

การทดสอบความสามารถการรับน้ำหนักบรรทุก (Load Carrying Capacity Test)

ประเพ็ญ อินคัม

International Engineering Consultants Co., Ltd. (IEC)

www.iec-thailand.com

การศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอันแท้จริงของโครงสร้างสะพาน ภายใต้น้ำหนักบรรทุกขนาดต่างๆ โดยทั่วไปแล้วจะใช้การวิเคราะห์พฤติกรรมโครงสร้างด้วยทฤษฎีทางโครงสร้างต่างๆ และการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์ การวิเคราะห์เพื่อหาความสามารถในการรับน้ำหนักอันแท้จริงของสะพาน และการประมาณอายุการใช้งานที่ปลอดภัยของสะพาน จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ซึ่งมีผลต่อการรับแรงของโครงสร้างสะพานอย่างละเอียด วิธีการที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบันก็คือ การใช้ผลการทดสอบน้ำหนักบรรทุกจริง (Load Test) มาประกอบกับการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้างสะพานด้วยวิธี Finite Element Method (FEM)

ในการศึกษา ใช้วิธีการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกจริงของสะพานทั้งแบบสถิต (Static) และแบบพลวัต (Dynamic) ของสะพานประเภท Slab Type จำนวน 8 แห่ง ซึ่งเป็นสะพานที่มีปริมาณเกือบ 60% ในพื้นที่ที่ทำการศึกษา และสะพานชนิดผสมกับ Slab Type จำนวน 2 แห่ง ที่คัดเลือกให้เป็นตัวแทนของกลุ่มสะพานที่ทำการศึกษา เพื่อนำข้อมูลผลการทดสอบที่ได้ มาปรับปรุงแบบจำลองโครงสร้าง (Structural Model) ให้ถูกต้องและสอดคล้องกับพฤติกรรมจริงของสะพานมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างภายใต้น้ำหนักบรรทุกขนาดต่างๆ ต่อไป

1. การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกแบบสถิต (Static Load Test) โดยวิธี Bridge Diagnostic Instruments Test (BDI)

การตรวจสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพานนั้นจะดำเนินการโดยวิธี Bridge Diagnostics Instruments Test (BDI) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบเพื่อประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน ที่พัฒนาขึ้นมาจากความต้องการทราบถึงพฤติกรรมการรับน้ำหนักของโครงสร้างจริงว่ามีความแตกต่างจากโครงสร้างในขั้นตอนของการวิเคราะห์และออกแบบมากน้อยเพียงใด โดยการประยุกต์หลักการพื้นฐานของความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเค้นและความเครียดในตัวโครงสร้างเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกกระทำ

การทดสอบน้ำหนักบรรทุกจะประกอบไปด้วย การติดตั้งเครื่องมือวัดความเครียด เครื่องมือวัดการแอ่นตัว และเครื่องมือวัดความเร่งที่มีความแม่นยำสูงในบริเวณจุดที่สำคัญตลอดช่วงความยาวของสะพาน เครื่องมือที่ใช้สามารถที่จะแปลงสัญญาณที่ได้จากการวัดออกมาในรูปของคลื่นไฟฟ้าไปยังส่วนบันทึกข้อมูล

ซึ่งข้อมูลที่ตรวจวัดได้จะมีลักษณะเฉพาะสำหรับสะพานแต่ละแบบที่มีความแตกต่างกันในเรื่องวัสดุ ระบบ โครงสร้าง ช่วงความยาว สภาพการยึดรั้งของจตุรรองรับ โดยข้อมูลต่างๆ จะถูกบันทึกอย่างต่อเนื่องตลอด การทดสอบ และจะถูกนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองโครงสร้างจริงที่จะใช้วิเคราะห์และปรับแก้เพื่อใช้ ประเมินน้ำหนักบรรทุกอย่างถูกต้องของสะพานต่อไป ขั้นตอนทั่วไปของการทดสอบสามารถจำแนกได้ ดัง รูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการสำรวจเบื้องต้น

