 ขอนแก่น | 2540 | 2243 | 14006 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 95 | 76210081 | 7 ขอนแก่น | 2548 | 3268 | 28985 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 96 | 76210082 | 7 ขอนแก่น | 2548 | 3268 | 28985 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 97 | 55150036 | 5 พิษณุโลก | 2550 | 1828 | 16447 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 98 | 55150108 | 5 พิษณุโลก | 2534 | 150 | 1371 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 99 | 65510172 | 6 เพชรบูรณ์ | 2526 | 24 | 486 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 65510195 | 6 เพชรบูรณ์ | 2531 | 169 | 2633 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 101 | 65510007 | 6 เพชรบูรณ์ | 2514 | 506 | 5446 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 102 | 65520166 | 6 เพชรบูรณ์ | 2510 | 199 | 1577 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 103 | 65520146 | 6 เพชรบูรณ์ | 2510 | 657 | 3536 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 104 | 65520149 | 6 เพชรบูรณ์ | 2510 | 657 | 3536 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 105 | 76260103 | 7 ขอนแก่น | 2510 | 478 | 2593 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 106 | 76260100 | 7 ขอนแก่น | 2510 | 478 | 2593 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 107 | 76240071 | 7 ขอนแก่น | 2530 | 898 | 3721 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 |
| 108 | 76240140 | 7 ขอนแก่น | 2530 | 485 | 2897 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 109 | 76240124 | 7 ขอนแก่น | 2515 | 3213 | 2718 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 110 | 76270102 | 7 ขอนแก่น | - | 0 | | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 111 | 66290059 | 6 เพชรบูรณ์ | 2530 | 206 | 1415 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 112 | 66290060 | 6 เพชรบูรณ์ | 2530 | 206 | 1415 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 113 | 76260171 | 7 ขอนแก่น | 2526 | 933 | 2451 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 114 | 76260174 | 7 ขอนแก่น | 2526 | 952 | 1395 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 115 | 76260175 | 7 ขอนแก่น | 2526 | 952 | 1395 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 116 | 76260182 | 7 ขอนแก่น | 2526 | 952 | 1395 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 117 | 76260185 | 7 ขอนแก่น | 2529 | 952 | 1395 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 118 | 76270027 | 7 ขอนแก่น | 2545 | 161 | 1689 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 |
| 119 | 96320079 | 9 อุบลราชธานี | 2510 | 756 | 3804 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 120 | 96320042 | 9 อุบลราชธานี | 2481 | 1451 | 2644 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 121 | 96320143 | 9 อุบลราชธานี | 2525 | 523 | 1128 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 122 | 96320148 | 9 อุบลราชธานี | 2525 | 523 | 1128 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 123 | 96320149 | 9 อุบลราชธานี | 2525 | 523 | 1128 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 124 | 96320156 | 9 อุบลราชธานี | 2525 | 523 | 1128 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 125 | 96320129 | 9 อุบลราชธานี | 2525 | 98 | 931 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 126 | 96320104 | 9 อุบลราชธานี | 2525 | 3545 | 4794 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 127 | 96320105 | 9 อุบลราชธานี | 2525 | 3545 | 4794 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 128 | 96320108 | 9 อุบลราชธานี | 2525 | 496 | 2132 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 129 | 96310046 | 9 อุบลราชธานี | 2548 | 2420 | 4710 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| 130 | 96310047 | 9 อุบลราชธานี | 2520 | 2420 | 4710 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 131 | 96310048 | 9 อุบลราชธานี | 2520 | 2420 | 4710 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |

โครงการศึกษาการเสริมกำลังสะพานกรมทางหลวงรุ่นเก่าประเภทคานตัวที่โดยวิธีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน
รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report) เพื่อยกระดับมาตรฐานการให้บริการรองรับการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน

| No. | รหัสสะพาน (BMMS) | สำนักงานทางหลวง | ปีที่ ก่อสร้าง เสร็จ | ปริมาณ รถบรรทุก หนัก (คัน/วัน) | ปริมาณ จราจรรวม (AADT, คัน /วัน) | จำนวนช่วงสะพานจำแนกตามช่วง ความยาว (ม.)** | | | | |
|-----|---------------------|-----------------|----------------------------|---|---|--|--------------|--------------|--------------|-------|
| | | | | | | 10 - 10.9 | 12 - 12.9 | 15 - 15.9 | 20 - 20.9 | อื่นๆ |
| 132 | 96310049 | 9 อุบลราชธานี | 2548 | 2420 | 4710 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 133 | 96310094 | 9 อุบลราชธานี | 2530 | 435 | 961 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 |
| 134 | 96310096 | 9 อุบลราชธานี | 2537 | 250 | 1343 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |
| 135 | 96360041 | 9 อุบลราชธานี | 2526 | 2168 | 1788 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 136 | 96340083 | 9 อุบลราชธานี | 2520 | 656 | 4069 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| 137 | 65550049 | 6 เพชรบูรณ์ | 2510 | 467 | 857 | 0 | 0 | 3 | 4 | 0 |
| 138 | 65550051 | 6 เพชรบูรณ์ | 2510 | 467 | 857 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 139 | 65550057 | 6 เพชรบูรณ์ | 2510 | 15 | 356 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 140 | 65550081 | 6 เพชรบูรณ์ | 2520 | 380 | 516 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 141 | 65540082 | 6 เพชรบูรณ์ | 2521 | 243 | 1417 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 142 | 65540088 | 6 เพชรบูรณ์ | 2520 | 39 | 602 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 143 | 65540123 | 6 เพชรบูรณ์ | 2510 | 165 | 805 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 144 | 65540122 | 6 เพชรบูรณ์ | 2510 | 165 | 805 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 145 | 65540101 | 6 เพชรบูรณ์ | 2520 | 364 | 3430 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| 146 | 55580122 | 5 พิษณุโลก | 2546 | 85 | 625 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 147 | 55580086 | 5 พิษณุโลก | 2535 | 66 | 473 | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 |
| 148 | 55580092 | 5 พิษณุโลก | 2525 | 286 | 1201 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 149 | 96310009 | 9 อุบลราชธานี | 2508 | 1176 | 6731 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 150 | 55570065 | 5 พิษณุโลก | 2528 | 149 | 1068 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 151 | 55570069 | 5 พิษณุโลก | 2526 | 844 | 990 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 152 | 55570072 | 5 พิษณุโลก | 2519 | 58 | 788 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 153 | 55570049 | 5 พิษณุโลก | 2526 | 421 | 4207 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 154 | 55570052 | 5 พิษณุโลก | 2520 | 246 | 1185 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 155 | 55570055 | 5 พิษณุโลก | 2523 | 147 | 1688 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 156 | 55580048 | 5 พิษณุโลก | 2539 | 9 | 56 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 157 | 106140066 | 10 นครราชสีมา | 2533 | 4624 | 11580 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 158 | 106170111 | 10 นครราชสีมา | 2520 | 445 | 2490 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 159 | 106180100 | 10 นครราชสีมา | 2509 | 2686 | 4367 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 160 | 96150123 | 9 อุบลราชธานี | 2534 | 193 | 1437 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 161 | 106170077 | 10 นครราชสีมา | 2523 | 993 | 5322 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 162 | 106170068 | 10 นครราชสีมา | 2532 | 1932 | 5789 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 163 | 36390047 | 3 สกลนคร | 2508 | 1879 | 5812 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 164 | 96360068 | 9 อุบลราชธานี | 2528 | 173 | 2168 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 165 | 96360074 | 9 อุบลราชธานี | 2528 | 2200 | 7000 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 166 | 96380078 | 9 อุบลราชธานี | 2520 | 97 | 508 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 167 | 96380054 | 9 อุบลราชธานี | 2529 | 134 | 1294 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 |
| 168 | 96380072 | 9 อุบลราชธานี | 2520 | 65 | 417 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 169 | 36390216 | 3 สกลนคร | 2538 | 858 | 1914 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 170 | 36390223 | 3 สกลนคร | 2533 | 858 | 1914 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 171 | 114350104 | 11 ลพบุรี | 2538 | 169 | 691 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 172 | 114350105 | 11 ลพบุรี | 2538 | 169 | 691 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 173 | 114350107 | 11 ลพบุรี | 2534 | 169 | 691 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 174 | 106190117 | 10 นครราชสีมา | 2538 | 1269 | 2230 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 175 | 106190137 | 10 นครราชสีมา | 2523 | 854 | 1172 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

| No. | รหัสสะพาน (BMMS) | สำนักงานทางหลวง | ปีที่ ก่อสร้าง เสร็จ | ปริมาณ รถบรรทุก หนัก (คัน/วัน) | ปริมาณ จราจรรวม (AADT, คัน/ วัน) | จำนวนช่วงสะพานจำแนกตามช่วง ความยาว (ม.)** | | | | |
|-----|---------------------|--------------------|----------------------------|---|---|--|--------------|--------------|--------------|-------|
| | | | | | | 10 - 10.9 | 12 - 12.9 | 15 - 15.9 | 20 - 20.9 | อื่นๆ |
| 176 | 114310091 | 11 ลพบุรี | 2502 | 181 | 4331 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| 177 | 114310112 | 11 ลพบุรี | 2530 | 542 | 3029 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 178 | 134130175 | 13 กรุงเทพฯ | 2525 | 1801 | 7184 | 0 | 26 | 0 | 0 | 0 |
| 179 | 134130177 | 13 กรุงเทพฯ | 2525 | 1801 | 7184 | 0 | 21 | 0 | 0 | 0 |
| 180 | 134110107 | 13 กรุงเทพฯ | 2539 | 5658 | 42245 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 181 | 124440094 | 12 สุพรรณบุรี | 2536 | 331 | 1608 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 182 | 124410119 | 12 สุพรรณบุรี | 2536 | 1801 | 7184 | 0 | 27 | 0 | 0 | 0 |
| 183 | 124470006 | 12 สุพรรณบุรี | 2519 | 382 | 3647 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 184 | 124450116 | 12 สุพรรณบุรี | 2535 | 146 | 1110 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 185 | 134170084 | 13 กรุงเทพฯ | 2539 | 17280 | 129907 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 |
| 186 | 144230145 | 14 ชลบุรี | 2519 | 22 | 705 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 187 | 153360114 | 15 ประจวบคีรีขันธ์ | 2549 | 7410 | 10800 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 188 | 153330171 | 15 ประจวบคีรีขันธ์ | 2511 | 400 | 6233 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 189 | 153330174 | 15 ประจวบคีรีขันธ์ | 2511 | 137 | 2195 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 190 | 163290079 | 16 นครศรีธรรมราช | 2520 | 1285 | 2900 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 191 | 163280095 | 16 นครศรีธรรมราช | 2530 | 1234 | 8113 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 |
| 192 | 183120028 | 18 สงขลา | 2510 | 772 | 6948 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 193 | 183120033 | 18 สงขลา | 2509 | 772 | 6948 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 194 | 183120082 | 18 สงขลา | 2526 | 150 | 2580 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 195 | 163210220 | 16 นครศรีธรรมราช | 2522 | 1951 | 5318 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 196 | 163210217 | 16 นครศรีธรรมราช | - | 1951 | 5318 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 197 | 163220163 | 17 กระบี่ | 2527 | 36 | 653 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 198 | 163220175 | 17 กระบี่ | 2530 | 0 | | 0 | 0 | 2 | 3 | 0 |
| 199 | 183170200 | 18 สงขลา | 2526 | 60 | 270 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 200 | 183170201 | 18 สงขลา | 2526 | 60 | 270 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 201 | 183170210 | 18 สงขลา | 2523 | 60 | 270 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 202 | 183170199 | 18 สงขลา | 2526 | 60 | 270 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 203 | 183170119 | 18 สงขลา | 2501 | 134 | 2924 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 204 | 183170122 | 18 สงขลา | 2524 | 508 | 3793 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 205 | 183190047 | 18 สงขลา | 2537 | 818 | 3496 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 206 | 183170332 | 18 สงขลา | 2550 | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 207 | 183170302 | 18 สงขลา | 2517 | 2200 | 7000 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 208 | 183170306 | 18 สงขลา | 2517 | 2200 | 7000 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 |
| 209 | 183120135 | 18 สงขลา | 2517 | 21 | 983 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 210 | 86330083 | 8 มหาสารคาม | 2523 | 149 | 1408 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 211 | 86330072 | 8 มหาสารคาม | 2539 | 149 | 1408 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| 212 | 86330077 | 8 มหาสารคาม | 2539 | 149 | 1408 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 213 | 86350052 | 8 มหาสารคาม | 2520 | 585 | 4206 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 214 | 86330019 | 8 มหาสารคาม | 2520 | 872 | 3330 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| 215 | 86330007 | 8 มหาสารคาม | 2524 | 1170 | 9346 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 216 | 45120108 | 4 ตาก | 2524 | 71 | 540 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 217 | 45140028 | 4 ตาก | 2522 | 141 | 1770 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| 218 | 45140030 | 4 ตาก | 2520 | 141 | 1770 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 219 | 163260044 | 16 นครศรีธรรมราช | 2501 | 281 | 3450 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |

โครงการศึกษาการเสริมกำลังสะพานกรมทางหลวงรุ่นเก่าประเภทคานตัวที่โดยวิธีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน
รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report) เพื่อยกระดับมาตรฐานการให้บริการรองรับการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน

| No. | รหัสสะพาน (BMMS) | สำนักงานทางหลวง | ปีที่ ก่อสร้าง เสร็จ | ปริมาณ รถบรรทุก หนัก (คัน/วัน) | ปริมาณ จราจรรวม (AADT, คัน /วัน) | จำนวนช่วงสะพานจำแนกตามช่วง ความยาว (ม.)** | | | | |
|-----|---------------------|--------------------|----------------------------|---|---|--|--------------|--------------|--------------|-------|
| | | | | | | 10 - 10.9 | 12 - 12.9 | 15 - 15.9 | 20 - 20.9 | อื่นๆ |
| 220 | 173310105 | 17 กระบี่ | 2501 | 436 | 2232 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 |
| 221 | 173310115 | 17 กระบี่ | 2503 | 436 | 2232 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 222 | 86470134 | 8 มหาสารคาม | 2544 | 1152 | 4063 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 223 | 86350089 | 8 มหาสารคาม | 2534 | 512 | 3567 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 224 | 86350090 | 8 มหาสารคาม | 2534 | 512 | 3567 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 225 | 86350098 | 8 มหาสารคาม | 2515 | 41 | 1049 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| 226 | 86350100 | 8 มหาสารคาม | 2515 | 41 | 1049 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 227 | 86350102 | 8 มหาสารคาม | 2515 | 41 | 1049 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 228 | 86350103 | 8 มหาสารคาม | 2515 | 41 | 1049 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 229 | 86350104 | 8 มหาสารคาม | 2515 | 41 | 1049 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 230 | 163250052 | 16 นครศรีธรรมราช | 2510 | 2089 | 13927 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 231 | 163250145 | 16 นครศรีธรรมราช | 2542 | 159 | 1849 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 232 | 163250147 | 16 นครศรีธรรมราช | 2542 | 159 | 1849 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 |
| 233 | 134180123 | 13 กรุงเทพฯ | 2534 | 9860 | 23777 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| 234 | 144230025 | 14 ชลบุรี | 2503 | 2602 | 16824 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 |
| 235 | 25330047 | 2 แพร่ | 2510 | 1311 | 5718 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 236 | 25330048 | 2 แพร่ | 2510 | 1311 | 5718 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 237 | 25330051 | 2 แพร่ | 2510 | 1311 | 5718 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| 238 | 15210042 | 1 เชียงใหม่ | 2498 | 1134 | 3338 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| 239 | 25330045 | 2 แพร่ | - | 1775 | 6190 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 240 | 36460040 | 3 สกลนคร | 2510 | 1073 | 5756 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 241 | 36460042 | 3 สกลนคร | 2510 | 1073 | 5756 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 242 | 55110035 | 5 พิษณุโลก | 2545 | 1977 | 52314 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 243 | 36440070 | 3 สกลนคร | 2508 | 1656 | 7927 | 0 | 5 | 0 | 0 | 4 |
| 244 | 76280064 | 7 ขอนแก่น | 2510 | 478 | 3144 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| 245 | 76210030 | 7 ขอนแก่น | 2544 | 5701 | 17184 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| 246 | 76210031 | 7 ขอนแก่น | 2544 | 5701 | 17184 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| 247 | 76210034 | 7 ขอนแก่น | 2544 | 5701 | 17184 | 0 | 0 | 13 | 0 | 0 |
| 248 | 76210035 | 7 ขอนแก่น | 2544 | 5701 | 17184 | 0 | 0 | 13 | 0 | 0 |
| 249 | 76210001 | 7 ขอนแก่น | 2535 | 5776 | 31802 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 250 | 65520164 | 6 เพชรบูรณ์ | 2510 | 199 | 1577 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 251 | 76260122 | 7 ขอนแก่น | 2518 | 859 | 6112 | 0 | 2 | 0 | 0 | 3 |
| 252 | 106180053 | 10 นครราชสีมา | 2482 | 197 | 621 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| 253 | 114350110 | 11 ลพบุรี | 2540 | 846 | 3972 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 254 | 144210033 | 14 ชลบุรี | 2540 | 16509 | 23174 | 0 | 6 | 2 | 0 | 0 |
| 255 | 153330058 | 15 ประจวบคีรีขันธ์ | 2564 | 6585 | 12826 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| 256 | 163210102 | 16 นครศรีธรรมราช | 2510 | 2347 | 7802 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 |
| 257 | 86220003 | 8 มหาสารคาม | 2543 | 2454 | 6916 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 258 | 173270096 | 17 กระบี่ | 2500 | 1758 | 22613 | 0 | 2 | 0 | 2 | 1 |

**นับเฉพาะช่วงสะพานประเภทคานตัวที่

2.1.1. การแจกแจงข้อมูลสะพาน

สะพานที่มีช่วงความยาวแตกต่างกันจะมีขนาดหน้าตัดคานและรายละเอียดเหล็กเสริมที่แตกต่างกัน ทำให้ความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุกและวิธีเสริมกำลังของสะพานแต่ละช่วงความยาวมีความแตกต่างกัน ดังนั้นโครงการนี้จึงได้จำแนกข้อมูลสะพานตามขนาดช่วงสะพานเป็นลำดับแรก โดยสะพานที่มีคานประเภทตัวที่เป็นส่วนประกอบมีรวมทั้งหมด 258 สะพาน และมีช่วงสะพานประเภทคานตัวที่รวมทั้งสิ้น 796 ช่วงสะพาน จากนั้นได้จัดกลุ่มช่วงสะพานตามอายุ ปริมาณรถบรรทุก และพื้นที่ เพื่อให้ทราบข้อมูลเบื้องต้นสำหรับงานออกแบบเสริมกำลังสะพาน

จากตารางที่ 2-2 พบว่าช่วงสะพานส่วนใหญ่มีอายุประมาณ 21-30 ปี (พบ 236 ช่วงสะพาน จาก 796 ช่วงสะพาน) และมีช่วงสะพานที่มีอายุมากกว่า 50 ปี อยู่ 190 ช่วงสะพาน เมื่อพิจารณาอายุบริการออกแบบ (Design Service Life) ตามมาตรฐาน AASHTO ที่กำหนดไว้ 75 ปี หากความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุกที่เคยออกแบบไว้เดิมต่ำกว่ามาตรฐานน้ำหนักบรรทุกปัจจุบัน ควรพิจารณาเสริมกำลังให้สะพานสามารถใช้งานได้อย่างน้อยจนครบอายุบริการออกแบบ ส่วนสะพานที่ใช้งานเกินอายุบริการออกแบบไปแล้ว โดยทั่วไปจะมีสภาพทรุดโทรมและมีค่าบำรุงรักษาที่สูง อาจพิจารณาทุบทิ้งและก่อสร้างสะพานใหม่จะมีความคุ้มค่ามากกว่า

ตารางที่ 2-2 จัดกลุ่มช่วงสะพานตามอายุสะพาน

| อายุสะพาน (ปี) | ความยาวช่วงสะพาน (ม.) | | | | | | | | | | | | | | ผลรวม | |
|----------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|-------|------|
| | 10 - 10.9 | 11 - 11.9 | 12 - 12.9 | 13 - 13.9 | 14 - 14.9 | 15 - 15.9 | 16 - 16.9 | 17 - 17.9 | 18 - 18.9 | 19 - 19.9 | 20 - 20.9 | 21 - 21.9 | 22 - 22.9 | < 10 | | > 23 |
| 0-20 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 5 | 4 | 34 |
| 21-30 | 6 | 1 | 87 | 0 | 1 | 87 | 21 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 0 | 13 | 4 | 236 |
| 31-40 | 6 | 0 | 70 | 0 | 8 | 94 | 3 | 0 | 0 | 0 | 19 | 0 | 0 | 0 | 5 | 205 |
| 41-50 | 5 | 0 | 11 | 0 | 4 | 75 | 3 | 0 | 0 | 0 | 18 | 0 | 1 | 14 | 0 | 131 |
| 50+ | 3 | 0 | 34 | 6 | 0 | 70 | 11 | 9 | 0 | 2 | 16 | 19 | 8 | 7 | 5 | 190 |
| รวม | 20 | 1 | 207 | 6 | 13 | 344 | 38 | 9 | 0 | 2 | 71 | 19 | 9 | 39 | 18 | 796 |

จากตารางที่ 2-3 พบว่าช่วงสะพานส่วนใหญ่มีปริมาณรถบรรทุกหนักค่อนข้างต่ำ คือ น้อยกว่า 500 คัน/วัน (พบ 336 ช่วงสะพาน จาก 796 ช่วงสะพาน) หากมองแนวโน้มในภาพรวม อาจเห็นได้ว่าช่วงสะพานประเภทคานตัวที่ซึ่งเป็นสะพานรุ่นเก่ายังคงมีการใช้งานในสายทางที่มีปริมาณรถบรรทุกน้อย ส่วนสายทางที่มีรถบรรทุกมากเหลือการใช้งานช่วงสะพานประเภทคานตัวที่น้อยลง จากข้อมูลปัจจุบันช่วง

สะพานที่มีความยาว 12 เมตร และ 15 เมตร ยังคงมีการใช้งานในสายทางที่มีปริมาณรถบรรทุกหนักเกิน 5,000 คันต่อวัน

ตารางที่ 2-3 จัดกลุ่มช่วงสะพานตามอายุปริมาณการจราจร - รถบรรทุกหนัก

| ปริมาณรถบรรทุกหนัก (คัน-วัน) | ความยาวช่วงสะพาน (ม.) | | | | | | | | | | | | | | ผลรวม | |
|------------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|-------|------|
| | 10 - 10.9 | 11 - 11.9 | 12 - 12.9 | 13 - 13.9 | 14 - 14.9 | 15 - 15.9 | 16 - 16.9 | 17 - 17.9 | 18 - 18.9 | 19 - 19.9 | 20 - 20.9 | 21 - 21.9 | 22 - 22.9 | < 10 | | > 23 |
| 0-500 | 17 | 0 | 47 | 3 | 4 | 166 | 5 | 7 | 0 | 0 | 48 | 10 | 3 | 12 | 14 | 336 |
| 501-1000 | 1 | 0 | 34 | 0 | 1 | 62 | 25 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 2 | 4 | 0 | 144 |
| 1001-2000 | 0 | 0 | 95 | 3 | 8 | 20 | 8 | 2 | 0 | 2 | 5 | 5 | 4 | 23 | 3 | 178 |
| 2001-3000 | 2 | 0 | 5 | 0 | 0 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 0 | 0 | 1 | 46 |
| 3001-5000 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 |
| 5000+ | 0 | 0 | 26 | 0 | 0 | 56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 82 |
| รวม | 20 | 1 | 207 | 6 | 13 | 344 | 38 | 9 | 0 | 2 | 71 | 19 | 9 | 39 | 18 | 796 |

จากตารางที่ 2-4 และรูปที่ 2-1 พบว่าช่วงสะพานคานประเภทตัวที่กระจายตัวอยู่ทั่วประเทศ โดยจะมีในพื้นที่ภาคอีสานและภาคเหนือเป็นส่วนใหญ่ โดยสำนักงานทางหลวงที่ 7 ขอนแก่นมีช่วงสะพานประเภทตัวที่มากที่สุด 128 ช่วงสะพาน และรองลงมา คือ สำนักงานทางหลวงที่ 1 เชียงใหม่ มี 109 ช่วงสะพาน

ตารางที่ 2-4 จัดกลุ่มช่วงสะพานตามพื้นที่ (สำนักงานทางหลวง)

| สำนักงาน ทางหลวงที่ | ความยาวช่วงสะพาน (ม.) | | | | | | | | | | | | | | | ผลรวม |
|------------------------|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|------|-------|
| | 10 - 10.9 | 11 - 11.9 | 12 - 12.9 | 13 - 13.9 | 14 - 14.9 | 15 - 15.9 | 16 - 16.9 | 17 - 17.9 | 18 - 18.9 | 19 - 19.9 | 20 - 20.9 | 21 - 21.9 | 22 - 22.9 | < 10 | > 23 | |
| 1 เชียงใหม่ | 4 | 1 | 32 | 3 | 1 | 18 | 23 | 2 | 0 | 2 | 1 | 8 | 2 | 10 | 2 | 109 |
| 2 แพร่ | 6 | 0 | 11 | 3 | 0 | 33 | 3 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 5 | 4 | 76 |
| 3 สกลนคร | 0 | 0 | 22 | 0 | 1 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 | 2 | 3 | 3 | 10 | 1 | 51 |
| 4 ตาก | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 |
| 5 พิษณุโลก | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 23 | 3 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 | 40 |
| 6 เพชรบูรณ์ | 0 | 0 | 6 | 0 | 4 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36 |
| 7 ขอนแก่น | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 111 | 2 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 1 | 0 | 1 | 128 |
| 8 มหาสารคาม | 3 | 0 | 8 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 5 | 0 | 31 |
| 9 อุบลราชธานี | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 4 | 4 | 72 |
| 10 นครราชสีมา | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 14 |
| 11 ลพบุรี | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 |
| 12 สุพรรณบุรี | 1 | 0 | 28 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 |
| 13 กรุงเทพฯ | 0 | 0 | 63 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 63 |
| 14 ชลบุรี | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 14 |
| 15 ประจวบคีรีขันธ์ | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 |
| 16 นครศรีธรรมราช | 3 | 0 | 5 | 0 | 7 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 4 | 0 | 0 | 0 | 30 |
| 17 กระบี่ | 0 | 0 | 5 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 2 | 0 | 1 | 19 |
| 18 สงขลา | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 16 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 3 | 33 |
| ผลรวมทั้งหมด | 20 | 1 | 207 | 6 | 13 | 344 | 38 | 9 | 0 | 2 | 71 | 19 | 9 | 39 | 18 | 796 |

2.2 การคัดสะพานเบื้องต้น

สะพานที่มีช่วงความยาวที่แตกต่างกันจะมีขนาดหน้าตัดคานและรายละเอียดเหล็กเสริมที่แตกต่างกัน จึงได้นำข้อมูลความยาวช่วงสะพาน 796 ช่วงสะพาน (Span) จาก 258 สะพาน (Bridge) มาจัดกลุ่มตามช่วงความยาวดังแสดงในตารางที่ 2-5 และเลือกช่วงสะพานที่มีสัดส่วนการใช้งานสูงสุด 4 ลำดับแรก และคัดเลือกจำนวนสะพานในแต่ละกลุ่ม ดังนี้

- ช่วงสะพานความยาว 10 ถึง 10.9 เมตร จำนวน 1 ช่วงสะพาน (Span)
- ช่วงสะพานความยาว 12 ถึง 12.9 เมตร จำนวน 2 ช่วงสะพาน (Span)
- ช่วงสะพานความยาว 15 ถึง 15.9 เมตร จำนวน 3 ช่วงสะพาน (Span)
- ช่วงสะพานความยาว 20 ถึง 20.9 เมตร จำนวน 2 ช่วงสะพาน (Span)

เนื่องจากช่วงสะพานที่มีความยาว 15 ถึง 15.9 เมตร มีจำนวนมากที่สุด จึงคัดเลือกมากกว่าช่วงสะพานอื่นๆ (3 ช่วงสะพาน) ส่วนช่วงสะพานความยาว 10 ถึง 10.9 รวมถึงช่วงสะพานที่ยาวน้อยกว่า 10 เมตร นอกจากมีจำนวนที่น้อยแล้ว การรื้อก่อสร้างใหม่เป็นสะพานประเภท Plank Girder เป็นทางเลือกที่ดีกว่าการบูรณะเสริมกำลัง

ตารางที่ 2-5 แบ่งกลุ่มช่วงสะพานตามความยาวช่วงสะพาน

| ความยาวช่วงสะพาน (ม.) | จำนวนช่วงสะพานในระบบ BMMS | จำนวนช่วงสะพานที่ทำการทดสอบ |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 10 - 10.9 | 20 | 1 |
| 11 - 11.9 | 1 | - |
| 12 - 12.9 | 207 | 2 |
| 13 - 13.9 | 6 | - |
| 14 - 14.9 | 13 | - |
| 15 - 15.9 | 344 | 3 |
| 16 - 16.9 | 38 | - |
| 17 - 17.9 | 9 | - |
| 18 - 18.9 | 0 | - |
| 19 - 19.9 | 2 | - |
| 20 - 20.9 | 71 | 2 |
| 21 - 21.9 | 19 | - |
| 22 - 22.9 | 9 | - |
| ความยาวน้อยกว่า 10 เมตร | 39 | - |
| ความยาวมากกว่าหรือเท่ากับ 23 เมตร | 18 | - |
| รวม | 796 | 8 |

2.3 คัดเลือกสะพานสำหรับการสำรวจและทดสอบ

2.3.1. กลุ่มช่วงสะพานความยาว 10 ถึง 10.9 เมตร คัดเลือก 1 สะพาน

ช่วงสะพานความยาว 10 ถึง 10.9 เมตร มีทั้งหมด 20 ช่วงสะพาน จากสะพาน 9 สะพาน ดังแสดงในตารางที่ 2-6 หลังจากได้พิจารณาพื้นที่ อายุสะพาน ปริมาณรถบรรทุกหนัก สายทาง และสำรวจสภาพหน้างาน เรียบร้อยแล้ว ได้คัดเลือกสะพาน 1 แห่ง ได้แก่ ลำดับที่ 8 สะพานคลองปากแพรก สำหรับงานสำรวจและทดสอบภาคสนาม

ตารางที่ 2-6 สะพานที่มีช่วงสะพานประเภทคานตัวที่ ความยาว 10 ถึง 10.9 เมตร

| ลำดับ | ชื่อสะพาน | รหัสสะพาน | สำนักงานทางหลวง | อายุสะพาน ณ พ.ศ. 2565 (ปี) | ปริมาณ รถบรรทุก หนัก | หมายเลข ทางหลวง |
|-------|----------------------|-----------|------------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------------|
| 1 | สะพานห้วยแม่ลาน | 15210053 | 1 เชียงใหม่ | 47 | 34 | 1009 |
| 2 | สะพานห้วยสบหาด | 15210055 | 1 เชียงใหม่ | 47 | 34 | 1009 |
| 3 | สะพานแม่น้ำต๋าก | 25370142 | 2 แพร่ | 28 | 197 | 1174 |
| 4 | สะพานห้วยแม่เตี๊ยก | 25310085 | 2 แพร่ | 37 | 6 | 1024 |
| 5 | คลองสาธารณะ | 55150108 | 5 พิษณุโลก | 31 | 150 | 1344 |
| 6 | สะพานคลองเขารักษ์ | 124450116 | 12 สุพรรณบุรี | 30 | 146 | 3443 |
| 7 | สะพานห้วยลำโพง | 86330019 | 8 มหาสารคาม | 45 | 872 | 202 |
| 8 | สะพานคลองปาก แพรก | 163260044 | 16 นครศรีธรรมราช | 64 | 281 | 4305 |
| 9 | สะพานห้วยแฮด | 86220003 | 8 มหาสารคาม | 22 | 2454 | 23 |

2.3.2. ช่วงสะพานความยาว 12 ถึง 12.9 เมตร คัดเลือก 2 สะพาน

ช่วงสะพานความยาว 12 ถึง 12.9 เมตร มีทั้งหมด 204 ช่วงสะพาน จากสะพาน 67 สะพาน ดังแสดงในตารางที่ 2-7 หลังจากได้พิจารณาพื้นที่ อายุสะพาน ปริมาณรถบรรทุกหนัก สายทาง และสำรวจสภาพหน้างาน เรียบร้อยแล้ว ได้คัดเลือกสะพาน 2 แห่ง ได้แก่ ลำดับที่ 55 สะพานห้วยเงิน และ ลำดับที่ 17 สะพานแม่น้ำลาว สำหรับงานสำรวจและทดสอบภาคสนาม

ตารางที่ 2-7 สะพานที่มีช่วงสะพานประเภทคานตัวที่ ความยาว 12 ถึง 12.9 เมตร

| ลำดับ | ชื่อสะพาน | รหัสสะพาน | สำนักงานทางหลวง | อายุสะพาน ณ พ.ศ. 2565 (ปี) | ปริมาณ รถบรรทุก หนัก | หมายเลขทาง หลวง |
|-------|----------------------|-----------|-----------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------------|
| 1 | สะพานลำน้ำแดง | 15270153 | 1 เชียงใหม่ | 40 | 168 | 1322 |
| 2 | สะพานห้วยแม่แวน | 15270051 | 1 เชียงใหม่ | 22 | 952 | 1001 |
| 3 | สะพานห้วยน้ำสระรวม | 15270052 | 1 เชียงใหม่ | 22 | 952 | 1001 |
| 4 | สะพานลำน้ำแม่สุ่น | 15270046 | 1 เชียงใหม่ | 23 | 952 | 1001 |
| 5 | สะพานห้วยแม่เลา | 15270087 | 1 เชียงใหม่ | 45 | 244 | 1095 |
| 6 | สะพานแม่น้ำกวง | 15220052 | 1 เชียงใหม่ | 25 | 589 | 118 |
| 7 | สะพานแม่น้ำกวง | 15220053 | 1 เชียงใหม่ | 25 | 589 | 118 |
| 8 | สะพานแม่น้ำกวง | 15220055 | 1 เชียงใหม่ | 25 | 589 | 118 |
| 9 | สะพานห้วยแม่สะนาม | 15210044 | 1 เชียงใหม่ | 63 | 193 | 108 |
| 10 | สะพานลำน้ำแม่โถ | 15210045 | 1 เชียงใหม่ | 63 | 193 | 108 |
| 11 | ร่องเหมือง | 25350201 | 2 แพร่ | 40 | 139 | 1345 |
| 12 | สะพานร่องหม้อแกงตอง | 25370140 | 2 แพร่ | 28 | 197 | 1174 |
| 13 | สะพานร่องหนองบัวลุ่ม | 25370145 | 2 แพร่ | 29 | 194 | 1174 |
| 14 | สะพานร่องหอย | 25370146 | 2 แพร่ | 29 | 194 | 1174 |
| 15 | สะพานร่องเคียน | 25370147 | 2 แพร่ | 29 | 194 | 1174 |
| 16 | สะพานร่องน้ำทิง | 25370148 | 2 แพร่ | 28 | 194 | 1174 |
| 17 | สะพานแม่น้ำลาว | 25330055 | 2 แพร่ | 40 | 1598 | 118 |
| 18 | สะพานห้วยลี้ก | 36430050 | 3 สกลนคร | 26 | 630 | 222 |
| 19 | สะพานห้วยทราย | 36430051 | 3 สกลนคร | 26 | 630 | 222 |
| 20 | สะพานห้วยกำแพง | 36430057 | 3 สกลนคร | 26 | 630 | 222 |
| 21 | สะพานห้วยกำแพง | 36430058 | 3 สกลนคร | 26 | 630 | 222 |
| 22 | สะพานห้วยกำแพง | 36430059 | 3 สกลนคร | 26 | 630 | 222 |
| 23 | สะพานห้วยยาง | 36430061 | 3 สกลนคร | 26 | 630 | 222 |
| 24 | สะพานห้วยหัวแฮด | 36430046 | 3 สกลนคร | 26 | 1020 | 222 |
| 25 | สะพานห้วยอีกกิ่ง | 36430044 | 3 สกลนคร | 26 | 1020 | 222 |
| 26 | สะพานห้วยหัวล่อน | 36430034 | 3 สกลนคร | 26 | 950 | 222 |
| 27 | สะพานห้วยหนองหึ่ง | 36430040 | 3 สกลนคร | 26 | 1020 | 222 |
| 28 | สะพานห้วยหล่ม | 36430042 | 3 สกลนคร | 26 | 1020 | 222 |
| 29 | สะพานห้วยโทง | 36420074 | 3 สกลนคร | 58 | 950 | 222 |
| 30 | สะพานห้วยโนด | 36420078 | 3 สกลนคร | 58 | 950 | 222 |
| 31 | สะพานห้วยน้ำโสม | 76230110 | 7 ขอนแก่น | 34 | 162 | 2348 |

| ลำดับ | ชื่อสะพาน | รหัสสะพาน | สำนักงานทางหลวง | อายุสะพาน ณ พ.ศ. 2565 (ปี) | ปริมาณ รถบรรทุก หนัก | หมายเลขทาง หลวง |
|-------|-------------------------------|-----------|--------------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------------|
| 32 | สะพานห้วยน้ำโสม | 76230125 | 7 ขอนแก่น | 35 | 146 | 2376 |
| 33 | สะพานห้วยน้ำชุม | 65510172 | 6 เพชรบูรณ์ | 39 | 24 | 2278 |
| 34 | สะพานห้วยไฟจานใหญ่ | 76240140 | 7 ขอนแก่น | 35 | 485 | 2350 |
| 35 | สะพานห้วยบน | 66290059 | 6 เพชรบูรณ์ | 35 | 206 | 2352 |
| 36 | สะพานห้วยขั้วสูง | 96320129 | 9 อุบลราชธานี | 40 | 98 | 2368 |
| 37 | สะพานห้วยเรือ | 96310096 | 9 อุบลราชธานี | 28 | 250 | 2404 |
| 38 | สะพานห้วยน้ำพร | 65550051 | 6 เพชรบูรณ์ | 55 | 467 | 2195 |
| 39 | สะพานห้วยเหล่าไผ่ | 55580122 | 5 พิษณุโลก | 19 | 85 | 1339 |
| 40 | สะพานห้วยสวาย | 106170068 | 10 นครราชสีมา | 33 | 1932 | 226 |
| 41 | สะพานห้วยชะโนด | 36390047 | 3 สกลนคร | 57 | 1879 | 212 |
| 42 | สะพานคลองसान | 134130175 | 13 กรุงเทพฯ | 40 | 1801 | 3263 |
| 43 | สะพานคลองกุ่ม | 134130177 | 13 กรุงเทพฯ | 40 | 1801 | 3263 |
| 44 | สะพานคลอง 5 (Loop Lamp) | 134110107 | 13 กรุงเทพฯ | 26 | 5658 | 3312 |
| 45 | สะพานดอนชะเอม | 124440094 | 12 สุพรรณบุรี | 29 | 331 | 3453 |
| 46 | สะพานคลองบ้านสุต | 124410119 | 12 สุพรรณบุรี | 29 | 1801 | 3263 |
| 47 | สะพานคลองพระองค์เจ้าไชยานุชิต | 134170084 | 13 กรุงเทพฯ | 26 | 17280 | 34 |
| 48 | สะพานคลองตันหยงมัส | 183170119 | 18 สงขลา | 64 | 134 | 4055 |
| 49 | สะพานคลองบ้านหลัก 40 | 183190047 | 18 สงขลา | 28 | 818 | 42 |
| 50 | สะพานคลองไอร่กาอะ | 183170302 | 18 สงขลา | 48 | 2200 | 4271 |
| 51 | สะพานห้วยข่า | 86330083 | 8 มหาสารคาม | 42 | 149 | 2259 |
| 52 | สะพานห้วยน้อย | 86330077 | 8 มหาสารคาม | 26 | 149 | 2259 |
| 53 | สะพานข้ามคลองกะเปอร์ | 173310105 | 17 กระบี่ | 64 | 436 | 4 |
| 54 | สะพานห้วยเงิน | 86350089 | 8 มหาสารคาม | 31 | 512 | 2387 |
| 55 | สะพานห้วยเงิน | 86350090 | 8 มหาสารคาม | 31 | 512 | 2387 |
| 56 | สะพานห้วยกลอย | 86350102 | 8 มหาสารคาม | 50 | 41 | 2418 |
| 57 | สะพานห้วยพุง 1 | 86350103 | 8 มหาสารคาม | 50 | 41 | 2418 |
| 58 | สะพานท่ากูป | 163250052 | 16 นครศรีธรรมราช | 55 | 2089 | 401 |
| 59 | สะพานคลองบางงอน | 163250145 | 16 นครศรีธรรมราช | 23 | 159 | 4247 |
| 60 | คลองราษฎร์นิยม | 134180123 | 13 กรุงเทพฯ | 31 | 9860 | 340 |
| 61 | ห้วยแม่ลอน | 15210042 | 1 เชียงใหม่ | 67 | 1134 | 108 |
| 62 | สะพานลำน้ำก่า | 36440070 | 3 สกลนคร | 57 | 1656 | 212 |
| 63 | สะพานห้วยชัน | 76260122 | 7 ขอนแก่น | 47 | 859 | 2051 |
| 64 | สะพานข้ามแม่น้ำบางปะกง | 144210033 | 14 ชลบุรี | 25 | 16509 | 34 |
| 65 | สะพานกุ่มบุรี | 153330058 | 15 ประจวบคีรีขันธ์ | 1 | 6585 | 4 |
| 66 | สะพานคลองบางจาก | 163210102 | 16 นครศรีธรรมราช | 55 | 2347 | 4013 |
| 67 | คลองพังงา | 173270096 | 17 กระบี่ | 65 | 1758 | 4 |

2.3.3. ช่วงสะพานความยาว 15 ถึง 15.9 เมตร คัดเลือก 2 สะพาน

ช่วงสะพานความยาว 15 ถึง 15.9 เมตร มีทั้งหมด 344 ช่วงสะพาน จากสะพาน 143 สะพาน ดังแสดงในตารางที่ 2-8 หลังจากได้พิจารณาพื้นที่ อายุสะพาน ปริมาณรถบรรทุกหนัก สายทาง และสำรวจสภาพหน้างาน เรียบร้อยแล้ว ได้คัดเลือกสะพาน 3 แห่ง ได้แก่ ลำดับที่ 2 สะพานห้วยแม่โป่ง ลำดับที่ 127 สะพานข้ามคลองบางมัน และลำดับที่ 140 สะพานแม่น้ำชี สำหรับงานสำรวจและทดสอบภาคสนาม

ตารางที่ 2-8 สะพานที่มีช่วงสะพานประเภทคานตัวที่ ความยาว 15 ถึง 15.9 เมตร

| ลำดับ | ชื่อสะพาน | รหัสสะพาน | สำนักงานทางหลวง | วันที่ก่อสร้างเสร็จ | ปริมาณรถบรรทุกหนัก | หมายเลขทางหลวง |
|-------|-----------------------------------|-----------|-----------------|---------------------|--------------------|----------------|
| 1 | สะพานคลองส่งน้ำชลประทานดาดคอนกรีต | 15280071 | 1 เชียงใหม่ | 26 | 4494 | 1035 |
| 2 | สะพานห้วยแม่โป่ง | 15280045 | 1 เชียงใหม่ | 60 | 1804 | 1 |
| 3 | สะพานห้วยน้ำใส | 15270073 | 1 เชียงใหม่ | 45 | 956 | 1095 |
| 4 | สะพานห้วยแม่แอบ | 15210054 | 1 เชียงใหม่ | 47 | 34 | 1009 |
| 5 | สะพานห้วยสบหาด | 15210055 | 1 เชียงใหม่ | 47 | 34 | 1009 |
| 6 | สะพานห้วยผาหมอน | 15210056 | 1 เชียงใหม่ | 47 | 34 | 1009 |
| 7 | สะพานห้วยสองพี่น้อง | 15210057 | 1 เชียงใหม่ | 47 | 34 | 1009 |
| 8 | สะพานห้วยสองพี่น้อง | 15210058 | 1 เชียงใหม่ | 47 | 34 | 1009 |
| 9 | สะพานห้วยแม่ต้า | 15230163 | 1 เชียงใหม่ | 38 | 296 | 1274 |
| 10 | สะพานลำน้ำแม่เรียง | 15230164 | 1 เชียงใหม่ | 38 | 296 | 1274 |
| 11 | สะพานลำน้ำแมขาน | 15220164 | 1 เชียงใหม่ | 45 | 19 | 1349 |
| 12 | สะพานลำน้ำแหง | 25360038 | 2 แพร่ | 47 | 279 | 1026 |
| 13 | สะพานห้วยร้องพญา | 25360042 | 2 แพร่ | 30 | 279 | 1026 |
| 14 | สะพานห้วยแม่จริม | 25360100 | 2 แพร่ | 55 | 255 | 1168 |
| 15 | สะพานแม่น้ำอิง | 25350128 | 2 แพร่ | 31 | 96 | 1126 |
| 16 | สะพานแม่น้ำกก | 25370096 | 2 แพร่ | 55 | 532 | 1129 |
| 17 | สะพานแม่น้ำอิง | 25370104 | 2 แพร่ | 30 | 1399 | 1152 |
| 18 | สะพานแม่น้ำมะ | 25370175 | 2 แพร่ | 55 | 1289 | 1290 |
| 19 | สะพานห้วยแม่เต็ก | 25310086 | 2 แพร่ | 37 | 6 | 1024 |
| 20 | สะพานห้วยแม่ถาง | 25310087 | 2 แพร่ | 37 | 6 | 1024 |
| 21 | สะพานห้วยแม่ถาง | 25310177 | 2 แพร่ | 42 | 361 | 1342 |
| 22 | สะพานห้วยแม่ปาน | 25310003 | 2 แพร่ | 44 | 1710 | 11 |
| 23 | สะพานห้วยแม่พวก | 25310020 | 2 แพร่ | 60 | 272 | 101 |
| 24 | สะพาน ทล.118 กม. 61+700 | 25330154 | 2 แพร่ | | 0 | 118 |
| 25 | แม่น้ำยาว | 25390044 | 2 แพร่ | 40 | 475 | |
| 26 | สะพานลำน้ำยาม | 36420157 | 3 สกลนคร | 43 | 87 | 2308 |
| 27 | สะพานห้วยตาด | 55580144 | 5 พิษณุโลก | | 0 | 1339 |
| 28 | สะพานกุดกว้าง | 76210005 | 7 ขอนแก่น | 30 | 0 | 2 |
| 29 | สะพานกุดกว้าง | 76210006 | 7 ขอนแก่น | 23 | 5776 | 2 |

| ลำดับ | ชื่อสะพาน | รหัสสะพาน | สำนักงานทางหลวง | วันที่ก่อสร้าง เสร็จ | ปริมาณ รถบรรทุก หนัก | หมายเลขทาง หลวง |
|-------|----------------------------|-----------|-----------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|
| 30 | สะพานคลองบุษบงใต้ | 55190152 | 5 พิษณุโลก | 46 | 385 | 1118 |
| 31 | สะพานห้วยน้ำโมง | 76230096 | 7 ขอนแก่น | 55 | 639 | 2348 |
| 32 | สะพานห้วยน้ำฟ้า | 76230097 | 7 ขอนแก่น | 55 | 639 | 2348 |
| 33 | สะพานห้วยกุดแอส | 76230098 | 7 ขอนแก่น | 55 | 639 | 2348 |
| 34 | สะพานห้วยน้ำโสม | 76230125 | 7 ขอนแก่น | 35 | 146 | 2376 |
| 35 | สะพานห้วยราง | 76230128 | 7 ขอนแก่น | 35 | 146 | 2376 |
| 36 | สะพานห้วยทรายดุน | 76210113 | 7 ขอนแก่น | 33 | 1268 | 2322 |
| 37 | สะพาน ทล.230 กม. 22+892 | 76210128 | 7 ขอนแก่น | 25 | 2243 | 230 |
| 38 | สะพาน ทล.230 กม. 22+900 | 76210129 | 7 ขอนแก่น | 25 | 2243 | 230 |
| 39 | สะพาน ทล.230 กม. 45+200 | 76210081 | 7 ขอนแก่น | 17 | 3268 | 230 |
| 40 | สะพาน ทล.230 กม. 45+200 | 76210082 | 7 ขอนแก่น | 17 | 3268 | 230 |
| 41 | สะพานแม่น้ำป่าสัก | 65510195 | 6 เพชรบูรณ์ | 34 | 169 | 2343 |
| 42 | สะพานคลองชลประทาน | 65510007 | 6 เพชรบูรณ์ | 51 | 506 | 12 |
| 43 | สะพานคลองวังโป่ง | 65520166 | 6 เพชรบูรณ์ | 55 | 199 | 1205 |
| 44 | สะพานคลองตะแบก 1 | 65520146 | 6 เพชรบูรณ์ | 55 | 657 | 225 |
| 45 | สะพานแม่น้ำป่าสัก | 65520149 | 6 เพชรบูรณ์ | 55 | 657 | 225 |
| 46 | สะพานแม่น้ำชี | 76260103 | 7 ขอนแก่น | 55 | 478 | 225 |
| 47 | สะพานห้วยเชียงทา | 76260100 | 7 ขอนแก่น | 55 | 478 | 225 |
| 48 | สะพานลำน้ำปาว | 76240071 | 7 ขอนแก่น | 35 | 898 | 2023 |
| 49 | สะพานห้วยลำพันชาติ | 76240124 | 7 ขอนแก่น | 50 | 3213 | 2289 |
| 50 | สะพาน ทล.12 กม. 428+352 | 76270102 | 7 ขอนแก่น | | 0 | 12 |
| 51 | สะพานห้วยบอน | 66290059 | 6 เพชรบูรณ์ | 35 | 206 | 2352 |
| 52 | สะพานห้วยกุดจาง | 66290060 | 6 เพชรบูรณ์ | 35 | 206 | 2352 |
| 53 | สะพานลำชี | 76260171 | 7 ขอนแก่น | 39 | 933 | 2359 |
| 54 | สะพานคลองบ้านเจียง | 76260174 | 7 ขอนแก่น | 39 | 952 | 2359 |
| 55 | สะพานห้วยสามแยก | 76260175 | 7 ขอนแก่น | 39 | 952 | 2359 |
| 56 | สะพานคลองเหนือ | 76260182 | 7 ขอนแก่น | 39 | 952 | 2359 |
| 57 | สะพานคลองน้ำซับ | 76260185 | 7 ขอนแก่น | 36 | 952 | 2359 |
| 58 | สะพานลำน้ำเชิญ | 76270027 | 7 ขอนแก่น | 20 | 161 | 12 |
| 59 | สะพานลำโดมใหญ่ | 96320079 | 9 อุบลราชธานี | 55 | 756 | 2182 |
| 60 | สะพานห้วยทรายน้อย | 96320143 | 9 อุบลราชธานี | 40 | 523 | 2396 |
| 61 | สะพานห้วยทรายใหญ่ | 96320148 | 9 อุบลราชธานี | 40 | 523 | 2396 |
| 62 | สะพานห้วยมะไฟ | 96320149 | 9 อุบลราชธานี | 40 | 523 | 2396 |
| 63 | สะพานห้วยตองใหญ่ | 96320156 | 9 อุบลราชธานี | 40 | 523 | 2396 |
| 64 | สะพานห้วยบอน | 96320104 | 9 อุบลราชธานี | 40 | 3545 | 2248 |
| 65 | สะพานลำโดมใหญ่ | 96320105 | 9 อุบลราชธานี | 40 | 3545 | 2248 |