งานในส่วนนี้จะเป็นการเก็บข้อมูลขนาดมิติของโครงสร้าง เช่น ความกว้างทั้งหมดของตัวสะพาน ขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนโครงสร้าง ความยาวช่วงคาน ระยะห่างของคานแต่ละตัว และลักษณะจตุรรองรับ เป็นต้น โดยพิจารณาพร้อมกับแบบก่อสร้างจริง เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติเบื้องต้นของโครงสร้างทางวิศวกรรมสำหรับการสร้างแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องมือ

งานในส่วนนี้จะเริ่มที่การวางแผนเพื่อกำหนดรูปแบบของการติดตั้งเครื่องมือ การกำหนดทิศทาง และทำเครื่องหมายแนวน้ำหนักบรรทุก รวมถึงจำนวนของอุปกรณ์ที่จะใช้วัดความเครียดของโครงสร้าง

ตามความละเอียดของข้อมูลที่ต้องการเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ลักษณะของเครื่องมือที่จะใช้ในการทดสอบ และลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดบนโครงสร้างแสดงไว้ในภาพดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียด Strain Transducer



รูปที่ 3 การติดอุปกรณ์วัดความเร่ง Accelerometer



รูปที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัว Displacement Transducer



รูปที่ 5 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งล้อ Auto-Clicker



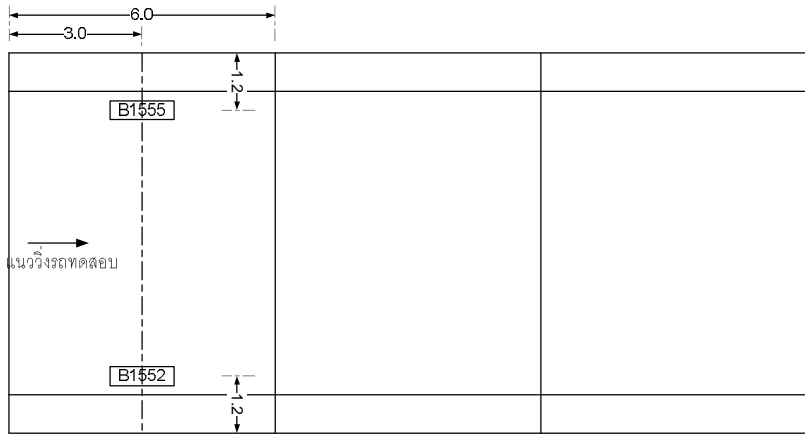
รูปที่ 6 ชุดอุปกรณ์ Data Acquisition



รูปที่ 7 คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก

การติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์ทดสอบ (Instrumentation Procedures)

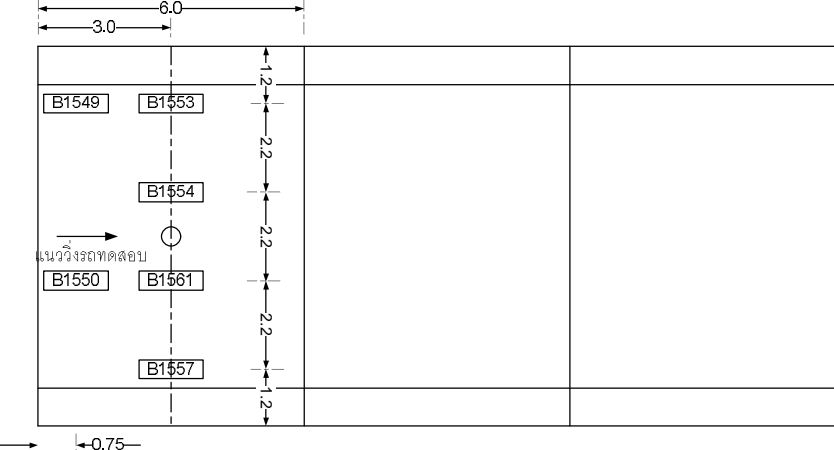
- ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียด (Strain Transducer) อุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัว (Displacement Transducer) และอุปกรณ์วัดค่าความเร่ง (Accelerometer) ตามผังการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด ซึ่งได้แสดงตัวอย่างไว้ดังรูปที่ 8
- ติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดที่ได้ห้องของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง บริเวณกึ่งกลางช่วงความยาวในแต่ละแผ่น
- ติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าการแอ่นตัว และอุปกรณ์วัดค่าความเร่ง ที่ได้ห้องของแผ่นพื้นคอนกรีตบริเวณกึ่งกลางช่วงความยาว ในแนวเดียวกับแนววิ่งของรถบรรทุกทดสอบ
- การติดตั้งเครื่องมือตามผังในรูปที่ 8 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแผ่นพื้นคอนกรีตของสะพานนี้เมื่อมีน้ำหนักบรรทุกกระทำ
- ติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดเข้ากับส่วนของโครงสร้างตามที่วางแผนไว้ ทำโดยใช้กาวชนิดแห้งเร็ว (Quick Adhesive)
- ระยะเวลาการติดตั้งเครื่องมือทั้งระบบใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 3 ชั่วโมง



B1552

Strain Transducer

ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์บริเวณผิวคอนกรีตด้านบนของพื้นสะพาน



○

Displacement Transducer
And Accelerometer

ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์บริเวณผิวคอนกรีตด้านล่างของพื้นสะพาน

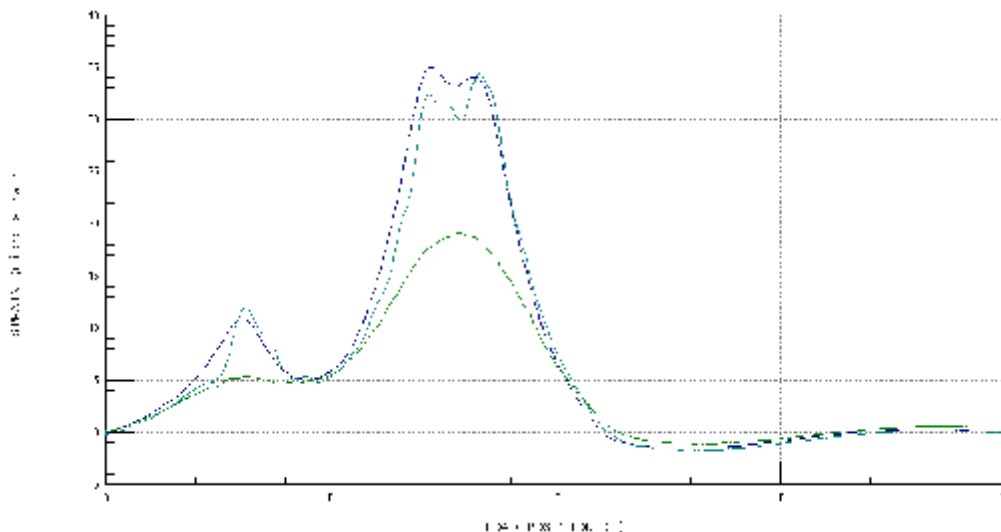
รูปที่ 8 ตัวอย่างผังการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด

ขั้นตอนการให้นำหนักทดสอบ

การให้นำหนักทดสอบเป็นขั้นตอนหลังจากเตรียมงานในส่วนติดตั้งเครื่องมือแล้วเสร็จและระบบของการทดสอบถูกติดตั้งและอยู่ในลักษณะพร้อมทดสอบ เริ่มต้นโดยการปล่อยให้รถที่ทราบขนาดและน้ำหนักของเพลลา เคลื่อนที่ไปตลอดสะพานอย่างช้า ๆ (ความเร็วประมาณ 5 กิโลเมตร/ชั่วโมง) เนื่องจากโครงสร้างไม่ควรได้รับผลกระทบจากการกระแทกอย่างฉับพลันระหว่างการทดสอบและมีการบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอดการเคลื่อนที่ของรถ จึงจำเป็นต้องมีการปิดการจราจรในช่วงระยะเวลาหนึ่งในระหว่างการทดสอบ ตัวอย่างของการให้นำหนักทดสอบและข้อมูลที่ได้จากการวัดได้แสดงไว้ในรูปที่ 9 และ รูปที่ 10 ตามลำดับ



รูปที่ 9 ตัวอย่างการให้น้ำหนักทดสอบ



รูปที่ 10 ตัวอย่างกราฟข้อมูลความเครียดที่ได้จากการทดสอบ

การให้น้ำหนักทดสอบ (Load Test Procedures)