โครงการศึกษาการเสริมกำลังสะพานกรมทางหลวงรุ่นเก่าประเภทคานตัวที่โดยวิธีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งาน
รายงานขั้นสุดท้าย (Final Report) เพื่อยกระดับมาตรฐานการให้บริการรองรับการเปิดประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน

| ลำดับ | ชื่อสะพาน | รหัสสะพาน | สำนักงานทางหลวง | วันที่ก่อสร้าง เสร็จ | ปริมาณ รถบรรทุก หนัก | หมายเลขทาง หลวง |
|-------|-------------------------------|-----------|-----------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|
| 66 | สะพานห้วยหลวง | 96320108 | 9 อุบลราชธานี | 40 | 496 | 2248 |
| 67 | สะพานร่องสร้างแซ้ | 96310046 | 9 อุบลราชธานี | 17 | 2420 | 231 |
| 68 | สะพานร่องสร้างแซ้ | 96310047 | 9 อุบลราชธานี | 45 | 2420 | 231 |
| 69 | สะพานร่องพับ | 96310048 | 9 อุบลราชธานี | 45 | 2420 | 231 |
| 70 | สะพานร่องพับ | 96310049 | 9 อุบลราชธานี | 17 | 2420 | 231 |
| 71 | สะพานลำเขบาย | 96310094 | 9 อุบลราชธานี | 35 | 435 | 2383 |
| 72 | สะพานห้วยเรือ | 96310096 | 9 อุบลราชธานี | 28 | 250 | 2404 |
| 73 | สะพานห้วยอารีย์ | 96360041 | 9 อุบลราชธานี | 39 | 2168 | 2214 |
| 74 | สะพานแม่น้ำเลย | 65550049 | 6 เพชรบูรณ์ | 55 | 467 | 2195 |
| 75 | สะพานห้วยปากแคม | 65550057 | 6 เพชรบูรณ์ | 55 | 15 | 2195 |
| 76 | สะพานห้วยน้ำคู้ | 65540088 | 6 เพชรบูรณ์ | 45 | 39 | 2016 |
| 77 | สะพานแม่น้ำเลย | 65540123 | 6 เพชรบูรณ์ | 55 | 165 | 2473 |
| 78 | สะพานลำน้ำคู้ | 65540122 | 6 เพชรบูรณ์ | 55 | 165 | 2473 |
| 79 | สะพานแม่น้ำปาด | 55580086 | 5 พิษณุโลก | 30 | 66 | 1176 |
| 80 | ห้วยตาด | 55580092 | 5 พิษณุโลก | 40 | 286 | |
| 81 | ห้วยน้ำลาด | 55570069 | 5 พิษณุโลก | 39 | 844 | 1246 |
| 82 | คลองละมุง | 55570072 | 5 พิษณุโลก | 46 | 58 | 1255 |
| 83 | คลองละมุง | 55570049 | 5 พิษณุโลก | 39 | 421 | 1104 |
| 84 | สะพานคลองบ้านด่านแม่ คำมัน | 55570052 | 5 พิษณุโลก | 45 | 246 | 1196 |
| 85 | คลองตรอน | 55570055 | 5 พิษณุโลก | 42 | 147 | 1204 |
| 86 | สะพานห้วยโปร่ง | 55580048 | 5 พิษณุโลก | 26 | 9 | 1083 |
| 87 | สะพานคลองโคกเพ็ก | 106140066 | 10 นครราชสีมา | 32 | 4624 | 304 |
| 88 | คลองโคกกะจะ | 106180100 | 10 นครราชสีมา | 56 | 2686 | 319 |
| 89 | สะพานห้วยทับทัน | 96150123 | 9 อุบลราชธานี | 31 | 193 | 2371 |
| 90 | สะพานลำมาศ | 106170077 | 10 นครราชสีมา | 42 | 993 | 2073 |
| 91 | สะพานห้วยชะยุ่ง | 96360068 | 9 อุบลราชธานี | 37 | 173 | 2335 |
| 92 | สะพานห้วยทา | 96360074 | 9 อุบลราชธานี | 37 | 2200 | 2125 |
| 93 | สะพานห้วยศาลา | 96380078 | 9 อุบลราชธานี | 45 | 97 | 2341 |
| 94 | สะพานแม่น้ำมูล | 96380054 | 9 อุบลราชธานี | 36 | 134 | 2086 |
| 95 | สะพานห้วยตึกชู | 96380072 | 9 อุบลราชธานี | 45 | 65 | 2341 |
| 96 | สะพานห้วยกระเบียน | 36390216 | 3 สกลนคร | 27 | 858 | 2370 |
| 97 | สะพานห้วยบังอี | 36390223 | 3 สกลนคร | 32 | 858 | 2370 |
| 98 | สะพานคลองซบตะเคียน | 114350104 | 11 ลพบุรี | 27 | 169 | 2247 |
| 99 | สะพานคลองซบตะเคียน | 114350105 | 11 ลพบุรี | 27 | 169 | 2247 |
| 100 | สะพานลำสนธิ | 114350107 | 11 ลพบุรี | 31 | 169 | 2247 |
| 101 | สะพานคลองห้วยใหญ่ | 106190117 | 10 นครราชสีมา | 27 | 1269 | 3462 |
| 102 | สะพานคลองปะตง | 106190137 | 10 นครราชสีมา | 42 | 854 | 3462 |
| 103 | สะพานคลองมะเกลือ | 114310112 | 11 ลพบุรี | 35 | 542 | 3326 |
| 104 | สะพานคลองทุ่งนา | 124470006 | 12 สุพรรณบุรี | 46 | 382 | 333 |
| 105 | คลองฝักกาด | 144230145 | 14 ชลบุรี | 46 | 22 | |

| ลำดับ | ชื่อสะพาน | รหัสสะพาน | สำนักงานทางหลวง | วันที่ก่อสร้าง เสร็จ | ปริมาณ รถบรรทุก หนัก | หมายเลขทาง หลวง |
|-------|-----------------------------|-----------|--------------------|-------------------------|----------------------------|--------------------|
| 106 | สะพานคลองท่าสาร | 153360114 | 15 ประจวบคีรีขันธ์ | 16 | 7410 | 3296 |
| 107 | สะพานคลองปากแพรก | 153330171 | 15 ประจวบคีรีขันธ์ | 54 | 400 | 3374 |
| 108 | สะพานคลองช้างแรด | 153330174 | 15 ประจวบคีรีขันธ์ | 54 | 137 | 3497 |
| 109 | สะพานคลองบ้านใหม่ | 163290079 | 16 นครศรีธรรมราช | 45 | 1285 | 4037 |
| 110 | สะพานคลองโต๊ะมาแฉ | 183120033 | 18 สงขลา | 56 | 772 | 410 |
| 111 | สะพานคลองจาเราะมาตี | 183120082 | 18 สงขลา | 39 | 150 | 4067 |
| 112 | สะพานคลองขุนพัง | 163210220 | 16 นครศรีธรรมราช | 43 | 1951 | 4238 |
| 113 | สะพานคลองนารอบ | 163210217 | 16 นครศรีธรรมราช | | 1951 | 4238 |
| 114 | สะพานคลองชี | 163220163 | 17 กระบี่ | 38 | 36 | 4235 |
| 115 | สะพานแม่น้ำตรัง | 163220175 | 17 กระบี่ | 35 | 0 | 4236 |
| 116 | สะพานคลองสวอ 4 | 183170200 | 18 สงขลา | 39 | 60 | 4062 |
| 117 | สะพานคลองสวอ 5 | 183170201 | 18 สงขลา | 39 | 60 | 4062 |
| 118 | สะพาน ทล.4062 กม. 26+982 | 183170210 | 18 สงขลา | 42 | 60 | 4062 |
| 119 | สะพานคลองสวอ 3 | 183170199 | 18 สงขลา | 39 | 60 | 4062 |
| 120 | สะพานคลองจือมือเระ | 183170122 | 18 สงขลา | 41 | 508 | 4055 |
| 121 | สะพานคลองไอร้บือแต | 183170306 | 18 สงขลา | 48 | 2200 | 4271 |
| 122 | สะพานคลองน้ำขุ่น | 183120135 | 18 สงขลา | 48 | 21 | 4272 |
| 123 | สะพานลำพลับพลา | 86350052 | 8 มหาสารคาม | 45 | 585 | 214 |
| 124 | สะพานห้วยปล่มุข | 45120108 | 4 ตาก | 41 | 71 | 1108 |
| 125 | สะพานห้วยชะเน็ชเือเือ | 45140028 | 4 ตาก | 43 | 141 | 105 |
| 126 | สะพานห้วยแห่ง | 45140030 | 4 ตาก | 45 | 141 | 105 |
| 127 | สะพานข้ามคลองบางมัน | 173310115 | 17 กระบี่ | 62 | 436 | 4 |
| 128 | สะพานแม่น้ำยัง | 86470134 | 8 มหาสารคาม | 21 | 1152 | 2336 |
| 129 | สะพานลำน้ำยัง | 86350098 | 8 มหาสารคาม | 50 | 41 | 2418 |
| 130 | สะพานห้วยไผ่ | 86350100 | 8 มหาสารคาม | 50 | 41 | 2418 |
| 131 | สะพานห้วยพุง 2 | 86350104 | 8 มหาสารคาม | 50 | 41 | 2418 |
| 132 | สะพานคลองหนองคล้า | 144230025 | 14 ชลบุรี | 62 | 2602 | 3 |
| 133 | สะพานน้ำแม่ลาว | 25330051 | 2 แพร่ | 55 | 1311 | 118 |
| 134 | สะพานแม่น้ำสาย | 25330045 | 2 แพร่ | | 1775 | 1 |
| 135 | สะพานลำน้ำชี | 76280064 | 7 ขอนแก่น | 55 | 478 | 229 |
| 136 | สะพานลำน้ำพองเก่า | 76210030 | 7 ขอนแก่น | 21 | 5701 | 2 |
| 137 | สะพานลำน้ำพองเก่า | 76210031 | 7 ขอนแก่น | 21 | 5701 | 2 |
| 138 | สะพานลำน้ำพองใหม่ | 76210034 | 7 ขอนแก่น | 21 | 5701 | 2 |
| 139 | สะพานลำน้ำพองใหม่ | 76210035 | 7 ขอนแก่น | 21 | 5701 | 2 |
| 140 | สะพานข้ามแม่น้ำชี | 76210001 | 7 ขอนแก่น | 30 | 5776 | 2 |
| 141 | สะพานคลองตงลึก | 65520164 | 6 เพชรบูรณ์ | 55 | 199 | 1205 |
| 142 | สะพานแม่น้ำป่าสัก | 114350110 | 11 ลพบุรี | 25 | 846 | 2256 |
| 143 | สะพานข้ามแม่น้ำบางปะกง | 144210033 | 14 ชลบุรี | 25 | 16509 | 34 |

2.3.4. ช่วงสะพานความยาว 20 ถึง 20.9 เมตร คัดเลือก 2 สะพาน

ช่วงสะพานความยาว 20 ถึง 20.9 เมตร มีทั้งหมด 78 ช่วงสะพาน ที่ปรึกษาเลือกสะพานดังแสดงในตารางที่ 2-9 หลังจากได้พิจารณาพื้นที่ อายุสะพาน ปริมาณรถบรรทุกหนัก สายทาง และสำรวจสภาพหน้างาน เรียบร้อยแล้ว ได้คัดเลือกสะพาน 2 แห่ง ได้แก่ ลำดับที่ 33 สะพานคลองน้ำรอบ และลำดับที่ 39 สะพานคลองย่น

ตารางที่ 2-9 สะพานที่มีช่วงสะพานประเภทคานตัวที่ ความยาว 20 ถึง 20.9 เมตร

| ลำดับ | ชื่อสะพาน | รหัสสะพาน | สำนักงานทางหลวง | วันที่ก่อสร้างเสร็จ | ปริมาณการจราจร - รถบรรทุกหนัก | หมายเลขทางหลวง |
|-------|--------------------|-----------|-----------------|---------------------|-------------------------------|----------------|
| 1 | สะพานห้วยแม่ต้า | 15230163 | 1 เชียงใหม่ | 38 | 296 | 1274 |
| 2 | สะพานห้วยแม่จริม | 25360100 | 2 แพร่ | 55 | 255 | 1168 |
| 3 | สะพานแม่น้ำอิง | 25350128 | 2 แพร่ | 31 | 96 | 1126 |
| 4 | สะพานแม่น้ำกก | 25370096 | 2 แพร่ | 55 | 532 | 1129 |
| 5 | สะพานแม่น้ำคำ | 25370097 | 2 แพร่ | 55 | 532 | 1129 |
| 6 | สะพานแม่น้ำอิง | 25370104 | 2 แพร่ | 30 | 1399 | 1152 |
| 7 | สะพานห้วยแม่ถาง | 25310087 | 2 แพร่ | 37 | 6 | 1024 |
| 8 | สะพานห้วยท่าก้อ | 36420117 | 3 สกลนคร | 34 | 488 | 2094 |
| 9 | สะพานแม่น้ำป่าสัก | 65510195 | 6 เพชรบูรณ์ | 34 | 169 | 2343 |
| 10 | สะพานแม่น้ำชี | 76260103 | 7 ขอนแก่น | 55 | 478 | 225 |
| 11 | สะพานห้วยเชียงทา | 76260100 | 7 ขอนแก่น | 55 | 478 | 225 |
| 12 | สะพานห้วยลำพันชาติ | 76240124 | 7 ขอนแก่น | 50 | 3213 | 2289 |
| 13 | สะพานลำชี | 76260171 | 7 ขอนแก่น | 39 | 933 | 2359 |
| 14 | สะพานคลองบ้านเจียง | 76260174 | 7 ขอนแก่น | 39 | 952 | 2359 |
| 15 | สะพานลำน้ำเชิญ | 76270027 | 7 ขอนแก่น | 20 | 161 | 12 |
| 16 | สะพานห้วยทรายน้อย | 96320143 | 9 อุบลราชธานี | 40 | 523 | 2396 |
| 17 | สะพานห้วยทรายใหญ่ | 96320148 | 9 อุบลราชธานี | 40 | 523 | 2396 |
| 18 | สะพานลำเขบาย | 96310094 | 9 อุบลราชธานี | 35 | 435 | 2383 |
| 19 | สะพานห้วยบังโกย | 96340083 | 9 อุบลราชธานี | 45 | 656 | 2050 |
| 20 | สะพานแม่น้ำเลย | 65550049 | 6 เพชรบูรณ์ | 55 | 467 | 2195 |
| 21 | สะพานห้วยน้ำฮวย | 65540082 | 6 เพชรบูรณ์ | 44 | 243 | 211 |
| 22 | สะพานแม่น้ำเลย | 65540123 | 6 เพชรบูรณ์ | 55 | 165 | 2473 |
| 23 | สะพานแม่น้ำเลย | 65540101 | 6 เพชรบูรณ์ | 45 | 364 | 2138 |
| 24 | สะพานแม่น้ำปาด | 55580086 | 5 พิษณุโลก | 30 | 66 | 1176 |
| 25 | คลองละมุง | 55570072 | 5 พิษณุโลก | 46 | 58 | 1255 |
| 26 | คลองตรอน | 55570055 | 5 พิษณุโลก | 42 | 147 | 1204 |
| 27 | สะพานลำตะโคง | 106170111 | 10 นครราชสีมา | 45 | 445 | 2226 |
| 28 | สะพานห้วยชะยุ้ง | 96360068 | 9 อุบลราชธานี | 37 | 173 | 2335 |
| 29 | สะพานแม่น้ำมูล | 96380054 | 9 อุบลราชธานี | 36 | 134 | 2086 |
| 30 | สะพานห้วยตึกชู | 96380072 | 9 อุบลราชธานี | 45 | 65 | 2341 |
| 31 | สะพานห้วยบังอี | 36390223 | 3 สกลนคร | 32 | 858 | 2370 |

| | | | | | | |
|----|--------------------|-----------|--------------------|----|------|------|
| 32 | สะพานคลองปากแพรก | 153330171 | 15 ประจวบคีรีขันธ์ | 54 | 400 | 3374 |
| 33 | สะพานคลองน้ำรอบ | 163210217 | 16 นครศรีธรรมราช | 43 | 1951 | 4238 |
| 34 | สะพานแม่น้ำตรัง | 163220175 | 17 กระบี่ | 35 | 0 | 4236 |
| 35 | สะพานคลองไอร่บือแต | 183170306 | 18 สงขลา | 48 | 2200 | 4271 |
| 36 | สะพานลำน้ำยัง | 86330072 | 8 มหาสารคาม | 26 | 149 | 2259 |
| 37 | สะพานห้วยลำโพง | 86330019 | 8 มหาสารคาม | 45 | 872 | 202 |
| 38 | สะพานลำน้ำยัง | 86350098 | 8 มหาสารคาม | 50 | 41 | 2418 |
| 39 | สะพานคลองย่น | 163250147 | 16 นครศรีธรรมราช | 23 | 159 | 4247 |
| 40 | สะพานคลองพระปรัง | 106180053 | 10 นครราชสีมา | 83 | 197 | 3618 |

2.4 รายชื่อสะพานสำหรับการสำรวจและทดสอบสะพาน

สรุปรายชื่อสะพานจำนวน 8 แห่งๆ ละ 1 ช่วงสะพาน สำหรับการสำรวจและทดสอบสะพานในโครงการนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-10

ตารางที่ 2-10 สรุปรายชื่อสะพานสำหรับการสำรวจและทดสอบสะพาน

| ลำดับ | ชื่อสะพาน | รหัสสะพาน | สำนักงานทางหลวง | ปีที่ก่อสร้างเสร็จ | ปริมาณรถบรรทุกหนัก (คัน/วัน) | แขวงทางหลวง - แขวงทางหลวง | ความยาวช่วงสะพานที่ทดสอบ |
|-------|---------------------|-----------|------------------|--------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| 1 | สะพานคลองปากแพรก | 163260044 | 16 นครศรีธรรมราช | 2501 | 281 | นครศรีธรรมราชที่ 2 (ทุ่งสง) | 10 |
| 2 | สะพานแม่น้ำลาว | 25330055 | 2 แพร่ | 2525 | 1598 | เชียงใหม่ที่ 1 | 12 |
| 3 | สะพานห้วยเงิน | 86350090 | 8 มหาสารคาม | 2534 | 512 | ร้อยเอ็ด | 12 |
| 4 | สะพานห้วยแม่โป่ง | 15280045 | 1 เชียงใหม่ | 2505 | 1804 | ลำปางที่ 2 | 15 |
| 5 | สะพานข้ามคลองบางมัน | 173310115 | 17 กระบี่ | 2503 | 436 | ระนอง | 15 |
| 6 | สะพานข้ามแม่น้ำชี | 76210001 | 7 ขอนแก่น | 2535 | 5776 | ขอนแก่นที่ 1 | 15 |
| 7 | สะพานคลองน้ำรอบ | 163210217 | 16 นครศรีธรรมราช | 2522 | 1951 | นครศรีธรรมราชที่ 1 | 20 |
| 8 | สะพานคลองย่น | 163250147 | 16 นครศรีธรรมราช | 2542 | 159 | สุราษฎร์ธานีที่ 1 (พุนพิน) | 20 |

บทที่ 3 วิธีการสำรวจและทดสอบสะพาน

จากการทบทวนข้อมูลสะพานในระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) ของสำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง ที่มงานได้คัดเลือก 8 ช่วงสะพาน (Span) สำหรับใช้เป็นตัวแทนในการสำรวจและทดสอบช่วงสะพานประเภทคานตัวที่มีความยาว 10 - 20 เมตร โดยมีรายการละเอียดดังนี้

- 1) การสำรวจมิติสะพาน
- 2) การตรวจสอบความเสียหายของสะพาน
- 3) การสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน
- 4) การทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน
- 5) การตรวจวัดพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างสะพาน

3.2 วิธีการสำรวจมิติสะพาน

การสำรวจมิติสะพานกระทำโดยการถ่ายภาพ และใช้เครื่องมือวัดระยะประเภทต่าง ๆ เช่น ตลับเมตร เทปวัด และเลเซอร์วัดระยะทาง ในการตรวจวัดขนาดชิ้นส่วนและมิติต่าง ๆ ของสะพาน ดังตัวอย่างการสำรวจมิติสะพานในรูปที่ 3-1 กรณีที่ชิ้นส่วนโครงสร้างมีขนาดใหญ่หรืออยู่สูงมาก อาจพิจารณาใช้นั่งร้าน เพื่อช่วยในการเข้าถึงชิ้นส่วนนั้น ๆ ดังรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-1 ตัวอย่างการตรวจวัดมิติของสะพาน (ทั่วไป)





รูปที่ 3-2 ตัวอย่างการตั้งนั่งร้านสำหรับการตรวจวัดมิติของสะพาน

3.3 วิธีการตรวจสอบความเสียหายของสะพาน

การตรวจสอบสะพาน (Bridge Inspection) ใช้วิธีการตรวจสอบความเสียหายด้วยสายตา (Visual Inspection) ซึ่งเป็นการตรวจสอบและบันทึกความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างสะพาน ข้อมูลความเสียหายสามารถนำไปใช้วางแผนซ่อมบำรุงสะพาน อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นข้อมูลในการปรับลดกำลังรับแรงกระทำของชิ้นส่วนโครงสร้างที่มีความเสียหายในการประเมินความสามารถการรับน้ำหนักของสะพาน (Bridge Load Rating)

การตรวจสอบความเสียหายด้วยสายตา (Visual Inspection) จะใช้อุปกรณ์พื้นฐานประเภทต่างๆ เช่น ไม้บรรทัด เกจวัดขนาดรอยแตก กล้องถ่ายรูป และแบบฟอร์มบันทึกความเสียหาย เป็นต้น การตรวจสอบสะพานจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานด้านวิศวกรรมโครงสร้างสะพาน พฤติกรรมของคอนกรีต และเทคนิคการก่อสร้าง รวมถึงต้องมีการวางแผนและการเตรียมการที่ดี จึงจะสามารถเก็บข้อมูลต่างๆ ได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน ทั้งข้อมูลด้านตำแหน่ง ขนาดของความเสียหาย และลักษณะความเสียหาย สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในภายหลังได้อย่างสะดวก หลักการที่ใช้ในการตรวจสอบสะพานที่สำคัญมี ดังนี้

3.3.1. การแบ่งชิ้นส่วนโครงสร้างสะพาน

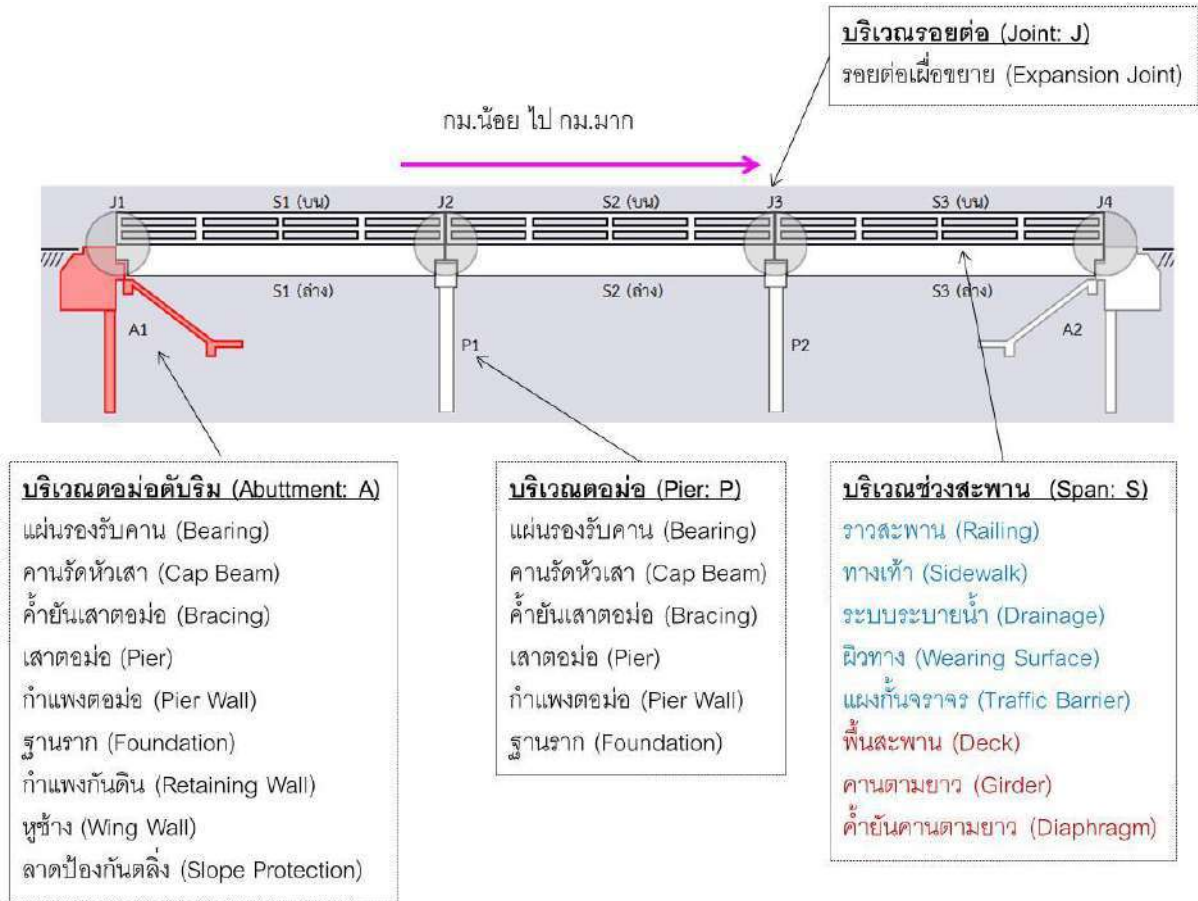
โดยทั่วไปสะพานจะมีชิ้นส่วนหลายประเภทและมีเป็นจำนวนมาก ดังนั้น เพื่อให้สามารถตรวจสอบสะพานได้ครบทุกชิ้นส่วน จึงได้แบ่งสะพานออกเป็นองค์ประกอบต่างๆ ตามระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (Bridge Maintenance and Management System, BMMS) ของสำนักก่อสร้างสะพาน กรมทางหลวง โดยจะแบ่งสะพาน (Bridge) ออกเป็นบริเวณ (Area) ต่าง ๆ และในแต่ละบริเวณจะแบ่งเป็นชิ้นส่วน (Member) ประเภทต่างๆ ดังรูปที่ 3-3 ซึ่งสะพานมี 4 ประเภทบริเวณ ดังนี้

- บริเวณตอม่อตัมบริม (Abutment, A)
- บริเวณตอม่อ (Pier, P)
- บริเวณช่วงสะพาน (Span, S)
- บริเวณรอยต่อ (Joint, J)

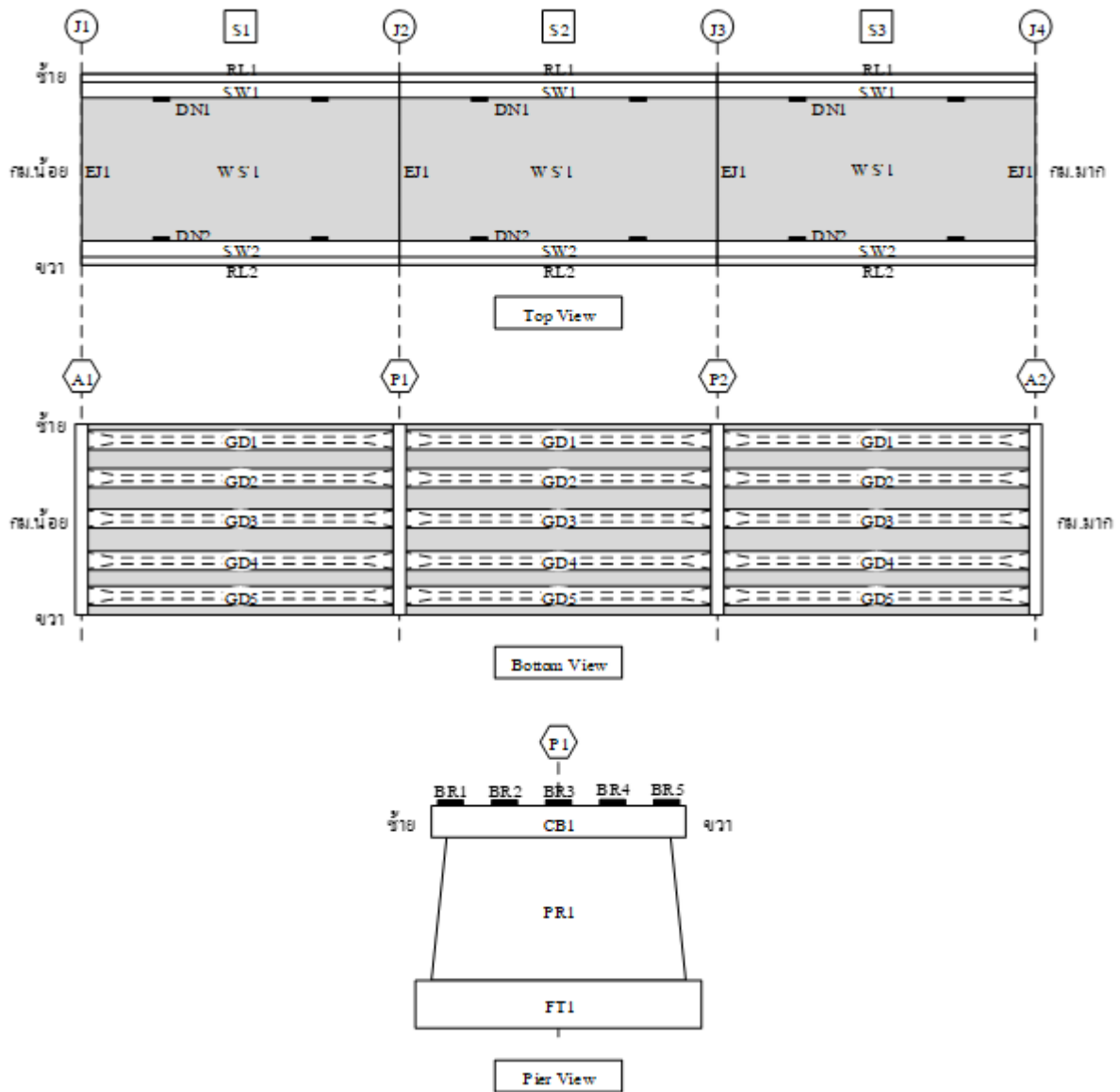
ระบบ BMMS แบ่งทิศทางของสะพานออกเป็น 3 ทิศ ได้แก่ ทิศตามยาว ทิศตามขวาง และทิศตามแนวตั้ง โดยทิศตามยาวจะเริ่มจากฝั่ง กม. น้อย ไปยังฝั่ง กม. มาก ซึ่งจะใช้ในการเรียงเลขรหัสของบริเวณต่างๆ ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3-3 {A1, A2}, {P1, P2}, {S1, S2, S3} และ {J1, J2, J3, J4} รูปที่ 3-4 แสดงการเรียงเลขรหัสชิ้นส่วนภายในแต่ละบริเวณของสะพาน โดยทิศตามขวางจะเริ่มจากซ้ายมือไปขวามือ ซึ่งจะใช้เรียงเลขรหัสของชิ้นส่วนที่อยู่ตามแนวขวางของสะพานในแต่ละบริเวณ เช่น ในบริเวณ S1 มีราวสะพาน RL1 และ RL2 ส่วนทิศแนวตั้งจะเริ่มจากบนลงล่าง เพื่อใช้เรียงเลขรหัสของ



ชั้นส่วนที่อยู่ในแนวตั้งของสะพานในแต่ละบริเวณ เช่น ในบริเวณ P1 มี คานรัดหัวเสาเพียงแถวเดียว CB1 การแบ่งสะพานออกเป็นบริเวณและชั้นส่วน ตลอดจนการกำหนดทิศทางเพื่อเรียงลำดับเลขรหัส บริเวณและรหัสชั้นส่วน จะทำให้ผู้ตรวจสอบสามารถตรวจสอบชั้นส่วนที่มีทั้งหมดในสะพานได้อย่างครบถ้วน ไม่ซ้ำซ้อน และไม่สลับทิศทางกัน



รูปที่ 3-3 ทิศทางตามยาวของสะพานและการเรียงเลขรหัสบริเวณตามระบบ BMMS



รูปที่ 3-4 ตัวอย่างการเรียงเลขรหัสชิ้นส่วนภายในแต่ละบริเวณของสะพาน

ในการตรวจสอบสะพาน ระบบ BMMS จะแบ่งชิ้นส่วนสะพานออกเป็น 3 กลุ่ม คือ โครงสร้างส่วนบน (Superstructure) โครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) และส่วนประกอบรอง (Secondary Member) โดยกลุ่มโครงสร้างส่วนบน คือ ชิ้นส่วนหลัก (Primary Member) ที่อยู่ด้านบนและทำหน้าที่รับแรงโดยตรง กลุ่มโครงสร้างส่วนล่าง คือ ชิ้นส่วนหลักที่อยู่ด้านล่างและทำหน้าที่รับแรงโดยตรง ในขณะที่ส่วนประกอบรอง คือ ชิ้นส่วนอื่นๆ ที่ช่วยเสริมด้านความมั่นคง (Stability) หรือใช้งานในด้านต่างๆ ของสะพาน (Functional & Utility) ตารางที่ 3-1 สรุปประเภทชิ้นส่วนที่อาจมีอยู่ในบริเวณต่างๆ และกลุ่มโครงสร้างของแต่ละประเภทชิ้นส่วนนั้นๆ ตลอดจนสัญลักษณ์ที่ใช้ในการตั้งรหัสบริเวณและรหัสชิ้นส่วน

ตารางที่ 3-1 การแบ่งบริเวณ ชั้นส่วน และกลุ่มโครงสร้าง

| บริเวณ | Area Code | ชั้นส่วนโครงสร้าง (Member) | Member Code | กลุ่มโครงสร้าง |
|--------------------------------------|-----------|------------------------------------|-------------|-------------------|
| ช่วงสะพาน (Span) | S | ราวสะพาน (Railing) | RL | ส่วนประกอบรอง |
| | | ทางเท้า (Sidewalk) | SW | ส่วนประกอบรอง |
| | | ระบบระบายน้ำ (Drainage) | DN | ส่วนประกอบรอง |
| | | ผิวทาง (Wearing Surface) | WS | ส่วนประกอบรอง |
| | | แผงกั้นจราจร (Traffic Barrier) | TB | ส่วนประกอบรอง |
| | | พื้นสะพาน (Deck) | DK | โครงสร้างส่วนบน |
| | | คานตามยาว (Girder) | GD | โครงสร้างส่วนบน |
| | | ไดอะแฟรม (Diaphragm) | DP | ส่วนประกอบรอง |
| | | คานรองพื้นสะพาน (Floorbeam) | FB | โครงสร้างส่วนบน |
| | | คานชอย (Stringer) | ST | โครงสร้างส่วนบน |
| | | คานโค้ง (Arch Beam) | AB | โครงสร้างส่วนบน |
| | | ลวดขึง (Rod) | RD | โครงสร้างส่วนบน |
| ค้ำยันคานแนวนอน (Horizontal Bracing) | HB | ส่วนประกอบรอง | | |
| รอยต่อสะพาน (Joint) | J | รอยต่อเพื่อขยาย (Expansion Joint) | EJ | ส่วนประกอบรอง |
| ตอม่อสะพาน (Pier) | P | อุปกรณ์รองรับคาน (Bearing) | BR | ส่วนประกอบรอง |
| | | คานรัดหัวเสา (Cap Beam) | CB | โครงสร้างส่วนล่าง |
| | | เสาตอม่อ (Pier) | PR | โครงสร้างส่วนล่าง |
| | | กำแพงตอม่อ (Pier Wall) | PW | โครงสร้างส่วนล่าง |
| | | ฐานราก (Foundation) | FD | โครงสร้างส่วนล่าง |
| ตอม่อตัดริม (Abutment) | A | อุปกรณ์รองรับคาน (Bearing) | BR | ส่วนประกอบรอง |
| | | คานรัดหัวเสา (Cap Beam) | CB | โครงสร้างส่วนล่าง |
| | | เสาตอม่อ (Pier) | PR | โครงสร้างส่วนล่าง |
| | | กำแพงตอม่อ (Pier Wall) | PW | โครงสร้างส่วนล่าง |
| | | ค้ำยันเสาตอม่อ (Bracing) | BC | ส่วนประกอบรอง |
| | | กำแพงหลัง (Back Wall) | BW | ส่วนประกอบรอง |
| | | หูช้าง (Wing Wall) | WW | ส่วนประกอบรอง |
| | | ลาดป้องกันตลิ่ง (Slope Protection) | SP | ส่วนประกอบรอง |
| | | เชิงลาดสะพาน (Approach) | AP | ส่วนประกอบรอง |
| | | ฐานราก (Foundation) | FD | โครงสร้างส่วนล่าง |

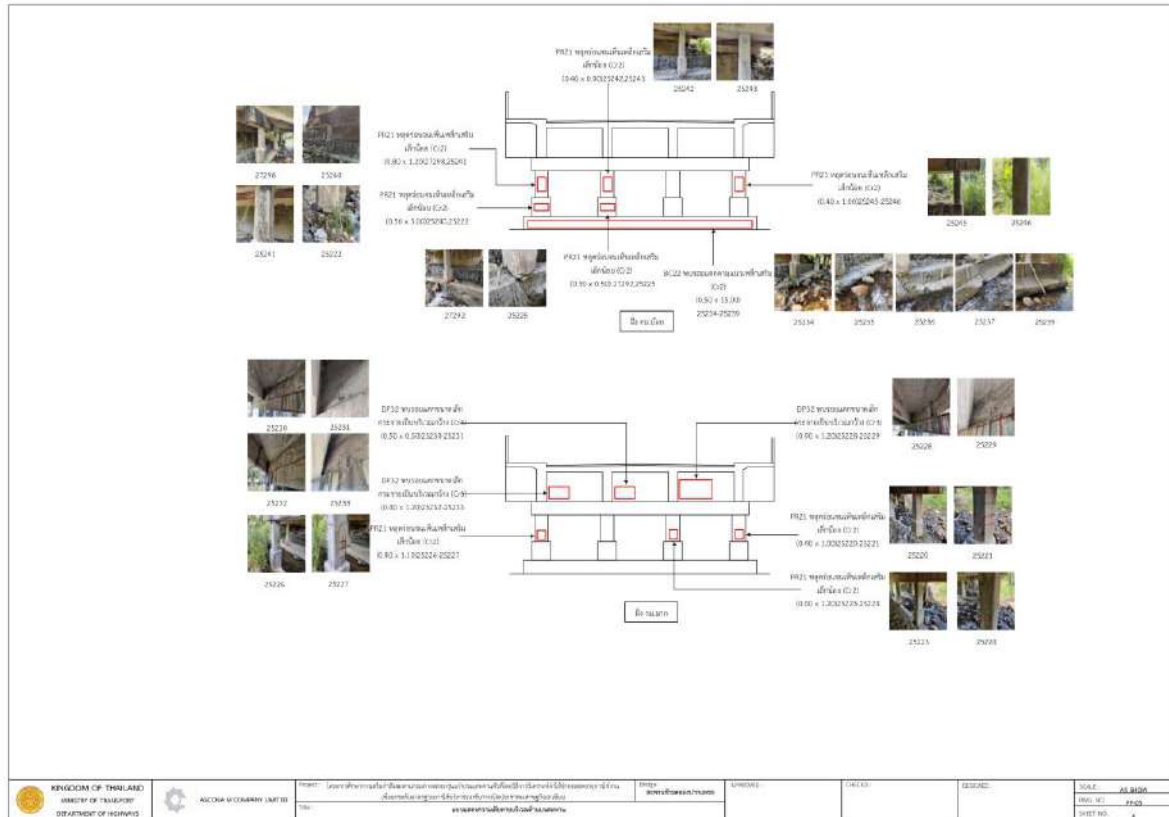
3.3.2. แนวทางการตรวจสอบสะพาน

การตรวจสอบสะพานเริ่มต้นจากการศึกษาแบบก่อสร้างและชิ้นส่วนประเภทต่างๆ ที่ใช้บนสะพาน เพื่อทำความเข้าใจพฤติกรรมของสะพานและตำแหน่งวิกฤติของผลรวมแรงกระทำ ซึ่งอาจเป็นจุดเสี่ยงที่โครงสร้างจะเกิดความเสียหาย รวมถึงผลการตรวจสอบสะพานครั้งล่าสุด (กรณีที่มี)

จากนั้นทำการแบ่งสะพานออกเป็นบริเวณและชิ้นส่วน เพื่อให้สามารถตรวจสอบชิ้นส่วนสะพานได้อย่างครบถ้วน ทำการกำหนดรหัสบริเวณและรหัสชิ้นส่วนตามระบบ BMMS และแบ่งงานให้ทีมผู้ตรวจสอบหลายคนช่วยดำเนินการ ซึ่งจะทำให้การตรวจสอบเป็นไปอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามเพื่อให้การประเมินความเสียหายมีความสม่ำเสมอ ผู้ตรวจสอบแต่ละคนจะจำแนกลักษณะความเสียหายตามระบบ BMMS ที่เหมือนกัน

3.3.3. แบบแสดงความเสียหายสะพาน

โครงการนี้จะบันทึกความเสียหายของสะพาน โดยสังเกตความเสียหายลงในแบบสะพาน พร้อมทั้งระบุลักษณะความเสียหาย ชั้นส่วนที่ได้รับความเสียหาย ขนาดความเสียหาย และรูปถ่ายความเสียหาย รูปที่ 3-5 แสดงตัวอย่างแบบแสดงความเสียหายของสะพาน



รูปที่ 3-5 ตัวอย่างแบบแสดงความเสียหายของสะพานข้ามคลองปากแพรก

3.4 วิธีการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน

การสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมในโครงการนี้จะสำรวจข้อมูลสำคัญ ได้แก่ ตำแหน่ง ทิศทาง ระดับความลึก และขนาดของเหล็กเสริม ในองค์ประกอบต่างๆ ของสะพานประเภทคานตัวที่ ตามช่วงที่คัดเลือกไว้ (รวม 8 ช่วงสะพาน) โดยมีพื้นที่สแกน ช่วงสะพานละอย่างน้อย 120 ตารางเมตร รวมพื้นที่สแกนทั้งหมดอย่างน้อย 960 ตารางเมตร

การสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม ใช้เครื่องมือ Ferro Scan ควบคู่กับเครื่องมือ Ground Penetrating Radar (GPR) โดยเครื่องมือ Ferro Scan สามารถให้รายละเอียดตำแหน่งและขนาดของเหล็กเสริมที่อยู่ใต้ผิวคอนกรีตในระยะไม่เกิน 100 มม. ขณะที่เครื่องมือ Ground Penetrating Radar จะให้ข้อมูลตำแหน่งเหล็กเสริมในบริเวณที่ลึกยิ่งขึ้นได้ถึง 300 มม. เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลเหล็กเสริมของโครงสร้างสะพานได้ครบถ้วนที่สุด จึงได้คัดเลือกชิ้นส่วนสำคัญที่ใช้ในการรับแรงของโครงสร้างสะพาน ดังนี้ เสาตอม่อ (Pier) คานหลัก (Girder) คานรองรับพื้นสะพาน (Floorbeam) และพื้นสะพาน (Deck) โดยแต่ละชิ้นส่วนจะเน้นสำรวจในบริเวณที่มีคาดว่าจะมีแรงกระทำสูง ข้อมูลรายละเอียดเหล็กเสริมที่ได้จากการสำรวจจะถูกนำไปใช้ประกอบการออกแบบบูรณะสะพานต่อไป

3.4.1. การสำรวจระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้วยเครื่องมือ Ferro Scan

การสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมด้วยเครื่องมือ Ferro Scan เป็นการสำรวจเพื่อหาตำแหน่ง ขนาด และจำนวนเหล็กเสริม เฉพาะเหล็กเสริมชั้นนอกที่มีความลึกไม่เกิน 100 มม. จากผิวสำรวจของโครงสร้าง การสำรวจด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Test) ซึ่งจะไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างระหว่างการสำรวจ และสามารถดำเนินการได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว



รูปที่ 3-6 ตัวอย่างเครื่องมือ Ferro Scan, HILTI PS200

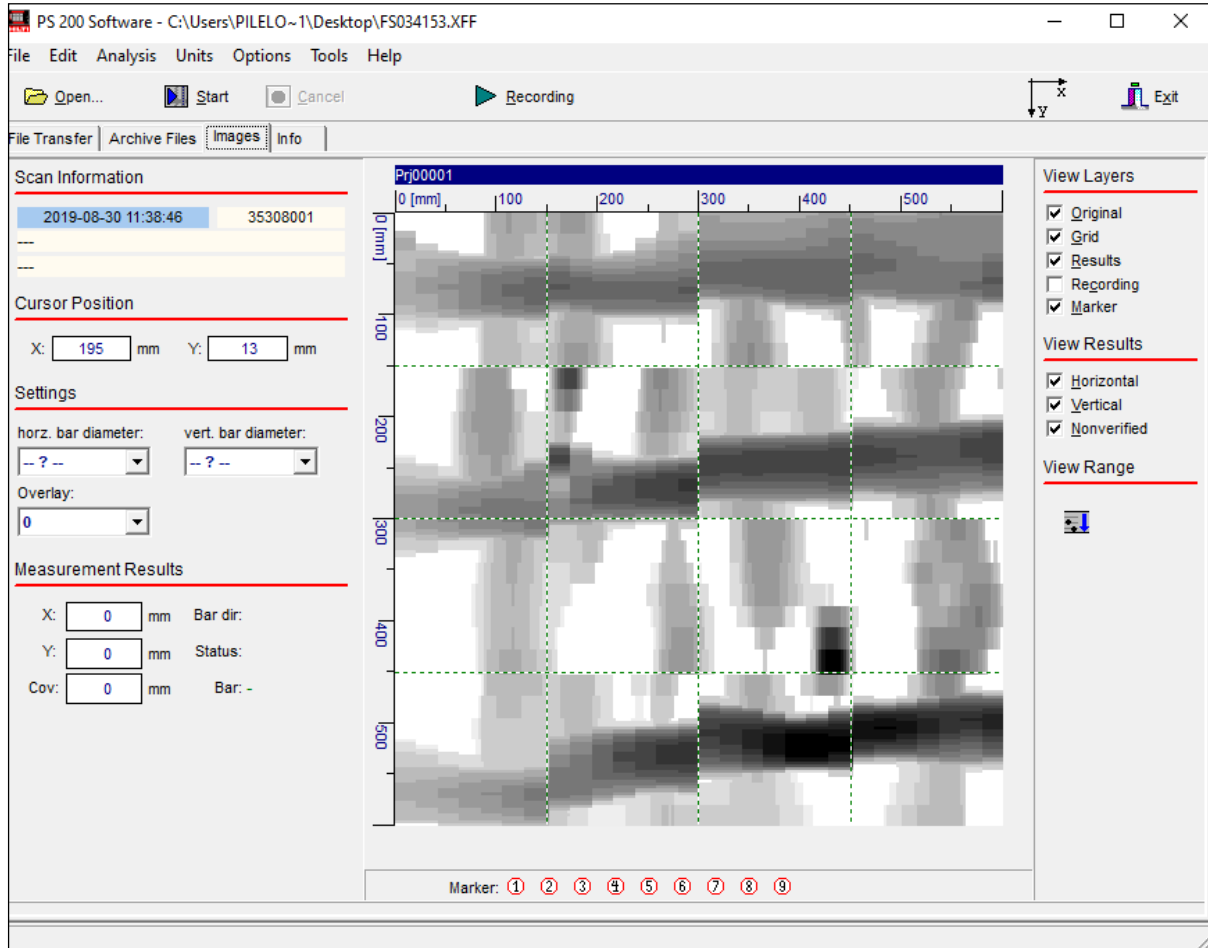
3.4.1.1. ขั้นตอนการสำรวจ

- 1) ตรวจสอบสภาพพื้นผิวของชิ้นส่วนโครงสร้างที่ต้องการสำรวจ โดยพื้นผิวจะต้องค่อนข้างเรียบ เนื่องจากจะมีผลต่อสัญญาณคลื่นที่ใช้สแกน
- 2) ทำการลากเครื่องมือสแกนในลักษณะเป็นตาราง (Grid) ในทิศทางแนวนอนและแนวตั้ง ทุก ๆ ระยะ 0.15 เมตร จนกระทั่งครบตามพื้นที่สำรวจที่กำหนด



รูปที่ 3-7 ตัวอย่างการสแกนโครงสร้างด้วยเครื่องมือ Ferro Scan

3) เมื่อทำการสแกนเรียบร้อยแล้ว เครื่องมือทดสอบจะแสดงผลเป็นภาพกราฟิกทางจอคอมพิวเตอร์ PS 200 Monitor ซึ่งประกอบด้วยตำแหน่ง การจัดเรียงตัว และจำนวนของเหล็กเสริม (เฉพาะเหล็กเสริมชั้นนอกเพียงชั้นเดียว) รวมถึงขนาดของเหล็กเสริม (ขึ้นอยู่กับระยะหุ้มของคอนกรีต)



รูปที่ 3-8 ตัวอย่างผลการตรวจสอบจากเครื่องมือ Ferro Scan



3.4.2. การสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม ด้วยเครื่องมือ Ground Penetrating Radar

การสำรวจด้วยเครื่องมือ Ground Penetrating Radar (GPR) เป็นการทดสอบเพื่อหารายละเอียดของวัสดุต่าง ๆ ทั้งที่เป็นโลหะ และวัสดุอื่น ๆ ด้วยวิธีการส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านความถี่วิทยุ (Radio Frequency) ประมาณ 0.2-4.0 GHz จากหัวส่ง เข้าสู่วัสดุตัวกลางที่ต้องการตรวจสอบ อาทิ คอนกรีต เป็นต้น และทำการรับสัญญาณ (Antenna) โดยเครื่องมือดังกล่าว สามารถใช้หาตำแหน่งเหล็กเสริม ระยะหุ้มของคอนกรีต รวมถึงความต่อเนื่องในเนื้อคอนกรีต เครื่องมือ GPR ที่ใช้ในโครงการเป็นเครื่องมือสำรวจที่สามารถหาตำแหน่งเหล็กเสริมในองค์อาคารคอนกรีตที่มีความหนาไม่เกิน 300 มม. ได้ เครื่องมือทดสอบนี้ไม่สามารถใช้ในการทดสอบในบริเวณพื้นที่ที่มีความชื้นสูงหรือมีน้ำขังที่ผิวองค์อาคารได้



รูปที่ 3-9 ตัวอย่างเครื่องมือ Ground Penetrating Radar

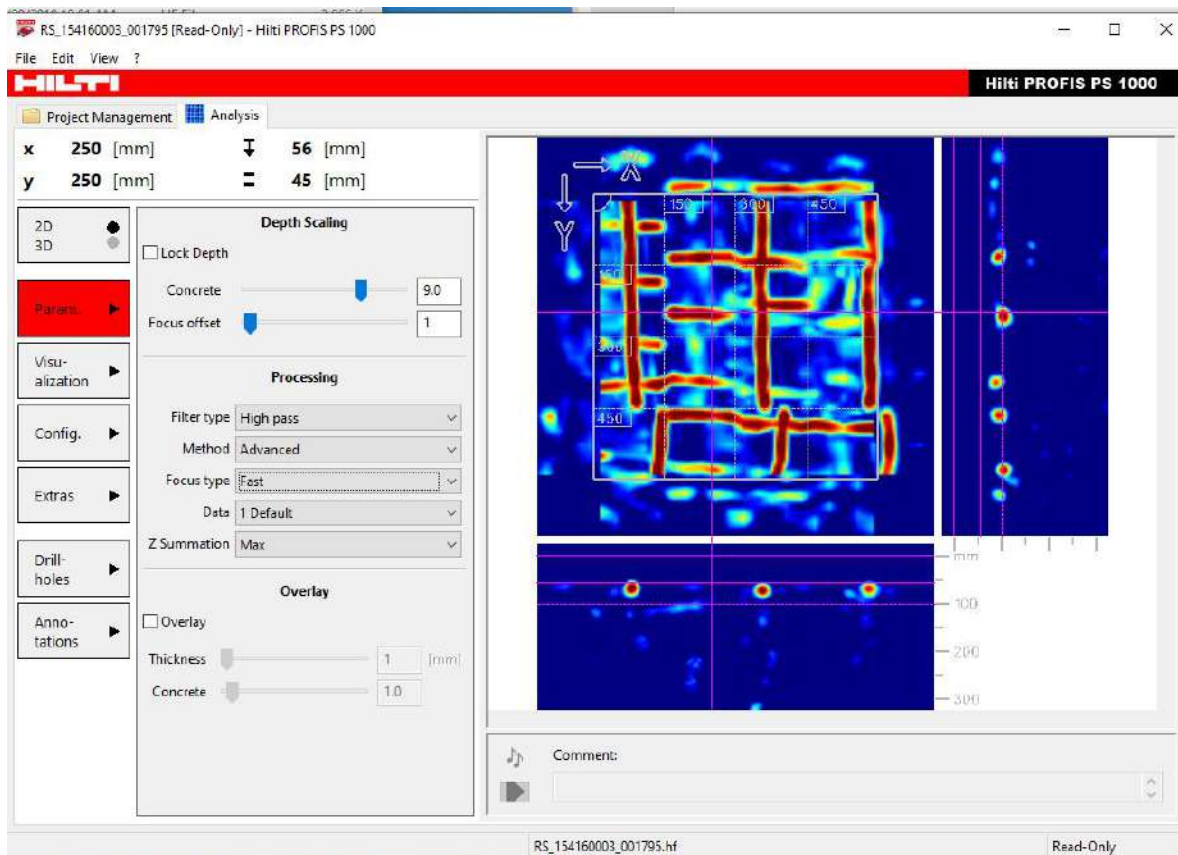
3.4.2.1. ขั้นตอนการสำรวจด้วยเครื่องมือ GPR

- 1) ตรวจสอบสภาพพื้นผิวขององค์อาคารที่ต้องการทำการสำรวจ โดยพื้นผิวต้องค่อนข้างเรียบ เนื่องจากจะมีผลต่อสัญญาณคลื่นที่ใช้สแกน
- 2) ทำการลากเครื่องมือสแกนในลักษณะเป็นตาราง (Grid) ในทิศทางแนวนอนและแนวตั้ง ทุกระยะ 0.15 เมตร จนกระทั่งครบตามพื้นที่สำรวจที่กำหนด



รูปที่ 3-10 ตัวอย่างการสแกนโครงสร้างด้วยเครื่องมือ Ground Penetrating Radar

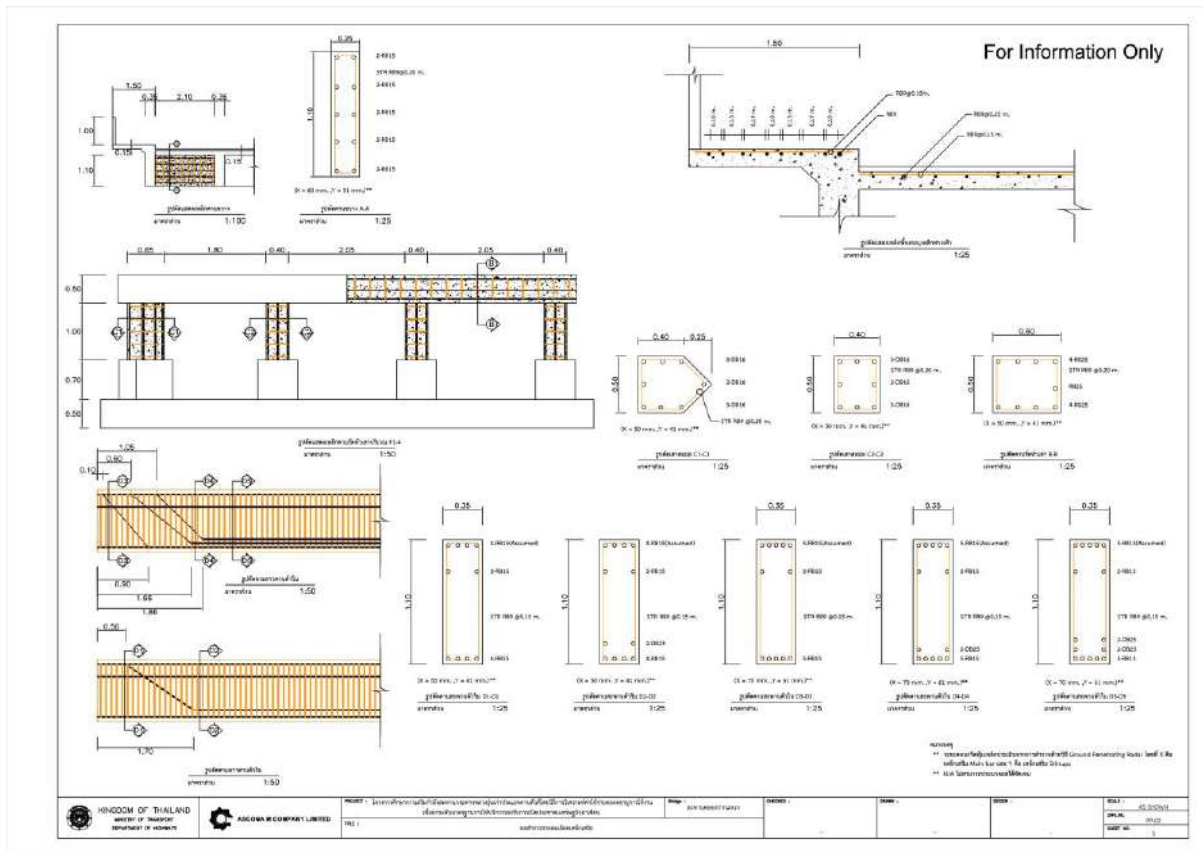
3) เมื่อทำการสแกนเรียบร้อยแล้ว เครื่องมือทดสอบจะแสดงผลเป็นภาพกราฟิกทางจอมอนิเตอร์บนเครื่องมือ ซึ่งจะประกอบด้วยตำแหน่ง การจัดเรียงตัว และจำนวนของเหล็กเสริมเฉพาะที่มีความลึกภายในระยะ 300 มม.



รูปที่ 3-11 ตัวอย่างผลการตรวจสอบที่ได้จากเครื่องมือ Ground Penetrating Radar



จากนั้นจะนำข้อมูลผลการสแกนเหล็กเสริมในบริเวณต่าง ๆ ของสะพานมาจัดทำเป็นแบบ
 สะพานที่มีรายละเอียดเหล็กเสริมดังแสดงในตัวอย่างรูปที่ 3-12



รูปที่ 3-12 ตัวอย่างผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน

3.5 วิธีการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพานในโครงการนี้มี 4 รายการ ประกอบด้วย การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต การทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม และการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน ซึ่งการทดสอบ 3 รายการแรก เป็นวิธีการทดสอบแบบทำลาย (Destructive Test) โดยจะมีการเจาะคอนกรีตออกจากชิ้นส่วนโครงสร้างเพื่อนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงในห้องปฏิบัติการ หรือสกัดผิวคอนกรีตออกและตัดเหล็กเสริมเพื่อนำไปทดสอบกำลังรับแรงดึงในห้องปฏิบัติการ ส่วนการทดสอบสุดท้ายก็มีลักษณะทำลายอยู่บ้างแต่ไม่รุนแรงเท่ากับ 3 วิธีการแรก เป็นเพียงการเจาะคอนกรีตให้เป็นรูเล็กๆ เพื่อนำผงคอนกรีตไปตรวจสอบความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน เนื่องจากปริมาณการทดสอบ 4 รายการนี้มีจำนวนมาก จึงอาจก่อความเสียหายให้กับโครงสร้างได้ ดังนั้นการทดสอบจึงได้กระจายตำแหน่งทดสอบไปให้ชิ้นส่วนในบริเวณต่างๆ ไม่ให้หนาแน่นที่บริเวณใดบริเวณหนึ่งมากเกินไป และคัดเลือกตำแหน่งที่คาดว่าจะมีผลกระทบน้อยต่อโครงสร้าง โดยภาพรวมการคัดเลือกและการกระจายตำแหน่งทดสอบ รวมถึงผลการทดสอบทั้ง 4 รายการของทั้ง 8 สะพาน จะแสดงตามบทที่ 4 ถึง บทที่ 11 ของแต่ละสะพาน

3.5.1. วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

วิธีการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ASTM C42 โดยจะเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตออกมาจากชิ้นส่วนโครงสร้างตามสภาพการใช้งานจริง เพื่อนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีต (Ultimate Concrete Compressive Strength) โดยใช้เครื่องกดแท่งตัวอย่างคอนกรีตจนถึงจุดพังทลาย ค่าที่ได้จะเป็นกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ที่แท้จริงของโครงสร้าง ณ ปัจจุบัน การทดสอบด้วยวิธีนี้ควรใช้ควบคู่กับเครื่องมือสแกนหาตำแหน่งเหล็กเสริม (Rebar Locator) เพื่อหลีกเลี่ยงการเจาะถูกเหล็กเสริมขาด นอกจากนี้การเลือกตำแหน่งในการเจาะนั้นจะต้องส่งผลกระทบต่อตัวโครงสร้างน้อยที่สุด

การเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีตเพื่อนำมาทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C42 มีข้อกำหนด คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างควรมีขนาดไม่น้อยกว่า 3 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุดของวัสดุมวลละเอียด และระยะความลึกของแท่งตัวอย่างคอนกรีตจะต้องอยู่ระหว่าง 1.0 ถึง 2.0 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง อย่างไรก็ตามโครงการนี้จะใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. และความลึกของแท่งตัวอย่าง 10 ซม. ตามข้อกำหนดของโครงการ (TOR) เพื่อลดผลกระทบต่อความเสียหายต่อโครงสร้างสะพาน

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบด้วย

- 1) เครื่องเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีต (Core Drilling Machine) เป็นเครื่องเจาะแบบ Rotary Drilling พร้อมด้วยกระบอกลูกเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีต เป็นกระบอกลูกเจาะหัวเพชร (Diamond Barrel) แบบ Single Core โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3-13
- 2) เครื่องมือสำหรับหาตำแหน่งเหล็กเสริม (Rebar Locator) ดังรูปที่ 3-14



(ก) เครื่องเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีต



(ข) การเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีต

รูปที่ 3-13 เครื่องมือที่ใช้ในการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตแบบ Core Drilling



(ก) เครื่องมือสำหรับหาดำแหน่งเหล็กเสริม



(ข) การหาดำแหน่งเหล็กเสริม

รูปที่ 3-14 เครื่องมือที่ใช้ในการหาดำแหน่งเหล็กเสริมในโครงสร้าง

วิธีการทดสอบ

- 1) กำหนดตำแหน่งการเจาะ โดยตำแหน่งนั้นๆจะต้องส่งผลกระทบต่อตัวโครงสร้างน้อยที่สุด จากนั้นทำการตรวจสอบตำแหน่งเหล็กเสริมด้วยเครื่องมือ Rebar Locator เพื่อหลีกเลี่ยงการเจาะถูกเหล็กเสริม
- 2) ติดตั้งเครื่องเจาะคอนกรีต (Concrete Drilling Machine) แบบ Rotary Drilling ด้วย Anchor Bolt บริเวณจุดที่ต้องการเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีต จากนั้นติดตั้งกระบอกลูกเจาะแบบ Single Core
- 3) ต่อสายยางจากถังน้ำเข้ากับเครื่องเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีต
- 4) เมื่อได้ตรวจสอบความเรียบร้อยแล้ว จึงเริ่มทำการเจาะแท่งตัวอย่างคอนกรีต โดยในขณะทำการเจาะ ต้องเปิดน้ำหล่อเลี้ยงเพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีระหว่าง Diamond barrel กับคอนกรีต
- 5) เมื่อได้แท่งตัวอย่างคอนกรีตแล้ว (รูปที่ 3-15) ให้ทำความสะอาดแล้วห่อด้วยพลาสติกเพื่อนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการต่อไป
- 6) ทำการซ่อมแซมคอนกรีตบริเวณที่ได้ทำการเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีตให้เรียบร้อย โดยใช้ Low Shrinkage Cement หรือ Cement Grout หรือ Epoxy Resin ในการอุดซ่อมแซม



รูปที่ 3-15 แท่งตัวอย่างคอนกรีตหลังจากการ Core Drilling

- 7) แท่งตัวอย่างคอนกรีตที่ได้จากการ Core Drilling ที่ภาคสนามจะถูกนำมาทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ห้องปฏิบัติการ ดังรูปที่ 3-16 ด้วยอัตราการกดระหว่าง 12 ถึง 24 MPa/ (mm².min)



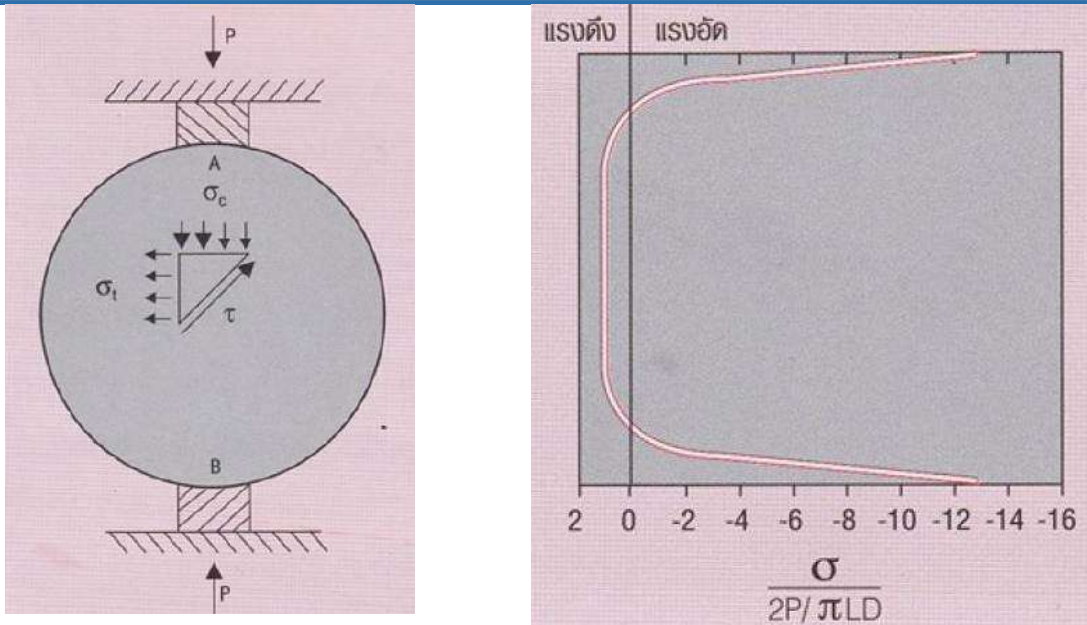
รูปที่ 3-16 ตัวอย่างการทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตแบบทำลาย

3.5.2. การทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

การทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตอาจกระทำโดยทางตรงหรือทางอ้อมก็ได้ ซึ่งการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยทางตรง (Direct Tension Test) เป็นสิ่งที่กระทำได้ยากและเสียเวลามาก ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้ในภาคปฏิบัติ วิธีการทดสอบกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก (Splitting tensile test) เป็นการทดสอบทางอ้อม (Indirect Tension Test) สามารถทดสอบได้ง่ายกว่า อีกทั้งผลการทดสอบมีค่าแปรปรวนต่ำ จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ยิยมมากในการหาลำรับแรงดึงของคอนกรีต ดังนั้นโครงการนี้จะเลือกใช้วิธีนี้

การทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยวิธีการผ่าซีก (Splitting Tensile Test) พัฒนขึ้นในประเทศบราซิล และมีวิธีการทดสอบตาม ASTM C 496 การทดสอบโดยย่อคือ ใช้ตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกวางในแนวนอนเพื่อรับแรงกดตามแกนที่ส่งผ่านจากแผ่นไม้อัดหนา 3 มม. กว้าง 25 มม. แรงอัดที่ส่งผ่านไม้อัดจะทำให้เกิดแรงดึงไตตัวอย่างแท่งคอนกรีต ซึ่งจะเกิดขึ้นเกือบคงที่ตลอดหน้าตัดตั้งแสดงในรูปที่ 3-17 โดยแรงอัดที่ผิวสัมผัสด้านบนของตัวอย่างจะไม่ทำให้คอนกรีตวิบัติ แต่แรงดึงบริเวณกลางตัวอย่างซึ่งจะเกิดขึ้นสูงกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตแยกออกเป็น 2 ซีก ดังแสดงในรูปที่ 3-18





รูปที่ 3-17 การทดสอบแรงดึงโดยวิธีการผ่าซีก (Splitting tensile test)

ขั้นตอนการเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีต (เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. ความลึก 10 ซม.)
ดำเนินการด้วยวิธีการเดียวกันกับการทดสอบกำลังรับแรงอัด ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.5.1



รูปที่ 3-18 การทดสอบแรงดึงโดยวิธีการผ่าซีก (Splitting tensile test)

3.5.3. การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

คุณสมบัติการรับแรงดึงของเหล็กเสริมที่ใช้ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนั้นว่าเป็นคุณสมบัติทางกลที่สำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากเหล็กเสริมที่ใช้ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กส่วนใหญ่จะทำหน้าที่รับแรงดึง ถึงแม้ว่าบางครั้งอาจจะใช้ช่วยรับแรงอัด แต่กำลังรับแรงดึงและแรงอัดของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากัน หากไม่เกิดการโก่งเดาะขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปเหล็กเสริมตามยาวจะถูกยึดด้วยเหล็กเสริมตามขวางและหุ้มด้วยคอนกรีต ทำให้มีโอกาสโก่งเดาะน้อยมาก ดังนั้นการทดสอบเหล็กเสริมจึงทดสอบเฉพาะคุณสมบัติการรับแรงดึงเท่านั้น

เหล็กเสริมที่ใช้ในงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมี 2 ประเภท ได้แก่ เหล็กกลม (Round Bar) และเหล็กข้ออ้อย (Deform Bar) ดังรูปที่ 3-19 ซึ่งเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำหรือเหล็กกล้าละมุน คุณสมบัติการรับแรงดึงของเหล็กเสริมถูกนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เช่น พื้นคาน เสา เพื่อให้ได้คุณสมบัติต้านทานการรับแรงดึงของเหล็กเสริมตามที่ออกแบบในการก่อสร้างต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของเหล็กเสริมที่จะนำมาใช้งาน



(ก) เหล็กกลม



(ข) เหล็กข้ออ้อย

รูปที่ 3-19 เหล็กเสริม

- 1) มาตรฐานการทดสอบการรับแรงดึงของเหล็กเส้น
 - มอก 20-2543 มาตรฐานเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (เหล็กกลม)
 - มอก 24-2536 มาตรฐานเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (เหล็กข้ออ้อย)
 - มาตรฐานงานเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (มยช.103-2533)
 - ASTM A615 M-79 Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement (Metric)
 - BS 4449: 1969 Hot Rolled steel bars for the reinforcement of concrete
 - JIS G3112-1975 Steel bars for concrete reinforcement

- AASHTO (American Association for State Highway and Transportation Officials)

ข้อกำหนดคุณสมบัติของเหล็กเส้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของเหล็กเส้นแสดงใน

2) ตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 คุณสมบัติทางกลของเหล็กเส้น

| ชนิดเหล็ก | สัญลักษณ์ | ความต้านแรงดึงที่ จุดคราก | ความต้านแรงดึงที่ จุดประลัย | ความยืดในช่วงความยาว 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง |
|-----------------------------------|-----------|------------------------------|--------------------------------|--|
| เหล็กกลม (round bar) | SR24 | ≥ 2,400 ksc ≥ 235 MPa | ≥ 3,900 ksc ≥ 385 MPa | ≥ 21 % |
| เหล็กข้ออ้อย (deformed bar) | SD30 | ≥ 3,000 ksc ≥ 295 MPa | ≥ 4,900 ksc ≥ 480 MPa | ≥ 17 % |
| | SD40 | ≥ 4,000 ksc ≥ 390 MPa | ≥ 5,700 ksc ≥ 560 MPa | ≥ 15 % |
| | SD50 | ≥ 5,000 ksc ≥ 490 MPa | ≥ 6,300 ksc ≥ 620 MPa | ≥ 13 % |

ตารางที่ 3-3 ค่าความคลาดเคลื่อนของมวลเหล็กที่ยอมให้

| สัญลักษณ์ | มวลต่อเมตร (kg/m) | เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสำหรับมวลต่อเมตร | |
|-----------|----------------------|--------------------------------------|------------------|
| | | เฉลี่ย ร้อยละ | แต่ละเส้น ร้อยละ |
| RB6 | 0.222 | ± 5 | ± 10.0 |
| RB9 | 0.499 | ± 3.5 | ± 6.0 |
| RB12 | 0.888 | ± 3.5 | ± 6.0 |
| DB12 | 0.888 | ± 5 | ± 6.0 |
| DB16 | 1.578 | ± 5 | ± 6.0 |
| DB20 | 2.466 | ± 4 | ± 5 |
| DB22 | 2.984 | ± 4 | ± 5 |
| DB25 | 3.853 | ± 4 | ± 5 |
| DB28 | 4.834 | ± 4 | ± 5 |
| DB32 | 6.313 | ± 3.5 | ± 4 |

3) อุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

- เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine) พร้อมอุปกรณ์
 - เครื่องวัดการยืดตัว (Extensometer)
 - เวอร์เนียคาลิปเปอร์ที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $+0.05$ mm มีความละเอียดในการวัด 0.1 mm
 - ตลับเมตรที่มีความยาวเพียงพอที่จะวัดความยาวโดยตลอดของเหล็ก
 - ตาชั่งที่มีความละเอียด 0.1 กรัม
 - เหล็กสกัด
 - ค้อน
- 4) จุดประสงค์การทดสอบ เพื่อทดสอบหาคุณสมบัติในการรับแรงดึงของเหล็กเส้นกำลัง (Strength)
- หน่วยแรงที่จุดคราก (Yield strength)
 - หน่วยแรงประลัย (Ultimate strength)
- 5) การเตรียมตัวอย่างทดสอบ การเตรียมตัวอย่างทดสอบแรงดึงเหล็ก มีลำดับขั้นตอนดังนี้
- ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต: เหล็กกลม มอก 20-2543 ได้กำหนดการเตรียมตัวอย่างทดสอบเหล็กกลม ดังนี้
 - เหล็กกลมตั้งแต่ 15 mm ลงมาให้ทดสอบโดยไม่ต้องกลึงขึ้นทดสอบให้เล็กลง
 - เหล็กกลมตั้งแต่ 19 mm ขึ้นไป อาจกลึงลดขนาดให้พอเหมาะที่จะใช้กับเครื่องทดสอบแรงดึงได้ แต่เส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 15 mm ความยาวของส่วนที่กลึงต้องไม่น้อยกว่า 5.5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนที่กลึง
 - ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต : เหล็กข้ออ้อย มอก 24-2548 ได้กำหนดการเตรียมตัวอย่างทดสอบดังนี้
 - เหล็กข้ออ้อยตั้งแต่ 16 mm ลงมาให้ทดสอบโดยไม่ต้องกลึงขึ้นทดสอบให้เล็กลง
 - เหล็กข้ออ้อยตั้งแต่ 20 mm ขึ้นไปอาจกลึงลดขนาดให้พอเหมาะที่จะใช้กับเครื่องทดสอบแรงดึงได้ แต่ เส้นผ่านศูนย์กลางต้องไม่น้อยกว่า 16 mm ความยาวของส่วนที่กลึงต้องไม่น้อยกว่า 5.5 เท่าของ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนที่กลึง



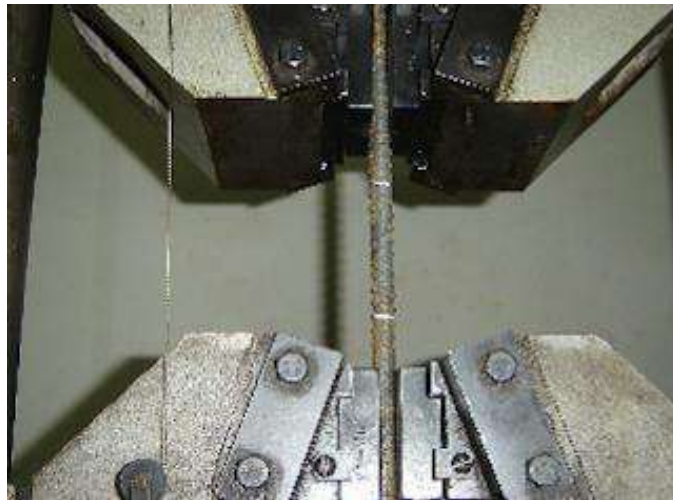
รูปที่ 3-20 ตัวอย่างเหล็กข้ออ้อยที่ผ่านการกลึง

6) วิธีการทดสอบ

- วัดความยาวของเหล็กเสริมด้วยตลับเมตรให้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร
- ชั่งน้ำหนักเหล็กเสริมให้ละเอียดถึง 1 กรัม
- กำหนดความยาวพีกัดของเหล็กเสริม เท่ากับ $5D$ โดยใช้เหล็กสกัดตอกแสดงจุดไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3-21 จากนั้นกำหนดระยะหัวจับ อย่างน้อย $5.5D$
- นำเหล็กทดสอบใส่ในเครื่องทดสอบ แล้วยึดเหล็กเสริมด้วยอุปกรณ์สำหรับจับขึ้นให้แน่น โดยให้ตำแหน่งของความยาวพีกัดอยู่ที่กึ่งกลางระหว่างอุปกรณ์ดังรูปที่ 3-22 ติดตั้ง Extensometer เพื่อวัดการยืดตัวของเหล็กเสริม
- ควบคุมอัตราการเพิ่มของแรงดึงประมาณ 300 ksc/วินาที พร้อมทั้งบันทึกการยืดตัวของเหล็กเสริมทุกๆ แรงดึง 250 กิโลกรัม หรืออาจใช้การแบ่งค่าเองให้ได้ประมาณ 15-20 ค่าในช่วงพีกัดยืดหยุ่นของเหล็กเสริม
- ดำเนินการทดสอบจนกระทั่งเหล็กเสริมขาด
- ถอดชิ้นทดสอบออกจากเครื่องทดสอบแล้วสังเกตข้อรูปลักษณะความเสียหายของชิ้นทดสอบ
- นำชิ้นทดสอบที่ขาด 2 ท่อนมาต่อกันให้เหมือนเดิม วัดระยะความยาวพีกัดด้วยเวอร์เนียร์ เพื่อคำนวณค่ายืดตัวทั้งหมดดังรูปที่ 3-23 สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะการยืดตัว
- สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 3-24



รูปที่ 3-21 การกำหนดความยาวพิกัด (Gauge Length)

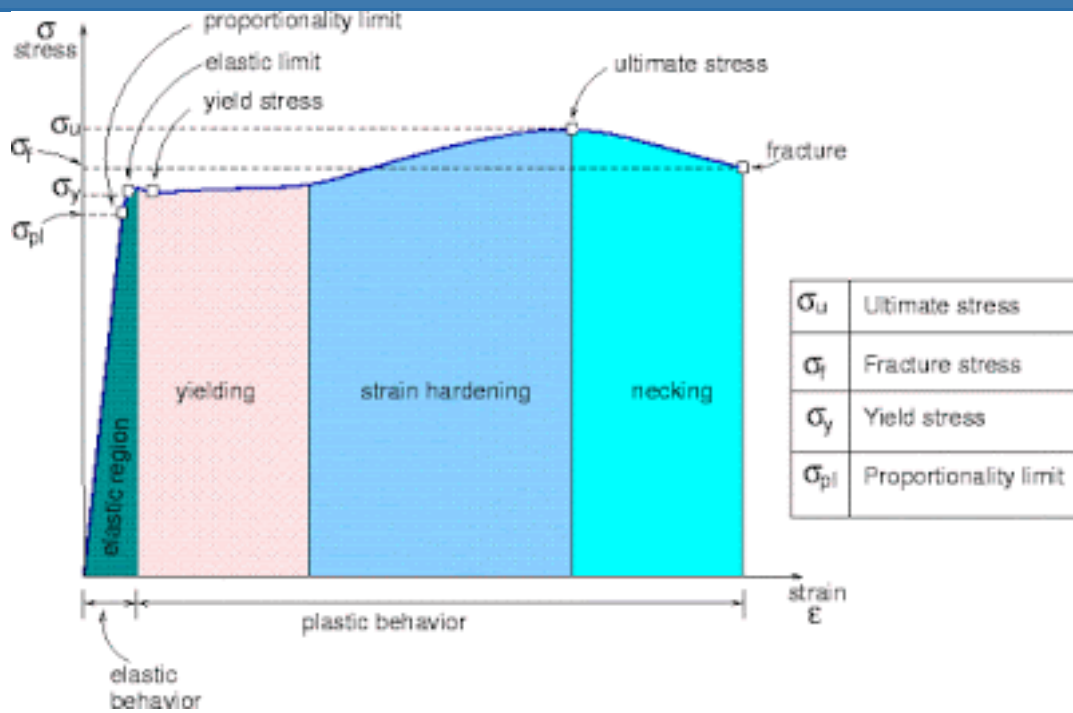


รูปที่ 3-22 การจัดตำแหน่งความยาวพิกัดของเหล็กเสริมกึ่งกลางอุปกรณ์ยึดจับ



รูปที่ 3-23 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงความยาวของเหล็กเส้นทดสอบ





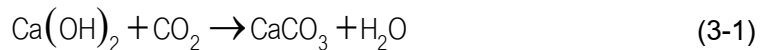
รูปที่ 3-24 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของเหล็กเสริม

(ที่มา : www.learneasy.info)

3.5.4. การทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน

การทดสอบหาความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน (Carbonation Depth) ในคอนกรีต เป็นการตรวจสอบระดับการเสื่อมสภาพของผิวคอนกรีตที่ใช้ป้องกันสนิมให้กับเหล็กเสริม โดยการเกิดคาร์บอนเนชันในเนื้อคอนกรีตเป็นกระบวนการเปลี่ยนแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) และแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ที่เป็นผลิตผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชันให้เป็นผลิตภัณฑ์คาร์บอนเนต โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีความชื้นและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

คอนกรีตในสภาวะเริ่มต้นจะเป็นสารประกอบของซีเมนต์ไฮเดรต จำพวกแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ซึ่งมีสภาวะเป็นด่าง มีค่า pH ประมาณ 12 ซึ่งเหล็กเสริมในสภาวะที่เป็นด่างสูงจะไม่เกิดสนิม แต่เมื่อปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานานๆ ผิวคอนกรีตจะทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ทำให้เกิดสารประกอบแคลเซียมคาร์บอนเนต (CaCO_3) ขึ้น ดังสมการ



กระบวนการทางเคมีดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นที่ผิวคอนกรีตที่สัมผัสกับอากาศและความชื้นโดยตรง และจะค่อย ๆ เกิดลึกลงไปเรื่อยๆ ตามปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นที่ซึมผ่านเข้าไปในเนื้อคอนกรีต ผลของคาร์บอนเนชันจะทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ในคอนกรีตถูกใช้ไปในปฏิกิริยาดังกล่าว หากความลึกของคาร์บอนเนชันเกิดเข้าไปจนถึงตำแหน่งเหล็กเสริม จะทำให้ความเป็นด่างของคอนกรีตรอบเหล็กเสริมลดต่ำลง ส่งผลให้เหล็กเสริมสามารถเกิดสนิมขึ้นได้

1) สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ

สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$) 1% ในแอลกอฮอล์



รูปที่ 3-25 สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน

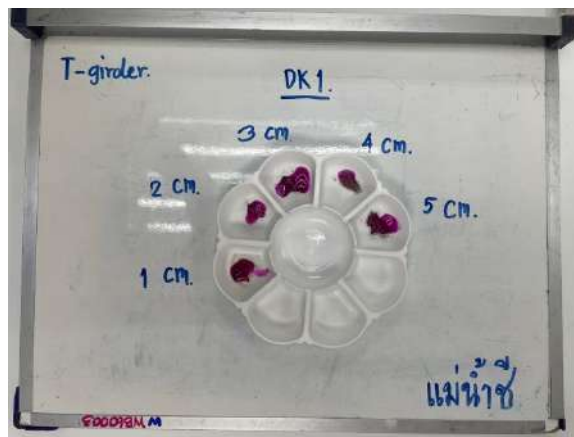
2) วิธีการทดสอบ



ทำการเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีตดังรูปที่ 3-26 (ก) ที่ระดับความลึกทุก ๆ 1 ซม. จนถึง 5 ซม. จากผิวคอนกรีต โดยหลีกเลี่ยงการเจาะถูกเหล็กเสริม นำตัวอย่างคอนกรีตที่ระดับความลึกต่าง ๆ มาทดสอบด้วยสารละลาย Phenolphthalein 1% ในแอลกอฮอล์ ที่ห้องปฏิบัติการ หากผงคอนกรีต เปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง แสดงว่าคอนกรีตยังคงสภาพความเป็นด่างอยู่ แต่หากไม่เปลี่ยนสีหรือเปลี่ยนเป็น สีจางๆ แสดงว่า คอนกรีตมีค่าความเป็นด่างลดลง หรือเกิดการบอเนชันขึ้นในระดับความลึกนี้ดังรูปที่ 3-26 (ข)



(ก) การเจาะเก็บตัวอย่างคอนกรีต



(ข) การตรวจคาร์บอนเนชัน

รูปที่ 3-26 การทดสอบความลึกของการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน

3.6 วิธีการตรวจวัดพฤติกรรมการรับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างสะพาน

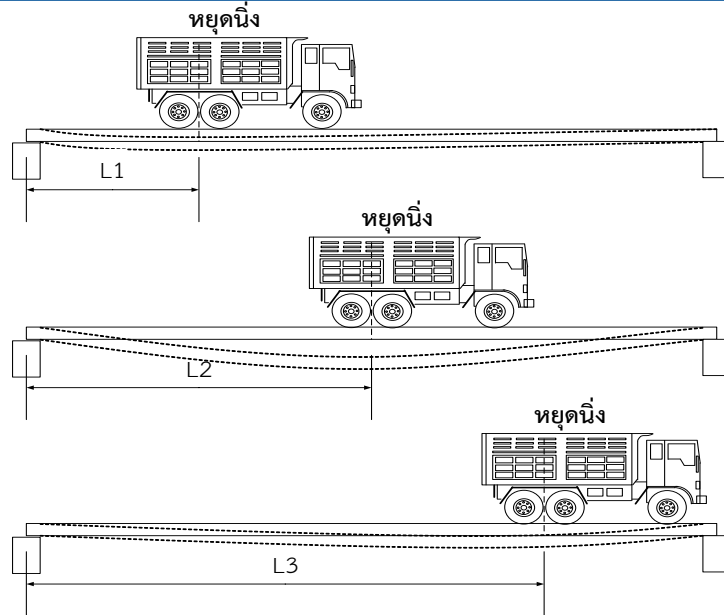
การทดสอบและการตรวจวัดพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานภายใต้น้ำหนักบรรทุก (Bridge Load Test) เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของโครงสร้างสะพานภายใต้น้ำหนักบรรทุกขนาดต่าง ๆ เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์และประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของสะพาน ตลอดจนนำข้อมูลที่ได้มาปรับปรุงแบบจำลองให้มีความถูกต้องและสอดคล้องกับพฤติกรรมจริงของสะพานมากที่สุด เพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมต่าง ๆ ที่สนใจต่อไป

หลักการโดยทั่วไปของการทดสอบสะพานประเภทนี้ คือ การนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมาประเมินผลเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี โดยจะต้องควบคุมน้ำหนักบรรทุกที่จะนำมาทดสอบให้ผลการตอบสนองของสะพานอยู่ภายในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น (Linear Elastic) และสามารถประเมินกำลังรับน้ำหนักสูงสุดได้โดยใช้วิธีการ Extrapolate ค่าที่ได้จากการทดสอบเป็นระดับของน้ำหนักบรรทุกที่ปลอดภัย (Safe Load Level)

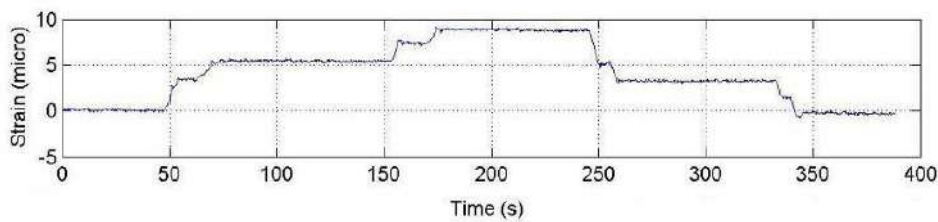
การทดสอบสะพานภายใต้การรับน้ำหนักบรรทุกจริงเพื่อให้ทราบถึงผลการตอบสนองที่แท้จริงของโครงสร้างสะพาน นอกจากนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบการวิเคราะห์และประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างสะพาน และใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องและปรับแก้แบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้าง รวมถึงเพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบอ้างอิง (Benchmark/Reference) และติดตามการเสื่อมสภาพของสะพานในอนาคต

3.6.1. การทดสอบสะพานแบบสถิต (Static Load Test)

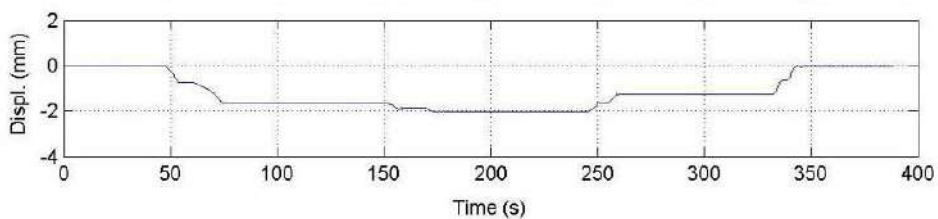
เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักของโครงสร้างสะพานเนื่องจากน้ำหนักและตำแหน่งของรถบรรทุกที่กระทำต่อสะพานแบบสถิต ในการทดสอบจะนำรถบรรทุกมาจอดนิ่งอยู่กับที่ โดยให้ระยะกึ่งกลางของชุดเพลาลังตรงกับตำแหน่งต่าง ๆ ที่ต้องการจะทดสอบดังรูปที่ 3-27 ในแต่ละตำแหน่งที่ทำการหยุดรถจะบันทึกผลการตอบสนองของโครงสร้าง เช่น ค่าความเครียด (Strain) ค่าการแอ่นตัว (Deflection) ดังแสดงในรูปที่ 3-28 และรูปที่ 3-29 ตามลำดับ โดยจะนำข้อมูลจากการตรวจวัดที่ตำแหน่งต่าง ๆ นี้มาวิเคราะห์และแสดงให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ต่าง ๆ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับตำแหน่งของรถบรรทุก ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นตัวแนวตั้งกับตำแหน่งของรถบรรทุก เป็นต้น นอกจากนี้ผลการตอบสนองที่ได้จากตำแหน่งที่น้ำหนักบรรทุกกระทำกับสะพานสามารถนำไปใช้ในการปรับแก้แบบจำลองของสะพานให้มีพฤติกรรมเหมือนกับโครงสร้างจริงมากที่สุดได้



รูปที่ 3-27 การทดสอบแบบสถิตโดยการให้น้ำหนักบรรทุกคงที่จอดที่ตำแหน่งต่าง ๆ บน สะพาน



รูปที่ 3-28 ตัวอย่างผลการตรวจวัดค่าความเครียดจาก Strain Gauge

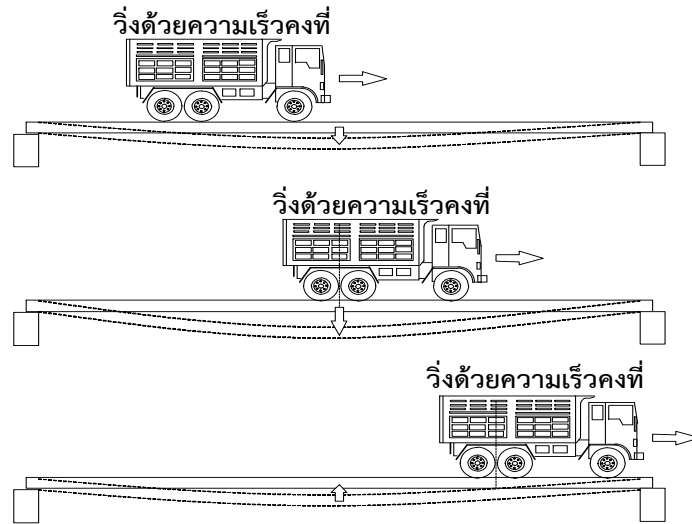


รูปที่ 3-29 ตัวอย่างผลการตรวจวัดค่าการแอ่นตัวที่ได้จาก Displacement Transducer

3.6.2. การทดสอบสะพานแบบพลวัต (Dynamic Load Test)

เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการรับน้ำหนักเชิงพลวัตของโครงสร้างสะพานเนื่องจาก น้ำหนักและความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งบนสะพาน ในการทดสอบจะนำรถบรรทุกมาวิ่งผ่านบนสะพานที่ ความเร็วต่าง ๆ กัน ในแต่ละความเร็วที่วิ่งบนสะพาน จะทำการตรวจวัดการสั่นไหวของโครงสร้าง สะพาน เพื่อนำไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ (Dynamic Properties) ของสะพานด้านต่าง ๆ

เช่น ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) รูปร่างการสั่นไหวในโหมดต่างๆ (Mode Shape) อัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratios) และตัวคูณเพิ่มค่าแรงกระแทก (Impact Factor) รวมถึงตรวจวัดระดับการสั่นไหวของโครงสร้างสะพานและผลกระทบที่มีต่อการใช้งาน (Serviceability) ของสะพาน



รูปที่ 3-30 การทดสอบแบบพลวัตโดยให้รถบรรทุกวิ่งด้วยความเร็วคงที่บนสะพาน

1) ตัวคูณเพิ่มค่าแรงกระแทก (Impact Factor)

เป็นค่าแฟกเตอร์ที่ใช้คูณกับแรงกระทำของรถบรรทุกในการวิเคราะห์โครงสร้างสะพานแบบสถิต เพื่อพิจารณาผลกระทบจากแรงกระแทกและการสั่นไหวของโครงสร้างสะพานเมื่อมีรถบรรทุกวิ่งผ่าน ตัวคูณเพิ่มค่าแรงกระแทกสามารถคำนวณได้โดยสมการ (3-2)

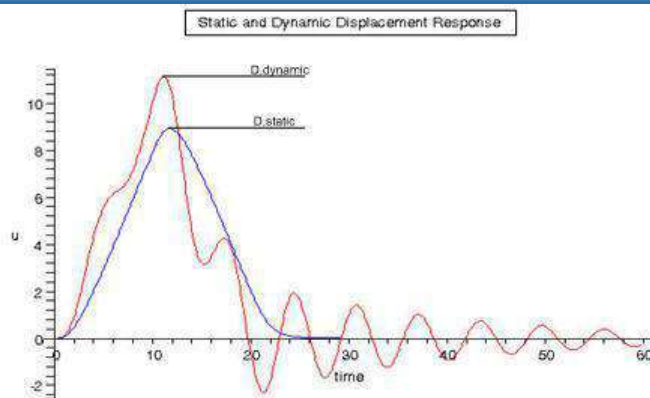
$$I = \frac{R_{Dyn}}{R_{Sta}} \quad (3-2)$$

โดยที่ R_{Dyn} = ค่าสูงสุดของผลการตอบสนองแบบพลวัต ณ ตำแหน่งที่พิจารณา

R_{Sta} = ค่าสูงสุดของผลการตอบสนองแบบสถิต ณ ตำแหน่งที่พิจารณา

ในกรณีที่ไม่สามารถตรวจวัดแบบสถิตได้ จะทำการคำนวณโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดแบบ Dynamic Load Test มาผ่านกระบวนการกรองความถี่แบบ Low Pass Filter เพื่อแยกส่วน Pseudo-Static ออกจาก Dynamic Response โดยส่วนที่เป็น Pseudo-Static นี้จะเปรียบเสมือนผลการตอบสนองของโครงสร้างแบบสถิต ณ ตำแหน่งที่พิจารณา ซึ่งไม่รวมผลกระทบจากการสั่นไหวของโครงสร้าง โดยจะใช้ค่าสูงสุดของ Pseudo-Static สำหรับค่า R_{Sta} เพื่อใช้คำนวณในสมการ



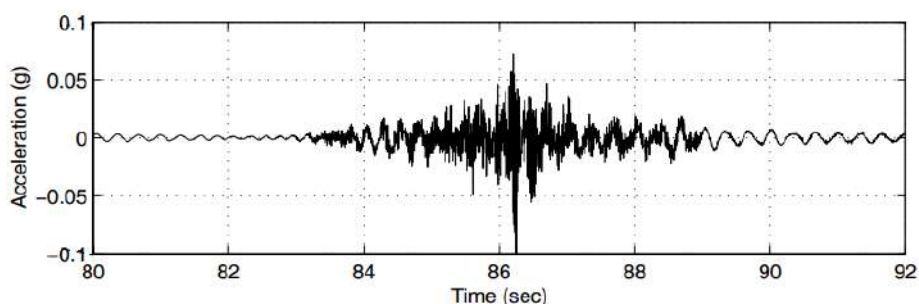


รูปที่ 3-31 ค่าการตอบสนองของโครงสร้างแบบ Pseudo Static และแบบ Dynamic

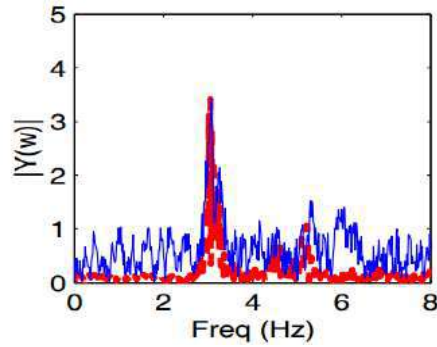
2) ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency)

ค่าความถี่ธรรมชาติเป็นคุณสมบัติพื้นฐานทางพลศาสตร์ของโครงสร้างสะพาน สามารถตรวจวัดได้จากการสั่นไหวแบบอิสระของโครงสร้าง (Free Vibration) ถ้าสะพานได้รับแรงกระทำจากภายนอกที่มีความถี่ใกล้เคียงหรือเท่ากับค่าความถี่ธรรมชาติ สะพานจะมีการตอบสนองแบบสั่นพ้อง (Resonance) โดยระดับการตอบสนองจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งวิบัติ

การวิเคราะห์หาค่าความถี่ธรรมชาติ สามารถทำได้โดยนำข้อมูลการสั่นไหวที่บันทึกในรูปแบบ Time-History (เช่น ประวัติข้อมูลความเร่ง) มาพิจารณาดังตัวอย่างในรูปที่ 3-32 จากนั้นทำการแปลงข้อมูลด้วยวิธี Fourier Transform ให้อยู่ในรูปของ Frequency Domain สุดท้ายจะพิจารณาค่าความถี่ที่มีขนาดค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์สูงสุดเป็นค่าความถี่หลักหรือความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างสะพานดังรูปที่ 3-33



รูปที่ 3-32 ตัวอย่างข้อมูลการสั่นไหวในแนวตั้งแบบ Time History



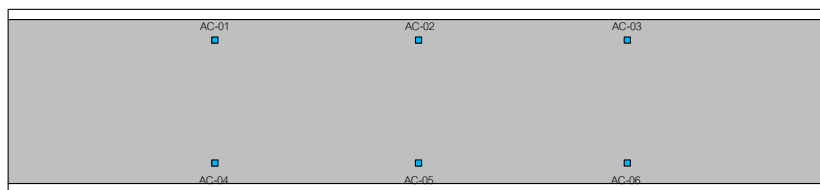
รูปที่ 3-33 ตัวอย่าง Frequency Domain ของการสั่นไหวแบบอิสระของโครงสร้างสะพาน

3) รูปร่างการสั่นไหว (Mode Shapes)

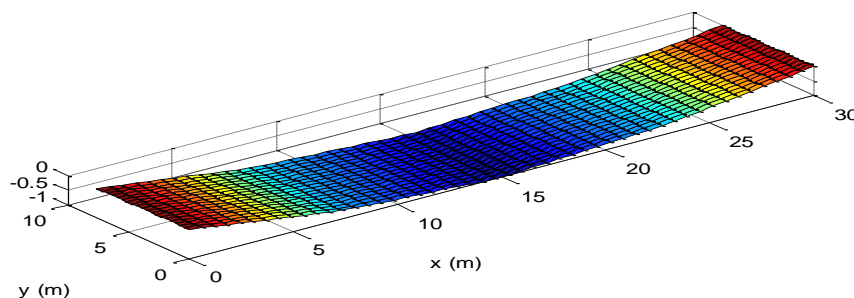
รูปร่างการสั่นไหว (Mode Shapes) เป็นลักษณะจำเพาะของการเสียรูปแบบพลวัตของแต่ละสะพาน โดยทั่วไปจะเกิดขึ้นได้หลายโหมด แต่โหมดที่สำคัญจะเป็นโหมดแรกๆ (มีค่าความถี่ธรรมชาติต่ำ) ส่วนโหมดท้ายๆ (ซึ่งมีค่าความถี่สูง) จะเป็นการสั่นสะเทือน หรือ Noise และจะมีความสำคัญน้อยกว่าโหมดแรกๆ

การหารูปร่างการสั่นไหวจำเป็นจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่ง (Accelerometer) ให้กระจายและครอบคลุมช่วงสะพานที่พิจารณา โดยตำแหน่งที่ติดตั้งต้องเป็นตำแหน่งที่อ่อนไหว (Sensitive) ต่อค่าความถี่ธรรมชาติ และควรสามารถสั่นไหวได้หลายโหมด การสร้าง Mode Shape จะสร้างตามค่าความถี่ธรรมชาติที่เลือก โดยใช้ค่า Amplitude ของแต่ละตำแหน่งอุปกรณ์เป็นตัวแทนการพล็อตค่าการแอ่นตัว และใช้ Phase ของ Accelerometer ในการกำหนดทิศทางของการแอ่นตัวว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือตรงกันข้าม โดยตัวอย่างการติดตั้ง Accelerometer และ Mode Shape ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3-34 หากมีตำแหน่งการติดตั้ง Accelerometer น้อยเกินไป จะไม่สามารถตรวจสอบรูปร่างการสั่นไหวที่เกิดขึ้นได้ แต่การติดตั้ง Accelerometer จำนวนมากเกินไปจะมีค่าใช้จ่ายงานทดสอบที่สูง ดังนั้นโครงการนี้จะใช้ Accelerometer จำนวน 6 ตัว ซึ่งเพียงพอต่อการหา Mode Shape แรก ๆ ของสะพาน เช่น Bending Mode 1 ซึ่งเป็นโหมดที่มีความสำคัญมากของสะพาน





(ก) ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ Accelerometer

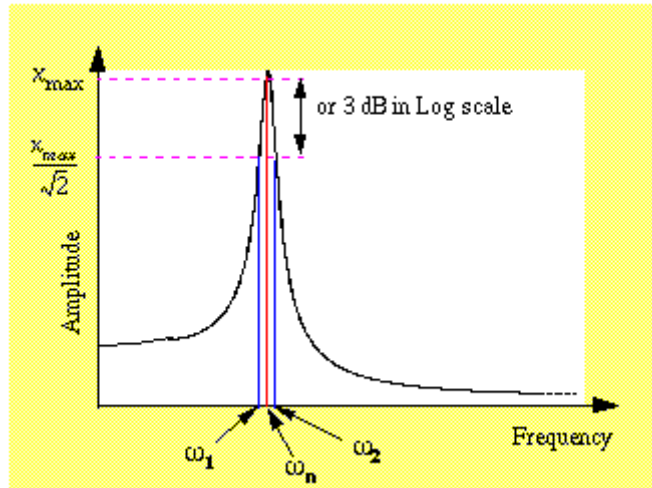


(ข) Mode Shape ของสะพาน

รูปที่ 3-34 ตัวอย่าง Mode Shape ของการสั่นไหวแบบอิสระของโครงสร้างสะพาน

4) ค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio)

ค่าอัตราส่วนความหน่วงของโครงสร้างสะพาน เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการลดลงของพลังงานการสั่นไหวของโครงสร้างให้กลับมาอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง ถ้าสะพานมีอัตราส่วนความหน่วงสูง เมื่อรถวิ่งออกจากสะพานแล้ว สะพานจะสั่นไหวแบบอิสระเพียงไม่กี่รอบก็จะกลับมาอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง ในทางกลับกัน ถ้าสะพานที่มีค่าอัตราส่วนความหน่วงต่ำ การสั่นไหวจนกระทั่งหยุดนิ่งจะใช้เวลาานาน การหาค่าอัตราส่วนความหน่วงกระทำได้โดย นำข้อมูลการสั่นไหวแบบอิสระ (Free Vibration) มาแปลงให้อยู่ในรูปความถี่ (Frequency Domain) ทำการหาค่าความถี่ธรรมชาติ และวิเคราะห์ค่าอัตราส่วนความหน่วงด้วยวิธี Half Power Bandwidth ดังรูปที่ 3-35 และสมการที่ (3-3)



รูปที่ 3-35 ตัวอย่าง Mode Shape ของการสั่นไหวแบบอิสระของโครงสร้างสะพาน

$$\zeta_n = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\omega_n} \quad (3-3)$$

โดยที่

ζ_n = ค่าอัตราส่วนความหน่วงของโหมดการสั่นไหว n ที่พิจารณา

ω_n = ค่าความถี่ธรรมชาติของโหมด n

ω_2 = ค่า Upper frequency ที่ระดับ Amplitude = Half power ($2^{-0.5} = 0.707$) ของค่า Amplitude ที่ความถี่ธรรมชาติที่พิจารณา ω_n

ω_1 = ค่า Lower frequency ที่ระดับ Amplitude = Half power ($2^{-0.5} = 0.707$) ของค่า Amplitude ที่ความถี่ธรรมชาติที่พิจารณา ω_n

3.6.3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

- 1) อุปกรณ์วัดความเครียดบนผิวคอนกรีต (Strain Gauge for Concrete) เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้วัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนผิวคอนกรีตเนื่องจากการยึดหรือหดตัวของโครงสร้างสะพานเมื่อรับน้ำหนักบรรทุก ณ ตำแหน่งที่กำหนด
- 2) อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ (Displacement Transducer) เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดการเคลื่อนที่ของโครงสร้างที่เกิดขึ้นเนื่องจากการรับน้ำหนักบรรทุกหรือผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยจะใช้ในการวัดค่าการแอ่นตัวของคานพื้นและคานหลักของสะพาน
- 3) อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว (Accelerometer) เป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดความเร่งเนื่องจากการสั่นไหวของโครงสร้างสะพาน เพื่อใช้วิเคราะห์หา

ค่าความถี่ธรรมชาติ รูปแบบโหมดการสั่นไหว อัตราส่วนความหน่วง และค่าตัวคูณแรงกระแทก

- 4) อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Data Acquisition) เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้รวบรวมสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ ควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์
- 5) อุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop Computer) เป็นอุปกรณ์สำหรับใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์รวมสัญญาณและบันทึกผล



(ก) อุปกรณ์วัดความเครียดบนผิวคอนกรีต
(Strain Gauge for Concrete)



(ข) อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่
(Displacement Transducer)



(ค) อุปกรณ์วัดความเร่งจากการสั่นไหว
(Accelerometer)



(ง) อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ
(Data Acquisition)

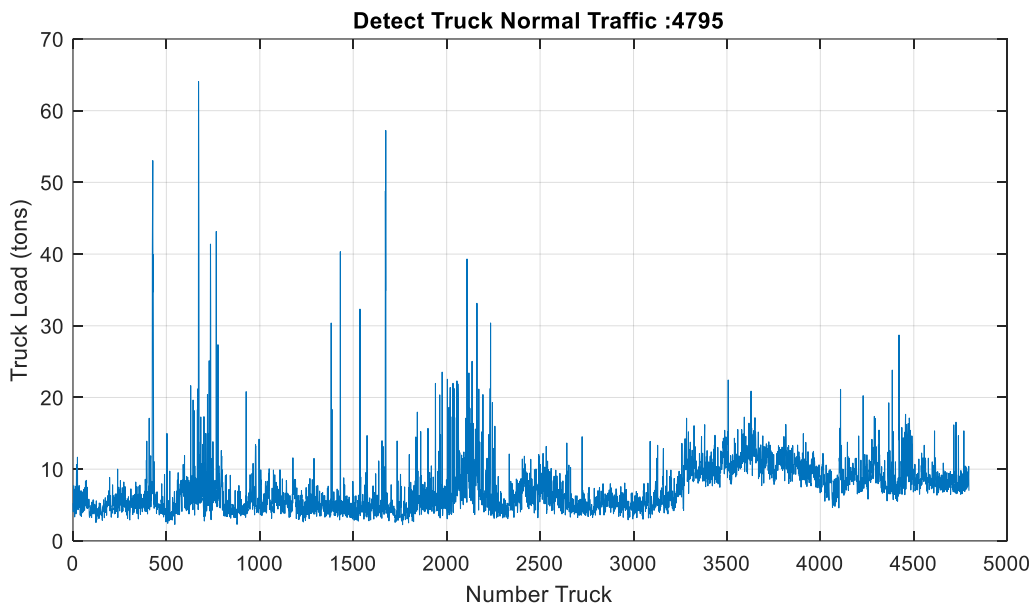


(จ) อุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา
(Computer Notebook)

รูปที่ 3-36 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบสะพาน

3.6.4. การทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน (Normal Traffic)

ที่ปรึกษาจะทำการทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน ในแต่ละช่วงสะพาน ขณะที่มีการจราจรผ่าน สะพานปกติ โดยจะทำการตรวจวัดความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ ของโครงสร้างสะพานเป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน โดยจะนำข้อมูลที่ได้ไปศึกษาพฤติกรรมกรรมการรับน้ำหนักของสะพานอันเนื่องจากการใช้งาน ตามสภาพการจราจรปกติ ตัวอย่างการตรวจวัดสะพานภายใต้การจราจรปกติแสดงได้ดังรูปที่ 3-37



รูปที่ 3-37 ตัวอย่างข้อมูลการตรวจวัดความเครียดต่อเนื่อง



บทที่ 4 สะพานคลองปากแพรก

4.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานคลองปากแพรก (Tested Span: 10 m)

สะพานคลองปากแพรก ตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 16 นครศรีธรรมราช แขวงทางหลวง นครศรีธรรมราชที่ 2 (ทุ่งสง) จังหวัดนครศรีธรรมราช หมายเลขทางหลวง 4305 กม.กลางสะพาน 8+025 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2501 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 281 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง 4TG(3x10) ความกว้างผิวทาง 7 เมตร