- ทำการกำหนดแนวอ้างอิงสำหรับให้รถบรรทุกวิ่ง 3 แนว ทางด้านริมขวา ด้านริมซ้ายของสะพาน โดยห่างจากขอบแผ่นคอนกรีตกันตึก 1.20 เมตร และแนวกึ่งกลางของสะพาน ดังแสดงในรูปที่ 11 เพื่อเป็นตำแหน่งในการกำหนดตำแหน่งของน้ำหนักบรรทุกจรทดสอบสำหรับสะพาน
- ใช้รถบรรทุกที่ทราบน้ำหนักเพลาและระยะห่างระหว่างเพลาจำนวน 1 คัน (ดังแสดงในรูปที่ 12 และ รูปที่ 13) ซึ่งมีน้ำหนักบรรทุกรวมประมาณ 25 ตัน แบบรถบรรทุกเดี่ยว 10 ล้อ วิ่งช้าๆ ไปตามแนวที่กำหนด โดยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งล้อ(Auto-Clicker) จะทำการบันทึกตำแหน่งของรถบรรทุกขณะวิ่งโดยอัตโนมัติ

- ทำการเก็บบันทึกข้อมูลของความเครียดและค่าการแอ่นตัวอย่างต่อเนื่องขณะที่รถบรรทุกวิ่งผ่านด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านอุปกรณ์ส่งข้อมูลแบบไร้สาย (Wireless) จนกระทั่งล้อหลังของรถวิ่งผ่านจุดที่เก็บข้อมูลในจุดสุดท้าย จึงหยุดการทดสอบ



รูปที่ 11 การกำหนดตำแหน่งแนววิ่งของน้ำหนักบรรทุกทดสอบ



วัดระยะห่างล้อหน้า



วัดระยะห่างล้อหลัง



วัดระยะเพลหน้าถึงเพลหลัง



วัดระยะห่างเพลหลัง

รูปที่ 12 การวัดระยะห่างระหว่างล้อและเพลของรถบรรทุกทดสอบ



ซังน้ำหนักเพลาน้ำ

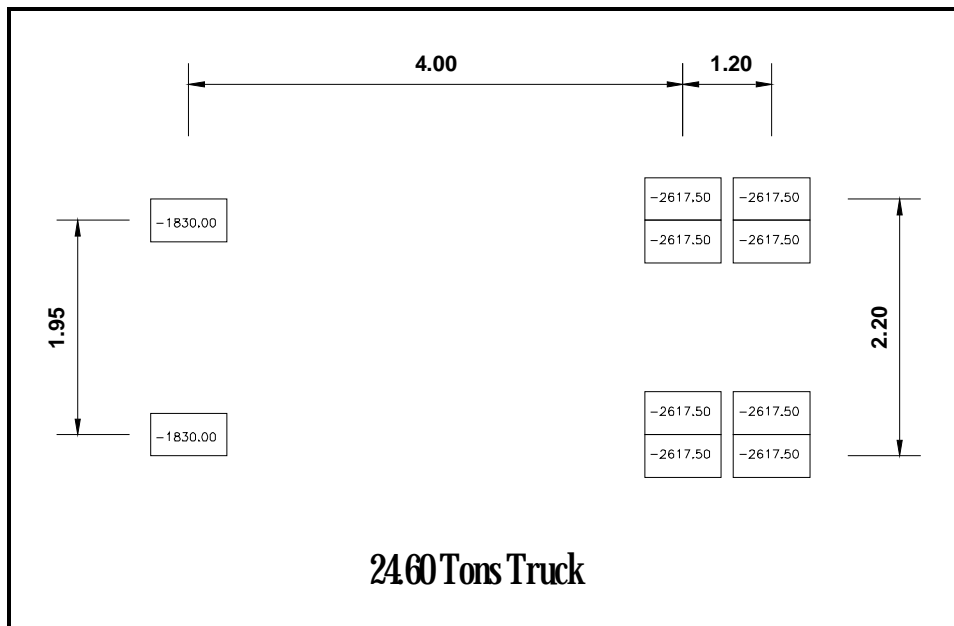


ซังน้ำหนักทั้งคัน



ซังน้ำหนักเพลาลัง

รูปที่ 13 การซังน้ำหนักรถบรรทุกทดสอบ



รูปที่ 14 น้ำหนักเพลาลังและระยะห่างระหว่างเพลารถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ

จากนั้นนำผลการตรวจวัดที่ได้ มาปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้าง ให้มีพฤติกรรมสอดคล้องกับโครงสร้างจริง ตลอดจนนำมาใช้ในการวิเคราะห์และประเมินหาดัชนีความปลอดภัย (Rating Factor) และคุณสมบัติเชิงเส้นของโครงสร้างต่อไป

2 การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต (Dynamic Load Test)

การทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบพลวัต เป็นการทดสอบเพื่อศึกษา และวิเคราะห์พฤติกรรมการเสียรูปเชิงพลวัตของโครงสร้างสะพานอันเนื่องมาจากผลกระทบรวม ระหว่างน้ำหนักและความเร็วของรถบรรทุกทดสอบที่วิ่งบนสะพาน แต่ละความเร็วที่แล่นผ่านบนสะพานจะทำการตรวจวัด และบันทึกค่าการเสียรูปของโครงสร้างสะพาน ซึ่งได้แก่

- 1) ค่าความเครียด (Strain) โดยวัดจาก Strain Transducer
- 2) ค่าการแอ่นตัว (Deflection) โดยวัดจาก Displacement Transducer
- 3) ความเร่งในแนวตั้ง (Vertical Acceleration) โดยวัดจาก Accelerometer

ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ จะนำมาทำการวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้างสะพาน ได้แก่ ความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) และค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping Ratio) รวมถึงผลการสั่นไหวของโครงสร้างสะพานที่พิจารณาในรูปของค่าคูณเพิ่มทางพลศาสตร์หรือปัจจัยการกระแทก (Impact Factor) ซึ่งค่าเหล่านี้จะใช้ประกอบในการวิเคราะห์และประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักต่อไป ซึ่งการทดสอบสามารถแบ่งออกตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

- เพื่อตรวจวัดค่าการตอบสนองหรือพฤติกรรมเชิงกลทั้งในรูปของหน่วยแรง และการเสียรูปของโครงสร้างสะพาน และประเมินผลกระทบทางพลศาสตร์เนื่องจากแรงกระทำมีการเคลื่อนที่ และระบบโครงสร้างสะพานและรถบรรทุกมีการสั่นไหวทำให้ผลลัพธ์แตกต่างไปจากแรงกระทำแบบสถิต เพื่อเป็นข้อมูลในการตรวจสอบสมมติฐานต่างๆที่เกี่ยวข้องรวมถึงการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองและวิธีการวิเคราะห์/ออกแบบ ตลอดจนความเหมาะสมของค่าแฟกเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณได้แก่ Impact factor เป็นต้น ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ล้วนมีผลต่อความมั่นคงแข็งแรง (Strength) และสภาวะการใช้งานที่ดี (Serviceability) รวมถึงความทนทาน (Durability) ของโครงสร้างสะพาน
- เพื่อตรวจวัดและประเมินคุณสมบัติทางพลศาสตร์พื้นฐานของโครงสร้างสะพาน ที่ประกอบ ด้วยค่าความถี่การสั่นไหวตามธรรมชาติ (Natural frequencies) และค่าอัตราส่วนความหน่วงของการสั่นไหว (Damping ratio) เป็นต้น ตัวแปรเหล่านี้มีความสัมพันธ์กับการใช้งานหรือ Serviceability

โดยเฉพาะปัญหาการสั่นไหวในระดับที่กระทบต่อความรู้สึกหรือความมั่นใจของผู้ใช้สะพาน นอกจากนี้คุณสมบัติเหล่านี้ยังเป็นข้อมูลเฉพาะตัวของโครงสร้างสามารถใช้เป็น **Benchmark** ในการตรวจสอบและประเมินความมั่นคงแข็งแรงในอนาคตได้เมื่อมีปัญหาเกิดขึ้น ยกตัวอย่างเช่นมีการเสื่อมสภาพ/ความเสียหาย อุบัติเหตุหรือภัยธรรมชาติ รวมถึงกรณีปัญหาของการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกของสะพานในอนาคต เป็นต้น