รูปที่ 4-1 รูปทั่วไปของสะพานคลองปากแพรก

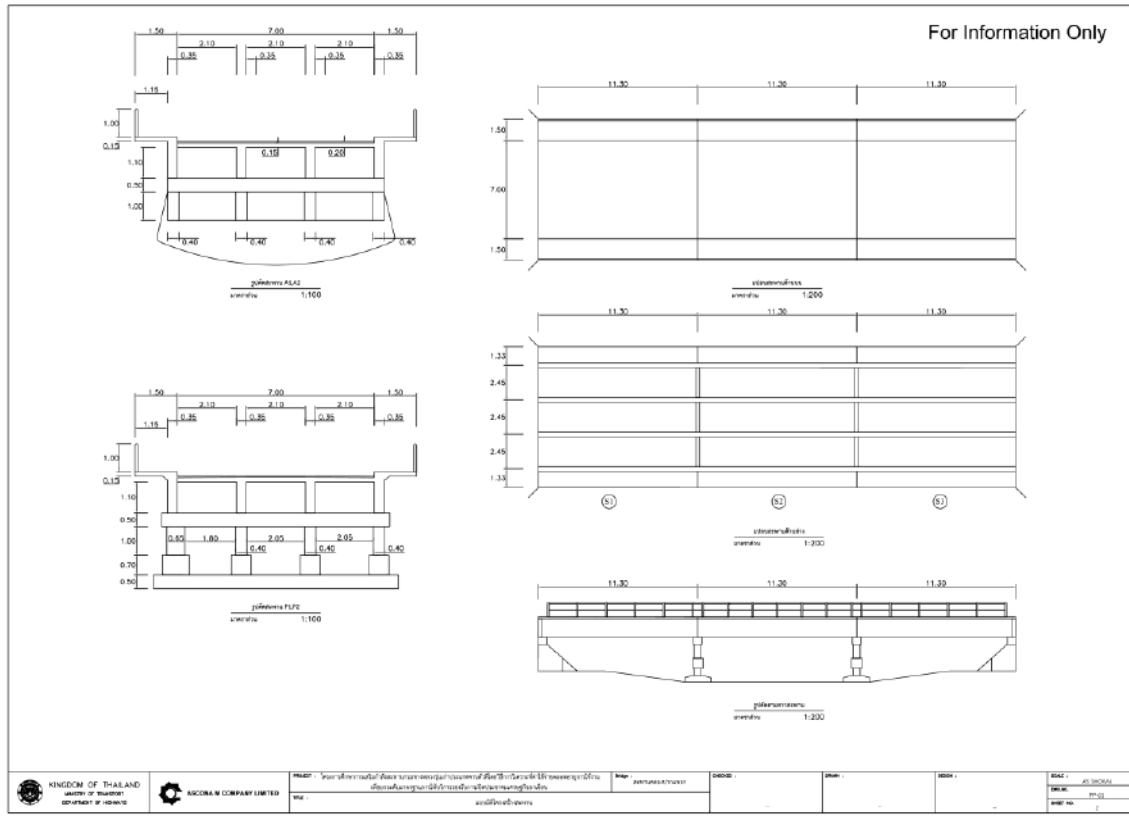
4.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน

4.2.1. การสำรวจมิติสะพาน

การสำรวจมิติของสะพานกระทำโดยถ่ายภาพสะพานในบริเวณต่าง ๆ ทั้งด้านบนและด้านล่าง และใช้เครื่องมือวัดระยะประเภทต่าง ๆ เช่น ตลับเมตร เทปวัด และเลเซอร์วัดระยะทาง ในการตรวจวัดขนาดชิ้นส่วนและมิติต่าง ๆ ของสะพาน ดังตัวอย่างการสำรวจมิติสะพานที่แสดงในรูปที่ 4-2 ในกรณีที่ชิ้นส่วนโครงสร้างมีขนาดใหญ่มากหรืออยู่สูงมาก จะใช้นั่งร้านเพื่อช่วยในการเข้าถึงชิ้นส่วนนั้น ๆ ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจมิติของสะพานในบริเวณต่าง ๆ ได้แสดงดังรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-2 การตรวจวัดมิติของสะพาน (ทั่วไป)



รูปที่ 4-3 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจมิติของสะพานโดยรวม
 (แบบทั้งหมดขนาด A3 แสดงในแบบสำรวจสะพาน)

4.2.2. การสำรวจความเสียหายสะพาน

โครงการนี้ใช้วิธีการตรวจสอบความเสียหายด้วยสายตา (Visual Inspection) ในการรวบรวมข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพาน เพื่อใช้ประกอบการออกแบบงานซ่อมบูรณะและเสริมกำลังสะพาน รูปที่ 4-4 แสดงตัวอย่างความเสียหายของสะพาน และตารางที่ 4-1 แสดงรายการความเสียหายของสะพาน จากนั้นได้นำข้อมูลที่สำรวจได้ไปจัดทำเป็นแบบแสดงความเสียหายดังตัวอย่างบางส่วนที่แสดงในรูปที่ 4-5 โดยรายละเอียดทั้งหมดได้แสดงในแบบสำรวจสะพาน ที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้

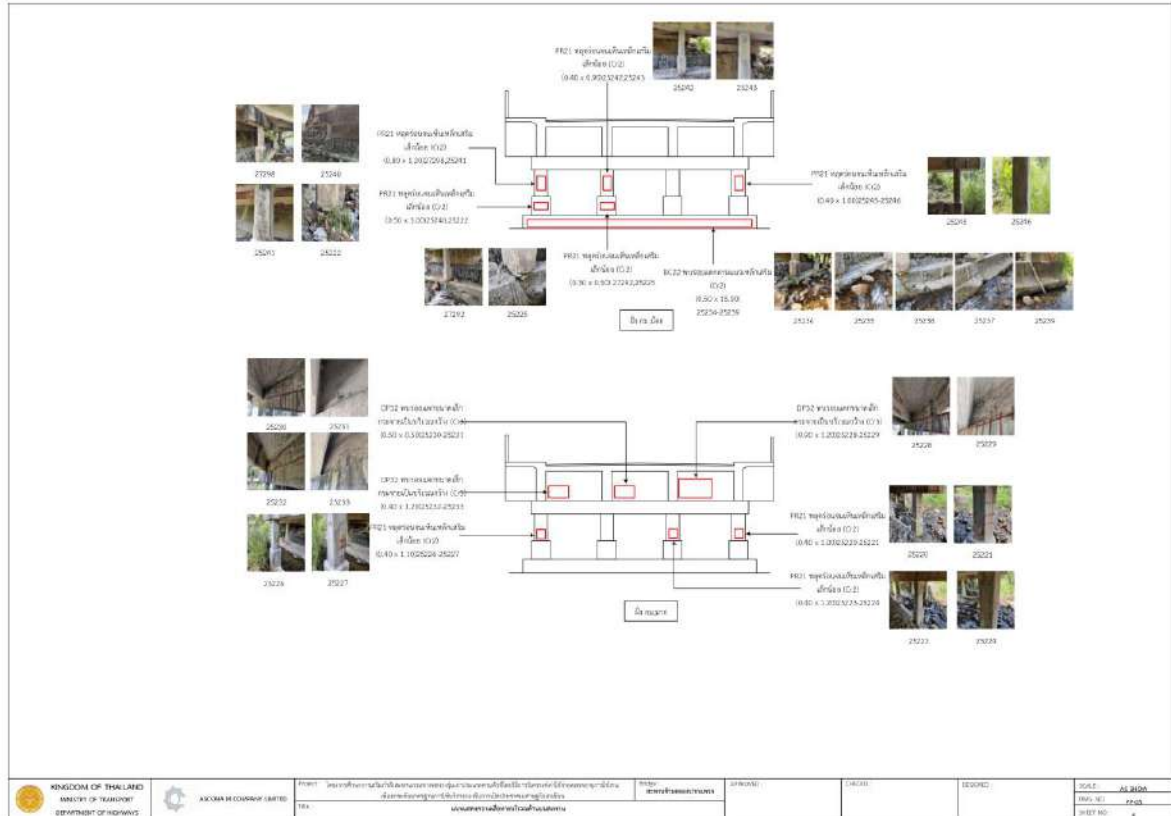


รูปที่ 4-4 ตัวอย่างภาพความเสียหายของสะพาน



ตารางที่ 4-1 รายการความเสียหาย สะพานข้ามคลองปากแพรก

| ลำดับ | บริเวณ | ชั้นส่วน | รายละเอียดความเสียหาย | ระดับความรุนแรง | ขนาด |
|-------|--------|----------|--|-----------------|--------------|
| 1 | S1 | EJ1 | EJ42 - พบรอยแตกตามแนวรอยต่อ | CR 4 | 0.10 x 15.40 |
| 2 | S1 | RL1 | RL41 สีกกร่อนหรือหลุดล่อนเล็กน้อย โพรงขนาดเล็ก | CR 4 | 0.05 x 0.30 |
| 3 | S2 | EJ1 | EJ42 - พบรอยแตกตามแนวรอยต่อ | CR 4 | 0.10 x 3.00 |
| 4 | S2 | RL2 | RL31 สีกกร่อนหรือหลุดล่อนจนเห็นเหล็กเสริม | CR 3 | 0.10 x 0.30 |
| 5 | S3 | EJ1 | EJ42 - พบรอยแตกตามแนวรอยต่อ | CR 4 | 0.10 x 3.00 |
| 6 | P1 | BC1 | BC22 พบรอยแตกตามแนวเหล็กเสริม | CR 2 | 0.50 x 15.00 |
| 7 | P2 | CL1 | PR21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย | CR 2 | 0.80 x 1.20 |
| 8 | P2 | CL1 | PR21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย | CR 2 | 0.50 x 3.00 |
| 9 | P2 | CL2 | PR21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย | CR 2 | 0.40 x 0.90 |
| 10 | P2 | CL2 | PR21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย | CR 2 | 0.30 x 0.50 |
| 11 | P2 | CL4 | PR21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย | CR 2 | 0.40 x 1.00 |
| 12 | P2 | BC1 | BC22 พบรอยแตกตามแนวเหล็กเสริม | CR 2 | 0.50 x 15.00 |
| 13 | P2 | P2 | DP32 พบรอยแตกขนาดเล็กกระจายเป็นบริเวณกว้าง | CR 3 | 0.40 x 1.20 |
| 14 | P2 | P2 | DP32 พบรอยแตกขนาดเล็กกระจายเป็นบริเวณกว้าง | CR 3 | 0.50 x 0.50 |
| 15 | P2 | P2 | DP32 พบรอยแตกขนาดเล็กกระจายเป็นบริเวณกว้าง | CR 3 | 0.90 x 1.20 |
| 16 | P2 | CL1 | PR21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย | CR 2 | 0.40 x 1.10 |
| 17 | P2 | CL3 | PR21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย | CR 2 | 0.40 x 1.20 |
| 18 | P2 | CL4 | PR21 หลุดร่อนจนเห็นเหล็กเสริมเล็กน้อย | CR 2 | 0.40 x 1.00 |



รูปที่ 4-5 ตัวอย่างบางส่วนของแบบแสดงความเสียหาย



4.2.3. การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลข

การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลขจะใช้วิธีตามแนวทางของระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) กรมทางหลวง ซึ่งจะเลือกชิ้นส่วนที่มีค่าผลคูณความสำคัญของชิ้นส่วน (Weighting, w) กับระดับความเสียหาย (Damage Rating, DR) ที่สูงที่สุด 5 ลำดับแรก จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของชิ้นส่วนที่วิกฤติที่สุดเหล่านั้นเป็นค่า Weighted Critical Damage Rating (WCDR) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความเสี่ยงที่โครงสร้างจะวิบัติ ผลการประเมินพบว่าสะพานมีค่า WCDR = 2.76 (จากคะแนนเต็ม 5) หรือแปลงให้อยู่ในรูป Weighted Critical Condition Rating (WCCR) = 5 - 3.68 = 2.24 ซึ่งอยู่ระหว่าง ระดับชำรุด (CR=2) และระดับพอใช้ (CR=3) กล่าวโดยรวมสะพานมีการเสื่อมสภาพ ชำรุดทรุดโทรม ควรได้รับการซ่อมบำรุงและเสริมกำลังตามกำหนดการ

ตารางที่ 4-2 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม

| บริเวณ- ชิ้นส่วน | ประเภท ชิ้นส่วน | สภาพการใช้งาน (Condition Rating, CR) | ระดับความเสียหาย (Damage Rating) (DR = 5 - CR) | ระดับความสำคัญของชิ้นส่วน (w) | w*DR |
|--|--------------------|--|--|----------------------------------|------|
| P2-CL1 | Pier | 2 | 3 | 1 | 3 |
| P2-CL2 | Pier | 2 | 3 | 1 | 3 |
| P2-CL3 | Pier | 2 | 3 | 1 | 3 |
| P2-CL4 | Pier | 2 | 3 | 1 | 3 |
| P1-BC1 | Bracing | 2 | 3 | 0.6 | 1.8 |
| Weighted Critical Damage Rating (WCDR) | | | | | 2.76 |
| Weighted Critical Condition Rating (CCDR = 5 - WCDR) | | | | | 2.24 |

4.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน

ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมที่ชิ้นส่วนโครงสร้างสำคัญต่าง ๆ มีรวมทั้งสิ้น 132.1 ตร.ม. ดังแสดงในตารางที่ 4-3 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-7 โดยผลการสำรวจทั้งหมดได้แสดงไว้ในแบบสำรวจสะพานที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างในรูปตัด (Typical section) และรูปด้านต่าง ๆ

ตารางที่ 4-3 พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมในชิ้นส่วนโครงสร้างหลักของสะพาน

| ชิ้นส่วนโครงสร้าง | พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม (ตร.ม.) |
|--------------------------------|--|
| เสาตอม่อ (Pier) | 9.0 |
| คานรัดเสาตอม่อ (Cap Beam) | 16.0 |
| คานหลัก (Girder) | 61.2 |
| ไดอะแฟรม (Diaphragm) | 10.9 |
| พื้นสะพาน (Deck) บริเวณถนน | 20.0 |
| พื้นสะพาน (Deck) บริเวณทางเท้า | 15.0 |
| รวมทั้งสิ้น | 132.1 |



รูปที่ 4-6 รูปการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพานด้วยเครื่อง GPR

4.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

4.4.1. การดำเนินการเก็บวัสดุทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังรับแรงดึง



รูปที่ 4-8 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต



รูปที่ 4-9 รูปการซ่อมคืนสภาพจากการเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต

4.4.1. การดำเนินการเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



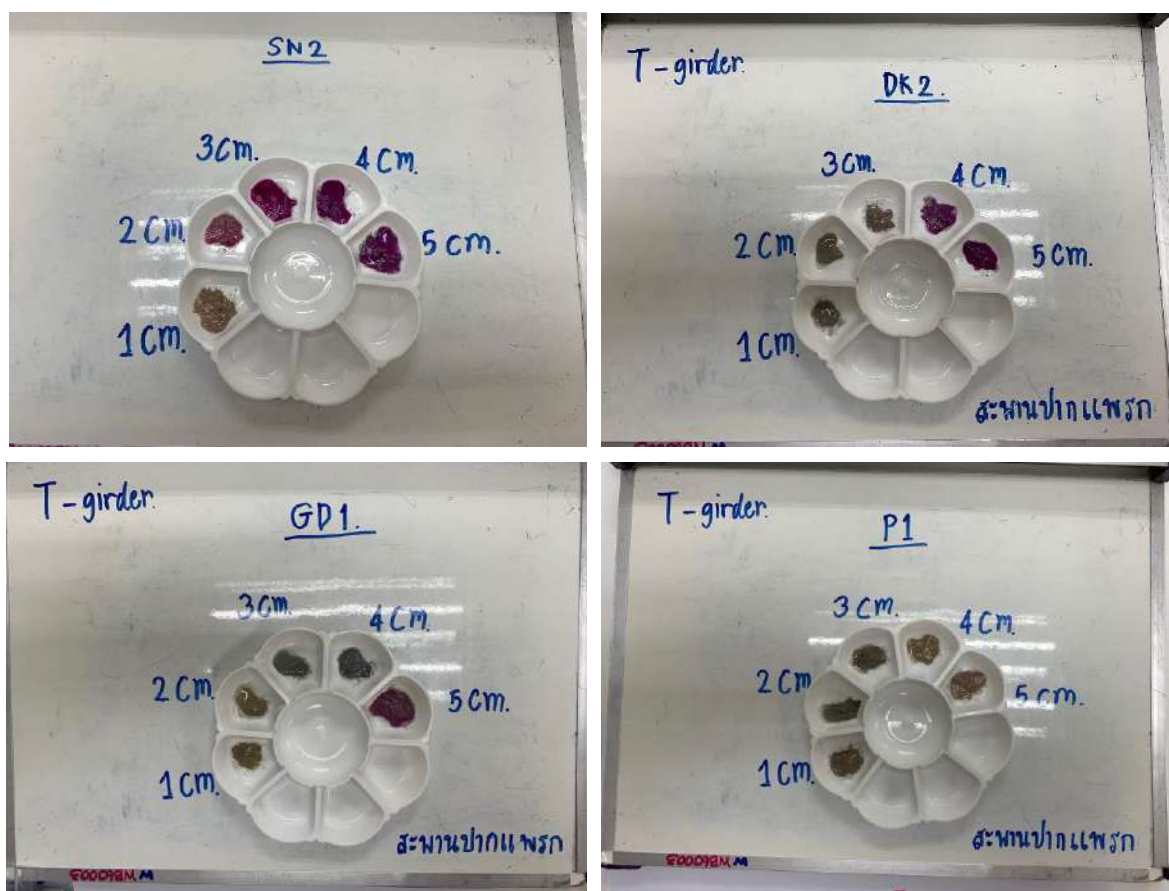
รูปที่ 4-10 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



รูปที่ 4-11 รูปการซ่อมคืนสภาพจากการเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



4.4.1. การดำเนินการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน



รูปที่ 4-12 รูปการทำงานทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน

4.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

4.5.1. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย พื้นสะพาน (Deck, DK) ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไตอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) และเสาตอม่อ (Pier Column, CL) ตารางที่ 4-4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (สะพานคลองปากแพรก, PP)

| ลำดับ | ชิ้นส่วน | รหัสทดสอบ | Compressive Strength (ksc) |
|-------|----------|--------------|----------------------------|
| 1 | CB | PP-CB-1 | 214 |
| 2 | CB | PP-CB-2 | 121 |
| 3 | DP | PP-DP-1 | 206 |
| 4 | DP | PP-DP-2 | 163 |
| 5 | CL | PP-P1-CL1-1 | 114 |
| 6 | CL | PP-P1-CL2-3 | 199 |
| 7 | CL | PP-P1-CL3-5 | 198 |
| 8 | CL | PP-P1-CL4-7 | 105 |
| 9 | GD | PP-TG1-1 | 88 |
| 10 | GD | PP-TG1-2 | 176 |
| 11 | GD | PP-TG2-1 | 63 |
| 12 | GD | PP-TG2-2 | 137 |
| 13 | SW | PP-S1-SW2-1 | 232 |
| 14 | SW | PP-S1-SW2-3 | 288 |
| 15 | SW | PP-S3-SW-1-1 | 133 |
| 16 | SW | PP-S3-SW-1-3 | 121 |
| 17 | SW | PP-S3-SW-1-5 | 177 |
| 18 | SW | PP-S3-SW-1-7 | 214 |
| 19 | SW | PP-S3-SW-2-5 | 244 |
| 20 | SW | PP-S3-SW-2-7 | 165 |

4.5.2. ผลทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไดอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) และเสาดอมือ (Pier Column, CL) ตารางที่ 4-5 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึง

ตารางที่ 4-5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (สะพานคลองปากแพรก, PP)

| ลำดับ | ชิ้นส่วน | รหัสทดสอบ | Tensile Strength (ksc) |
|-------|----------|--------------|------------------------|
| 1 | CB | PP-CB-3 | 15 |
| 2 | CB | PP-CB-4 | 20 |
| 3 | DP | PP-DP-3 | 19 |
| 4 | DP | PP-DP-4 | 26 |
| 5 | CL | PP-P1-CL1-2 | 17 |
| 6 | CL | PP-P1-CL2-4 | 18 |
| 7 | CL | PP-P1-CL3-6 | 16 |
| 8 | CL | PP-P1-CL4-8 | 14 |
| 9 | GD | PP-TG1-3 | 28 |
| 10 | GD | PP-TG1-4 | 14 |
| 11 | GD | PP-TG2-3 | 18 |
| 12 | GD | PP-TG2-4 | 15 |
| 13 | SW | PP-S1-SW2-2 | 22 |
| 14 | SW | PP-S1-SW2-4 | 28 |
| 15 | SW | PP-S3-SW-1-2 | 19 |
| 16 | SW | PP-S3-SW-1-4 | 28 |
| 17 | SW | PP-S3-SW-1-6 | 17 |
| 18 | SW | PP-S3-SW-1-8 | 27 |
| 19 | SW | PP-S3-SW-2-6 | 24 |
| 20 | SW | PP-S3-SW-2-8 | 30 |

4.5.3. ผลการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน

โครงการนี้ได้ทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน สะพานละ 20 ตำแหน่ง ๆ ละ 5 ระดับความลึก (รวมทั้งสิ้น 100 ตัวอย่าง) โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย พื้นสะพาน (Deck, DK) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) คานหลัก (Girder, GD) ไดอะแฟรม (Diaphragm, DP) และเสาตอม่อ (Pier Colum, CL) ตารางที่ 4-6 แสดงผลการทดสอบหาค่าความลึกการเกิดคาร์บอนเนชัน (Carbonation Depth)

ตารางที่ 4-6 ผลการทดสอบหาค่าความลึกปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน (สะพานคลองปากแพรก, PP)

| ลำดับ | ชิ้นส่วน | ความลึกการพบคาร์บอนเนชัน (cm) | ระดับความลึกที่ทดสอบปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน | | | | |
|-------|----------|-------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|
| | | | 1 cm | 2 cm | 3 cm | 4 cm | 5 cm |
| 1 | GD4 | 5 | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด |
| 2 | GD3 | 2 | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 3 | GD2 | 4 | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด |
| 4 | GD1 | 4 | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด |
| 5 | DK4 | 1 | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 6 | DK3 | 2 | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 7 | DK2 | 3 | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 8 | DK1 | 2 | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 9 | CL6 | 2 | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 10 | CL5 | 4 | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด |
| 11 | CL4 | 2 | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 12 | CL3 | 3 | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 13 | CL2 | 4 | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด |
| 14 | CL1 | 5 | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด |
| 15 | DP2 | 0 | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 16 | DP1 | 0 | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 17 | SW4 | 1 | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 18 | SW3 | 1 | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 19 | SW2 | 1 | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 20 | SW1 | 0 | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |

4.5.4. ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมของสะพานจำนวน 20 โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไตอะแฟรม (Diaphragm, DP) เสาตอม่อ (Pier Colum, CL) ตารางที่ 4-7 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

ตารางที่ 4-7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม (สะพานคลองปากแพรง, PP)

| ลำดับ | รหัสทดสอบ | ชิ้นส่วน | Tested Diameter (mm) | Yield Stress (ksc) | Ultimate Stress (ksc) |
|-------|------------------|----------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1 | PP-CB-1(DB) | CB | 25 | 4361 | 7612 |
| 2 | PP-CB-2(RB) | CB | 10 | 3444 | 4118 |
| 3 | PP-DP1 (RB) | DP | 9 | 4624 | 5481 |
| 4 | PP-DP2 (DB) | DP | 16 | 4243 | 5508 |
| 5 | PP-DP3 (RB) | DP | 9 | 3932 | 4972 |
| 6 | PP-DP4 (RB) | DP | 16 | 2999 | 4491 |
| 7 | PP-P1-CL1-1 (RB) | CL | 25 | 1671 | 3722 |
| 8 | PP-P1-CL2-2 (RB) | CL | 25 | 946 | 3735 |
| 9 | PP-P1-CL3-3 (RB) | CL | 25 | 1526 | 3577 |
| 10 | PP-P1-CL4-4 (RB) | CL | 25 | 1899 | 4087 |
| 11 | PP-S1-SW2-1(RB) | SW | 9 | 4012 | 5010 |
| 12 | PP-S1-SW2-2(RB) | SW | 9 | 4534 | 5384 |
| 13 | PP-S2-SW1-1 (RB) | SW | 9 | 4080 | 4960 |
| 14 | PP-S2-SW1-2 (RB) | SW | 9 | 4458 | 5320 |
| 15 | PP-S3-SW1-3 (RB) | SW | 9 | 4110 | 5089 |
| 16 | PP-S3-SW1-4 (RB) | SW | 9 | 4152 | 5153 |
| 17 | PP-S3-SW2-3 (RB) | SW | 9 | 4417 | 5161 |
| 18 | PP-S3-SW2-4 (RB) | SW | 9 | 4089 | 4903 |
| 19 | PP-TG1-1 (RB) | GD | 10 | 3194 | 4030 |
| 20 | PP-TG2-1 (RB) | GD | 10 | 3053 | 4032 |

4.5.5. สรุปผลทดสอบวัสดุสะพาน

ตารางที่ 4-8 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่าชิ้นส่วนทางเท้า (SW), คานตามยาว (GD), ไตอะแฟรม (DP), คานรัดหัวเสา (CB), และเสาดอมือ (CL) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 196.7, 115.9, 184.6, 167.6 และ 154.2 ksc ตามลำดับ ซึ่งนับว่าค่อนข้างต่ำมาก ทั้งนี้อาจเกิดจากคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างสะพานผ่านการใช้งานมานาน ยกเว้นทางเท้าที่อาจมีการก่อสร้างใหม่จึงมีสภาพที่ค่อนข้างแข็งแรง

ตารางที่ 4-8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

| Member | N | Avg (ksc) | SD (ksc) |
|------------------|---|-----------|----------|
| Side Walk (SW) | 8 | 196.7 | 57.8 |
| Girder (GD) | 4 | 115.9 | 50.4 |
| Diaphragm (DP) | 2 | 184.6 | 30.9 |
| Cap beam (CB) | 2 | 167.6 | 66.1 |
| Pier column (CL) | 4 | 154.2 | 51.6 |

ตารางที่ 4-9 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่าชิ้นส่วนทางเท้า (SW), คานตามยาว (GD), ไตอะแฟรม (DP), คานรัดหัวเสา (CB), และเสาดอมือ (CL) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.4, 18.6, 22.7, 17.4 และ 16.5 ksc ตามลำดับ ซึ่งนับว่าค่อนข้างต่ำมาก ทั้งนี้อาจเกิดจากคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างสะพานผ่านการใช้งานมานาน ยกเว้นทางเท้าที่อาจมีการก่อสร้างใหม่จึงมีสภาพที่ค่อนข้างแข็งแรง

ตารางที่ 4-9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

| Member | N | Avg (ksc) | SD (ksc) |
|------------------|---|-----------|----------|
| Side Walk (SW) | 8 | 24.4 | 4.5 |
| Girder (GD) | 4 | 18.6 | 6.7 |
| Diaphragm (DP) | 2 | 22.7 | 5.0 |
| Cap beam (CB) | 2 | 17.4 | 3.8 |
| Pier column (CL) | 4 | 16.5 | 1.8 |

ตารางที่ 4-10 แสดงผลการทดสอบค่าความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันแยกตามประเภท
 ชั้นส่วน ซึ่งพบว่าชั้นส่วนทางเท้า (SW) พื้นสะพาน (Deck) คานตามยาว (GD) ไตอะแฟรม (DP) และ
 เสาตอม่อ (CL) มีความลึกการเกิดคาร์บอนเนชันเฉลี่ยเท่ากับ 0.75, 2.00, 3.75, 0.00, และ 3.33 cm
 ตามลำดับ ถ้าคาร์บอนเนชันเกิดลึกถึงชั้นเหล็กเสริม เหล็กเสริมสามารถเกิดสนิมได้ ซึ่งชั้นส่วนแต่ละ
 ประเภทอาจมีระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมไม่เท่ากัน และเมื่อพิจารณาความแปรปรวนของค่าที่ตรวจวัด
 ได้ ชั้นส่วนทางเท้า (SW) พื้นสะพาน (Deck) คานตามยาว (GD) ไตอะแฟรม (DP) และ เสาตอม่อ (CL)
 มีโอกาสที่ความลึกคาร์บอนเนชันจะเกิดลึกถึงชั้นเหล็กเสริมเท่ากับ 0.34, 15.40, 39.95, 0 และ 27.73%
 ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่าปัจจุบัน ชั้นส่วนคานตามยาว (GD) มีโอกาสจะเกิดสนิมได้มากที่สุด (39.95%)

ตารางที่ 4-10 ผลทดสอบความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน

| Member | N | Avg (cm) | SD (cm) | Covering (cm) | Prob (depth > field covering) (%) |
|------------------|---|-------------|------------|---------------|--------------------------------------|
| | | | | Field (GPR) | |
| Side Walk (SW) | 4 | 0.75 | 0.50 | 4.1 | 0.34% |
| Deck (DK) | 4 | 2.00 | 0.82 | 3 | 15.40% |
| Girder (GD) | 4 | 3.75 | 1.26 | 4.1 | 39.95% |
| Diaphragm (DP) | 2 | 0.00 | 0.00 | 5.1 | - |
| Pier column (CL) | 6 | 3.33 | 1.21 | 4.1 | 27.73% |

ตารางที่ 4-11 แสดงผลการทดสอบเหล็กข้ออ้อย (DB) ของสะพาน เมื่อนำข้อมูลจำนวน 2 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 4302 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 84 ksc และ ตารางที่ 4-12 แสดงผลการทดสอบเหล็กกลม (RB) ของสะพาน เมื่อนำข้อมูลจำนวน 18 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 3397 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1156 ksc ข้อมูลการทดสอบวัสดุจะถูกนำไปใช้ในการออกแบบเสริมกำลังเสริมสะพานในลำดับถัดไป

ตารางที่ 4-11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย (DB)

| Member | Yield Tensile Strength (ksc) | | | Ultimate Tensile Strength (ksc) | | |
|----------------|------------------------------|------|----|---------------------------------|------|------|
| | N | Avg | SD | N | Avg | SD |
| Capbeam (CB) | 1 | 4361 | - | 1 | 7612 | - |
| Diaphragm (DP) | 1 | 4243 | - | 1 | 5508 | - |
| All | 2 | 4302 | 84 | 2 | 6560 | 1488 |

ตารางที่ 4-12 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กกลม (RB)

| Member | Yield Tensile Strength (ksc) | | | Ultimate Tensile Strength (ksc) | | |
|------------------|------------------------------|------|------|---------------------------------|------|-----|
| | N | Avg | SD | N | Avg | SD |
| Capbeam (CB) | 1 | 3444 | - | 1 | 4118 | - |
| Diaphragm (DP) | 3 | 3852 | 815 | 3 | 4981 | 495 |
| Girder (GD) | 2 | 3123 | 100 | 2 | 4031 | 2 |
| Sidewalk (SW) | 8 | 4232 | 203 | 8 | 5122 | 168 |
| Pier column (CL) | 4 | 1510 | 407 | 4 | 3780 | 217 |
| All | 18 | 3397 | 1156 | 18 | 4623 | 642 |

4.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานคลองปากแพรก

ที่ปรึกษาได้ทำการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานคลองปากแพรก ที่ช่วงความยาว 10 เมตร โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต (Static Test) การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบพลวัต (Dynamic Test) และการทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน (Normal Traffic Test) โดยรายละเอียดการดำเนินงานมีดังนี้

4.6.1. อุปกรณ์การตรวจวัด

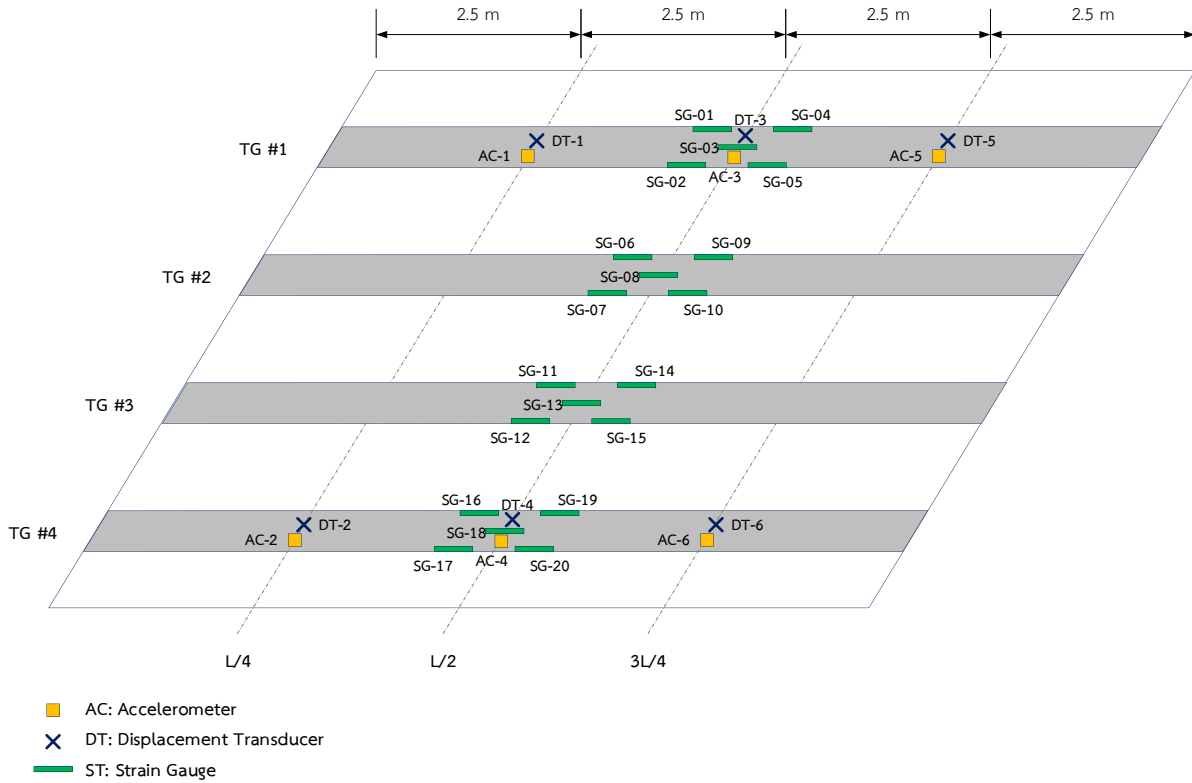
ที่ปรึกษาได้ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดพฤติกรรมของโครงสร้างสะพาน ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด อุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ และอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว รวมถึงอุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยมีจำนวนดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4-13 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

| ลำดับ | อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด | จำนวน |
|-------|---|-------|
| 1 | อุปกรณ์วัดความเครียด (Strain Gauge) | 20 |
| 2 | อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ (Displacement Transducer) | 6 |
| 3 | อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว (Accelerometer) | 6 |
| 4 | อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Data Acquisition) | 1 |
| 5 | อุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop) | 1 |

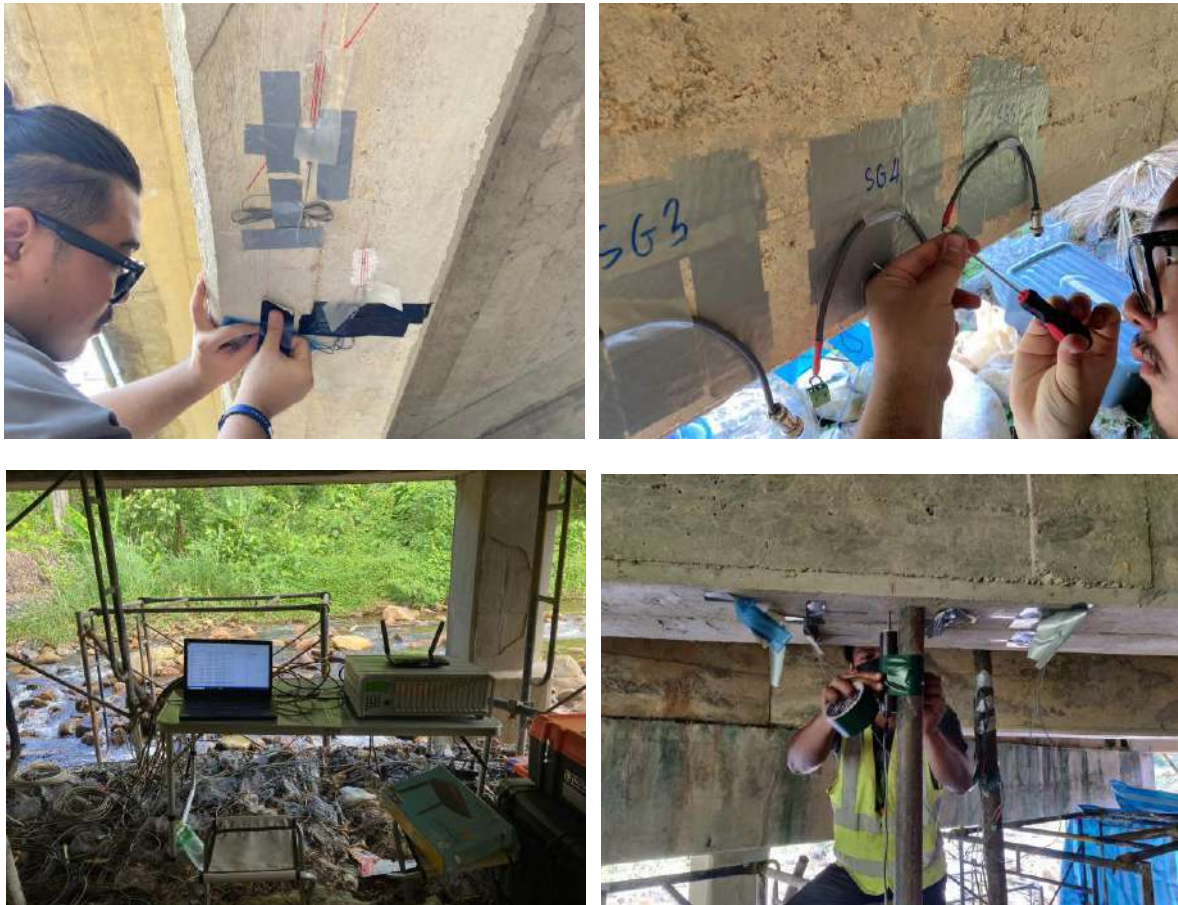
4.6.2. ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

ที่ปรึกษาได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสะพาน ซึ่งแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 4-13 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

สำหรับการดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสะพานของทางที่ปรึกษาแสดงได้ดังนี้



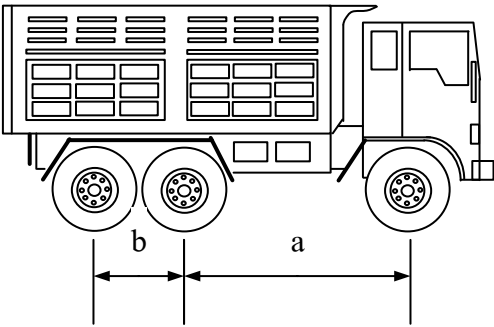
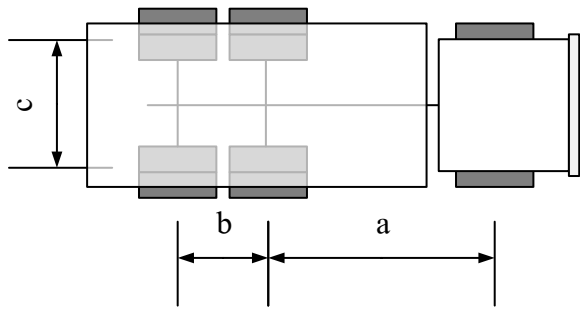
รูปที่ 4-14 ภาพการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสะพาน

4.6.3. น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

ที่ปรึกษาได้ทดสอบพฤติกรรมกรรมการรับน้ำหนักของสะพานภายใต้สภาวะควบคุม โดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 2 คัน โดยมีรายละเอียดระยะเพลารถและน้ำหนักบรรทุกดังนี้

ตารางที่ 4-14 น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

| คันที่ | 1 | 2 |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| ประเภท | รถบรรทุก (81-2837) | รถบรรทุก (70-3213) |
| น้ำหนักบรรทุก (ตัน) | 24.390 | 24.570 |
| ระยะเพลาคที่ 1 ถึง 2 (a, เมตร) | 4.15 | 4.25 |
| ระยะเพลาคที่ 2 ถึง 3 (b, เมตร) | 1.3 | 1.3 |
| ความกว้างฐานล้อ (c, เมตร) | 1.98 | 1.98 |

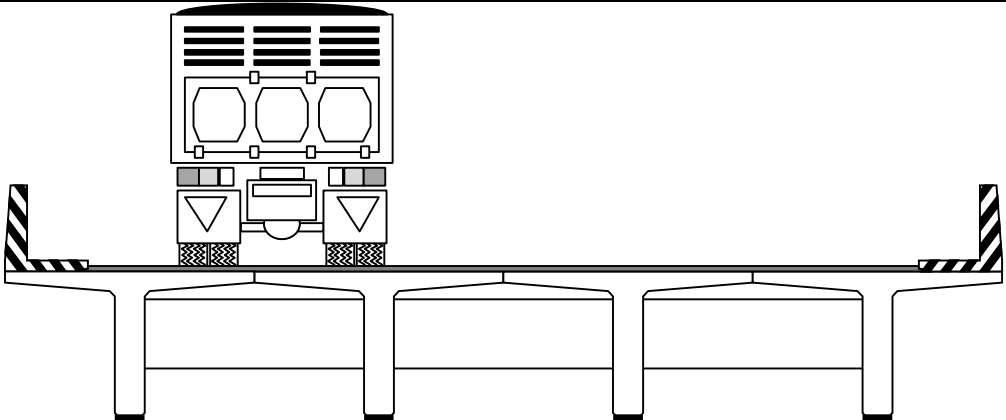
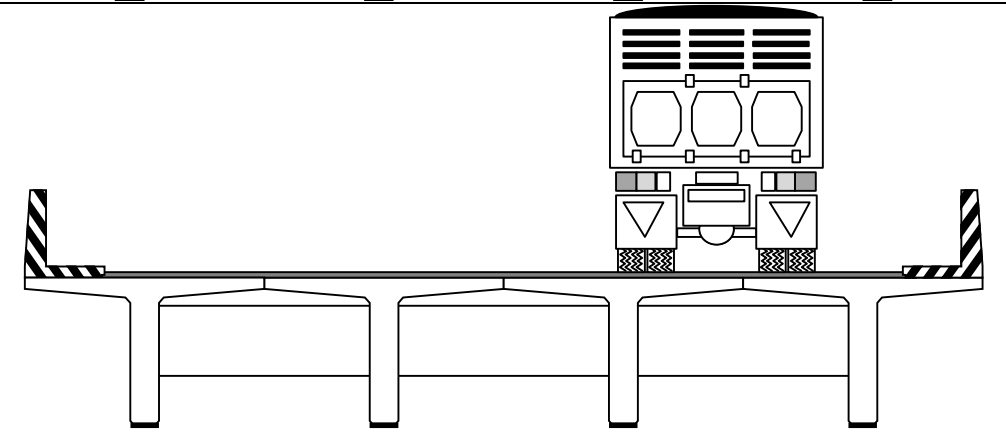
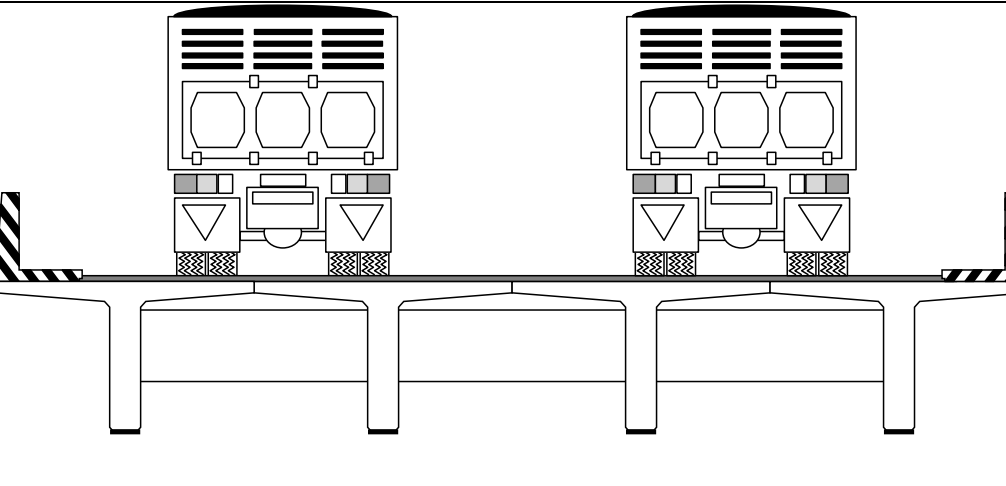



4.6.4. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต

การทดสอบแบบสถิต (Static Test) เป็นการนำรถบรรทุกทดสอบจอดตามตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนด 3 รูปแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- Static 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางซ้าย
- Static 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางขวา
- Static 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน จอดเรียงกันที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วง ทั้งสองช่องจราจร

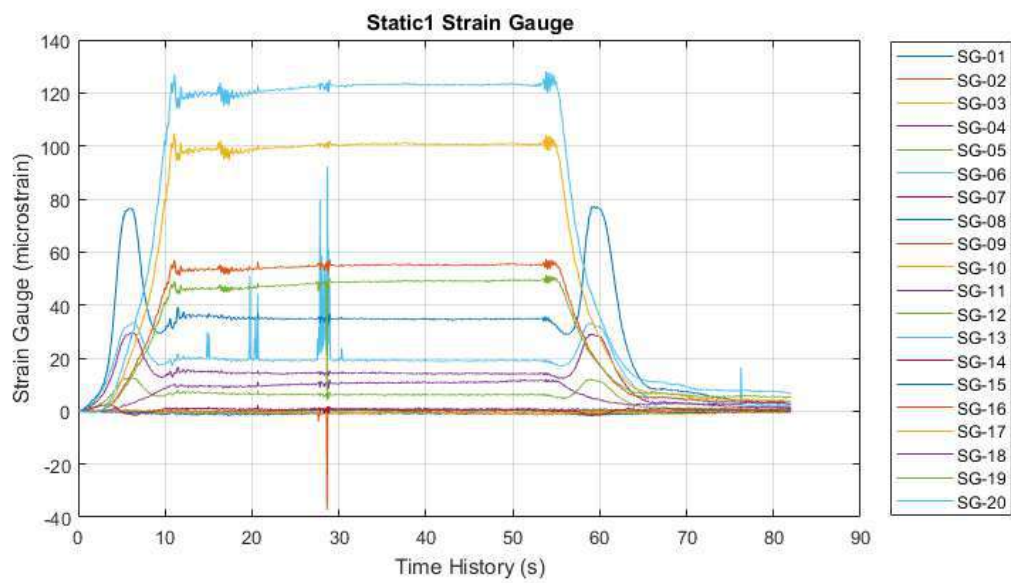
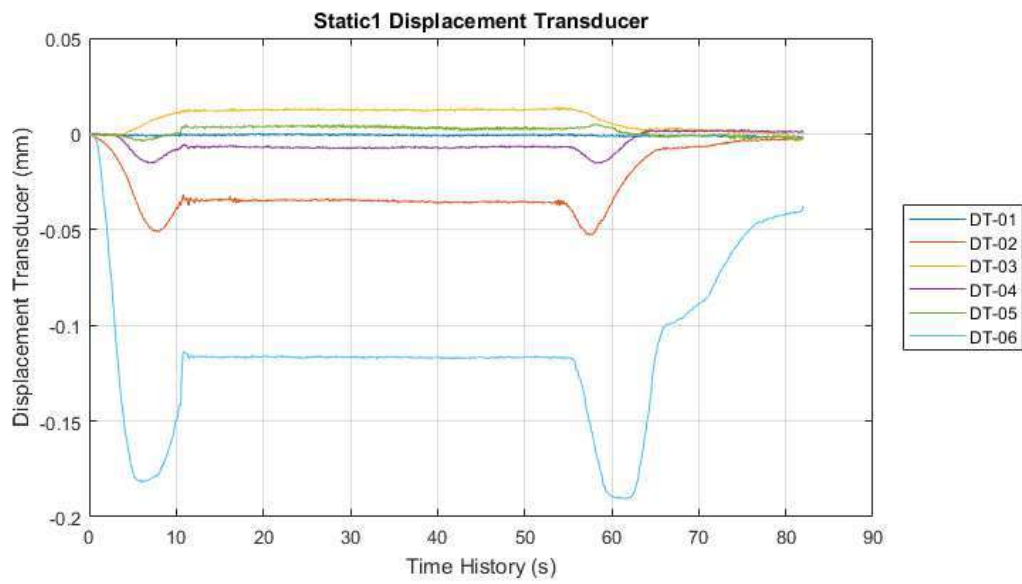
ตารางที่ 4-15 รูปแบบการทดสอบแบบสถิต ด้วยรถบรรทุกน้ำหนัก

| Case | Pattern |
|----------|--|
| Static 1 |  |
| Static 2 |  |
| Static 3 |  |

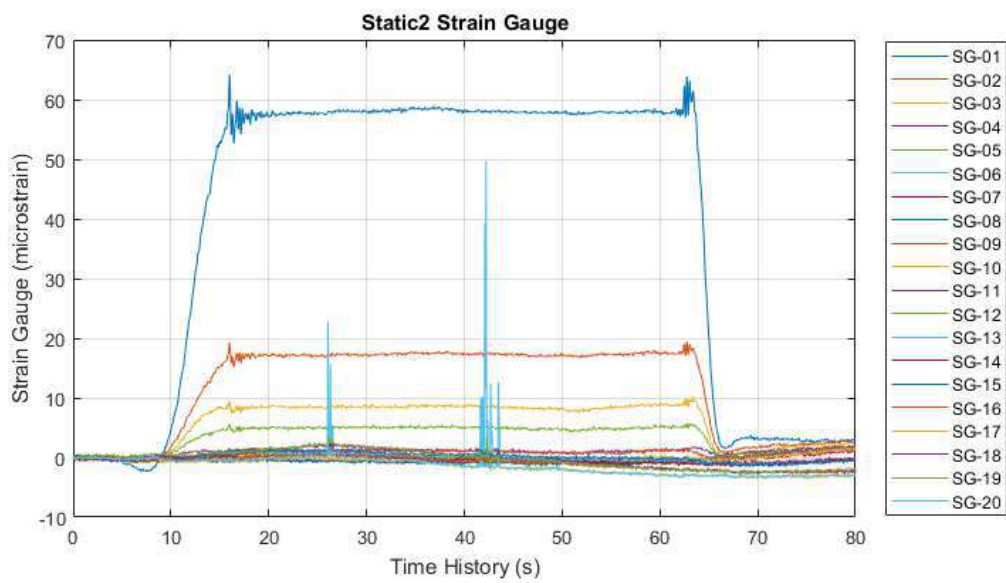
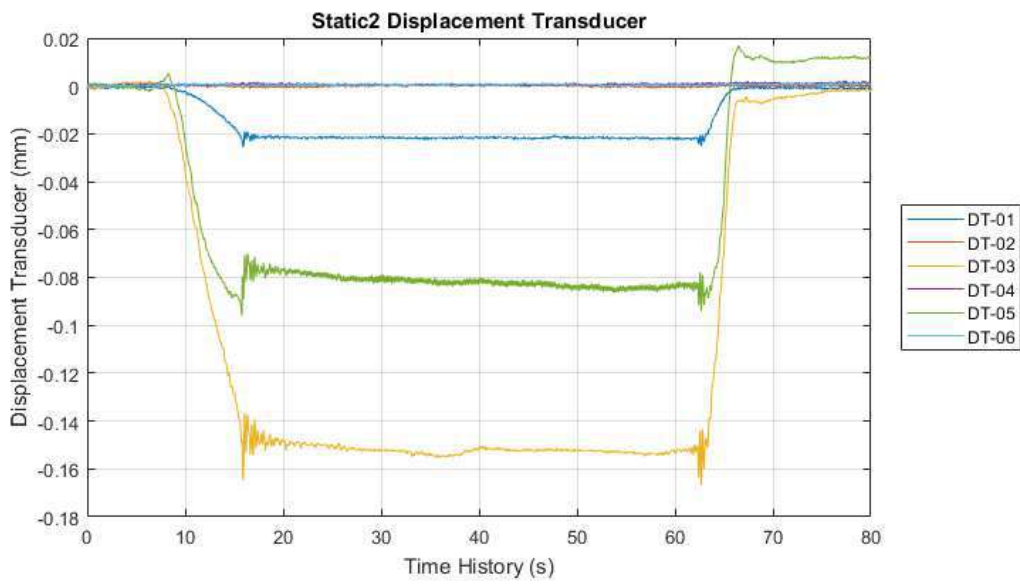


รูปที่ 4-15 ภาพการทดสอบแบบสถิต



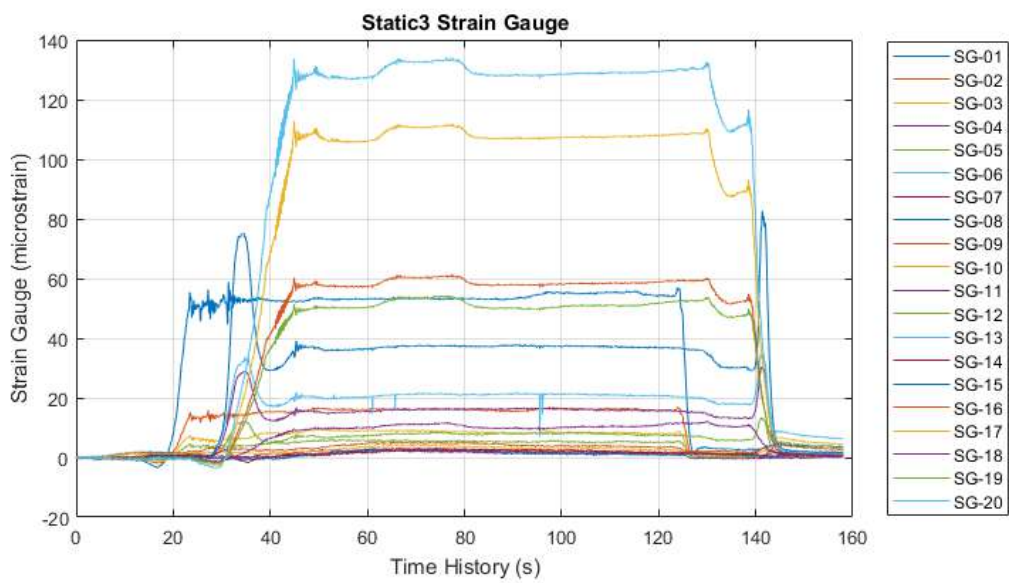
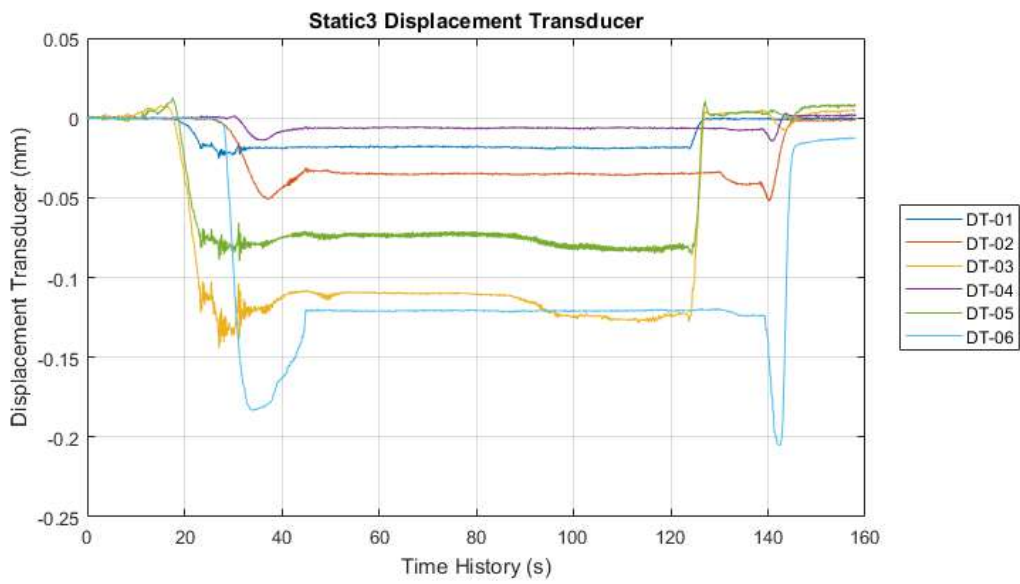


รูปที่ 4-16 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 1



รูปที่ 4-17 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 2

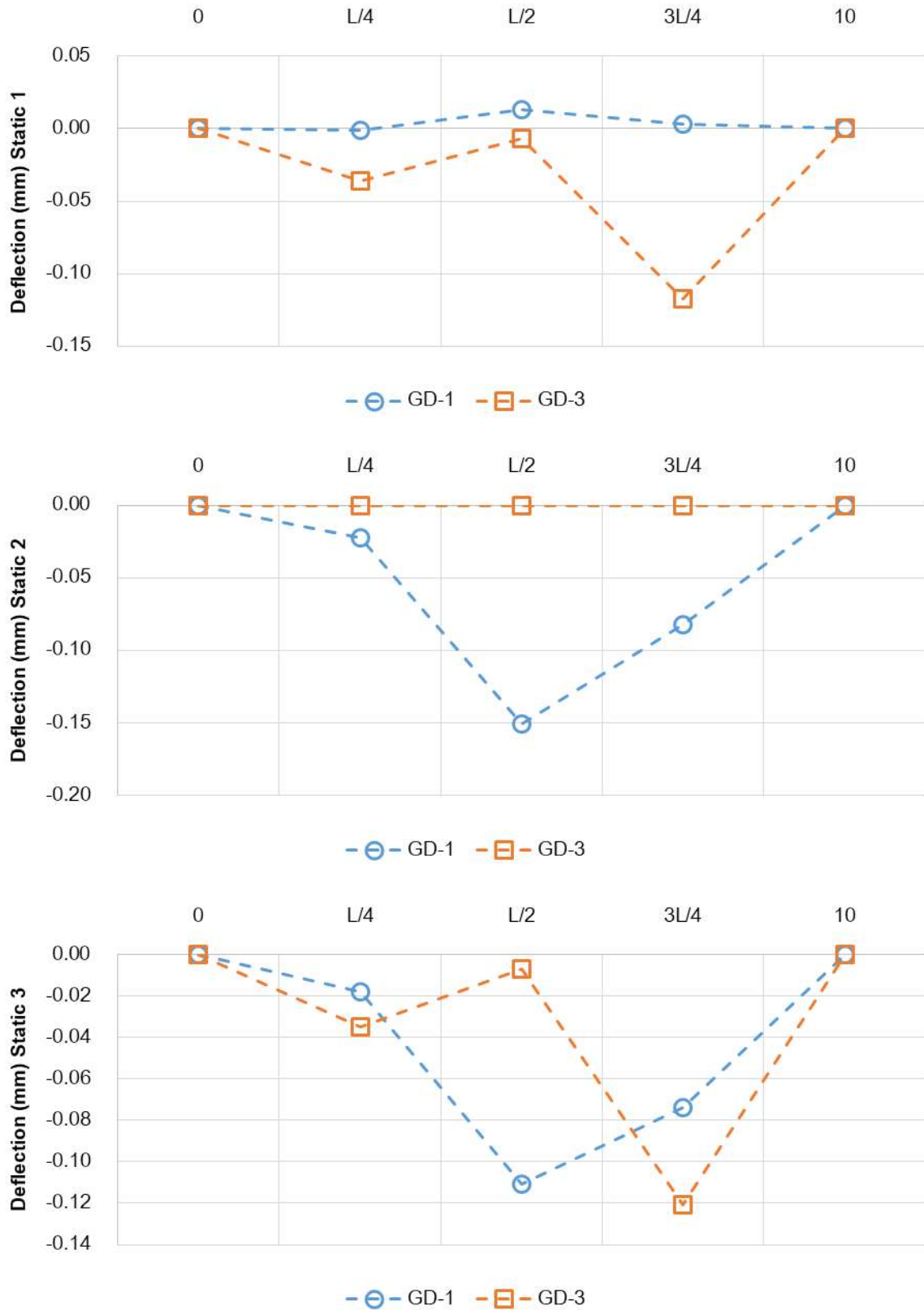




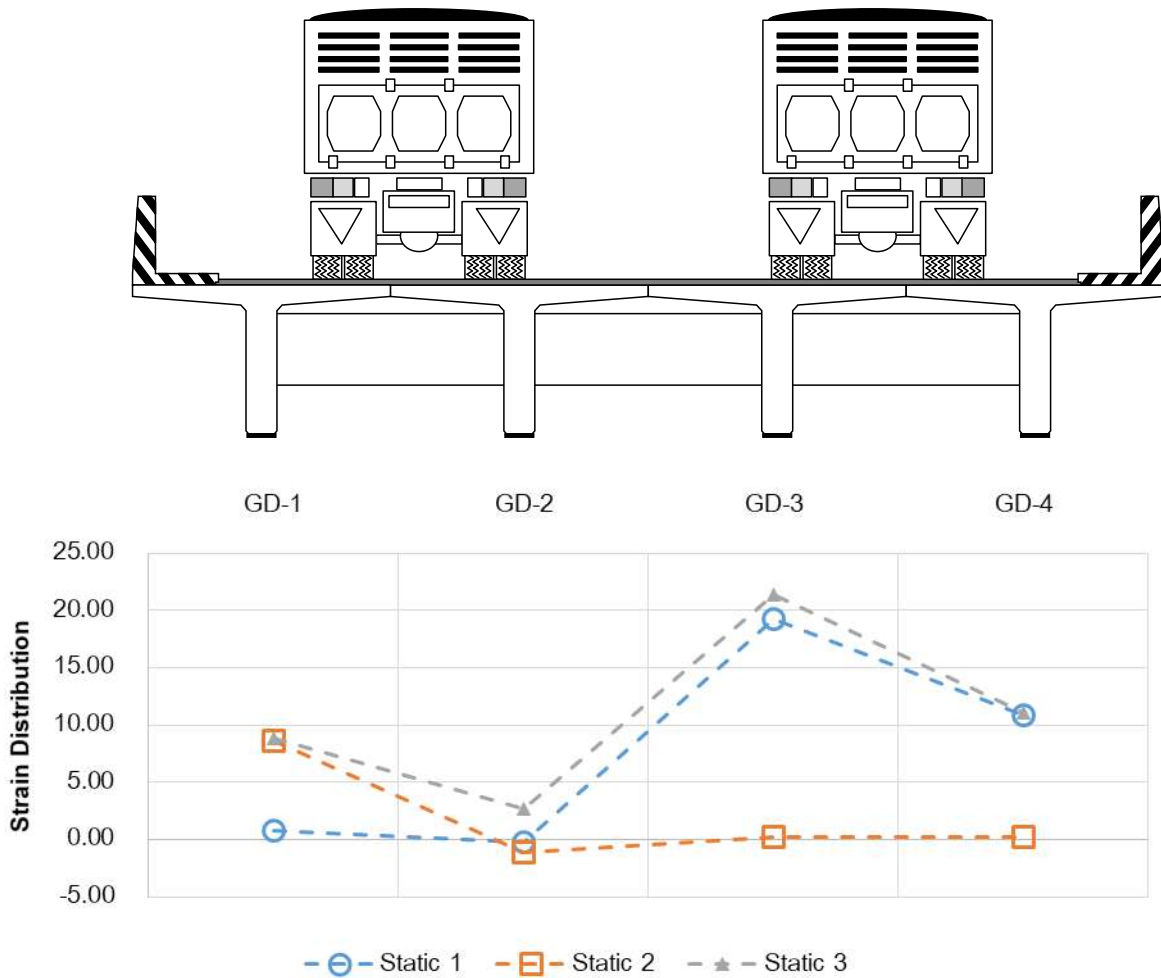
รูปที่ 4-18 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 3

ตารางที่ 4-16 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานแบบสถิต

| Sensor | Position L/2 | | |
|--------|--------------|----------|----------|
| | Static 1 | Static 2 | Static 3 |
| DT 01 | -0.001 | -0.022 | -0.018 |
| DT 02 | -0.036 | 0.000 | -0.035 |
| DT 03 | 0.013 | -0.151 | -0.111 |
| DT 04 | -0.007 | 0.000 | -0.007 |
| DT 05 | 0.003 | -0.082 | -0.074 |
| DT 06 | -0.117 | 0.000 | -0.121 |
| SG 01 | -0.840 | 58.004 | 53.044 |
| SG 02 | 0.567 | 17.306 | 16.256 |
| SG 03 | 0.785 | 8.633 | 8.831 |
| SG 04 | 1.006 | 1.110 | 1.869 |
| SG 05 | 0.223 | 5.052 | 5.388 |
| SG 06 | -0.638 | -0.750 | 2.460 |
| SG 07 | -0.469 | -0.840 | 2.967 |
| SG 08 | -0.281 | -1.079 | 2.698 |
| SG 09 | -0.421 | 1.094 | 5.075 |
| SG 10 | -0.585 | 0.081 | 3.900 |
| SG 11 | 14.302 | -0.006 | 16.660 |
| SG 12 | 6.379 | -0.031 | 8.106 |
| SG 13 | 19.208 | 0.192 | 21.356 |
| SG 14 | 0.527 | -0.177 | 2.800 |
| SG 15 | 34.900 | 0.556 | 37.706 |
| SG 16 | 55.125 | -0.598 | 60.156 |
| SG 17 | 100.694 | -1.373 | 110.608 |
| SG 18 | 10.896 | 0.198 | 11.117 |
| SG 19 | 49.077 | 0.052 | 53.202 |
| SG 20 | 123.038 | -1.388 | 132.421 |



รูปที่ 4-19 พฤติกรรมการแอ่นตัวของคานตัวที่ 1 และตัวที่ 3



รูปที่ 4-20 พฤติกรรมการกระจายแรงตามขวางของสะพาน

4.6.5. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบพลวัต

การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) เป็นการทดสอบโดยใช้รถบรรทุกวิ่งผ่านช่วงสะพาน ทดสอบหลายรูปแบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

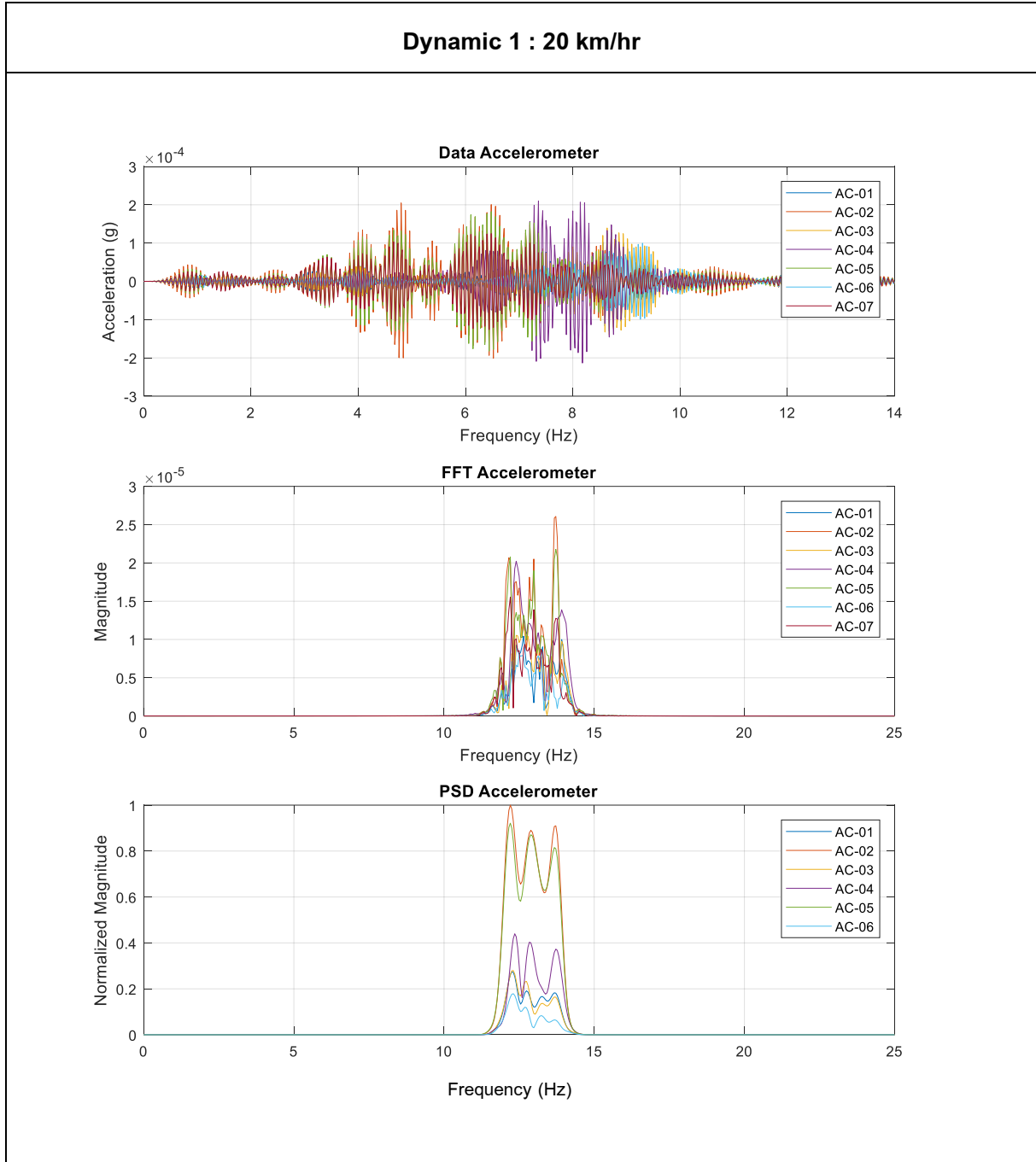
- Dynamic 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 20 กม./ชม.
- Dynamic 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 30 กม./ชม.
- Dynamic 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 50 กม./ชม.

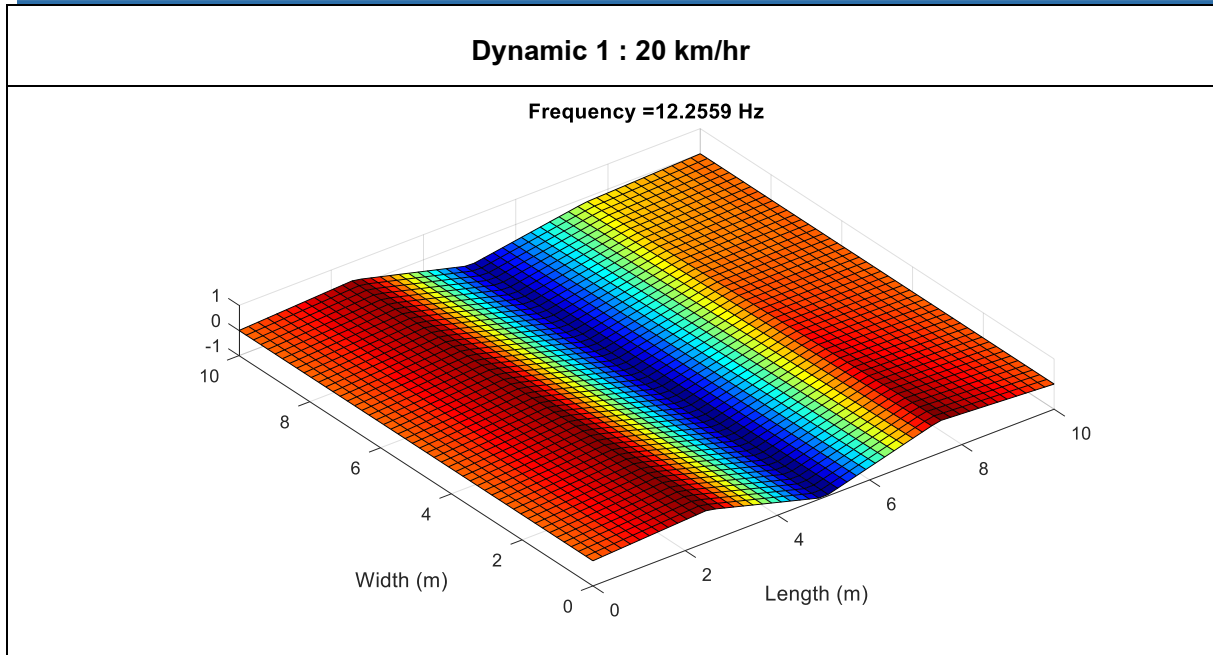




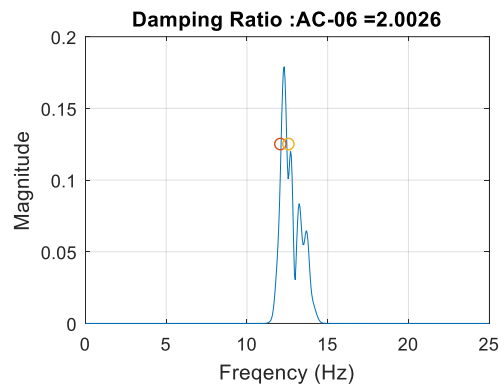
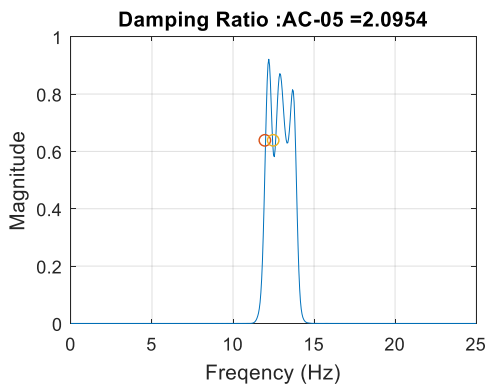
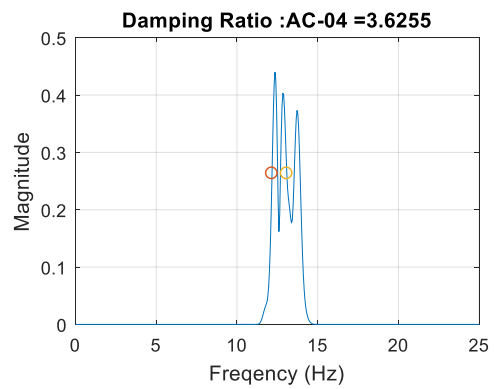
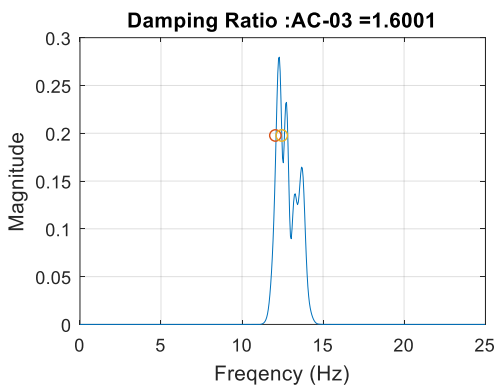
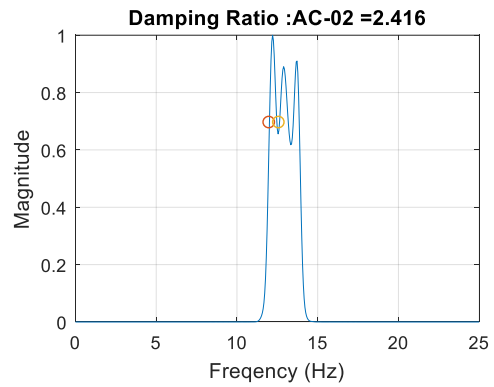
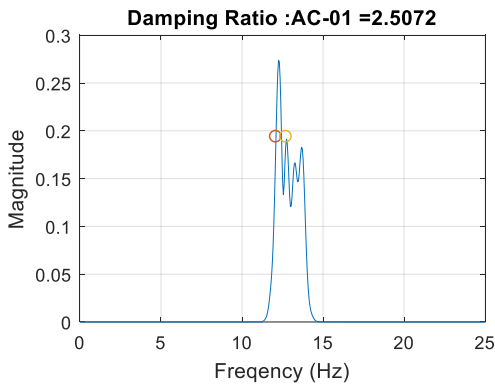
รูปที่ 4-21 ภาพการทดสอบแบบพลวัต

สำหรับการวิเคราะห์ผลการตรวจวัดพฤติกรรมแบบพลวัตเพื่อหาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ ประกอบด้วย ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) และค่าตัวคูณเพิ่มแรงกระแทก (Impact Factor) สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

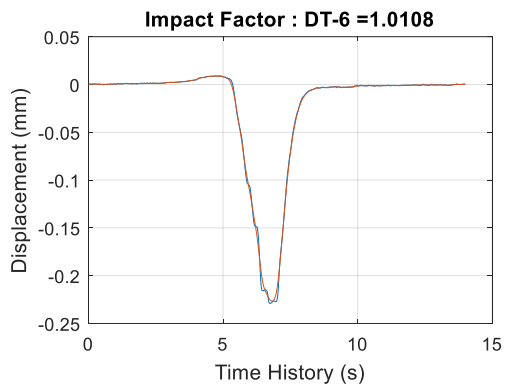
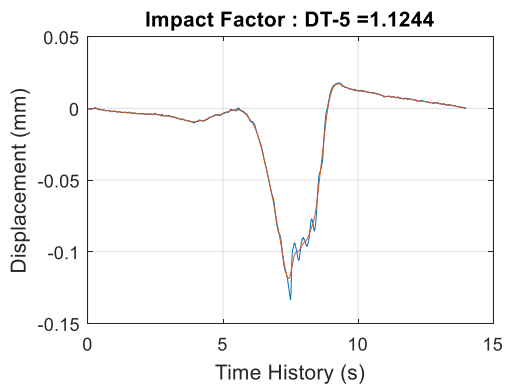
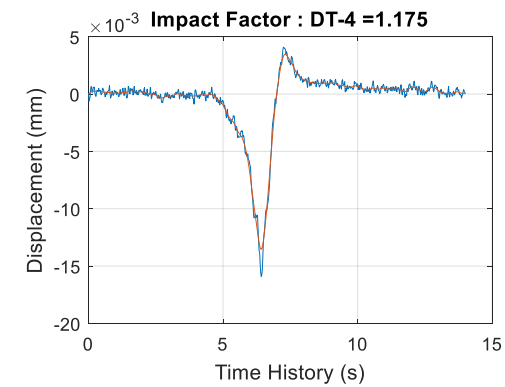
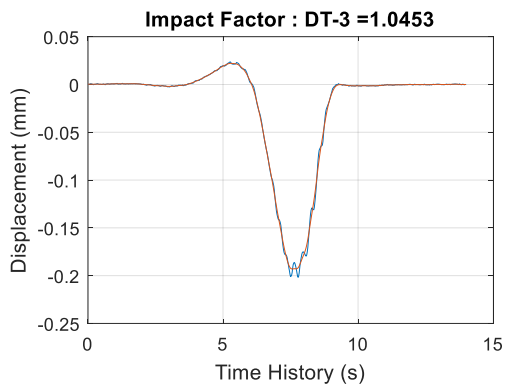
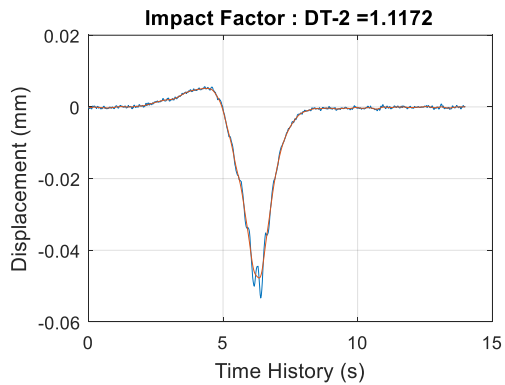
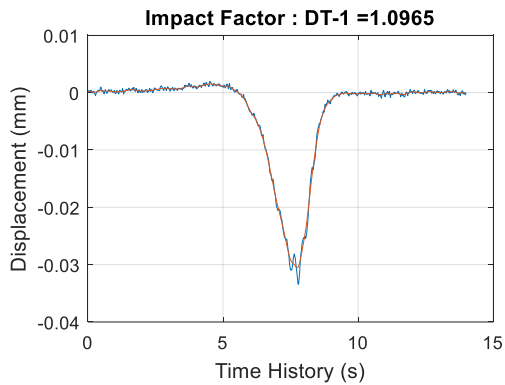




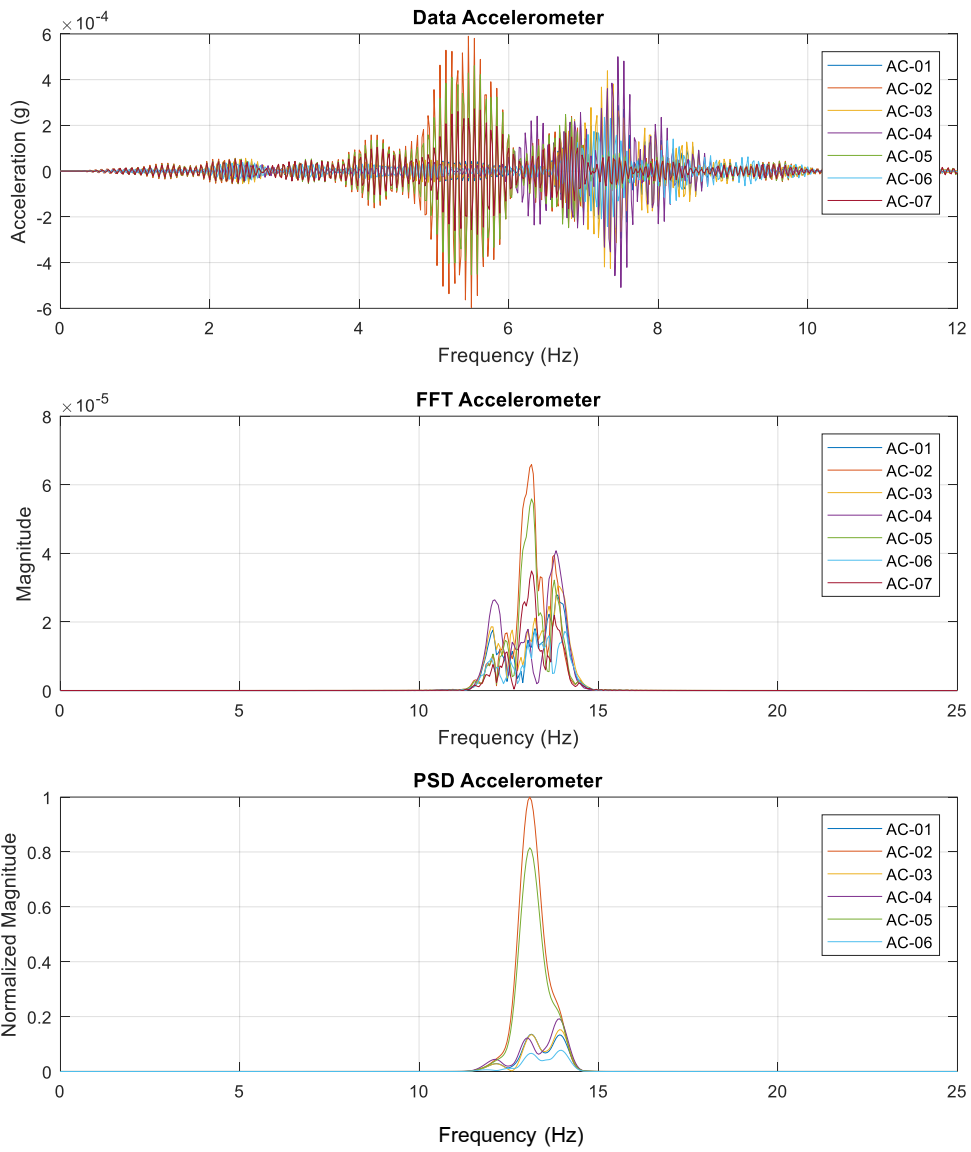
Dynamic 1 : 20 km/hr



Dynamic 1 : 20 km/hr

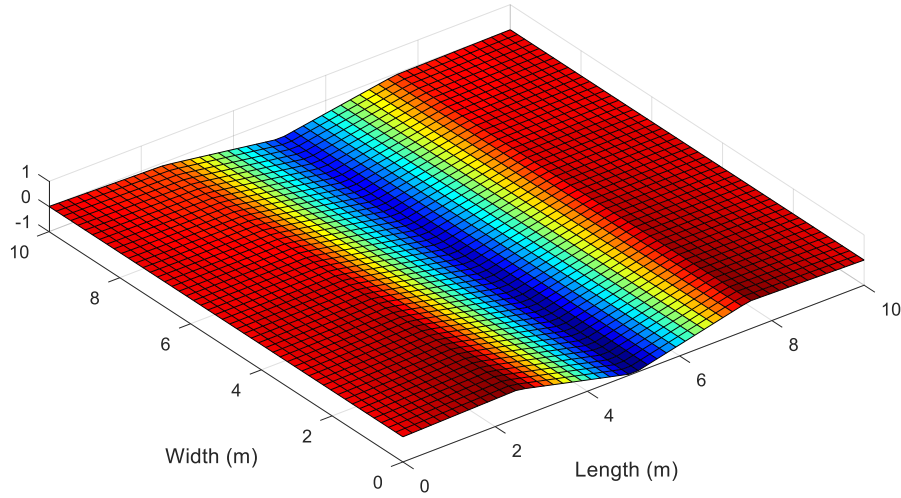


Dynamic 2 : 30 km/hr

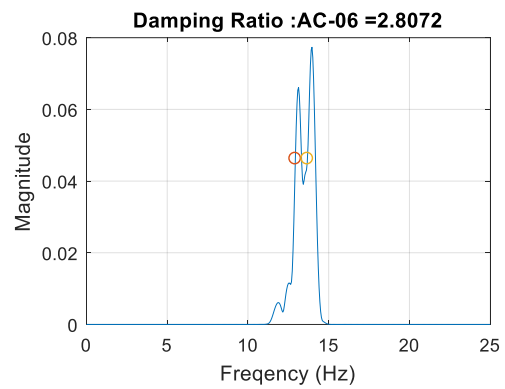
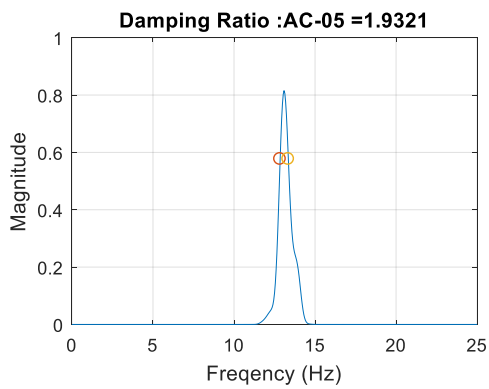
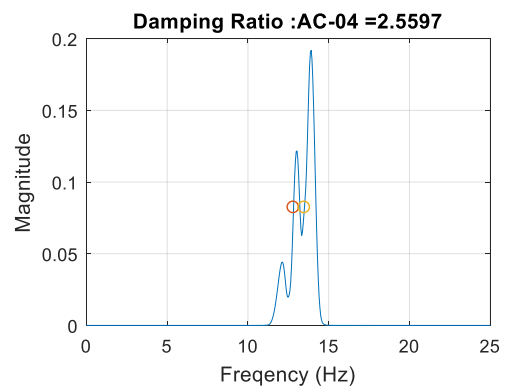
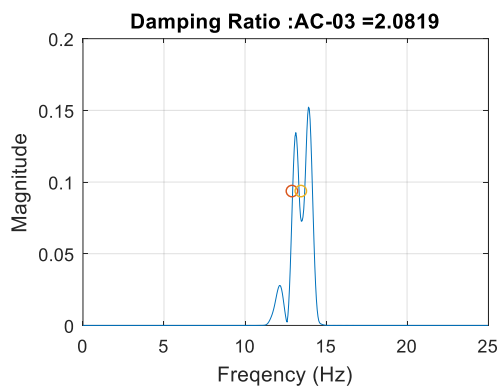
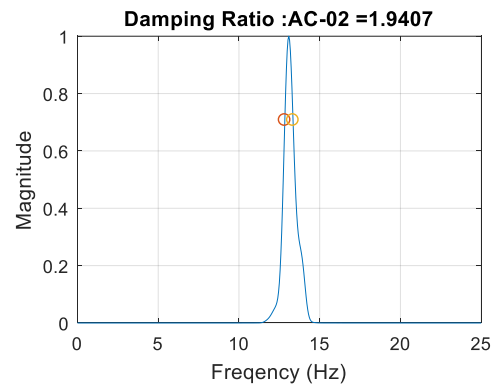
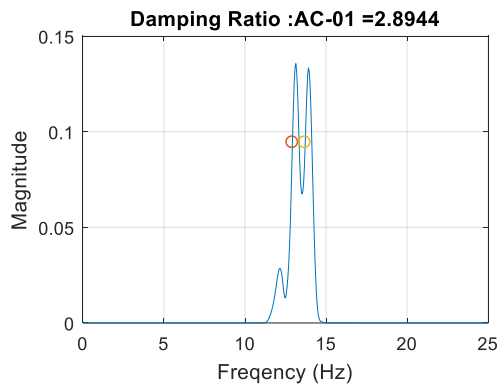


Dynamic 2 : 30 km/hr

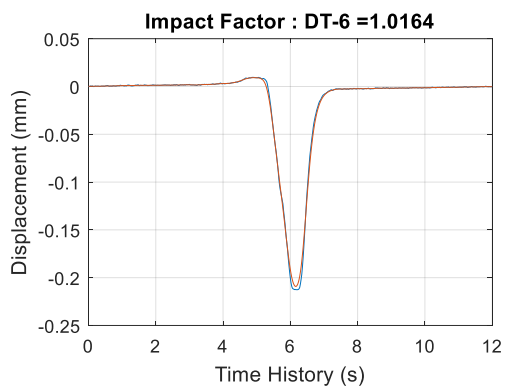
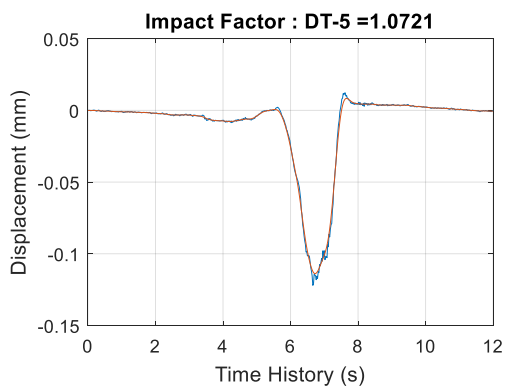
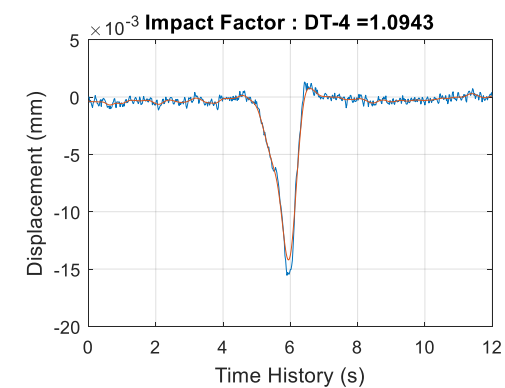
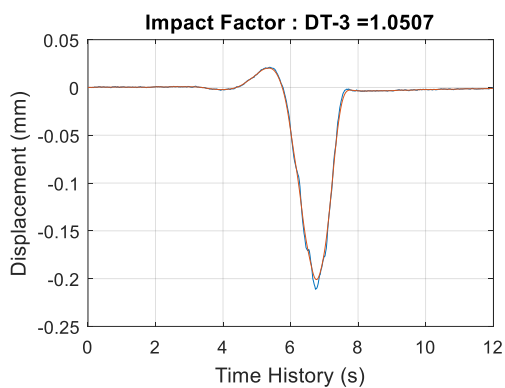
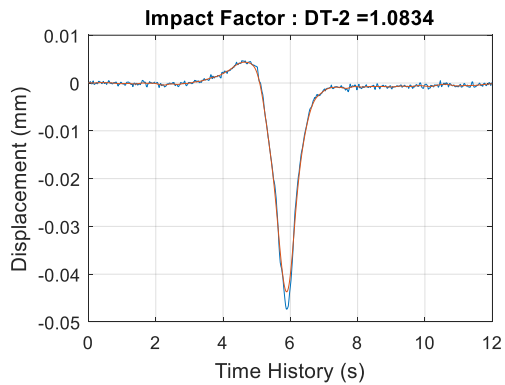
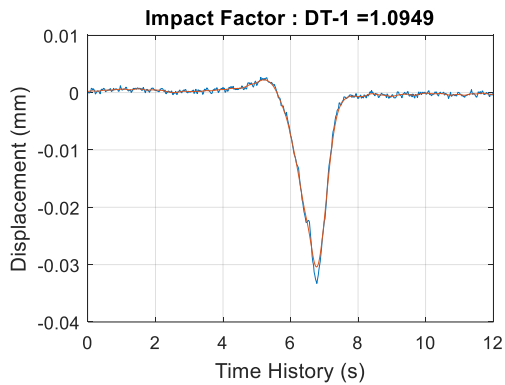
Frequency =13.0859 Hz



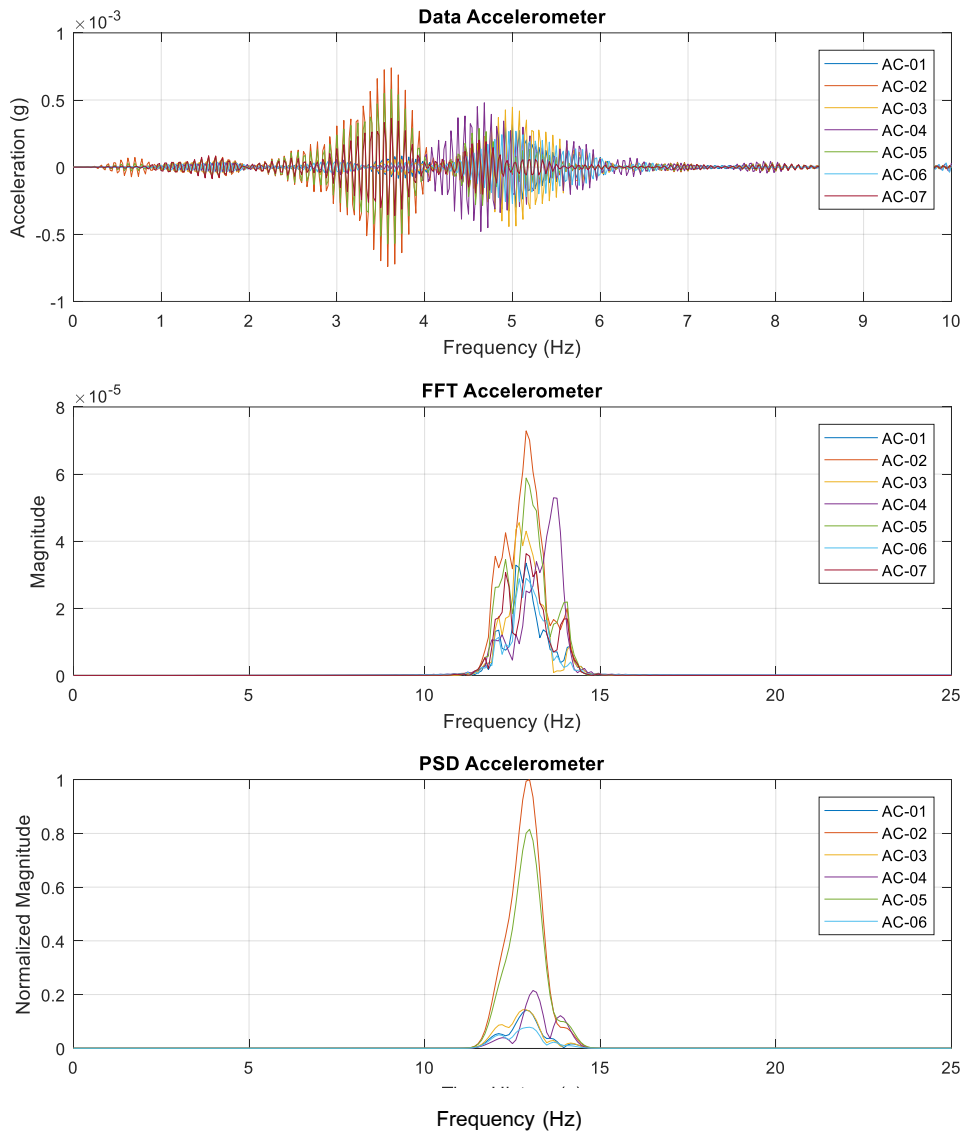
Dynamic 2 : 30 km/hr



Dynamic 2 : 30 km/hr

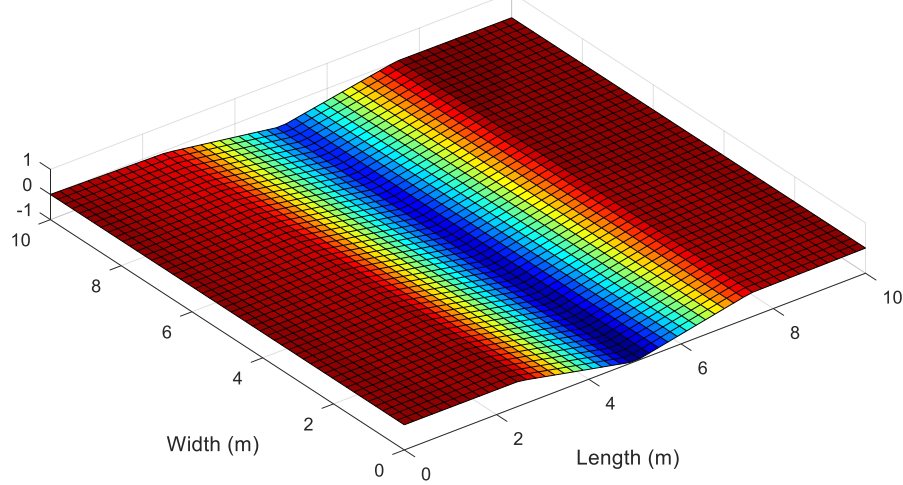


Dynamic 3 : 50 km/hr

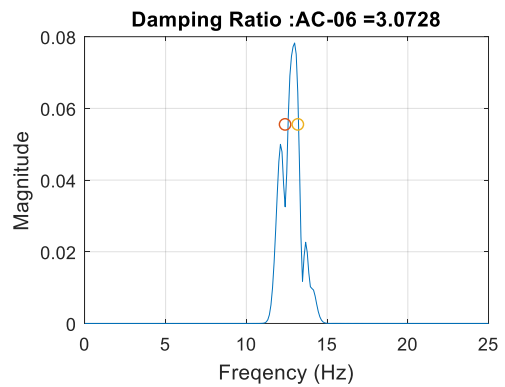
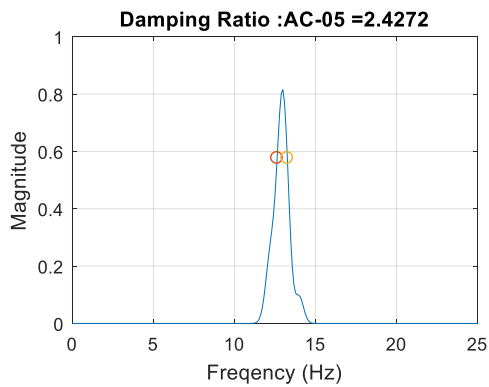
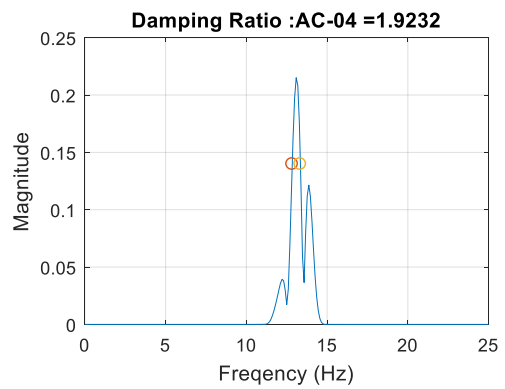
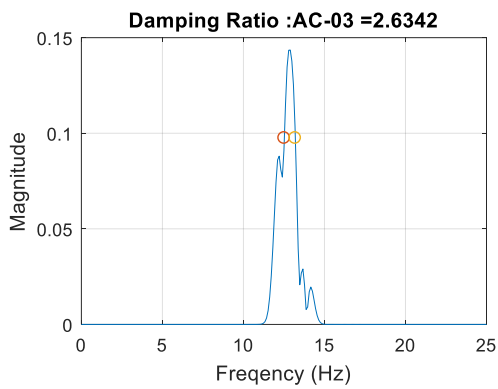
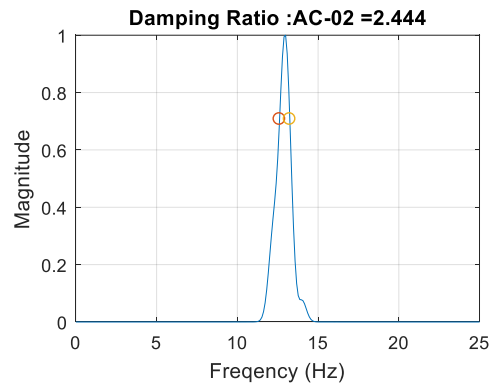
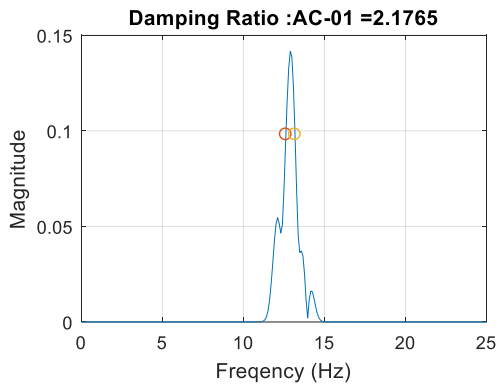


Dynamic 3 : 50 km/hr

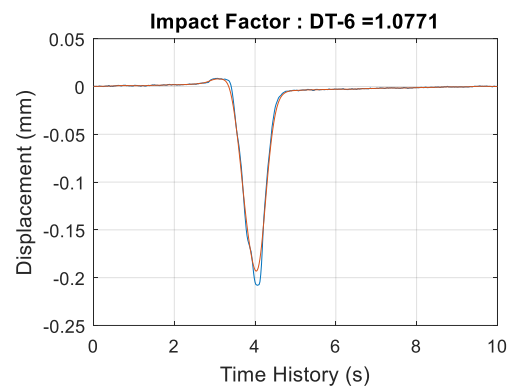
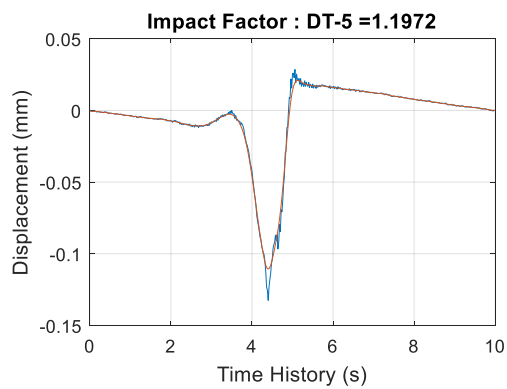
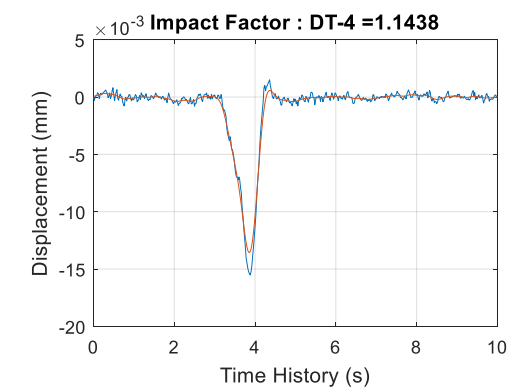
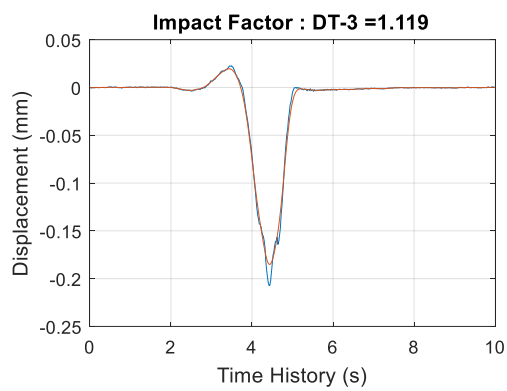
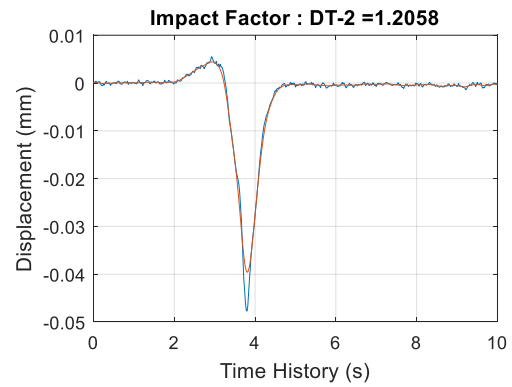
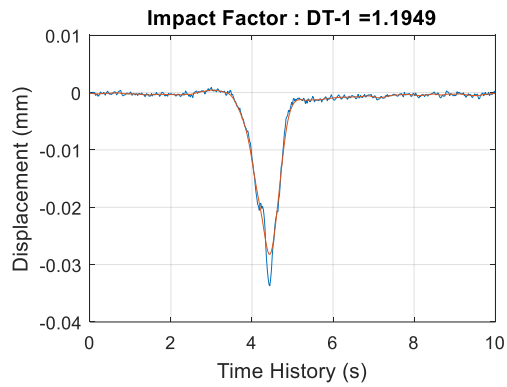
Frequency = 12.9883 Hz



Dynamic 3 : 50 km/hr



Dynamic 3 : 50 km/hr



ตารางที่ 4-17 ผลการวิเคราะห์ Natural Frequency, Mode Shape และ Damping Ratio

| Test | Freq. | Mode Shape | Damping Ratio | | | | | | |
|-----------|--------|-------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | AC 01 | AC 02 | AC 03 | AC 04 | AC 05 | AC 06 | AVG |
| Dynamic 1 | 12.256 | 1st Bending | 2.507 | 2.416 | 1.6 | 3.625 | 2.095 | 2.003 | 2.374 |
| Dynamic 2 | 13.086 | 1st Bending | 2.894 | 1.941 | 2.082 | 2.56 | 1.932 | 2.807 | 2.369 |
| Dynamic 3 | 12.988 | 1st Bending | 2.176 | 2.444 | 2.634 | 1.923 | 2.427 | 3.073 | 2.446 |

ตารางที่ 4-18 ผลการวิเคราะห์ Impact Factor

| Sensor | Impact Factor | | | | | | |
|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | DT 01 | DT 02 | DT 03 | DT 04 | DT 05 | DT 06 | Average |
| Dynamic 1 | 1.097 | 1.117 | 1.045 | 1.175 | 1.124 | 1.011 | 1.095 |
| Dynamic 2 | 1.095 | 1.083 | 1.051 | 1.094 | 1.072 | 1.016 | 1.069 |
| Dynamic 3 | 1.195 | 1.206 | 1.119 | 1.144 | 1.197 | 1.077 | 1.156 |