- เพื่อตรวจสอบสภาพการทำงาน of โครงสร้างในส่วน of จุครองรับ หรือจุดเชื่อมต่อที่ ต้องมีการเคลื่อนไหวว่ามีการทำงานเป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่ นอกจากนี้ผลการตรวจวัดยังสามารถนำมาประเมินเพื่อบ่งบอกถึงสภาพความขรุขระของผิวจราจรที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้งานได้เป็นระยะๆ เพื่อประโยชน์ในการซ่อมบำรุง

ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) การวางแผนงานทดสอบและติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัด การเก็บข้อมูลและบันทึกผล
- 2) การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดค่าความเครียด ค่าการแอ่นตัว และอัตราเร่งของการสั่นไหวของโครงสร้างสะพาน โดยการแสดงผลอยู่ในรูปของ
 - ก. **Response time-history** แสดงค่าการตอบสนองที่เวลาใดๆหรือที่ตำแหน่ง ต่างๆของรถในกรณีที่ใช้รถบรรทุกทดสอบ
 - ข. ทำการประเมินค่า **Impact factor** จากการตอบสนองแบบสถิตและการตอบสนองแบบพลวัต
 - ค. ทำการประเมินพฤติกรรมในการรับแรงของโครงสร้างสะพานจากผลการตรวจวัดตามมาตรฐานและหลักเกณฑ์ที่กำหนด
 - ง. การวิเคราะห์ค่าคุณสมบัติทางพลศาสตร์ของโครงสร้างสะพานประกอบด้วยค่าความถี่และรูปแบบการสั่นไหวตามธรรมชาติ และค่าอัตราส่วนความหน่วงของการสั่นไหว (**Damping ratio**) โดยการวิเคราะห์ **Frequency Spectrum Analysis** โดยวิธี **Fast Fourier Transformation (FFT)**
 - จ. การจัดทำรายงานและผลสรุปของการตรวจวัดพร้อมข้อเสนอแนะ (ถ้ามี)
 - ฉ. ทำการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของโครงสร้างสะพานและทำการปรับแก้แบบจำลองเพื่อให้ผลของการวิเคราะห์สอดคล้องกับ ผลการตรวจวัดที่ได้จากการทดสอบภาคสนาม โดยอาศัยวิธี **Response sensitivity analysis** ร่วมกับ **Minimization of squared errors** ซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้ได้แบบจำลองที่มีความถูกต้องสูงสอดคล้องกับ

พฤติกรรมจริงของโครงสร้าง หลังจากนั้นจึงทำการประเมินความมั่นคงแข็งแรงและ
สภาวะการใช้งานของโครงสร้างตามมาตรฐานและหลักเกณฑ์ที่กำหนด

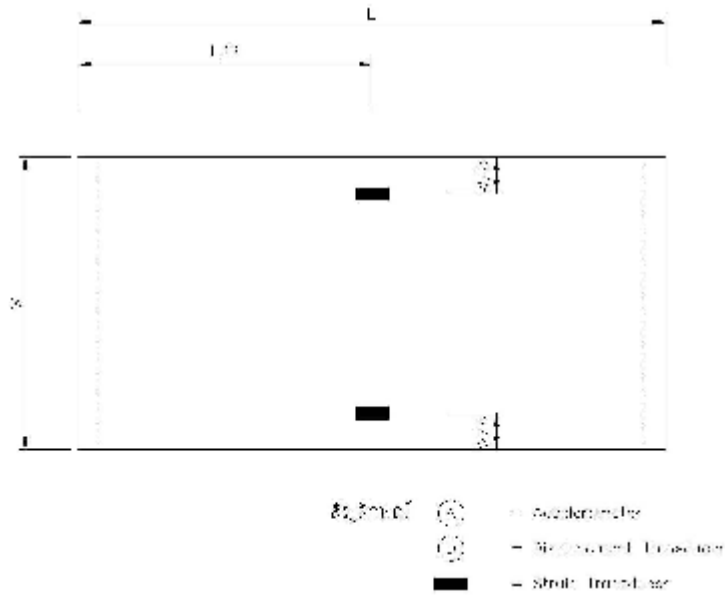
อุปกรณ์การตรวจวัด

1. อุปกรณ์วัดค่าความเครียด (Strain transducer)
2. อุปกรณ์วัดค่าการเคลื่อนที่ (Displacement transducer)
3. อุปกรณ์วัดค่าอัตราเร่งของการสั่นไหว (Accelerometer)
4. อุปกรณ์ในการทำ Signal conditioning และ Data acquisition
5. เครื่องคอมพิวเตอร์ในการเก็บตัวอย่าง บันทึกข้อมูล และประมวลผล
6. อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งล้อ Auto-Clicker