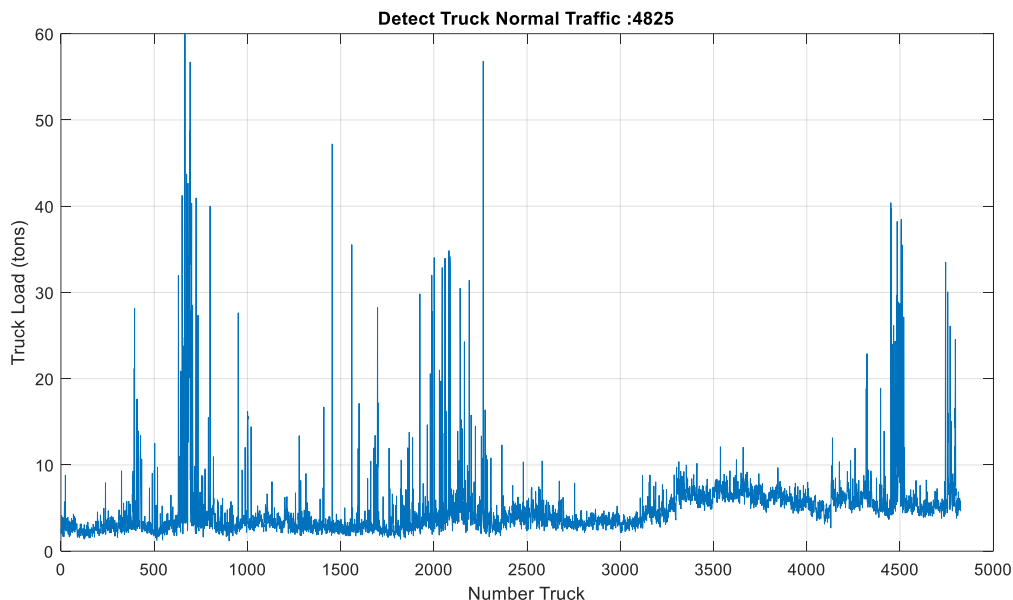
4.6.6. การทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน

ที่ปรึกษาได้ทำการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge บริเวณใต้ท้องคานแต่ละคาน (โดยเฉลี่ยค่า Strain Gauge ทั้ง 5 ตัวที่ติดตั้งในแต่ละคาน) กับน้ำหนักบรรทุกจากการทดสอบแบบ Static Load Test ซึ่งมีค่าแสดงได้ดังตารางที่ 4-19

ตารางที่ 4-19 การสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบ

| Sensor | Strain Gauge (microstrain) | | |
|-------------------|----------------------------|----------|----------|
| | Static 1 | Static 2 | Static 3 |
| AVG SG at GD01 | 0.348 | 18.021 | 17.078 |
| AVG SG at GD02 | -0.479 | -0.299 | 3.420 |
| AVG SG at GD03 | 15.063 | 0.107 | 17.326 |
| AVG SG at GD04 | 67.766 | -0.622 | 73.501 |
| SUM | 82.699 | 17.207 | 111.324 |
| Truck Load (tons) | 25 | 25 | 50 |

จากนั้นใช้ผลการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge ในการประมาณการน้ำหนักบรรทุก
จากผลการตรวจวัดค่าผลรวมของ Strain Gauge ภายใต้การจราจรปกติเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งได้ผลแสดง
ดังรูปที่ 4-22

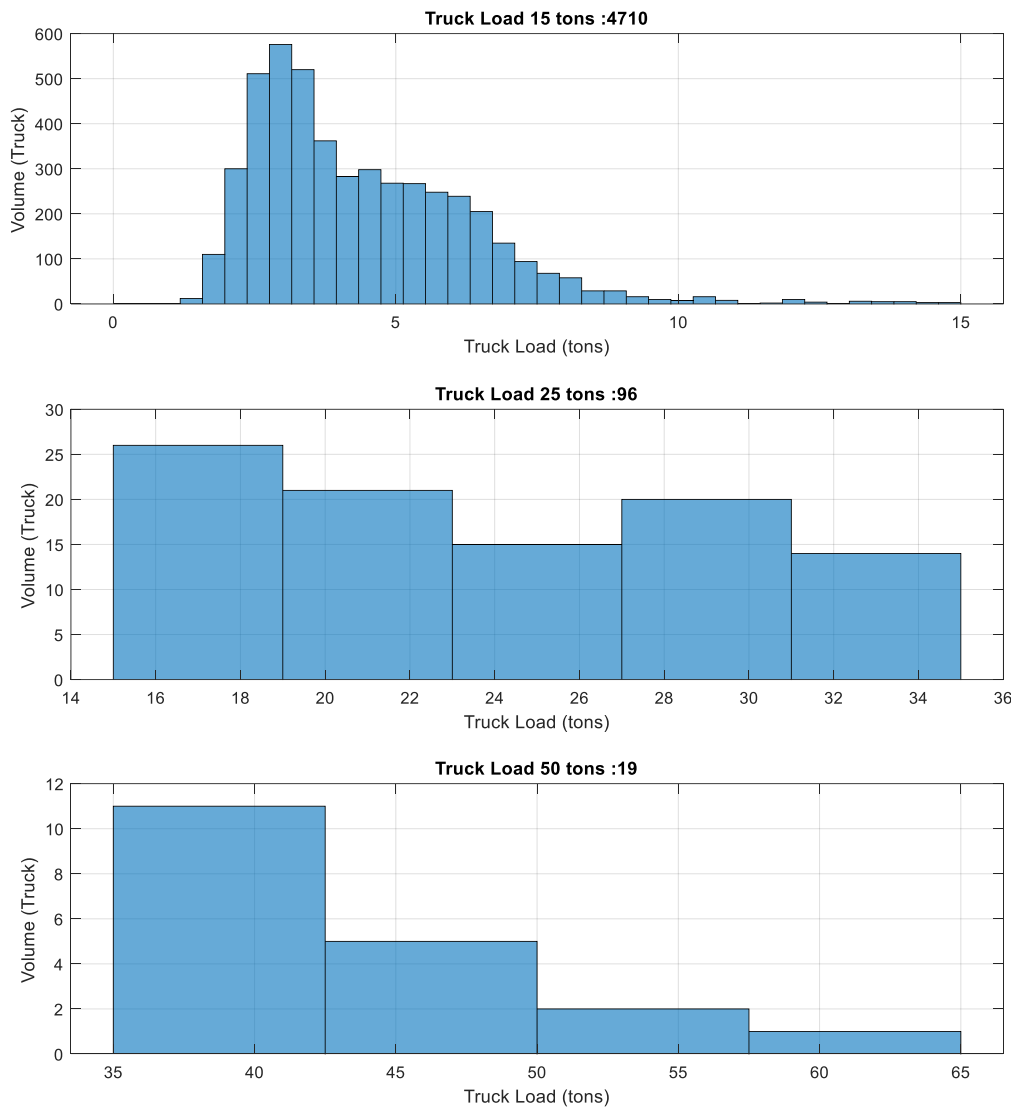


รูปที่ 4-22 ผลการสอบเทียบค่า Strain Gauge เพื่อประเมินน้ำหนักบรรทุก

ที่ปรึกษาได้แบ่งกลุ่มน้ำหนักบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพาน จำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 15 ตัน (น้ำหนักบรรทุกน้อยกว่า 15 ตัน)
- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 25 ตัน (น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 15 ตัน ถึง 35 ตัน) และ
- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 50 ตัน (น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 35 ตัน ถึง 65 ตัน)

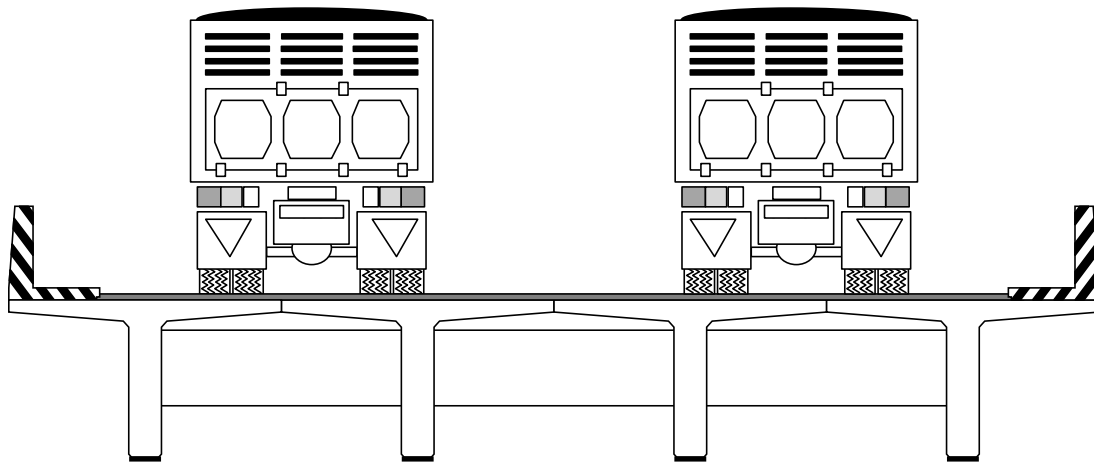
เมื่อนำผลการสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกของแต่ละกลุ่มน้ำหนักมาหาค่าทางสถิติของข้อมูล
สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4-23



| Group Truck | Truck 15 (tons) | Truck 25 (tons) | Truck 50 (tons) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Volume (trucks) | 4,710 | 96 | 19 |
| %Volume | 97.62% | 1.99% | 0.39% |
| Mean (tons) | 4.394 | 23.813 | 43.609 |
| Std (tons) | 1.928 | 5.776 | 7.281 |

รูปที่ 4-23 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกทุกภายใต้สภาวะใช้งาน

และเมื่อนำค่า strain ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละคานมาพล็อต (box plot) จะได้ผลการกระจายแรงลงสะพานตามแนวขวางดังแสดงในรูปที่ 4-24



รูปที่ 4-24 การกระจายน้ำหนักในโครงสร้างคาน

บทที่ 5 สะพานแม่น้ำลาว

5.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานแม่น้ำลาว (Test Span: 12 m)

สะพานแม่น้ำลาวตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 2 แพร่ แขวงทางหลวงเชียงรายที่ 1 จังหวัดเชียงราย หมายเลขทางหลวง 118 กม.กลางสะพาน 91+205 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2525 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 1,598 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง 6TG(5x12) ความกว้างผิวทาง 13 เมตร



รูปที่ 5-1 รูปทั่วไปของสะพานแม่น้ำลาว

5.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน

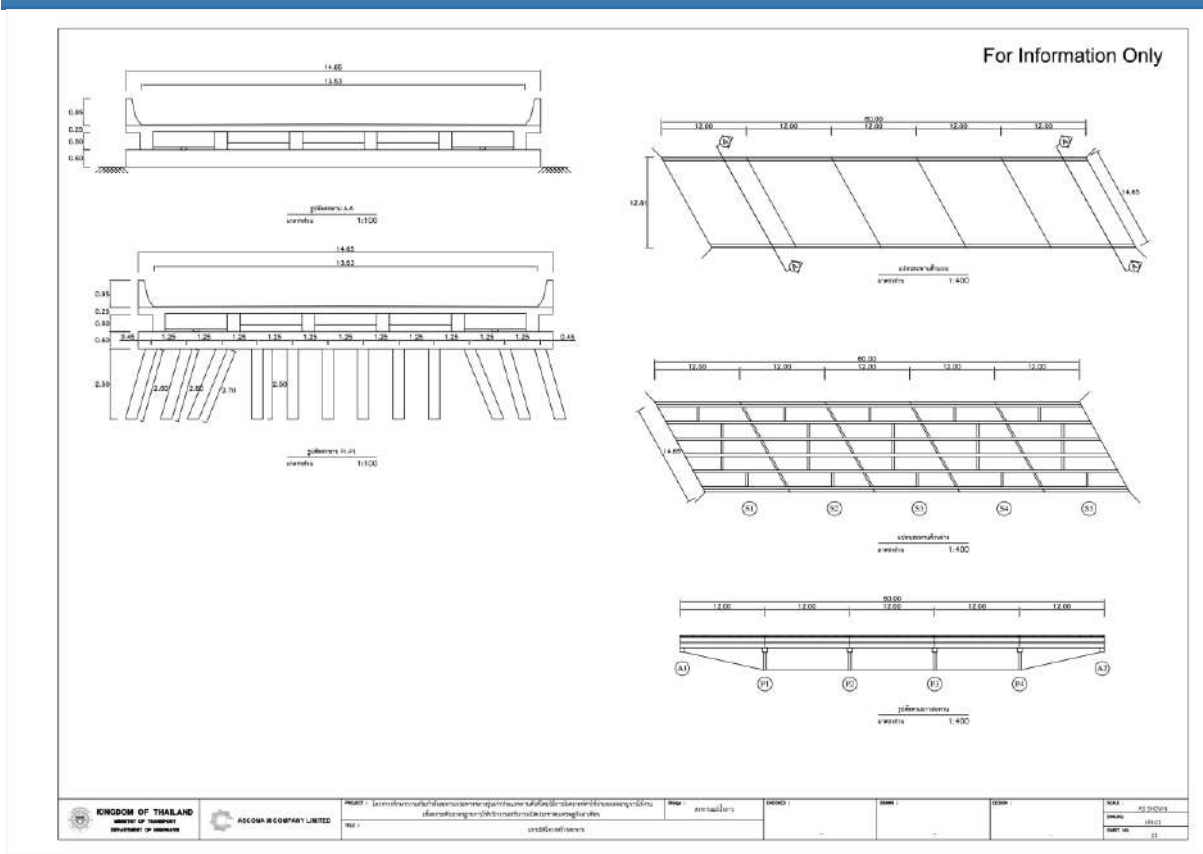
5.2.1. การสำรวจมิติสะพาน

การสำรวจมิติของสะพานกระทำโดยถ่ายภาพสะพานในบริเวณต่าง ๆ ทั้งด้านบนและด้านล่าง และใช้เครื่องมือวัดระยะประเภทต่าง ๆ เช่น ตลับเมตร เทปวัด และเลเซอร์วัดระยะทาง ในการตรวจวัดขนาดชิ้นส่วนและมิติต่าง ๆ ของสะพาน ดังตัวอย่างการสำรวจมิติสะพานที่แสดงในรูปที่ 5-2 ในกรณีที่ชิ้นส่วนโครงสร้างมีขนาดใหญ่มากหรืออยู่สูงมาก จะใช้นั่งร้านเพื่อช่วยในการเข้าถึงชิ้นส่วนนั้น ๆ ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจมิติของสะพานในบริเวณต่าง ๆ ได้แสดงดังรูปที่ 5-3



รูปที่ 5-2 การตรวจวัดมิติของสะพาน (ทั่วไป)





**รูปที่ 5-3 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจมิติของสะพานโดยรวม
 (แบบทั้งหมดขนาด A3 แสดงในแบบสำรวจสะพาน)**

5.2.2. การสำรวจความเสียหายสะพาน

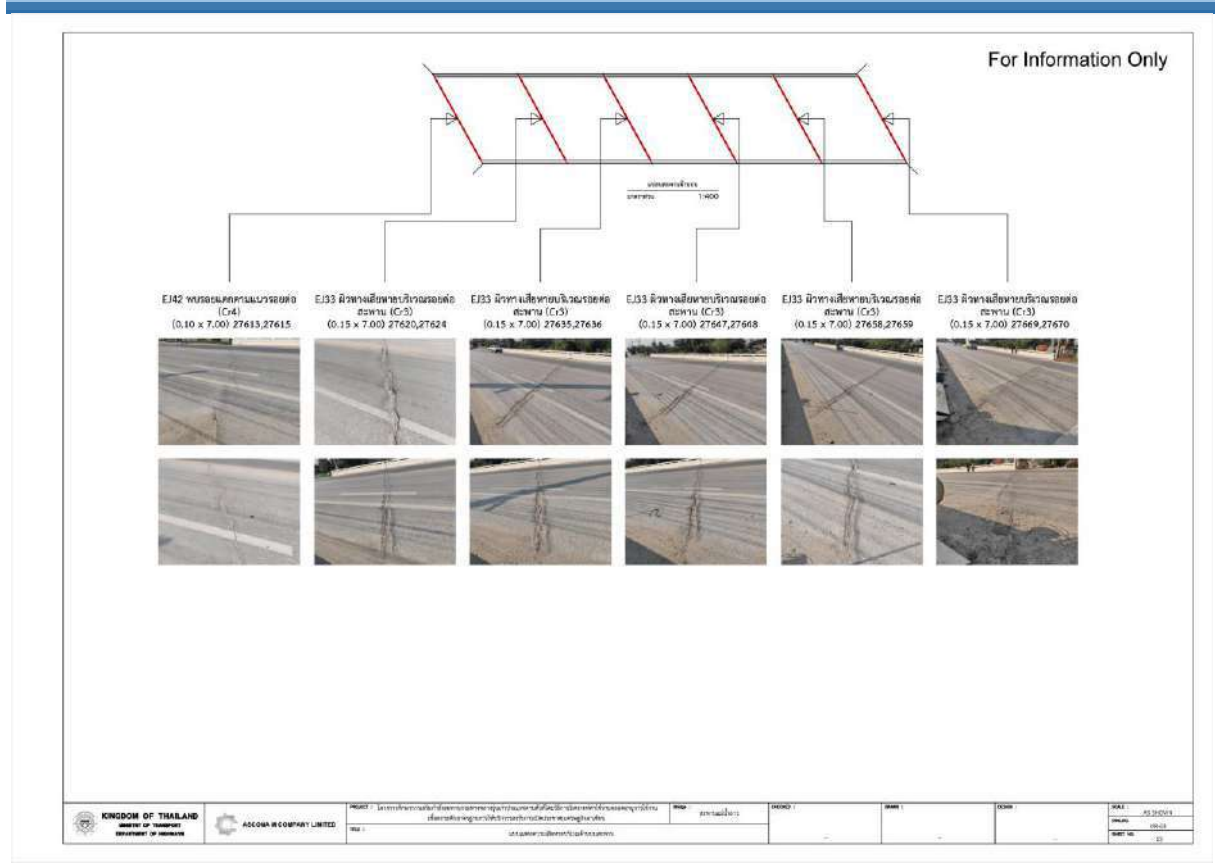
โครงการนี้ใช้วิธีการตรวจสอบความเสียหายด้วยสายตา (Visual Inspection) ในการรวบรวมข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพาน เพื่อใช้ประกอบการออกแบบงานซ่อมบูรณะและเสริมกำลังสะพาน รูปที่ 5-4 แสดงตัวอย่างความเสียหายของสะพาน และตารางที่ 5-1 แสดงรายการความเสียหายของสะพาน จากนั้นได้นำข้อมูลที่สำรวจได้ไปจัดทำเป็นแบบแสดงความเสียหายดังตัวอย่างบางส่วนที่แสดงในรูปที่ 5-5 โดยรายละเอียดทั้งหมดได้แสดงในแบบสำรวจสะพาน ที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้



รูปที่ 5-4 ตัวอย่างบางส่วนของภาพความเสียหายของสะพาน

ตารางที่ 5-1 รายการความเสียหายสะพานแม่น้ำลาว

| ลำดับ | บริเวณ | ชั้นส่วน | รายละเอียดความเสียหาย | ระดับความรุนแรง | ขนาด |
|-------|--------|----------|--|-----------------|-------------|
| 1 | S1 | EJ1 | EJ42 พบรอยแตกตามแนวรอยต่อ | CR 4 | 0.10 x 7.00 |
| 2 | S2 | EJ1 | EJ33 ผิวทางเสียหายบริเวณรอยต่อสะพาน | CR 3 | 0.15 x 7.00 |
| 3 | S3 | EJ1 | EJ33 ผิวทางเสียหายบริเวณรอยต่อสะพาน | CR 3 | 0.15 x 7.00 |
| 4 | S4 | EJ1 | EJ33 ผิวทางเสียหายบริเวณรอยต่อสะพาน | CR 3 | 0.15 x 7.00 |
| 5 | S5 | EJ1 | EJ33 ผิวทางเสียหายบริเวณรอยต่อสะพาน | CR 3 | 0.15 x 7.00 |
| 6 | S5 | EJ2 | EJ33 ผิวทางเสียหายบริเวณรอยต่อสะพาน | CR 3 | 0.15 x 7.00 |
| 7 | S1 | DK | DK31 หลุดล่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม | CR 3 | 1.00 x 1.00 |
| 8 | S1 | DK | DK31 หลุดล่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม | CR 3 | 1.00 x 1.50 |
| 9 | S1 | GD | GD31 หลุดล่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม | CR 3 | 3.00 x 1.50 |
| 10 | S5 | GD | GD31 หลุดล่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม | CR 3 | 2.00 x 0.10 |
| 11 | S5 | GD | GD41 หลุดล่อนเป็นบริเวณแคบ | CR 4 | 0.20 x 0.50 |
| 12 | S5 | GD | GD41 หลุดล่อนเป็นบริเวณแคบ | CR 4 | 0.15 x 0.50 |
| 13 | S5 | GD | GD41 หลุดล่อนเป็นบริเวณแคบ | CR 4 | 0.15 x 0.50 |
| 14 | P2 | CB | CB31 หลุดล่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม | CR 4 | 0.30 x 0.40 |
| 15 | P3 | CB | CB31 หลุดล่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม | CR 4 | 0.50 x 0.60 |
| 16 | P3 | CB | CB31 หลุดล่อนเป็นบริเวณกว้างแต่ไม่เห็นเหล็กเสริม | CR 4 | 0.60 x 0.60 |



รูปที่ 5-5 ตัวอย่างบางส่วนของแบบแสดงความเสียหายบริเวณด้านบนสะพาน



5.2.3. การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลข

การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลขจะใช้วิธีตามแนวทางของระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) กรมทางหลวง ซึ่งจะเลือกชิ้นส่วนที่มีค่าผลคูณความสำคัญของชิ้นส่วน (Weighting, w) กับระดับความเสียหาย (Damage Rating, DR) ที่สูงที่สุด 5 ลำดับแรก จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของชิ้นส่วนที่วิกฤติที่สุดเหล่านั้นเป็นค่า Weighted Critical Damage Rating (WCDR) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความเสี่ยงที่โครงสร้างจะวิบัติ ผลการประเมินพบว่าสะพานมีค่า WCDR = 1.48 (จากคะแนนเต็ม 5) หรือแปลงให้อยู่ในรูป Weighted Critical Condition Rating (WCCR) = 5 - 1.48 = 3.52 ซึ่งอยู่ระหว่าง ระดับดี (CR=4) และระดับพอใช้ (CR=3) กล่าวโดยรวมสะพานมีการเสื่อมสภาพตามการใช้งาน ควรได้รับการซ่อมบำรุงตามกำหนดการ

ตารางที่ 5-2 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม

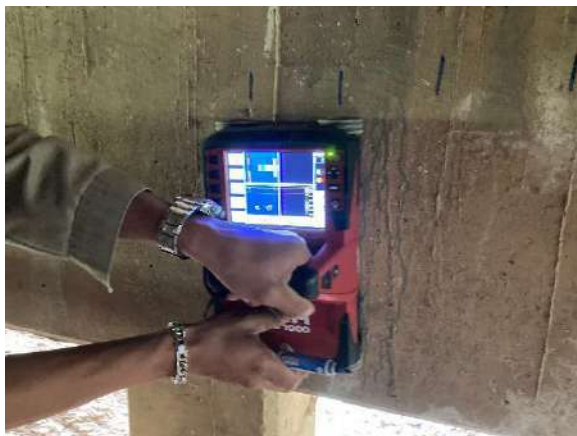
| บริเวณ- ชิ้นส่วน | ประเภท ชิ้นส่วน | สภาพการใช้งาน (Condition Rating, CR) | ระดับความเสียหาย (Damage Rating) (DR = 5 - CR) | ระดับความสำคัญของชิ้นส่วน (w) | w*DR |
|--|--------------------|--|--|----------------------------------|------|
| S1-GD | Girder | 3 | 2 | 1 | 2 |
| S5-GD | Girder | 3 | 2 | 1 | 2 |
| S1-DK | Deck | 3 | 2 | 0.8 | 1.6 |
| S5-GD | Girder | 4 | 1 | 1 | 1 |
| S2-EJ1 | Exp. joint | 3 | 2 | 0.4 | 0.8 |
| Weighted Critical Damage Rating (WCDR) | | | | | 1.48 |
| Weighted Critical Condition Rating (CCDR = 5 - WCDR) | | | | | 3.52 |

5.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน

ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมที่ชิ้นส่วนโครงสร้างสำคัญต่าง ๆ มีรวมทั้งสิ้น 123.05 ตร.ม. ดังแสดงในตารางที่ 5-3 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-6 โดยผลการสำรวจทั้งหมดได้แสดงไว้ในแบบสำรวจสะพานที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างในรูปตัด (Typical section) และรูปด้านต่าง ๆ

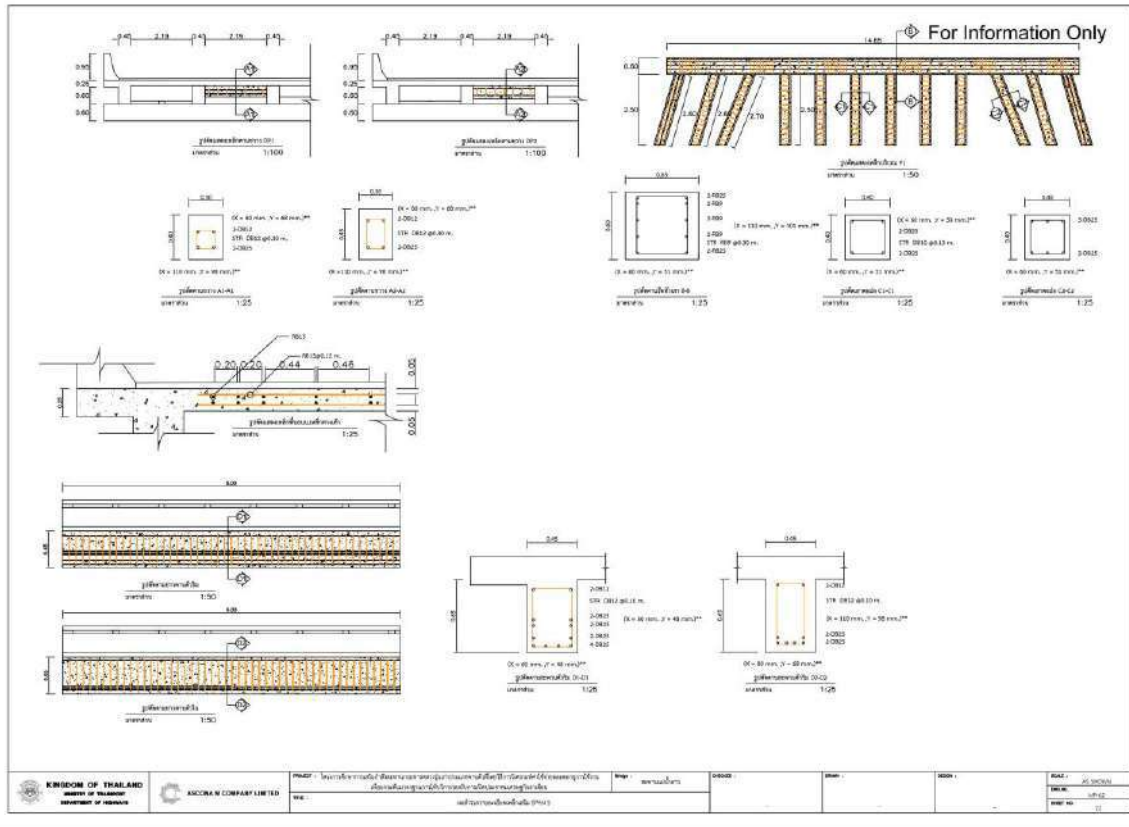
ตารางที่ 5-3 พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมในชิ้นส่วนโครงสร้างหลักของสะพาน

| ชิ้นส่วนโครงสร้าง | พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม (ตร.ม.) |
|--------------------------------|--|
| เสาตอม่อ (Pier) | 49.28 |
| คานรัดเสาตอม่อ (Cap Beam) | 22.64 |
| คานหลัก (Girder) | 20.4 |
| ไดอะแฟรม (Diaphragm) | 10.73 |
| พื้นสะพาน (Deck) บริเวณถนน | 20 |
| พื้นสะพาน (Deck) บริเวณทางเท้า | - |
| รวมทั้งสิ้น | 123.05 |



รูปที่ 5-6 รูปการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพานด้วยเครื่อง GPR

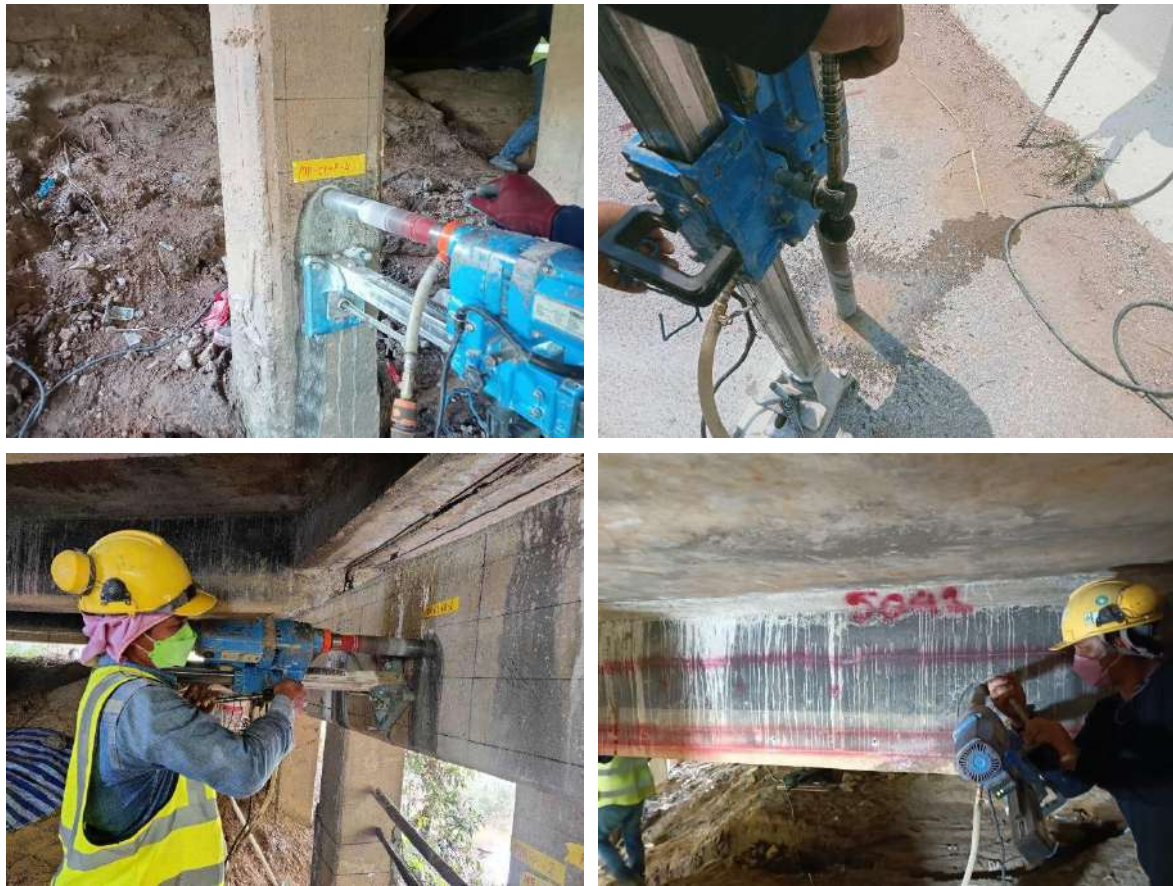




รูปที่ 5-7 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม

5.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

5.4.1. การดำเนินการเก็บวัสดุทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังรับแรงดึง



รูปที่ 5-8 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต



รูปที่ 5-9 รูปการซ่อมคืนสภาพจากการเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต

5.4.2. การดำเนินเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



รูปที่ 5-10 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



รูปที่ 5-11 รูปการซ่อมคืนสภาพจากการเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม

5.4.3. การดำเนินการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน



รูปที่ 5-12 รูปการทำงานทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน



5.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

5.5.1. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไดอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) ค้ำยันเสาตอม่อ (Bracing, BC) และเสาตอม่อ (Pier Column, CL) ตารางที่ 5-4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 5-4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (สะพานแม่ น้ำลาว, MR)

| ลำดับ | ชิ้นส่วน | รหัสทดสอบ | Compressive Strength (ksc) |
|-------|----------|-----------|----------------------------|
| 1 | GD | MR-S5-GD1 | 255 |
| 2 | GD | MR-S5-GD2 | 232 |
| 3 | GD | MR-S5-GD3 | 237 |
| 4 | GD | MR-S5-GD4 | 155 |
| 5 | CB | MR-P4-CB1 | 167 |
| 6 | CB | MR-P4-CB2 | 91 |
| 7 | DP | MR-S5-DP1 | 134 |
| 8 | DP | MR-S5-DP2 | 104 |
| 9 | CL | MR-P4-CL1 | 280 |
| 10 | CL | MR-P4-CL3 | 238 |
| 11 | CL | MR-P4-CL5 | 233 |
| 12 | CL | MR-P4-CL7 | 296 |
| 13 | SW | MR-S1-SW1 | 125 |
| 14 | SW | MR-S2-SW1 | 160 |
| 15 | SW | MR-S2-SW2 | 248 |
| 16 | SW | MR-S3-SW1 | 149 |
| 17 | SW | MR-S3-SW2 | 200 |
| 18 | SW | MR-S4-SW1 | 124 |
| 19 | SW | MR-S4-SW2 | 352 |
| 20 | SW | MR-S5-SW2 | 137 |

5.5.2. ผลทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไดอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) และเสาดอม่อ (Pier Column, CL) ตารางที่ 5-5 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึง

ตารางที่ 5-5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (สะพานแม่น้ำลาว, MR)

| ลำดับ | ชิ้นส่วน | รหัสทดสอบ | Tensile Strength (ksc) |
|-------|----------|-----------|------------------------|
| 1 | GD | MR-S5-GD1 | 24 |
| 2 | GD | MR-S5-GD2 | 10 |
| 3 | GD | MR-S5-GD3 | 22 |
| 4 | GD | MR-S5-GD4 | 24 |
| 5 | CB | MR-P4-CB1 | 32 |
| 6 | CB | MR-P4-CB2 | 11 |
| 7 | DP | MR-S5-DP1 | 12 |
| 8 | DP | MR-S5-DP2 | 20 |
| 9 | CL | MR-P4-CL2 | 25 |
| 10 | CL | MR-P4-CL4 | 32 |
| 11 | CL | MR-P4-CL6 | 27 |
| 12 | CL | MR-P4-CL8 | 31 |
| 13 | SW | MR-S1-SW1 | 21 |
| 14 | SW | MR-S2-SW1 | 16 |
| 15 | SW | MR-S2-SW2 | 31 |
| 16 | SW | MR-S3-SW1 | 19 |
| 17 | SW | MR-S3-SW2 | 25 |
| 18 | SW | MR-S4-SW1 | 22 |
| 19 | SW | MR-S4-SW2 | 20 |
| 20 | SW | MR-S5-SW2 | 27 |

5.5.3. ผลการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน

โครงการนี้ได้ทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน สะพานละ 20 ตำแหน่ง ๆ ละ 5 ระดับความลึก (รวมทั้งสิ้น 100 ตัวอย่าง) โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย พื้นสะพาน (Deck, DK) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) คานหลัก (Girder, GD) ไดอะแฟรม (Diaphragm, DP) และเสาตอม่อ (Pier Column, CL) ตารางที่ 5-6 แสดงผลการทดสอบหาค่าความลึกการเกิดคาร์บอนเนชัน (Carbonation Depth)

ตารางที่ 5-6 ผลการทดสอบหาค่าความลึกปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน (สะพานแม่หลาว, MR)

| ลำดับ | ชิ้นส่วน | ความลึกการพบคาร์บอนเนชัน (cm) | ระดับความลึกที่ทดสอบปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน | | | | |
|-------|----------|-------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|
| | | | 1 cm | 2 cm | 3 cm | 4 cm | 5 cm |
| 1 | CB1 | 1 | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 2 | CB2 | 1 | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 3 | CL1 | 0 | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 4 | CL2 | 0 | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 5 | CL3 | 0 | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 6 | CL4 | 0 | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 7 | GD1 | 4 | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด |
| 8 | GD2 | 4 | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด |
| 9 | GD3 | 2 | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 10 | GD4 | 1 | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 11 | DP1 | 2 | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 12 | DP2 | 2 | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 13 | DK1 | 0 | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 14 | DK2 | 0 | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 15 | DK3 | 2 | ไม่เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 16 | DK4 | 2 | ไม่เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 17 | DK5 | 5 | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด |
| 18 | DK6 | 3 | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 19 | DK7 | 4 | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด |
| 20 | DK8 | 5 | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด |

5.5.4. ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมของสะพานจำนวน 22 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไดอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) และเสาดอมือ (Pier Column, CL) ตารางที่ 5-7 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

ตารางที่ 5-7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม (สะพานแม่น้ำลาว, MR)

| ลำดับ | รหัสทดสอบ | RB/DB | ชิ้นส่วน | Tested Diameter (mm) | Yield Stress (ksc) | Ultimate Stress (ksc) |
|-------|-------------|-------|----------|----------------------|--------------------|-----------------------|
| 1 | MR-S5-GD1-1 | DB | GD | 12 | 3038 | 3473 |
| 2 | MR-S5-GD1-2 | DB | GD | 12 | 2873 | 3513 |
| 3 | MR-S5-GD2-1 | DB | GD | 12 | 5098 | 6302 |
| 4 | MR-S5-GD2-2 | DB | GD | 12 | 5055 | 6065 |
| 5 | MR-S5-SW1-1 | DB | SW | 16 | 4322 | 6462 |
| 6 | MR-S5-SW1-2 | DB | SW | 16 | 4241 | 6451 |
| 7 | MR-S5-SW1-3 | DB | SW | 16 | 4263 | 6517 |
| 8 | MR-S5-SW1-4 | DB | SW | 16 | 4190 | 6491 |
| 9 | MR-S5-DP1-2 | DB | DP | 25 | 2821 | 4160 |
| 10 | MR-S5-DP2-2 | DB | DP | 25 | 2558 | 4475 |
| 11 | MR-S5-SW2-1 | DB | SW | 16 | 2563 | 4874 |
| 12 | MR-S5-SW2-2 | DB | SW | 16 | 4285 | 6461 |
| 13 | MR-S5-SW2-3 | DB | SW | 16 | 4343 | 6565 |
| 14 | MR-S5-SW2-4 | DB | SW | 16 | 4275 | 6322 |
| 15 | MR-S5-DP1-1 | DB | DP | 12 | 2869 | 3609 |
| 16 | MR-S5-DP2-1 | DB | DP | 12 | 2887 | 3649 |
| 17 | MR-P4-CB-1 | DB | CB | 25 | 5622 | 6160 |
| 18 | MR-P4-CB-2 | RB | CB | 9 | 2533 | 3475 |
| 19 | MR-P4-CL2-1 | DB | CL | 25 | 4387 | 6587 |
| 20 | MR-P4-CL4-1 | DB | CL | 10 | 3930 | 5453 |
| 21 | MR-P4-CL6-1 | DB | CL | 25 | 4178 | 5940 |
| 22 | MR-P4-CL8-1 | DB | CL | 10 | 4601 | 6405 |

5.5.5. สรุปผลทดสอบวัสดุสะพาน

ตารางที่ 5-8 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่า ชิ้นส่วนทางเท้า (SW), คานตามยาว (GD), ไตอะแฟรม (DP), คานรัดหัวเสา (CB), และเสาตอม่อ (CL) มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเท่ากับ 171, 144, 213, 239 และ 257 ksc ตามลำดับ

ตารางที่ 5-8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

| Member | N | Avg (ksc) | SD (ksc) |
|------------------|---|-----------|----------|
| Side Walk (SW) | 8 | 171 | 61 |
| Girder (GD) | 4 | 144 | 52 |
| Diaphragm (DP) | 2 | 213 | 133 |
| Cap beam (CB) | 2 | 239 | 9 |
| Pier Column (CL) | 4 | 257 | 30 |

ตารางที่ 5-9 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่า ชิ้นส่วนทางเท้า (SW), คานตามยาว (GD), ไตอะแฟรม (DP), คานรัดหัวเสา (CB), และเสาตอม่อ (CL) มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดึงเท่ากับ 22.6, 19.9, 16.2, 21.3 และ 28.9 ksc ตามลำดับ

ตารางที่ 5-9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

| Member | N | Avg (ksc) | SD (ksc) |
|------------------|---|-----------|----------|
| Side Walk (SW) | 8 | 22.6 | 4.8 |
| Girder (GD) | 4 | 19.9 | 6.5 |
| Diaphragm (DP) | 2 | 16.2 | 5.4 |
| Cap beam (CB) | 2 | 21.3 | 15.0 |
| Pier Column (CL) | 4 | 28.9 | 3.1 |

ตารางที่ 5-10 แสดงผลการทดสอบค่าความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่า ชิ้นส่วนพื้นสะพาน (DK) คานรัดหัวเสา (CB) คานตามยาว (GD) ไตอะแฟรม (DP) และ เสาตอม่อ (CL) มีค่าเฉลี่ยความลึกการเกิดคาร์บอนเนชันเท่ากับ 2.6, 1.0, 2.8 ,2.0 และ 0.0 cm ตามลำดับ ถ้าคาร์บอนเนชันเกิดลึกถึงชั้นเหล็กเสริม เหล็กเสริมสามารถเกิดสนิมได้ ซึ่งชิ้นส่วนแต่ละประเภทอาจมีระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมไม่เท่ากัน และเมื่อพิจารณาความแปรปรวนของค่าที่ตรวจวัดได้ ชิ้นส่วนพื้นสะพาน (DK) คานรัดหัวเสา (CB) คานตามยาว (GD) ไตอะแฟรม (DP) และ เสาตอม่อ (CL) มีโอกาสที่ความลึกคาร์บอนเนชันจะเกิดลึกถึงชั้นเหล็กเสริมเท่ากับ 13.64%, 0%, 13.26%, 0% และ 0% ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่าปัจจุบัน ชิ้นส่วนพื้นสะพาน (DK) และคานตามยาว (GD) มีโอกาสจะเกิดสนิมได้เล็กน้อย (13.64% และ 13.26%)

ตารางที่ 5-10 ผลทดสอบความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน

| Member | N | Avg (cm) | SD (cm) | Covering (cm) | Prob (depth > field covering) (%) |
|------------------|---|-------------|------------|---------------|--------------------------------------|
| | | | | Field (GPR) | |
| Deck (DK) | 8 | 2.6 | 2.0 | 5.0 | 13.64% |
| Cap beam (CB) | 2 | 1.0 | 0.0 | 5.1 | - |
| Girder (GD) | 4 | 2.8 | 1.5 | 4.8 | 13.26% |
| Diaphragm (DP) | 2 | 2.0 | 0.0 | 6.8 | - |
| Pier Column (CL) | 4 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | - |

ตารางที่ 5-11 แสดงผลการทดสอบเหล็กข้ออ้อย (DB) ของสะพานเมื่อนำข้อมูล จำนวน 21 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 3924 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 899 ksc และเหล็กกลม (RB) จำนวน 1 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 2533 ksc ข้อมูลการทดสอบวัสดุจะถูกนำไปใช้ในการออกแบบเสริมกำลังเสริมสะพานในลำดับถัดไป

ตารางที่ 5-11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย (DB)

| Member | Yield Tensile Strength (ksc) | | | Ultimate Tensile Strength (ksc) | | |
|------------------|------------------------------|------|------|---------------------------------|------|------|
| | N | Avg | SD | N | Avg | SD |
| Cap beam (CB) | 1 | 5622 | - | 1 | 6160 | - |
| Diaphragm (DP) | 4 | 2784 | 153 | 4 | 3973 | 418 |
| Girder (GD) | 4 | 4016 | 1227 | 4 | 4838 | 1557 |
| Pier Column (CL) | 4 | 4274 | 287 | 4 | 6096 | 508 |
| Sidewalk (SW) | 8 | 4060 | 607 | 8 | 6268 | 567 |
| All | 21 | 3924 | 899 | 21 | 5521 | 1193 |

5.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานแม่ฮ่องสอน

ที่ปรึกษาได้ทำการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานแม่ฮ่องสอนที่มีความยาวช่วงสะพาน (Span) 12 เมตร โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต (Static Test) และแบบพลวัต (Dynamic Test) และการทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน (Normal Traffic Test) โดยรายละเอียดการดำเนินงานมีดังนี้

5.6.1. อุปกรณ์การตรวจวัด

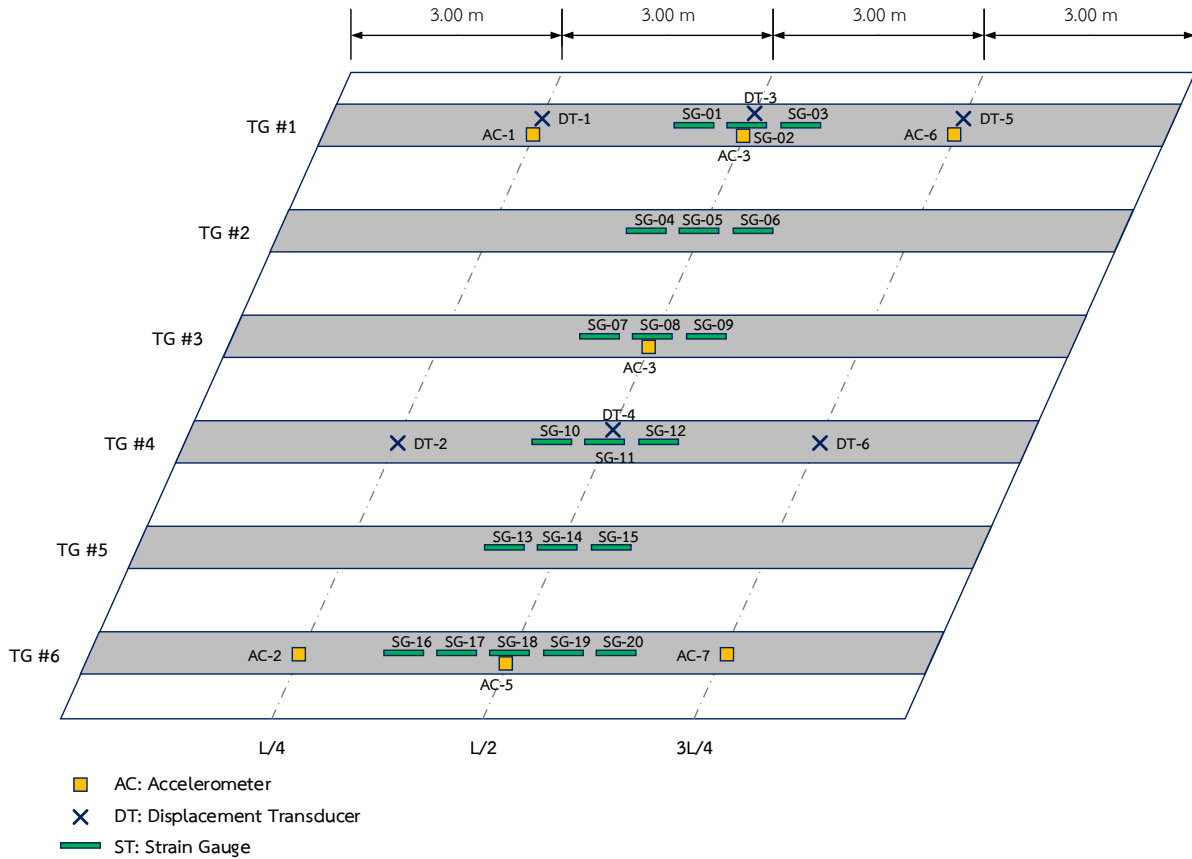
ที่ปรึกษาได้ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดพฤติกรรมของโครงสร้างสะพาน ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด อุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ และอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว รวมถึงอุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยมีจำนวนดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5-12 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

| ลำดับ | อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด | จำนวน |
|-------|---|-------|
| 1 | อุปกรณ์วัดความเครียด (Strain Gauge) | 20 |
| 2 | อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ (Displacement Transducer) | 6 |
| 3 | อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว (Accelerometer) | 7 |
| 4 | อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Data Acquisition) | 1 |
| 5 | อุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop) | 1 |

5.6.2. ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

ที่ปรึกษาได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสะพาน ซึ่งแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 5-13 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

สำหรับการดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสะพานของทางที่ปรึกษาแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 5-14 ภาพการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสะพาน

5.6.3. น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

ที่ปรึกษาได้ทดสอบพฤติกรรมกรรมการรับน้ำหนักของสะพานภายใต้สภาวะควบคุม โดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 2 คัน โดยมีรายละเอียดระยะเพลารถและน้ำหนักบรรทุกดังนี้

ตารางที่ 5-13 น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

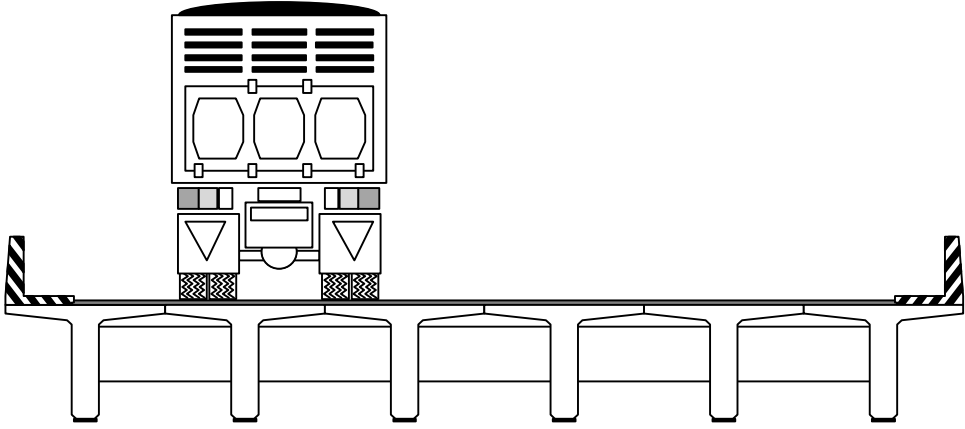
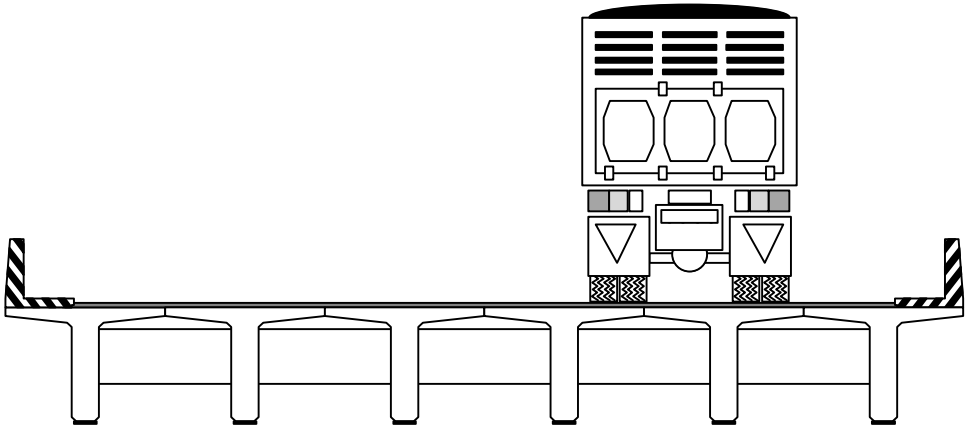
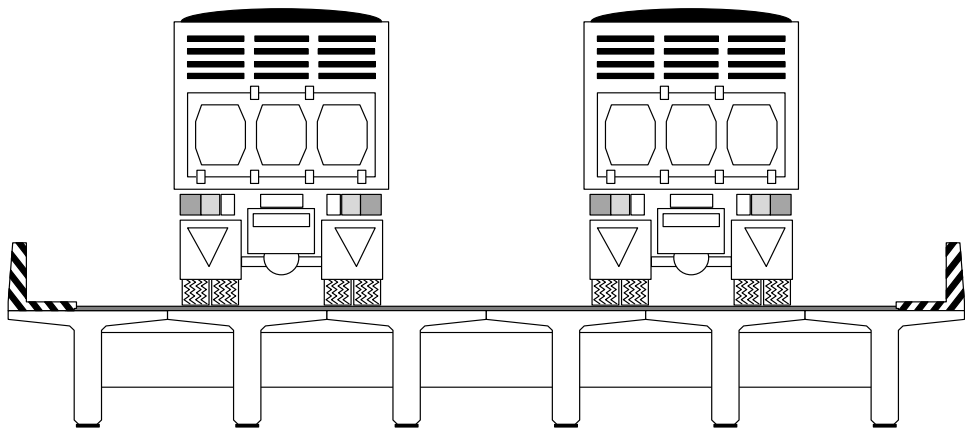
| คันที่ | 1 | 2 |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| ประเภท | รถบรรทุก (82-1597) | รถบรรทุก (82-0870) |
| น้ำหนักบรรทุก (ตัน) | 24.92 | 24.95 |
| ระยะเพลาคที่ 1 ถึง 2 (a, เมตร) | 4.05 | 4.05 |
| ระยะเพลาคที่ 2 ถึง 3 (b, เมตร) | 1.30 | 1.30 |
| ความกว้างฐานล้อ (c, เมตร) | 1.85 | 1.85 |

5.6.4. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต

การทดสอบแบบสถิต (Static Test) เป็นการนำรถบรรทุกทดสอบจอดตามตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนด 3 รูปแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

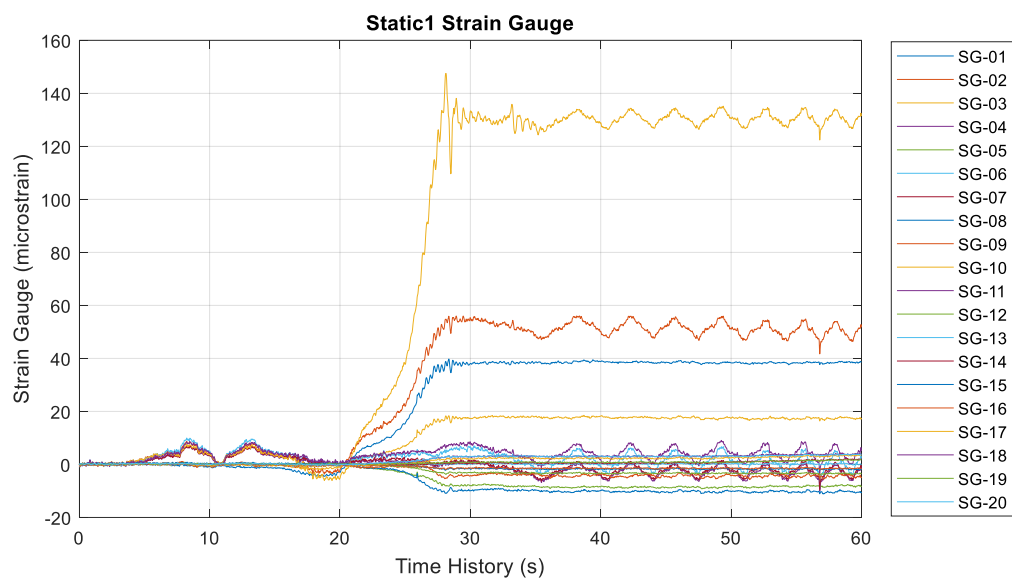
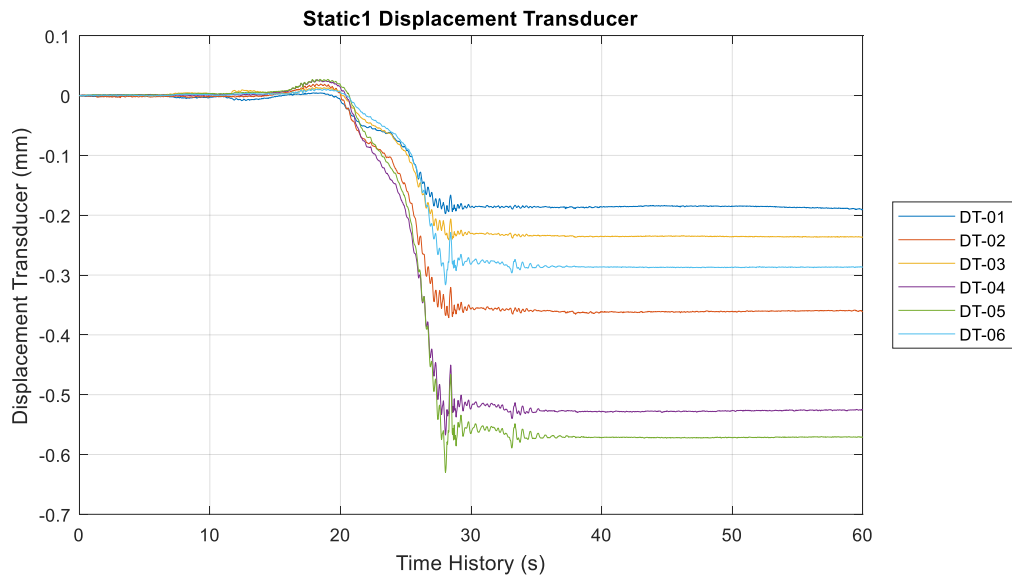
- Static 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางซ้าย
- Static 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางขวา
- Static 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน จอดเรียงกันที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วง ทั้งสองช่องจราจร

ตารางที่ 5-14 รูปแบบการทดสอบแบบสถิต ด้วยรถบรรทุกน้ำหนัก

| Case | Pattern |
|----------|--|
| Static 1 |  <p>The diagram shows a cross-section of a bridge deck supported by five piers. A single truck load is positioned on the deck, centered over the second pier from the left. The truck has a rectangular body with a grid pattern on top, representing a load spreader. Below the truck, there are three vertical supports, each with a hatched base, indicating the load is applied through these points.</p> |
| Static 2 |  <p>The diagram shows a cross-section of a bridge deck supported by five piers. A single truck load is positioned on the deck, centered over the fourth pier from the left. The truck has a rectangular body with a grid pattern on top, representing a load spreader. Below the truck, there are three vertical supports, each with a hatched base, indicating the load is applied through these points.</p> |
| Static 3 |  <p>The diagram shows a cross-section of a bridge deck supported by five piers. Two truck loads are positioned on the deck, one centered over the second pier from the left and the other centered over the fourth pier from the left. Each truck has a rectangular body with a grid pattern on top, representing a load spreader. Below each truck, there are three vertical supports, each with a hatched base, indicating the load is applied through these points.</p> |

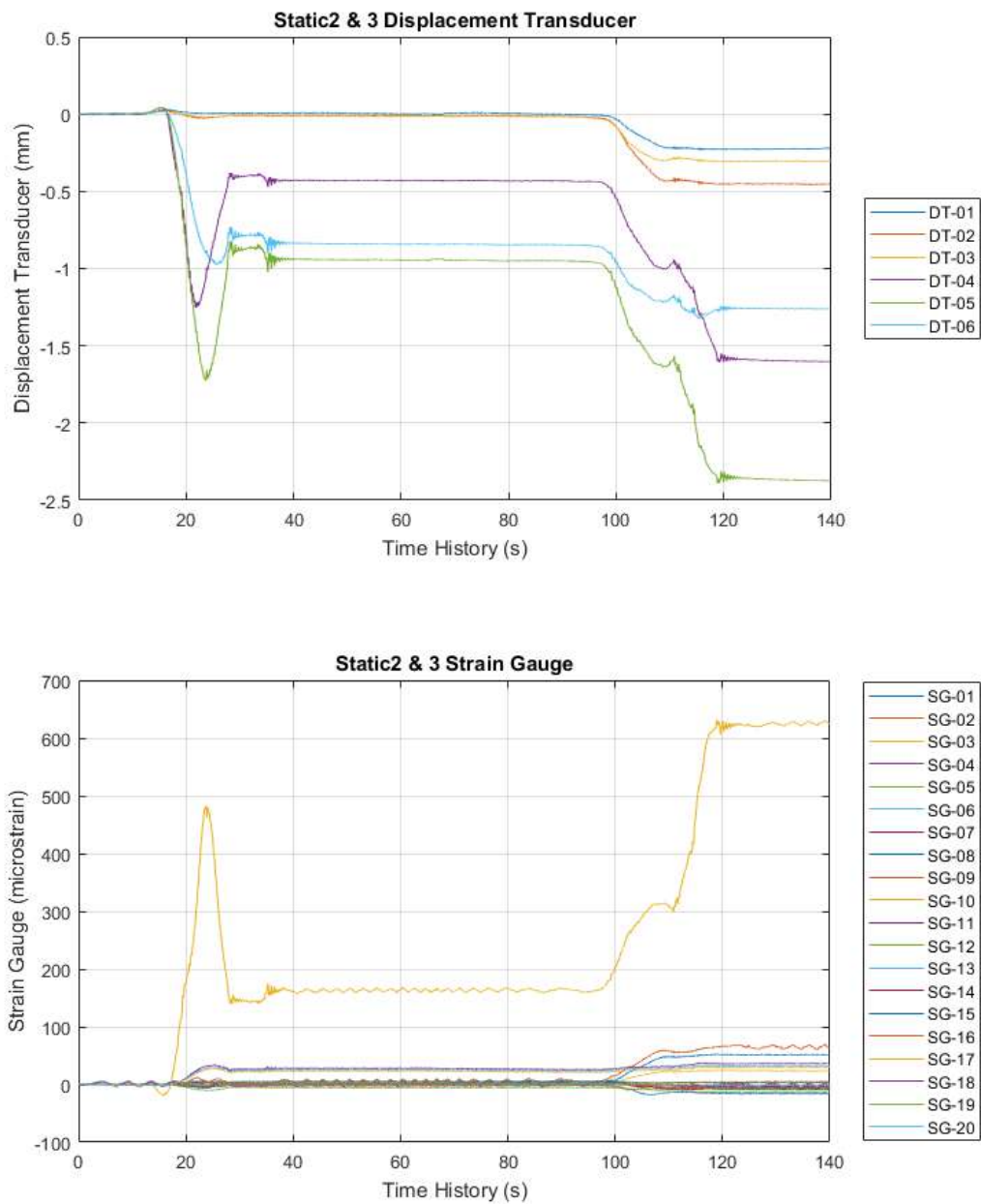


รูปที่ 5-15 ภาพการทดสอบแบบสถิต



รูปที่ 5-16 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 1

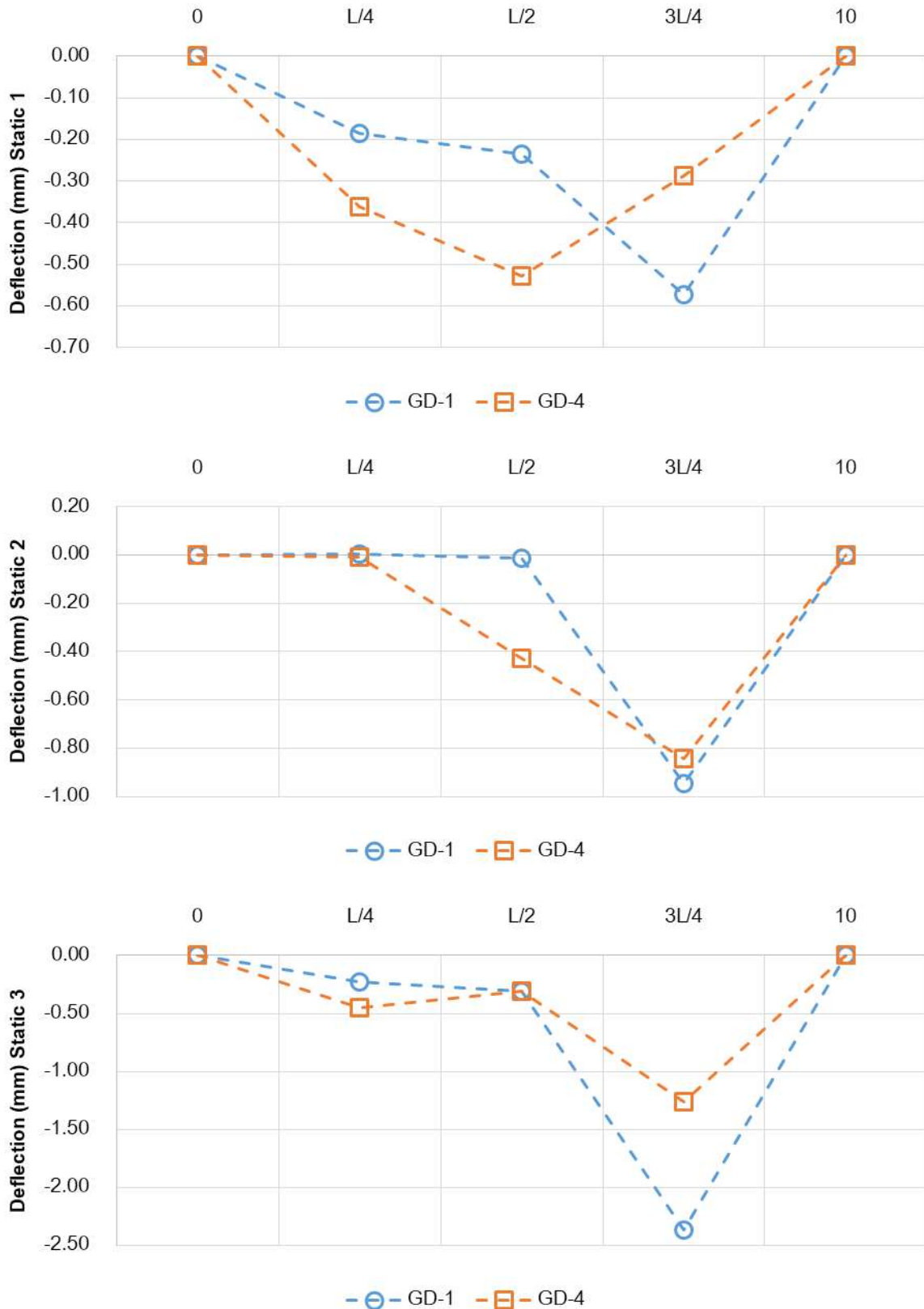




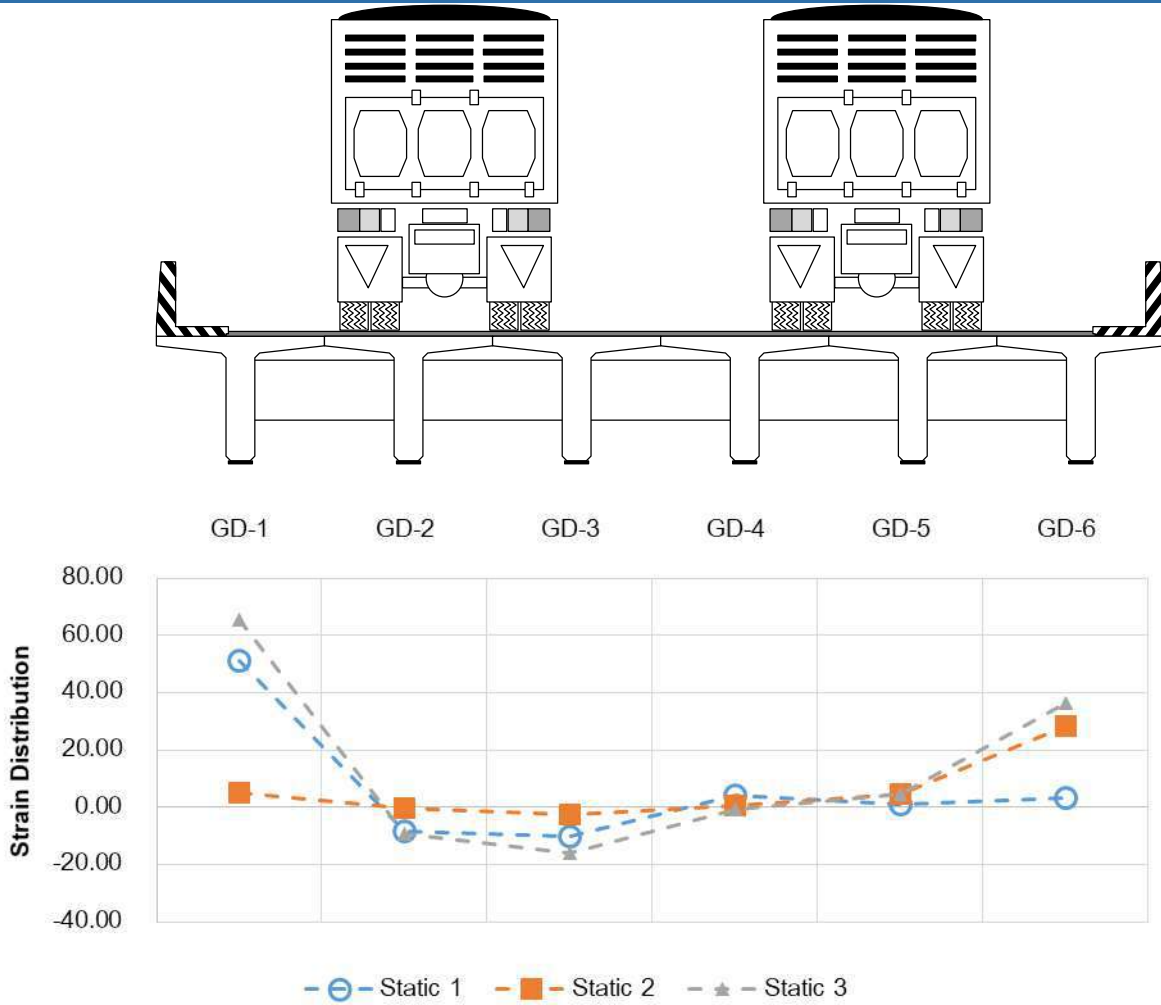
รูปที่ 5-17 สัญญาณการตรวจวัดพฤติกรรมสะพาน Static 2 และ Static 3

ตารางที่ 5-15 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานแบบสถิต

| Sensor | Position L/2 | | |
|--------|--------------|----------|----------|
| | Static 1 | Static 2 | Static 3 |
| DT 01 | -0.185 | 0.002 | -0.226 |
| DT 02 | -0.361 | -0.008 | -0.452 |
| DT 03 | -0.236 | -0.013 | -0.305 |
| DT 04 | -0.527 | -0.430 | -1.597 |
| DT 05 | -0.572 | -0.946 | -2.367 |
| DT 06 | -0.287 | -0.843 | -1.260 |
| SG 01 | 38.331 | 2.229 | 51.225 |
| SG 02 | 51.250 | 4.850 | 65.258 |
| SG 03 | 17.383 | 1.117 | 23.546 |
| SG 04 | -3.015 | 1.533 | -2.831 |
| SG 05 | -8.321 | -0.319 | -9.273 |
| SG 06 | 1.227 | 2.017 | 0.548 |
| SG 07 | -2.521 | 0.298 | -4.713 |
| SG 08 | -10.190 | -2.588 | -16.027 |
| SG 09 | -4.252 | -2.079 | -5.704 |
| SG 10 | 0.422 | -2.423 | -6.902 |
| SG 11 | 4.181 | 0.608 | -0.696 |
| SG 12 | -3.338 | -5.454 | -13.108 |
| SG 13 | 0.190 | 0.069 | -1.000 |
| SG 14 | 0.817 | 4.404 | 4.677 |
| SG 15 | -1.731 | 5.563 | -7.458 |
| SG 16 | -1.658 | 1.323 | -5.321 |
| SG 17 | 2.442 | 23.490 | 29.848 |
| SG 18 | 3.225 | 28.313 | 36.358 |
| SG 19 | 0.956 | 3.906 | 3.208 |
| SG 20 | 3.142 | 25.771 | 32.379 |



รูปที่ 5-18 พฤติกรรมการแอ่นตัวของคานตัวที่ 1 และตัวที่ 4



รูปที่ 5-19 พฤติกรรมการกระจายแรงตามขวางของสะพาน

5.6.5. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบพลวัต

การทดสอบแบบพลวัต (Dynamic Test) เป็นการทดสอบโดยใช้รถบรรทุกวิ่งผ่านช่วงสะพาน ทดสอบหลายรูปแบบโดยมีรายละเอียดดังนี้

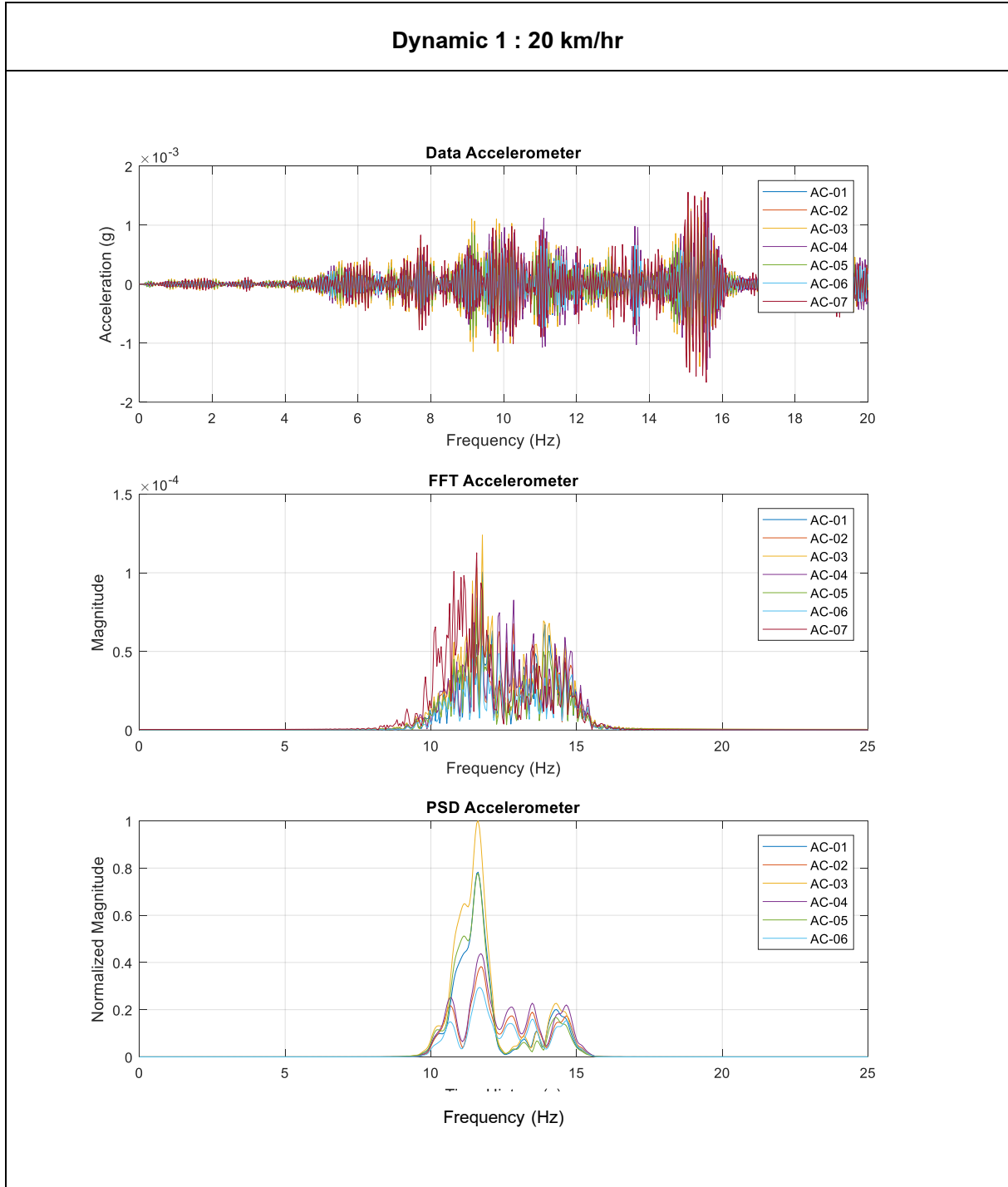
- Dynamic 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 10 กม./ชม. กึ่งกลางสะพาน
- Dynamic 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 20 กม./ชม. กึ่งกลางสะพาน
- Dynamic 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน วิ่งด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. กึ่งกลางสะพาน





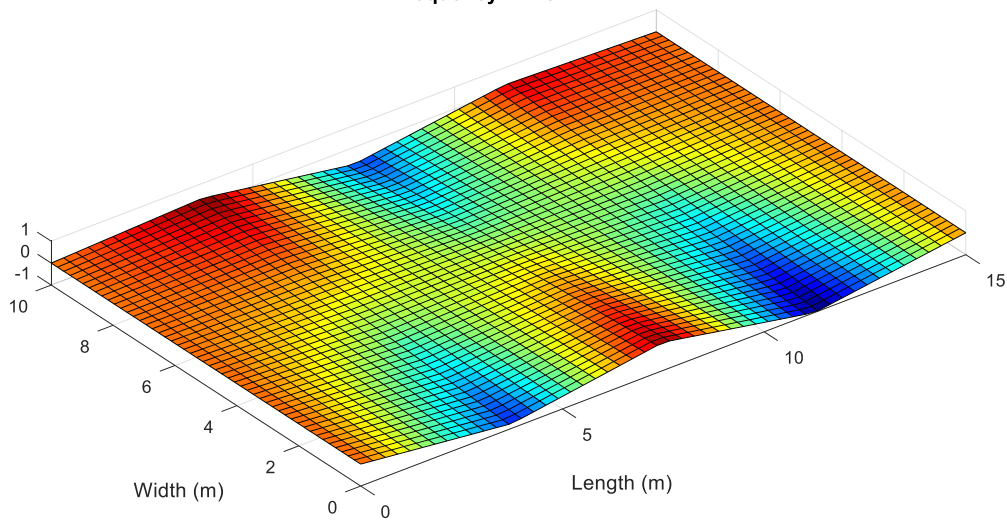
รูปที่ 5-20 ภาพการทดสอบแบบพลวัต

สำหรับการวิเคราะห์ผลการตรวจวัดพฤติกรรมแบบพลวัตเพื่อหาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ ประกอบด้วย ค่าความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) และค่าตัวคูณเพิ่มแรงกระแทก (Impact Factor) สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

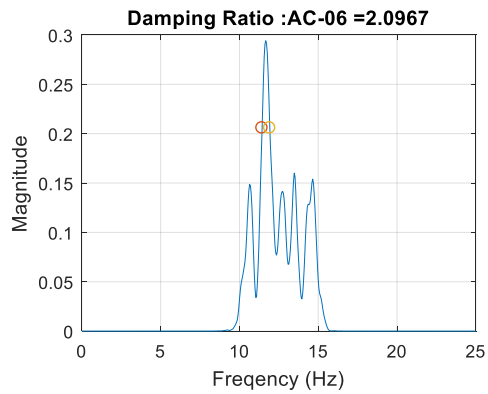
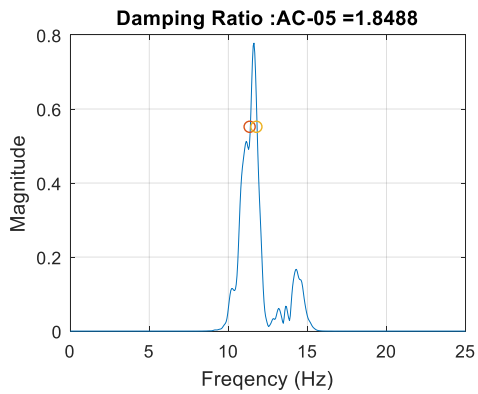
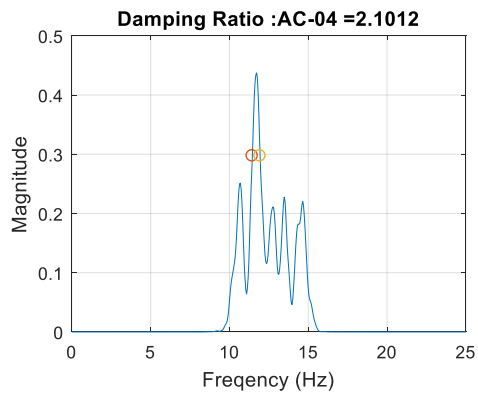
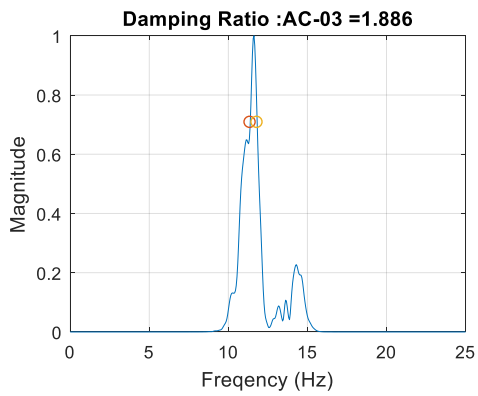
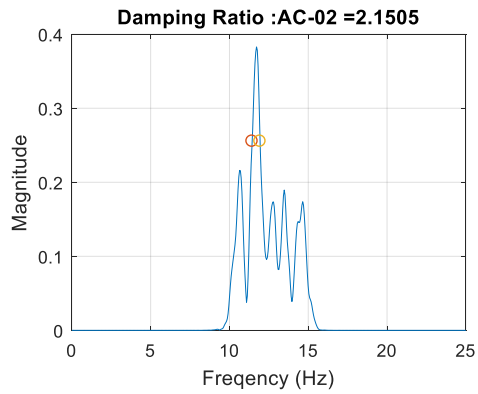
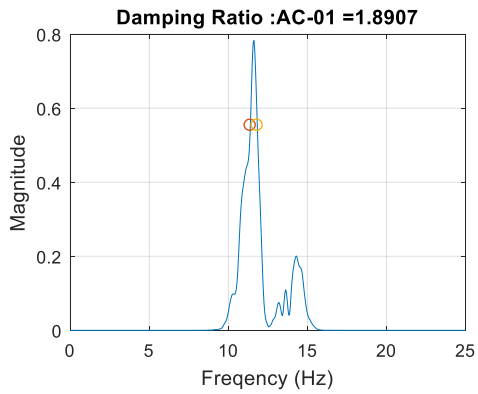


Dynamic 1 : 20 km/hr

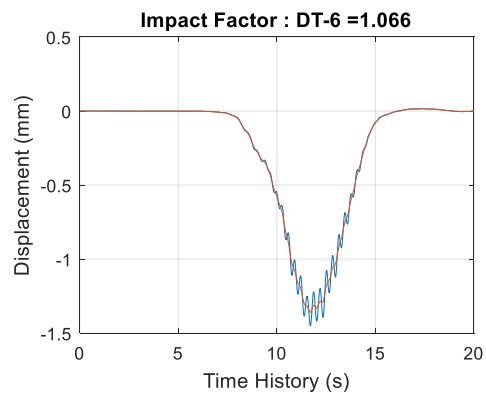
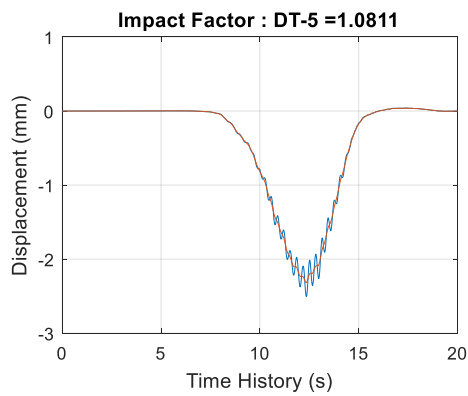
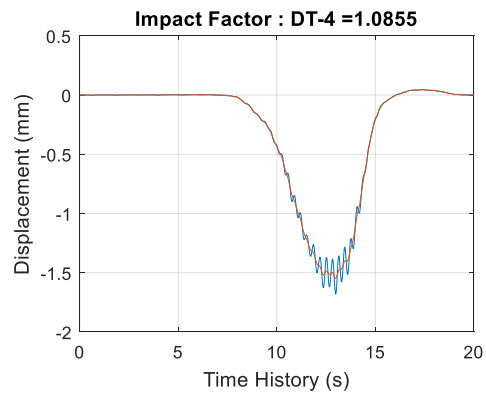
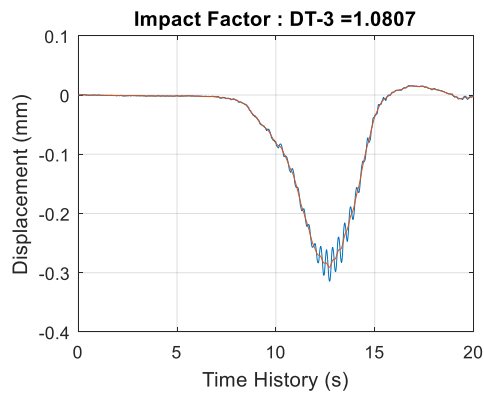
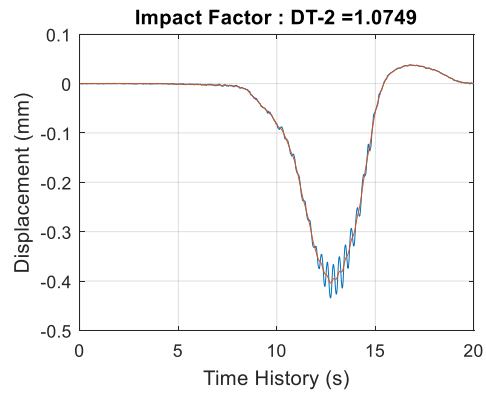
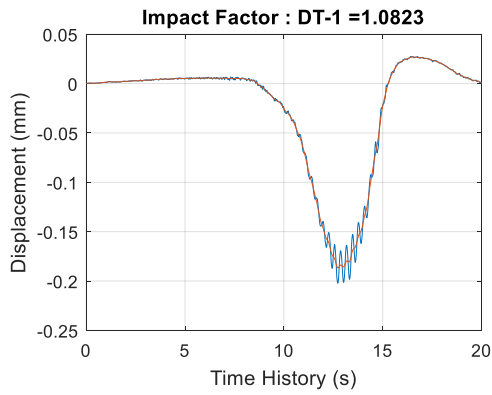
Frequency = 11.6211 Hz



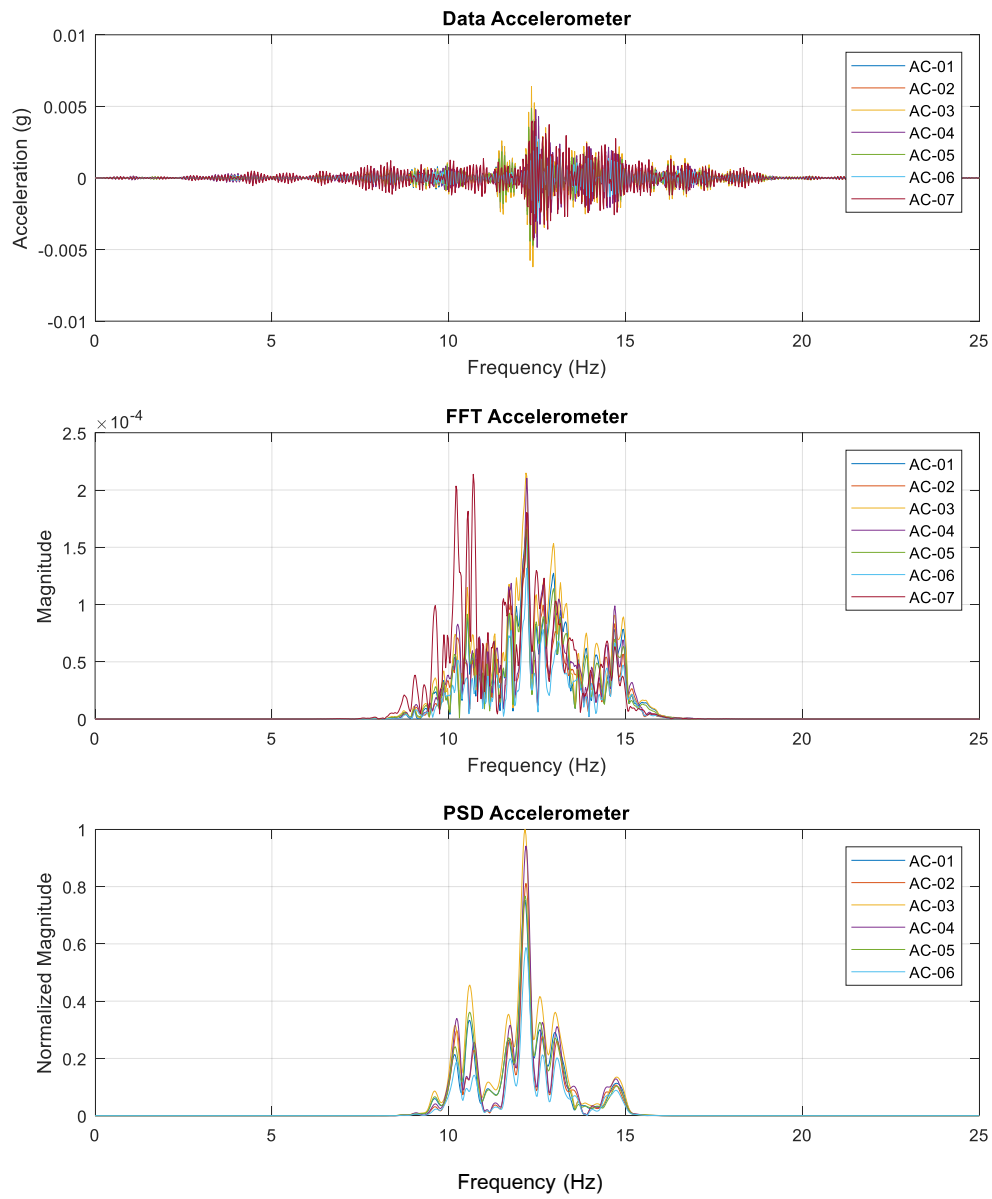
Dynamic 1 : 20 km/hr



Dynamic 1 : 20 km/hr

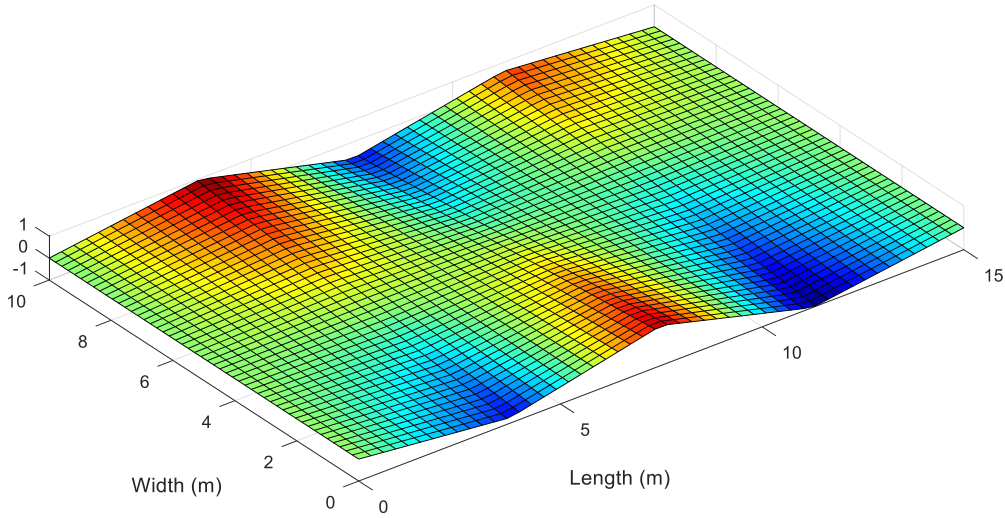


Dynamic 2 : 20 km/hr

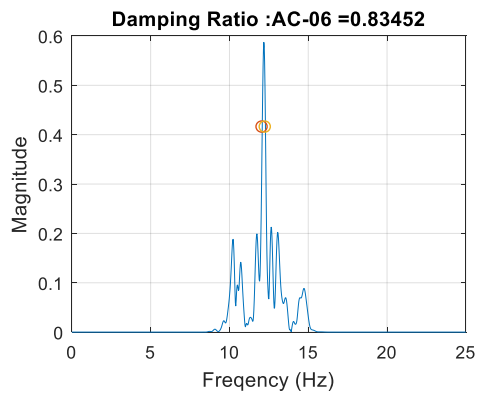
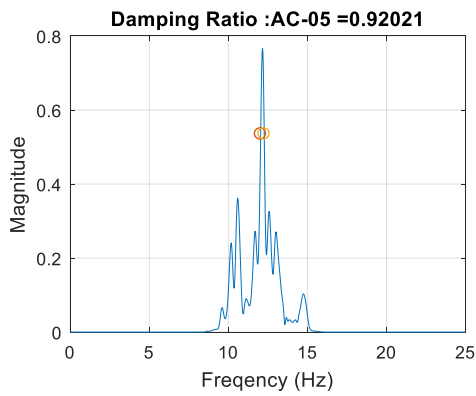
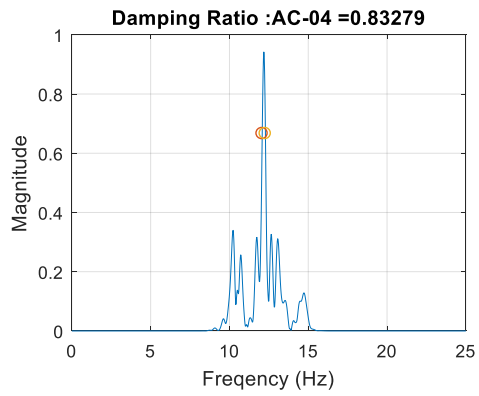
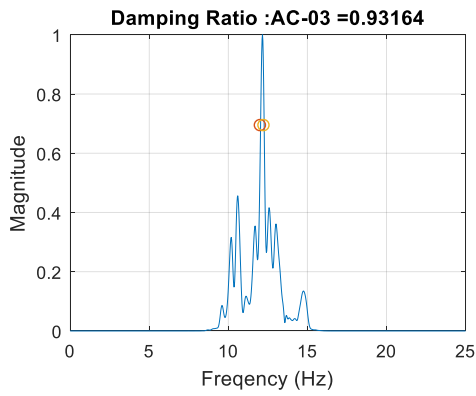
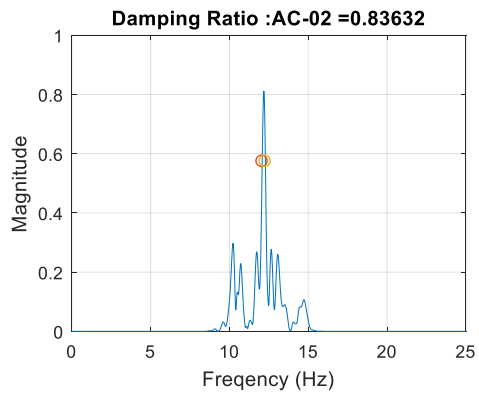
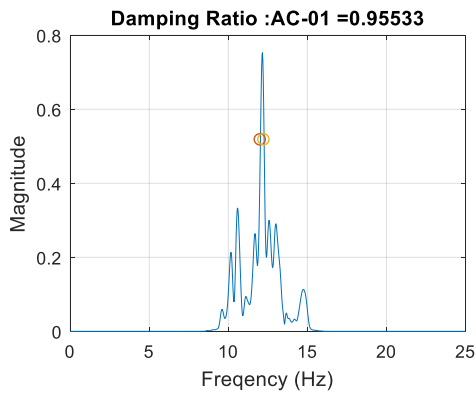


Dynamic 2 : 20 km/hr

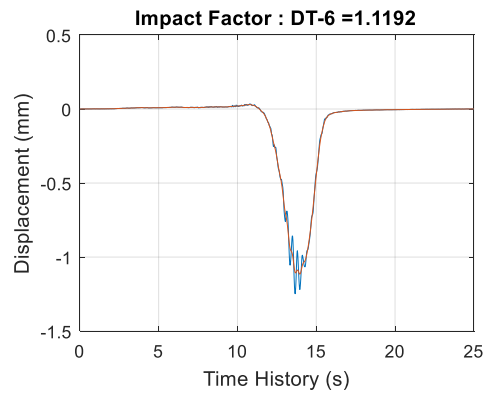
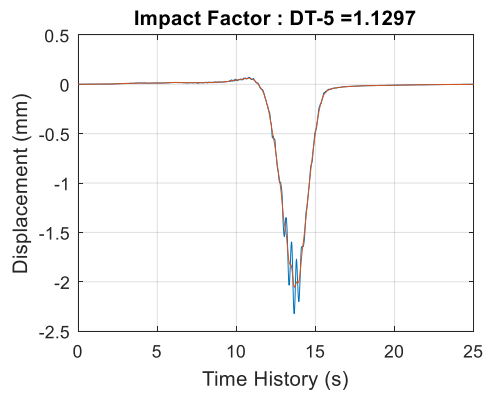
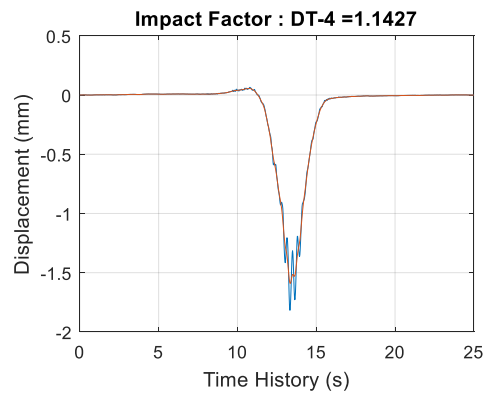
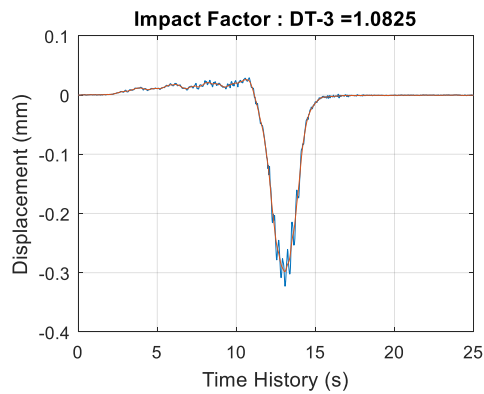
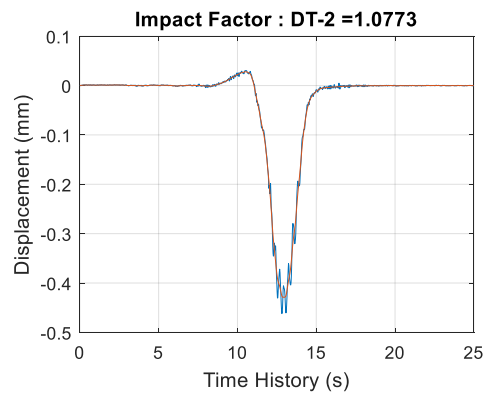
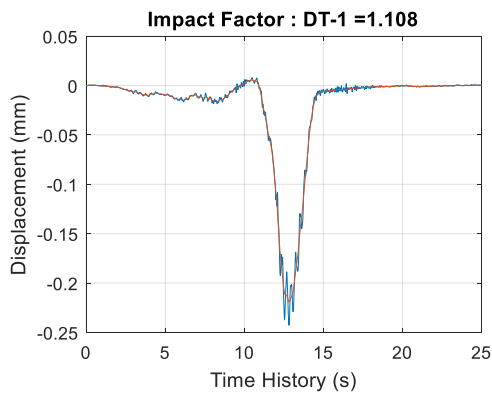
Frequency =12.1826 Hz



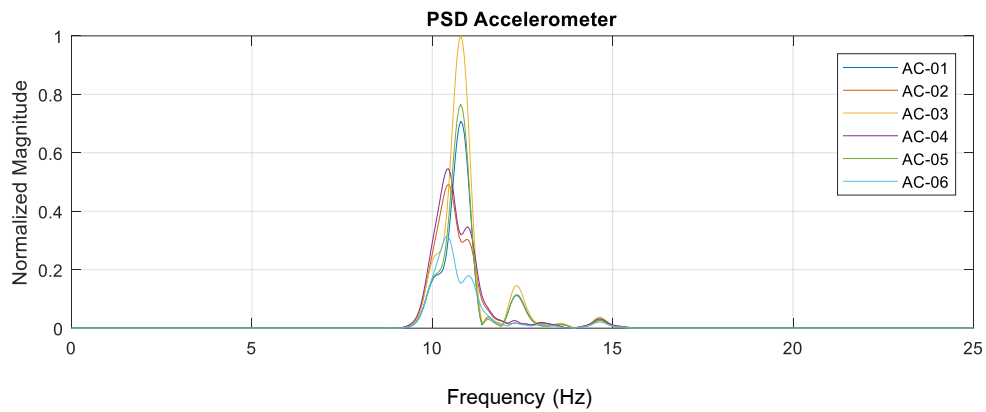
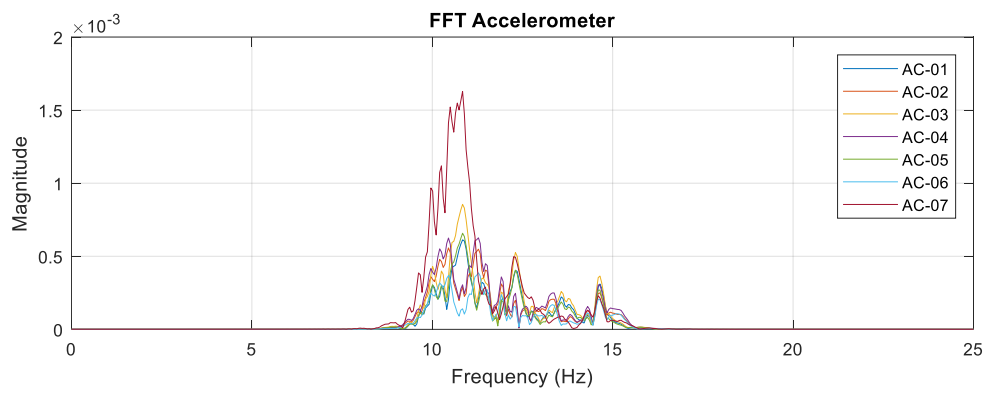
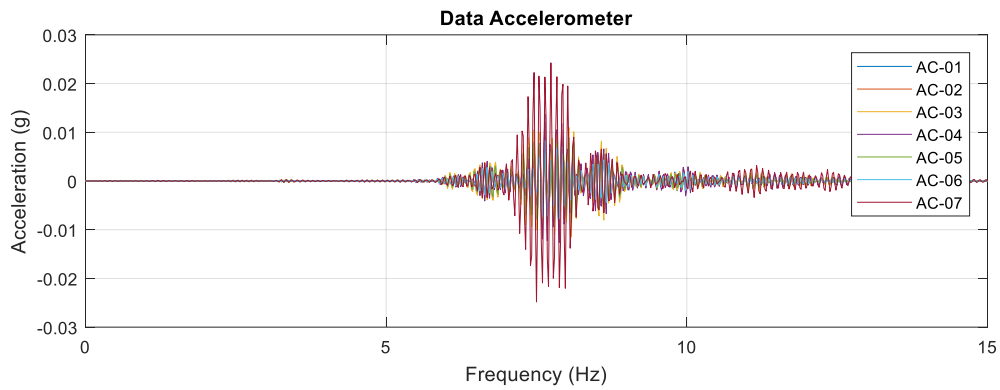
Dynamic 2 : 20 km/hr



Dynamic 2 : 20 km/hr

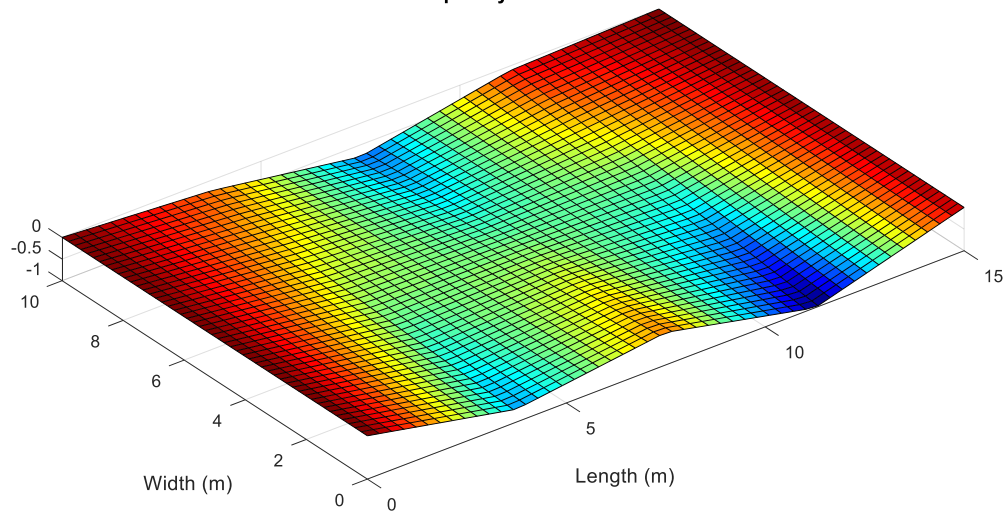


Dynamic 3 : 40 km/hr

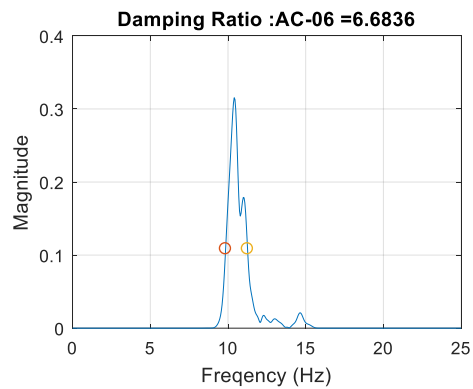
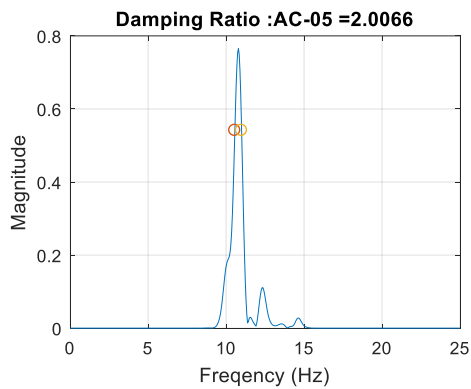
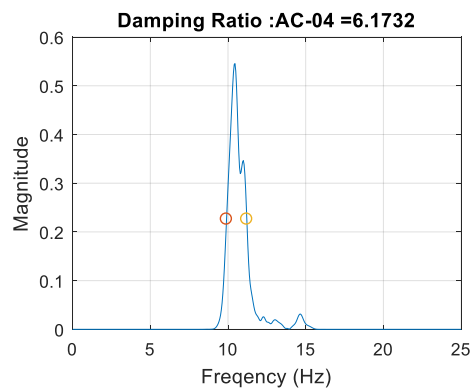
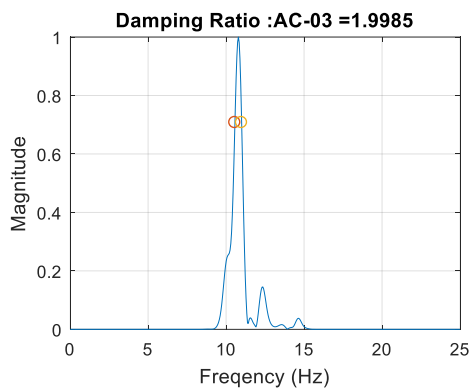
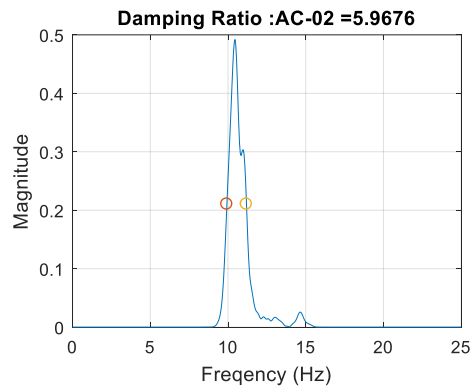
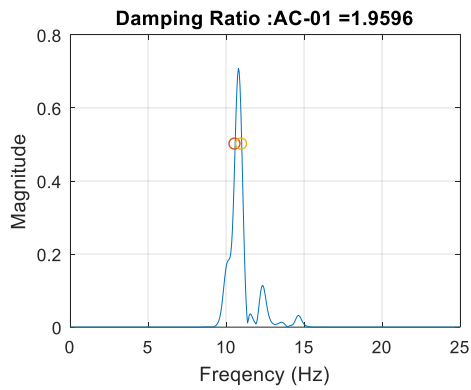


Dynamic 3 : 40 km/hr

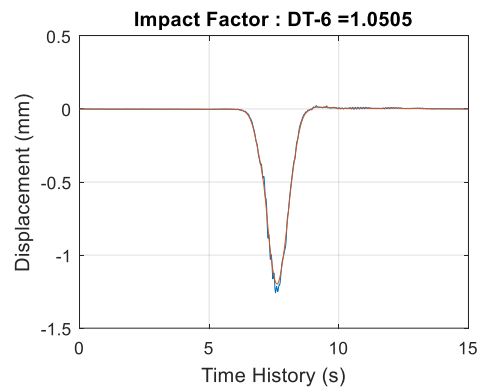
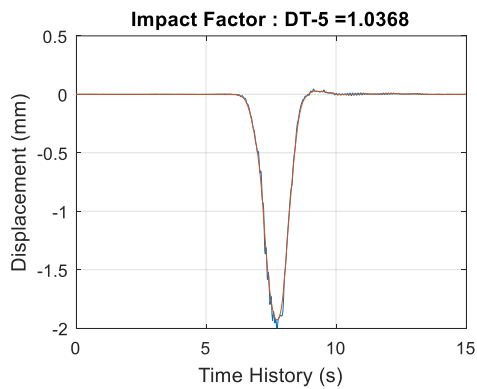
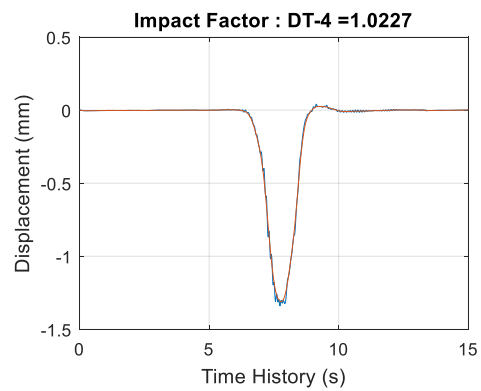
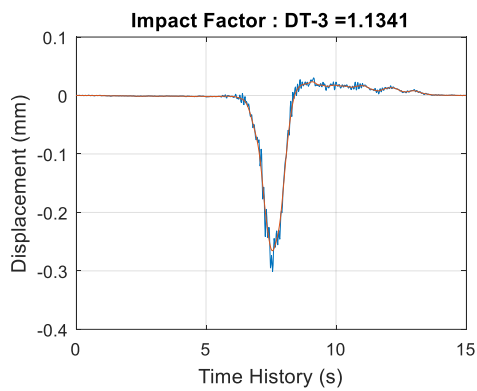
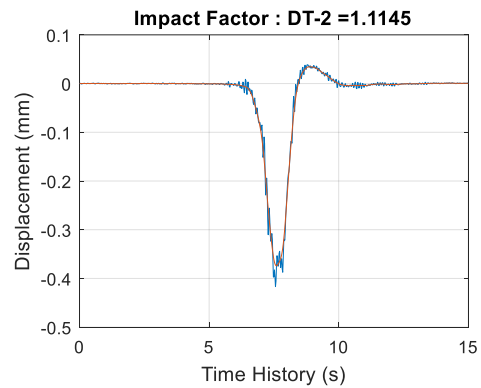
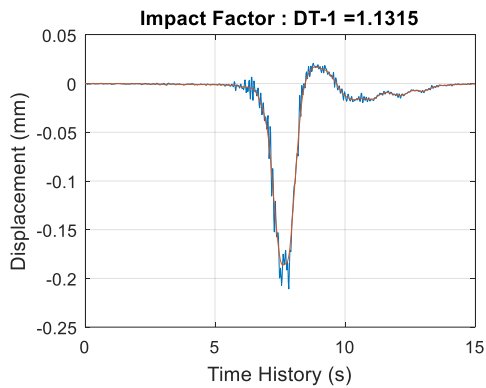
Frequency =10.791 Hz



Dynamic 3 : 40 km/hr



Dynamic 3 : 40 km/hr



ตารางที่ 5-16 ผลการวิเคราะห์ Natural Frequency, Mode Shape และ Damping Ratio

| Test | Freq. | Mode Shape | Damping Ratio | | | | | | |
|-----------|--------|-------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | AC 01 | AC 02 | AC 03 | AC 04 | AC 05 | AC 06 | AVG |
| Dynamic 1 | 11.621 | 1st Bending | 1.891 | 2.151 | 1.886 | 2.101 | 1.849 | 2.097 | 1.996 |
| Dynamic 2 | 12.183 | 1st Bending | 0.955 | 0.836 | 0.932 | 0.833 | 0.92 | 0.835 | 0.885 |
| Dynamic 3 | 10.791 | 1st Bending | 1.96 | 5.968 | 1.998 | 6.173 | 2.007 | 6.684 | 4.132 |

ตารางที่ 5-17 ผลการวิเคราะห์ Impact Factor

| Sensor | Impact Factor | | | | | | |
|-----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | DT 01 | DT 02 | DT 03 | DT 04 | DT 05 | DT 06 | Average |
| Dynamic 1 | 1.082 | 1.075 | 1.081 | 1.086 | 1.081 | 1.066 | 1.079 |
| Dynamic 2 | 1.108 | 1.077 | 1.083 | 1.143 | 1.13 | 1.119 | 1.110 |
| Dynamic 3 | 1.132 | 1.115 | 1.134 | 1.023 | 1.037 | 1.051 | 1.082 |

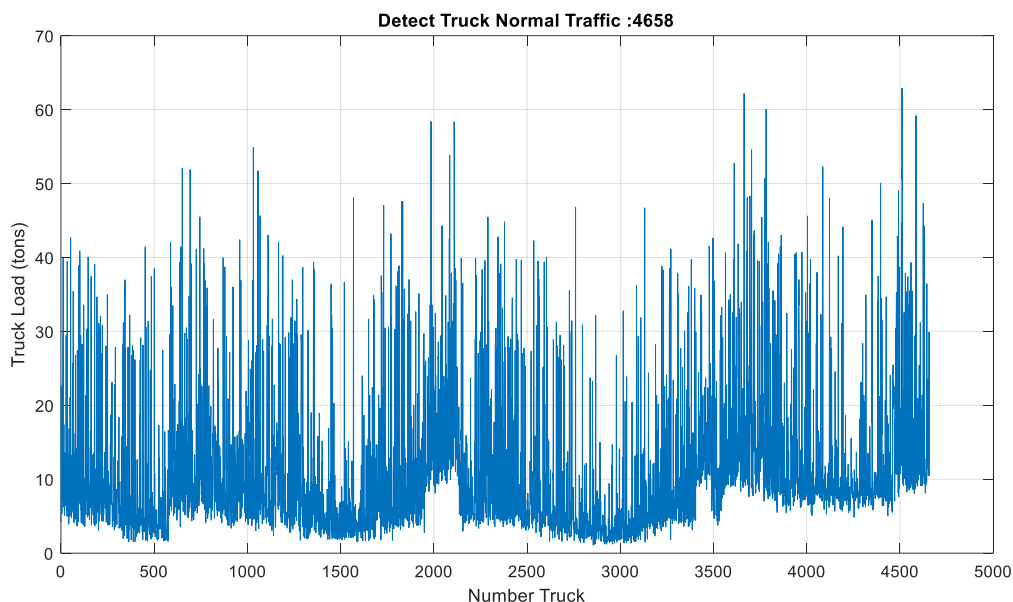
5.6.6. การทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน

ที่ปรึกษาได้ทำการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge บริเวณใต้ท้องคานแต่ละคาน (โดยเฉลี่ยค่า Strain Gauge ทั้ง 5 ตัวที่ติดตั้งในแต่ละคาน) กับน้ำหนักบรรทุกจากการทดสอบแบบ Static Load Test ซึ่งมีค่าแสดงได้ดังตารางที่ 5-18

ตารางที่ 5-18 การสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกทุกทดสอบ

| Sensor | Strain Gauge (microstrain) | | |
|-------------------|----------------------------|----------|----------|
| | Static 1 | Static 2 | Static 3 |
| AVG SG at GD01 | 35.655 | 2.732 | 46.676 |
| AVG SG at GD02 | -3.370 | 1.077 | -3.852 |
| AVG SG at GD03 | -5.654 | -1.456 | -8.815 |
| AVG SG at GD04 | 43.824 | 52.625 | 203.499 |
| AVG SG at GD05 | -0.241 | 3.345 | -1.260 |
| AVG SG at GD06 | 1.621 | 16.561 | 19.294 |
| SUM | 71.835 | 74.884 | 255.543 |
| Truck Load (tons) | 25 | 25 | 50 |

จากนั้นใช้ผลการสอบเทียบค่าผลรวมของ Strain Gauge ในการประมาณการน้ำหนักบรรทุก
จากผลการตรวจวัดค่าผลรวมของ Strain Gauge ภายใต้การจราจรปกติเป็นเวลา 3 วัน ซึ่งได้ผลแสดง
ดังรูปที่ 5-21

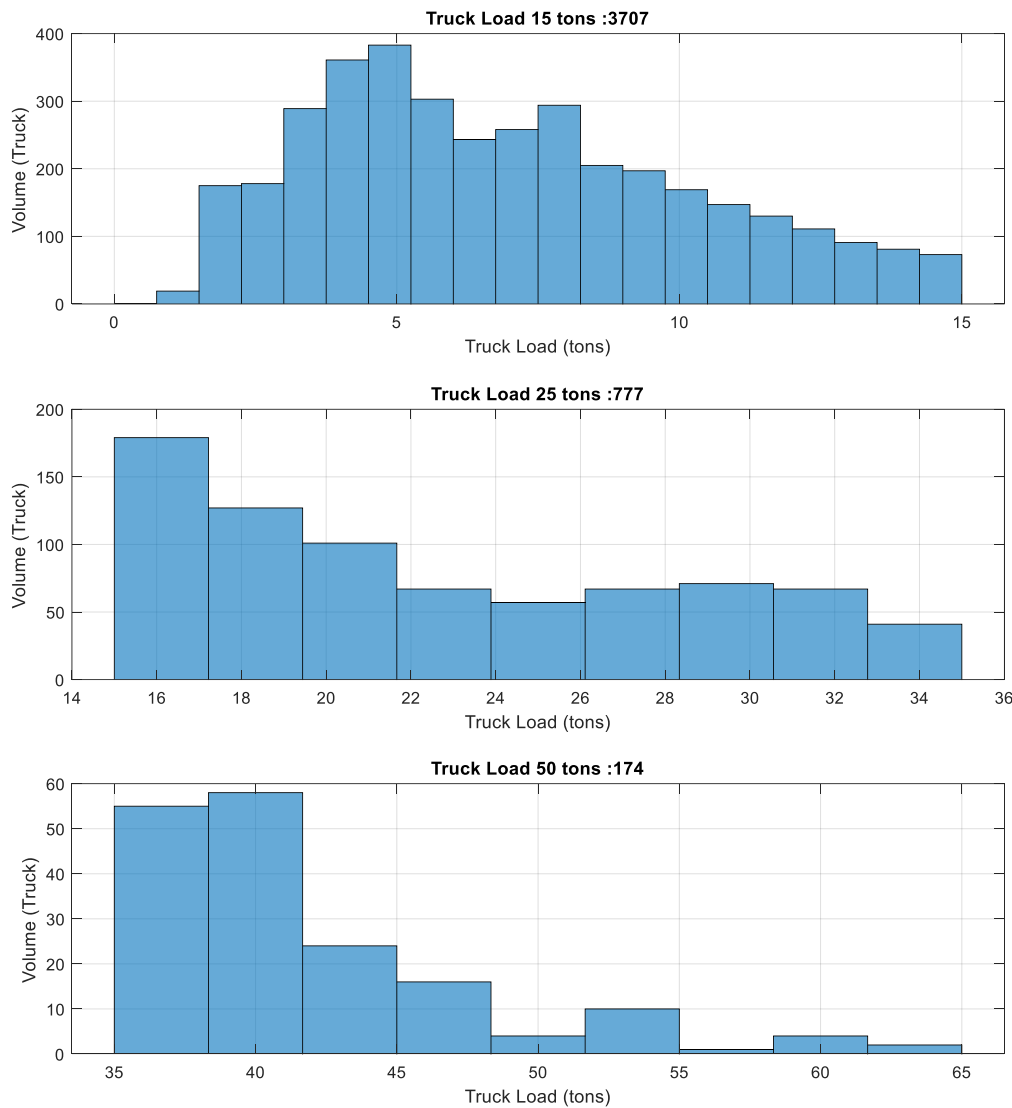


รูปที่ 5-21 ผลการสอบเทียบค่า Strain Gauge เพื่อประเมินน้ำหนักบรรทุก

ที่ปรึกษาได้แบ่งกลุ่มน้ำหนักบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพาน จำนวน 3 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 15 ตัน (น้ำหนักบรรทุกน้อยกว่า 15 ตัน)
- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 25 ตัน (น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 15 ตัน ถึง 35 ตัน) และ
- กลุ่มน้ำหนักบรรทุก 50 ตัน (น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 35 ตัน ถึง 65 ตัน)

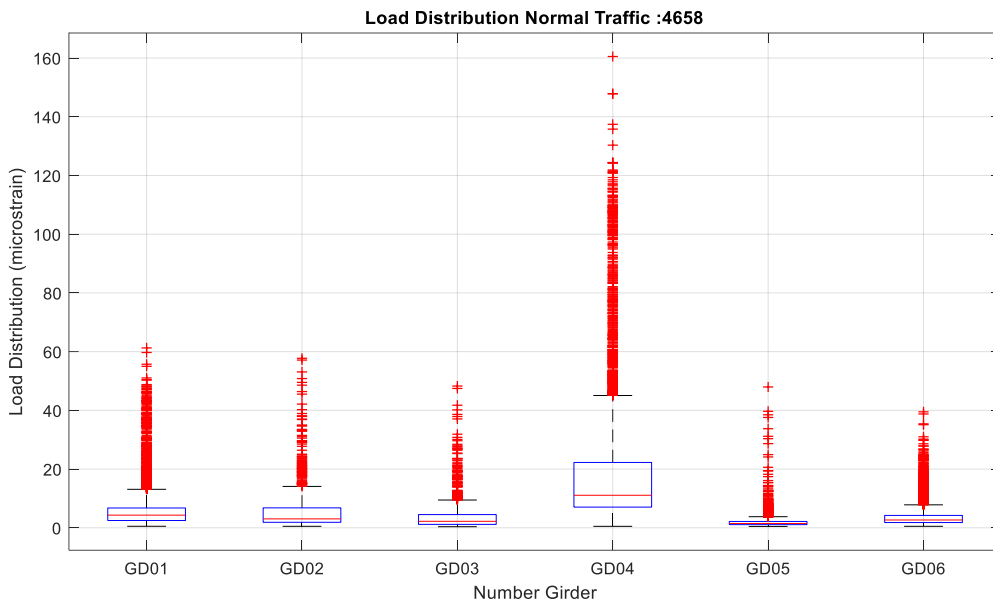
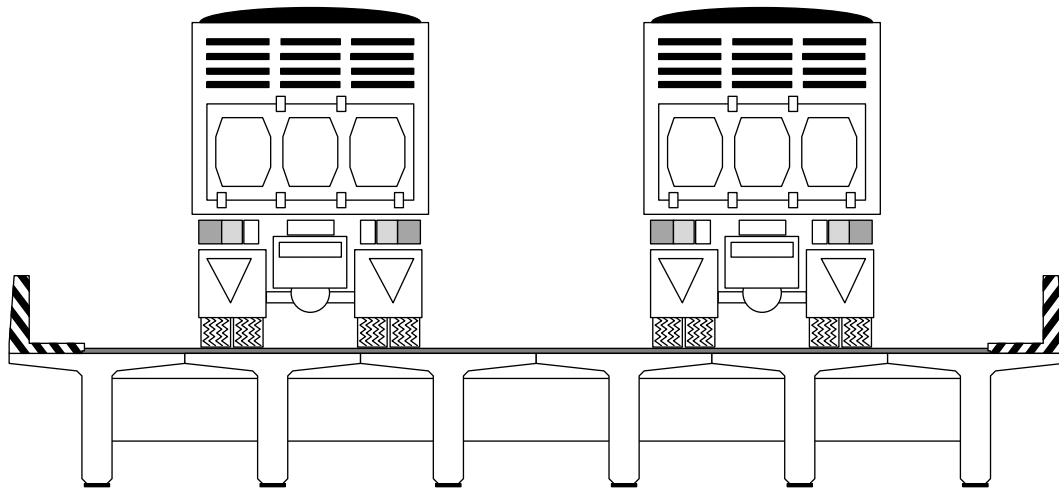
เมื่อนำผลการสอบเทียบน้ำหนักบรรทุกของแต่ละกลุ่มน้ำหนักมาหาค่าทางสถิติของข้อมูล
สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 5-22



| Group Truck | Truck 15 (tons) | Truck 25 (tons) | Truck 50 (tons) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Volume (trucks) | 3,707 | 777 | 174 |
| %Volume | 79.58% | 16.68% | 3.74% |
| Mean (tons) | 6.945 | 22.721 | 41.613 |
| Std (tons) | 3.318 | 5.887 | 5.960 |

รูปที่ 5-22 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติของน้ำหนักบรรทุกทุกภายใต้สภาวะใช้งาน

และเมื่อนำข้อมูลที่วิเคราะห์ที่ได้มาทำการหาค่าการกระจายน้ำหนักในโครงสร้างคานตามแนว
ขวางจะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5-23



รูปที่ 5-23 การกระจายน้ำหนักในโครงสร้างคาน

บทที่ 6 สะพานห้วยเงิน

6.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานห้วยเงิน (Tested Span: 12 m)

สะพานห้วยเงิน ตั้งอยู่ที่สำนักทางหลวงที่ 8 มหาสารคาม แขวงทางหลวงร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด หมายเลขทางหลวง 2387 กม.กลางสะพาน 21+072 ก่อสร้างเสร็จเมื่อปี พ.ศ. 2534 ปริมาณรถบรรทุกหนัก 512 คัน/วัน ประเภทโครงสร้าง TG(1x12) ความกว้างผิวทาง 7.5 เมตร



รูปที่ 6-1 รูปทั่วไปของสะพานห้วยเงิน

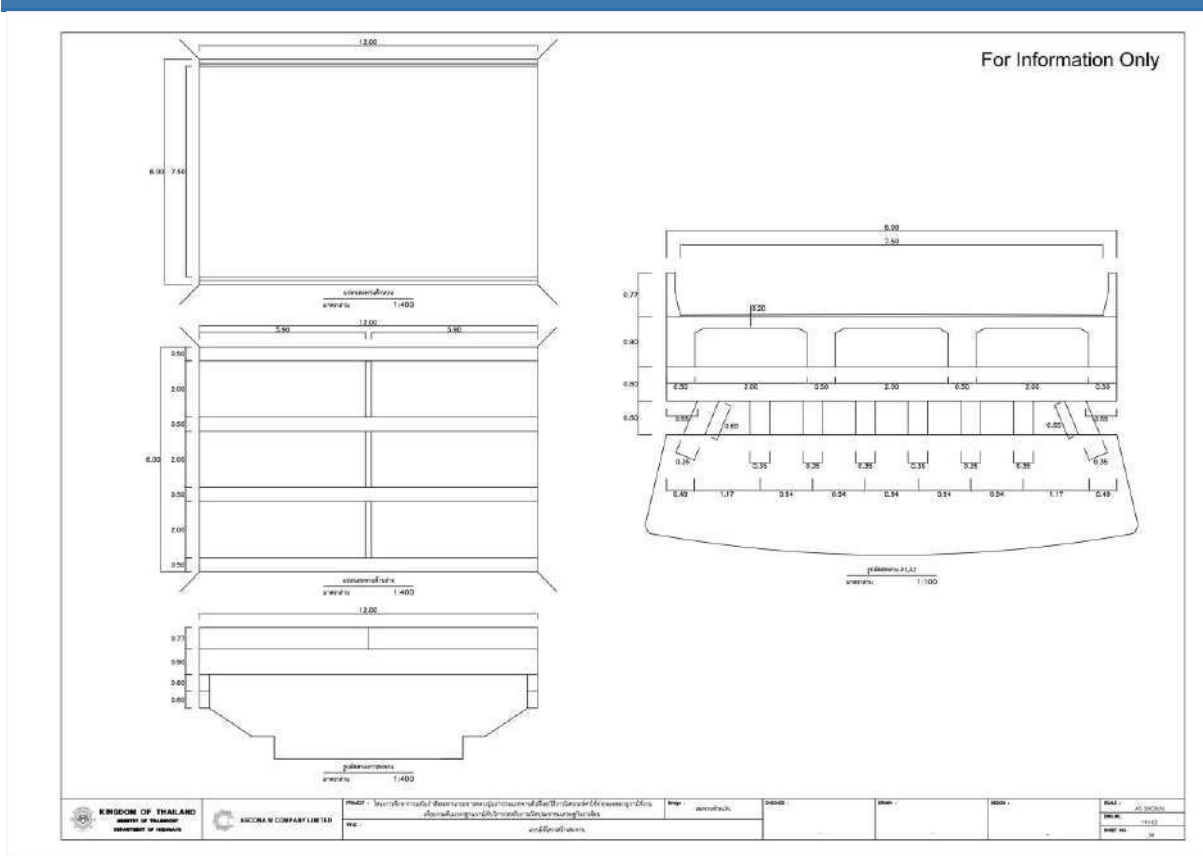
6.2 ผลการสำรวจสภาพโครงสร้างสะพาน

6.2.1. การสำรวจมิติสะพาน

การสำรวจมิติของสะพานกระทำโดยถ่ายภาพสะพานในบริเวณต่าง ๆ ทั้งด้านบนและด้านล่าง และใช้เครื่องมือวัดระยะประเภทต่าง ๆ เช่น ตลับเมตร เทปวัด และเลเซอร์วัดระยะทาง ในการตรวจวัดขนาดชิ้นส่วนและมิติต่าง ๆ ของสะพาน ดังตัวอย่างการสำรวจมิติสะพานที่แสดงในรูปที่ 6-2 ในกรณีที่ชิ้นส่วนโครงสร้างมีขนาดใหญ่มากหรืออยู่สูงมาก จะใช้นั่งร้านเพื่อช่วยในการเข้าถึงชิ้นส่วนนั้น ๆ ตัวอย่างบางส่วนของแบบการสำรวจมิติของสะพานในบริเวณต่าง ๆ ได้แสดงดังรูปที่ 6-3



รูปที่ 6-2 การตรวจวัดมิติของสะพาน (ทั่วไป)



รูปที่ 6-3 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจมิติของสะพานโดยรวม
 (แบบทั้งหมดขนาด A3 แสดงในแบบสำรวจสะพาน)

6.2.2. การสำรวจความเสียหายสะพาน

โครงการนี้ใช้วิธีการตรวจสอบความเสียหายด้วยสายตา (Visual Inspection) ในการรวบรวมข้อมูลความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสะพาน เพื่อใช้ประกอบการออกแบบงานซ่อมบูรณะและเสริมกำลังสะพาน รูปที่ 6-4 แสดงตัวอย่างความเสียหายของสะพาน และตารางที่ 6-1 แสดงรายการความเสียหายของสะพาน จากนั้นได้นำข้อมูลที่สำรวจได้ไปจัดทำเป็นแบบแสดงความเสียหายดังตัวอย่างบางส่วนที่แสดงในรูปที่ 6-5 โดยรายละเอียดทั้งหมดได้แสดงในแบบสำรวจสะพาน ที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้



รูปที่ 6-4 ตัวอย่างบางส่วนของภาพความเสียหายของสะพาน

ตารางที่ 6-1 รายการความเสียหายสะพานห้วยแม่โป่ง

| ลำดับ | บริเวณ | ชั้นส่วน | รายละเอียดความเสียหาย | ระดับความรุนแรง | ขนาด |
|-------|--------|----------|---------------------------------------|-----------------|-------------|
| 1 | S1 | EJ1 | EJ42 พบรอยแตกตามแนวรอยต่อ | CR 4 | 0.03 x 0.80 |
| 2 | S1 | EJ1 | EJ42 พบรอยแตกตามแนวรอยต่อ | CR 4 | 0.03 x 1.00 |
| 3 | S1 | EJ2 | EJ42 พบรอยแตกตามแนวรอยต่อ | CR 4 | 0.03 x 0.50 |
| 4 | S1 | DP | DP41 หลุดล่อนหรือสีกร่อนเป็นบริเวณแคบ | CR 4 | 1.00 x 0.20 |
| 5 | S2 | DP | DP41 หลุดล่อนหรือสีกร่อนเป็นบริเวณแคบ | CR 4 | 1.00 x 0.20 |
| 6 | S2 | DP | DP41 หลุดล่อนหรือสีกร่อนเป็นบริเวณแคบ | CR 4 | 1.00 x 0.20 |
| 7 | S1 | GD | GD41 หลุดล่อนเป็นบริเวณแคบ | CR 4 | 0.20 x 0.20 |
| 8 | S1 | DK | DK41 เกิดการหลุดล่อนของพื้นสะพาน | CR 4 | 5.00 x 2.00 |



6.2.3. การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลข

การประเมินความเสียหายในภาพรวมเชิงตัวเลขจะใช้วิธีตามแนวทางของระบบบริหารงานบำรุงรักษาสะพาน (BMMS) กรมทางหลวง ซึ่งจะเลือกชั้นส่วนที่มีค่าผลคูณความสำคัญของชั้นส่วน (Weighting, w) กับระดับความเสียหาย (Damage Rating, DR) ที่สูงที่สุด 5 ลำดับแรก จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของชั้นส่วนที่วิกฤติที่สุดเหล่านั้นเป็นค่า Weighted Critical Damage Rating (WCDR) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความเสี่ยงที่โครงสร้างจะวิบัติ ผลการประเมินพบว่าสะพานมีค่า WCDR = 0.76 (จากคะแนนเต็ม 5) หรือแปลงให้อยู่ในรูป Weighted Critical Condition Rating (WCCR) = 5 - 0.68 = 4.24 ซึ่งอยู่ระหว่าง ระดับดีมาก (CR=5) และระดับดี (CR=4) กล่าวโดยรวมสะพานมีการเสื่อมสภาพเล็กน้อย ควรได้รับการบำรุงตามกำหนดการ

ตารางที่ 6-2 การประเมินระดับความเสียหายหรือสภาพการใช้งานโดยรวม

| บริเวณ- ชั้นส่วน | ประเภท ชั้นส่วน | สภาพการใช้งาน (Condition Rating, CR) | ระดับความเสียหาย (Damage Rating) (DR = 5 - CR) | ระดับความสำคัญของชั้นส่วน (w) | w*DR |
|--|--------------------|--|--|----------------------------------|------|
| S1-GD | GD | 4 | 1 | 1 | 1 |
| A1-DP | DP | 4 | 1 | 0.8 | 0.8 |
| A2-DP | DP | 4 | 1 | 0.8 | 0.8 |
| S1-DK | DK | 4 | 1 | 0.8 | 0.8 |
| S1-EJ1 | EJ | 4 | 1 | 0.4 | 0.4 |
| Weighted Critical Damage Rating (WCDR) | | | | | 0.76 |
| Weighted Critical Condition Rating (CCDR = 5 - WCDR) | | | | | 4.24 |

6.3 ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพาน

ผลการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมที่ชิ้นส่วนโครงสร้างสำคัญต่าง ๆ มีรวมทั้งสิ้น 121.79 ตร.ม. ดังแสดงในตารางที่ 6-3 ตัวอย่างบางส่วนของแบบสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมได้แสดงไว้ในรูปที่ 6-6 โดยผลการสำรวจทั้งหมดได้แสดงไว้ในแบบสำรวจสะพานที่ได้แนบมากับรายงานฉบับนี้ ซึ่งจะแสดงรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างในรูปตัด (Typical section) และรูปด้านต่าง ๆ

ตารางที่ 6-3 พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมในชิ้นส่วนโครงสร้างหลักของสะพาน

| ชิ้นส่วนโครงสร้าง | พื้นที่สำรวจรายละเอียดเหล็กเสริม (ตร.ม.) |
|--------------------------------|--|
| เสาตอม่อ (Pier) | 8.36 |
| คานรัดเสาตอม่อ (Cap Beam) | 8.84 |
| คานหลัก (Girder) | 20.19 |
| ไดอะแฟรม (Diaphragm) | 4.4 |
| พื้นสะพาน (Deck) บริเวณถนน | 80 |
| พื้นสะพาน (Deck) บริเวณทางเท้า | - |
| รวมทั้งสิ้น | 121.79 |



รูปที่ 6-6 รูปการสำรวจรายละเอียดเหล็กเสริมโครงสร้างสะพานด้วยเครื่อง GPR



6.4 การดำเนินงานทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

6.4.1. การดำเนินการเก็บวัสดุทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและกำลังรับแรงดึง



รูปที่ 6-8 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต



รูปที่ 6-9 รูปการซ่อมดินสภาพจากการเก็บวัสดุทดสอบกำลังคอนกรีต



6.4.2. การดำเนินการเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



รูปที่ 6-10 รูปการทำงานเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



รูปที่ 6-11 รูปการซ่อมคืนสภาพจากการเก็บวัสดุทดสอบกำลังเหล็กเสริม



6.4.3. การดำเนินการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชั่น



รูปที่ 6-12 รูปการทำงานทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชั่น

6.5 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุโครงสร้างสะพาน

6.5.1. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย พื้นสะพาน (Deck, DK) ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไตอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) ค้ำยันเสาต่อมือ (Bracing, BC) และเสาต่อมือ (Pier Column, CL) ตารางที่ 6-4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 6-4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (สะพานห้วยเงิน, HN)

| ลำดับ | ชิ้นส่วน | รหัสทดสอบ | Compressive Strength (ksc) |
|-------|----------|-------------|----------------------------|
| 1 | SW | HN-S1-SW2-1 | 121 |
| 2 | SW | HN-S1-SW2-2 | 234 |
| 3 | SW | HN-S1-SW2-3 | 184 |
| 4 | SW | HN-S1-SW2-4 | 113 |
| 5 | SW | HN-S1-SW2-5 | 119 |
| 6 | SW | HN-S1-SW2-6 | 121 |
| 7 | CB | HN-A1-CB1 | 233 |
| 8 | CB | HN-A2-CB1 | 245 |
| 9 | SW | HN-S1-SW1-1 | 269 |
| 10 | SW | HN-S1-SW1-4 | 205 |
| 11 | DP | HN-S1-DP1-1 | 119 |
| 12 | DP | HN-S1-DP2-1 | 308 |
| 13 | CL | HN-A1-CL3-1 | 268 |
| 14 | CL | HN-A1-CL4-2 | 264 |
| 15 | CL | HN-A1-CL7-1 | 215 |
| 16 | CL | HN-A1-CL8-2 | 283 |
| 17 | GD | HN-S1-GD1-1 | 120 |
| 18 | GD | HN-S1-GD2-1 | 121 |
| 19 | GD | HN-S1-GD3-1 | 221 |
| 20 | GD | HN-S1-GD4-1 | 114 |

6.5.2. ผลทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต สะพานละ 20 ตำแหน่ง โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไดอะแฟรม (Diaphragm, DP) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) และเสาดอม่อ (Pier Column, CL) ตารางที่ 6-5 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ตารางที่ 6-5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (สะพานห้วยเงิน, HN)

| ลำดับ | ชิ้นส่วน | รหัสทดสอบ | Tensile Strength (ksc) |
|-------|----------|-------------|------------------------|
| 1 | SW | HN-S1-SW2-1 | 25 |
| 2 | SW | HN-S1-SW2-2 | 30 |
| 3 | SW | HN-S1-SW2-3 | 20 |
| 4 | SW | HN-S1-SW2-4 | 30 |
| 5 | CB | HN-A1-CB1 | 26 |
| 6 | CB | HN-A2-CB1 | 24 |
| 7 | SW | HN-S1-SW1-1 | 28 |
| 8 | SW | HN-S1-SW1-2 | 27 |
| 9 | SW | HN-S1-SW1-3 | 30 |
| 10 | SW | HN-S1-SW1-4 | 27 |
| 11 | DP | HN-S1-DP1-1 | 20 |
| 12 | DP | HN-S1-DP2-1 | 29 |
| 13 | CL | HN-A1-CL1-1 | 28 |
| 14 | CL | HN-A1-CL2-2 | 26 |
| 15 | CL | HN-A1-CL5-1 | 33 |
| 16 | CL | HN-A1-CL6-2 | 36 |
| 17 | GD | HN-S1-GD1-1 | 27 |
| 18 | GD | HN-S1-GD2-1 | 22 |
| 19 | GD | HN-S1-GD3-1 | 20 |
| 20 | GD | HN-S1-GD4-1 | 31 |

6.5.3. ผลการทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน

โครงการนี้ได้ทดสอบการเกิดคาร์บอนเนชัน สะพานละ 20 ตำแหน่ง ๆ ละ 5 ระดับความลึก (รวมทั้งสิ้น 100 ตัวอย่าง) โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย พื้นสะพาน (Deck, DK) คานรัดหัวเสา (Cap beam, CB) คานหลัก (Girder, GD) ไดอะแฟรม (Diaphragm, DP) และเสาตอม่อ (Pier Colum, CL) ตารางที่ 6-6 แสดงผลการทดสอบหาค่าความลึกการเกิดคาร์บอนเนชัน (Carbonation Depth)

ตารางที่ 6-6 ผลการทดสอบหาค่าความลึกปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน (สะพานห้วยเงิน, HN)

| ลำดับ | ชิ้นส่วน | ความลึกการพบคาร์บอนเนชัน (cm) | ระดับความลึกที่ทดสอบปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน | | | | |
|-------|----------|-------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|
| | | | 1 cm | 2 cm | 3 cm | 4 cm | 5 cm |
| 1 | DK1 | 0 | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 2 | DK2 | 3 | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 3 | DK3 | 3 | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 4 | DK4 | 3 | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 5 | DK5 | 4 | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด |
| 6 | DK6 | 3 | เกิด | ไม่เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 7 | DK7 | 4 | เกิด | ไม่เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด |
| 8 | DK4 | 3 | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 9 | DP1 | 4 | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด |
| 10 | GD1 | 3 | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 11 | GD2 | 3 | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 12 | GD3 | 2 | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 13 | CB1 | 4 | เกิด | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด |
| 14 | CB2 | 3 | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 15 | CL1 | 0 | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 16 | CL2 | 3 | ไม่เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 17 | CL3 | 1 | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 18 | CL4 | 3 | ไม่เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 19 | CL5 | 3 | เกิด | เกิด | เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |
| 20 | CL6 | 0 | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด | ไม่เกิด |

6.5.4. ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

โครงการนี้ได้ทำการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมของสะพานจำนวน 22 โดยกระจายการทดสอบให้กับชิ้นส่วนประเภทต่าง ๆ ประกอบด้วย ทางเท้า (Sidewalk, SW) คานหลัก (Girder, GD) ไดอะแฟรม (Diaphragm, DP) และเสาตอม่อ (Pier Colum, CL) ตารางที่ 6-7 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

ตารางที่ 6-7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริม

| ลำดับ | รหัสทดสอบ | RB/DB | ชิ้นส่วน | Tested Diameter (mm) | Yield Stress (ksc) | Ultimate Stress (ksc) |
|-------|-------------|-------|----------|----------------------|--------------------|-----------------------|
| 1 | HN-S1-DP1-1 | RB | DP | 9 | 3323 | 4506 |
| 2 | HN-S1-DP1-2 | RB | DP | 9 | 3345 | 4680 |
| 3 | HN-S1-DP2-1 | RB | DP | 9 | 3530 | 4889 |
| 4 | HN-S1-DP1-1 | RB | DP | 9 | 3284 | 5363 |
| 5 | HN-S1-GD1-1 | RB | GD | 9 | 3905 | 5116 |
| 6 | HN-S1-GD2-1 | DB | GD | 12 | 3821 | 5667 |
| 7 | HN-S1-GD2-2 | RB | GD | 9 | 3619 | 5142 |
| 8 | HN-A1-CB-1 | DB | CB | 12 | 4125 | 5836 |
| 9 | HN-S1-CB1-2 | DB | CB | 12 | 3702 | 6729 |
| 10 | HN-A1-CB-2 | RB | CB | 9 | 2425 | 5432 |
| 11 | HN-A2-CL5-1 | RB | CL | 9 | 2174 | 4834 |
| 12 | HN-A2-CL5-2 | RB | CL | 9 | 4451 | 4813 |
| 13 | HN-A1-CL7-1 | DB | CL | 25 | 3692 | 5686 |
| 14 | HN-A1-CL7-2 | RB | CL | 9 | 3754 | 4906 |
| 15 | HN-S1-SW1-1 | DB | SW | 20 | 2411 | 5207 |
| 16 | HN-S1-SW1-2 | DB | SW | 12 | 4169 | 5862 |
| 17 | HN-S1-SW1-3 | DB | SW | 20 | 3346 | 5119 |
| 18 | HN-S1-SW1-4 | DB | SW | 20 | 3149 | 4651 |
| 19 | HN-S1-SW2-1 | DB | SW | 20 | 3528 | 5137 |
| 20 | HN-S1-SW2-2 | DB | SW | 12 | 3931 | 5469 |
| 21 | HN-S1-SW2-3 | DB | SW | 20 | 2473 | 4215 |
| 22 | HN-S1-SW2-4 | DB | SW | 20 | 3098 | 4300 |

6.5.5. สรุปผลทดสอบวัสดุสะพาน

ตารางที่ 6-8 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่า ชิ้นส่วนทางเท้า (SW), คานตามยาว (GD), ไตอะแฟรม (DP), คานรัดหัวเสา (CB), และเสาตอม่อ (CL) มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตเท่ากับ 171, 144, 213, 239 และ 257 ksc ตามลำดับ

ตารางที่ 6-8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

| Member | N | Avg (ksc) | SD (ksc) |
|------------------|---|-----------|----------|
| Side Walk (SW) | 8 | 171 | 61 |
| Girder (GD) | 4 | 144 | 52 |
| Diaphragm (DP) | 2 | 213 | 133 |
| Cap beam (CB) | 2 | 239 | 9 |
| Pier column (CL) | 4 | 257 | 30 |

ตารางที่ 6-9 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตแยกตามประเภทชิ้นส่วน ซึ่งพบว่า ชิ้นส่วนทางเท้า (SW), คานตามยาว (GD), ไตอะแฟรม (DP), คานรัดหัวเสา (CB), และเสาตอม่อ (CL) มีค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงดึงเท่ากับ 27.1, 25.0, 24.7, 24.6 และ 30.7 ksc ตามลำดับ

ตารางที่ 6-9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

| Member | N | Avg (ksc) | SD (ksc) |
|------------------|---|-----------|----------|
| Side Walk (SW) | 8 | 27.1 | 3.4 |
| Girder (GD) | 4 | 25.0 | 5.1 |
| Diaphragm (DP) | 2 | 24.7 | 6.2 |
| Cap beam (CB) | 2 | 24.6 | 1.4 |
| Pier column (CL) | 4 | 30.7 | 4.3 |

ตารางที่ 6-10 แสดงผลการทดสอบค่าความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชันแยกตามประเภท
 ชั้นส่วน ซึ่งพบว่า พื้นสะพาน (DK) ไดอะแฟรม (DP) คานตามยาว (GD) คานรัดหัวเสา (CB) และ เสา
 ตอม่อ (CL) มีค่าเฉลี่ยความลึกการเกิดคาร์บอนเนชันเท่ากับ 2.88, 4.00, 2.67, 3.50 และ 1.67 cm
 ตามลำดับ ถ้าคาร์บอนเนชันเกิดลึกถึงชั้นเหล็กเสริม เหล็กเสริมสามารถเกิดสนิมได้ ซึ่งชั้นส่วนแต่ละ
 ประเภทอาจมีระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมไม่เท่ากัน และเมื่อพิจารณาความแปรปรวนของค่าที่ตรวจวัด
 ได้ ชั้นส่วนพื้นสะพาน (DK) ไดอะแฟรม (DP) คานตามยาว (GD) คานรัดหัวเสา (CB) และ เสาตอม่อ
 (CL) มีโอกาสที่ความลึกคาร์บอนเนชันจะเกิดลึกถึงชั้นเหล็กเสริมเท่ากับร้อยละ 6.60, 0.0, 9.43, 27.60
 และ 3.57 ตามลำดับ อาจกล่าวได้ว่าปัจจุบัน ชั้นส่วนคานรัดหัวเสา (CB) มีโอกาสเกิดสนิมได้มากที่สุด
 (27.6 %)

ตารางที่ 6-10 ผลทดสอบความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชัน

| Member | N | Avg (cm) | SD (cm) | Field Covering (cm) (GPR) | Prob (depth > field covering) (%) |
|------------------|---|-------------|------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Deck (DK) | 8 | 2.88 | 1.25 | 5.0 | 6.60% |
| Diaphragm (DP) | 1 | 4.00 | - | 4.1 | - |
| Girder (GD) | 3 | 2.67 | 0.58 | 3.8 | 9.43% |
| Cap beam (CB) | 2 | 3.50 | 0.71 | 4.1 | 27.60% |
| Pier column (CL) | 6 | 1.67 | 1.51 | 5.1 | 3.57% |

ตารางที่ 6-11 แสดงผลการทดสอบเหล็กข้ออ้อย (DB) ของสะพาน เมื่อนำข้อมูลจำนวน 12 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 3454 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 582 ksc และ ตารางที่ 6-12 แสดงผลการทดสอบเหล็กกลม (RB) ของสะพาน เมื่อนำข้อมูลจำนวน 10 ตัวอย่างมาวิเคราะห์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยความเค้นดึงที่จุดครากเท่ากับ 3381 ksc ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 669 ksc ข้อมูลการทดสอบวัสดุจะถูกนำไปใช้ในการออกแบบเสริมกำลังเสริมสะพานในลำดับถัดไป

ตารางที่ 6-11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กข้ออ้อย (DB)

| Member | Yield Tensile Strength (ksc) | | | Ultimate Tensile Strength (ksc) | | |
|------------------|------------------------------|------|-----|---------------------------------|------|-----|
| | N | Avg | SD | N | Avg | SD |
| Capbeam (CB) | 2 | 3914 | 299 | 2 | 6283 | 631 |
| Girder (GD) | 1 | 3821 | - | 1 | 5667 | - |
| Sidewalk (SW) | 8 | 3263 | 625 | 8 | 4995 | 569 |
| Pier column (CL) | 1 | 3692 | - | 1 | 5686 | - |
| ALL DB | 12 | 3454 | 582 | 12 | 5323 | 715 |

ตารางที่ 6-12 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กกลม (RB)

| Member | Yield Tensile Strength (ksc) | | | Ultimate Tensile Strength (ksc) | | |
|------------------|------------------------------|------|------|---------------------------------|------|-----|
| | N | Avg | SD | N | Avg | SD |
| Capbeam (CB) | 1 | 2425 | - | 1 | 5432 | - |
| Diaphragm (DP) | 4 | 3370 | 109 | 4 | 4860 | 371 |
| Girder (GD) | 2 | 3762 | 202 | 2 | 5129 | 18 |
| Pier column (CL) | 3 | 3460 | 1167 | 3 | 4851 | 49 |
| ALL RB | 10 | 3381 | 669 | 10 | 4968 | 293 |

6.6 ผลการตรวจวัดพฤติกรรมของสะพานห้วยเงิน

ที่ปรึกษาได้ทำการตรวจวัดพฤติกรรมสะพานห้วยเงิน ที่ช่วงความยาว 12 เมตร โดยทำการทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต (Static Test) และแบบพลวัต (Dynamic Test) และการทดสอบภายใต้สภาวะใช้งาน (Normal Traffic Test) โดยรายละเอียดการดำเนินงานมีดังนี้

6.6.1. อุปกรณ์การตรวจวัด

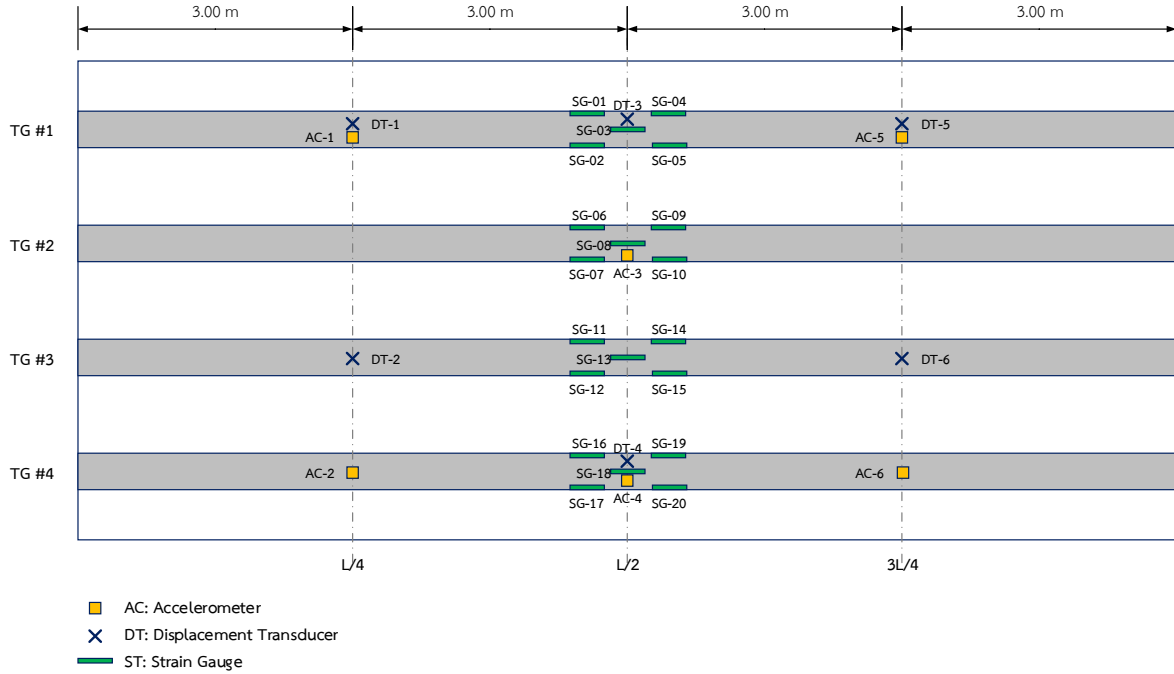
ที่ปรึกษาได้ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดพฤติกรรมของโครงสร้างสะพาน ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด อุปกรณ์ตรวจวัดการเคลื่อนที่ และอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว รวมถึงอุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ และอุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยมีจำนวนดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6-13 อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด

| ลำดับ | อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัด | จำนวน |
|-------|---|-------|
| 1 | อุปกรณ์วัดความเครียด (Strain Gauge) | 20 |
| 2 | อุปกรณ์วัดการเคลื่อนที่ (Displacement Transducer) | 6 |
| 3 | อุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งจากการสั่นไหว (Accelerometer) | 7 |
| 4 | อุปกรณ์รวบรวมสัญญาณ (Data Acquisition) | 1 |
| 5 | อุปกรณ์คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop) | 1 |

6.6.2. ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

ที่ปรึกษาได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดตามตำแหน่งที่ออกแบบไว้โดยพิจารณาให้สอดคล้องกับการวิเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสะพาน ซึ่งแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 6-13 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

สำหรับการดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสะพานของทางที่ปรึกษาแสดงได้ดังนี้





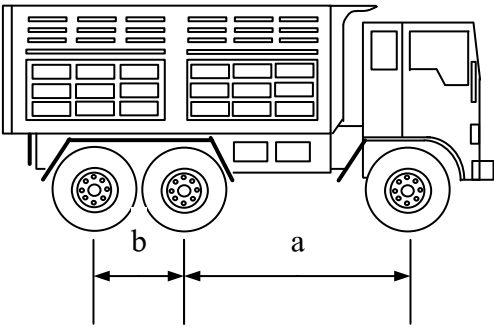
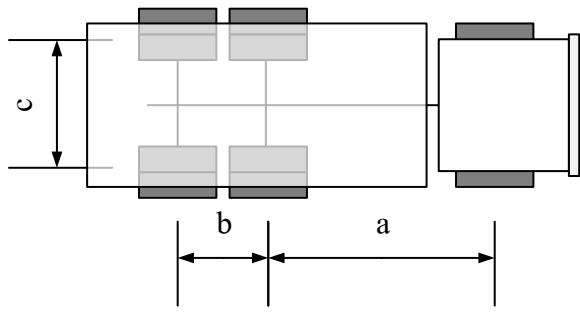
รูปที่ 6-14 ภาพการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดสะพาน

6.6.3. น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

ที่ปรึกษาได้ทดสอบพฤติกรรมการรับน้ำหนักของสะพานภายใต้สภาวะควบคุม โดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 2 คัน โดยมีรายละเอียดระยะเพลารถและน้ำหนักบรรทุกดังนี้

ตารางที่ 6-14 น้ำหนักบรรทุกทดสอบ

| คันที่ | 1 | 2 |
|-------------------------------|--------------------|--------------------|
| ประเภท | รถบรรทุก (81-9235) | รถบรรทุก (83-1546) |
| น้ำหนักบรรทุก (ตัน) | 24.62 | 25.34 |
| ระยะเพลาคี่ 1 ถึง 2 (a, เมตร) | 4.15 | 4.10 |
| ระยะเพลาคี่ 2 ถึง 3 (b, เมตร) | 1.30 | 1.30 |
| ความกว้างฐานล้อ (c, เมตร) | 1.85 | 1.85 |

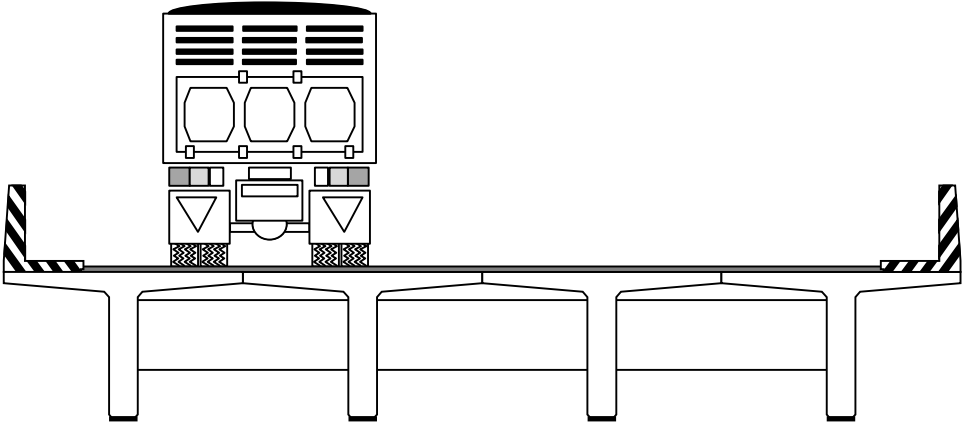
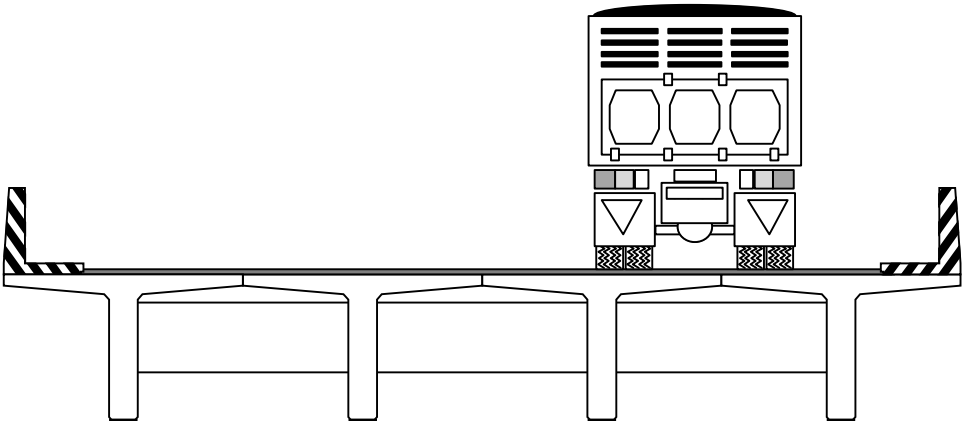
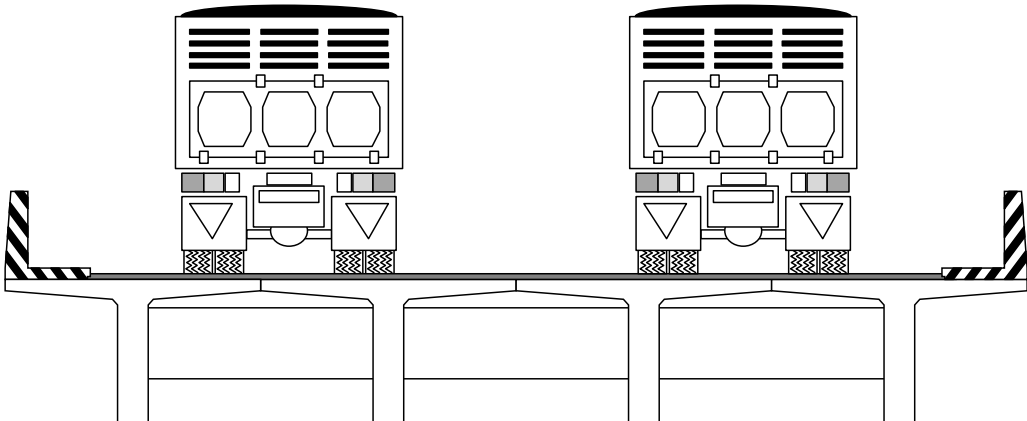



6.6.4. การทดสอบภายใต้สภาวะควบคุมแบบสถิต

การทดสอบแบบสถิต (Static Test) เป็นการนำรถบรรทุกทดสอบจอดตามตำแหน่งต่างๆ ที่กำหนด 3 รูปแบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- Static 1 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางซ้าย
- Static 2 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 1 คัน จอดที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วงในช่องจราจรทางขวา
- Static 3 : ทดสอบด้วยรถบรรทุกจำนวน 2 คัน จอดเรียงกันที่ตำแหน่ง $L/2$ ของความยาวช่วง ทั้งสองช่องจราจร

ตารางที่ 6-15 รูปแบบการทดสอบแบบสถิต ด้วยรถบรรทุกน้ำหนัก

| Case | Pattern |
|----------|--|
| Static 1 |  |
| Static 2 |  |
| Static 3 |  |



รูปที่ 6-15 ภาพการทดสอบแบบสถิต