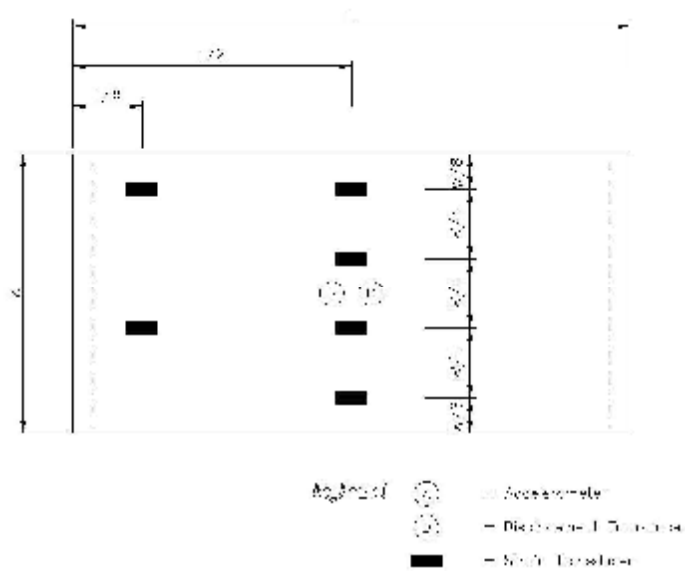
การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดพฤติกรรมโครงสร้างสะพาน

1. Strain Transducer

Strain Transducer จะถูกติดตั้งที่หน้าตัดรับโมเมนต์ดัดสูงสุด จากการวิเคราะห์พฤติกรรมของ
โครงสร้างเบื้องต้นพบว่าตำแหน่งหน้าตัดที่รับโมเมนต์บวกสูงสุดในช่วงกึ่งกลางโดยจะทำการติดตั้งอุปกรณ์
เพื่อที่จะตรวจวัดค่าความเครียดของหน้าตัดพื้นบริเวณด้านบน และด้านล่างของพื้นสะพาน และเพื่อให้
ทราบถึงพฤติกรรมของจตุรกรงรับจึงได้ติดตั้งอุปกรณ์ที่ตำแหน่งใกล้จตุรกรงรับ แสดงได้ดังรูปที่ 2-1 และ รูป
ที่ 2-2



รูปที่ 2-1 การติดตั้งอุปกรณ์ด้านบนของพื้นสะพาน



รูปที่ 2-2 การติดตั้งอุปกรณ์ด้านล่างของพื้นสะพาน

2. Displacement Transducer

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ Displacement Transducer ที่กึ่งกลางของช่วงสะพานเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่โครงสร้างสะพานมีการแอ่นตัวมากที่สุด แสดงได้ดังรูปที่ 2-2

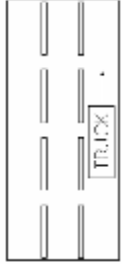
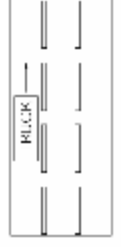
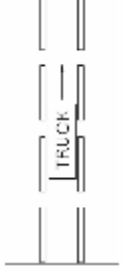
3. Accelerometer

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ Accelerometer ที่กึ่งกลางของช่วงสะพานเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่โครงสร้างสะพานมีการสั่นไหวมากที่สุด แสดงได้ดังรูปที่ 2-2

การทดสอบน้ำหนักบรรทุกภายใต้รถบรรทุกทดสอบ

การทดสอบน้ำหนักบรรทุกภายใต้รถบรรทุกทดสอบจะใช้รถบรรทุกมาตรฐานขนาดน้ำหนักรวมประมาณ 25 ตัน จำนวน 1 คัน วิ่งด้วยความเร็วต่ำเกือบหยุดนิ่งเพื่อตรวจวัดพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานในสภาวะสถิตและวิ่งด้วยความเร็วต่าง ๆ กันเพื่อตรวจวัดพฤติกรรมในสภาวะพลศาสตร์แสดงได้ดังตารางที่ 2-1 ซึ่งรายละเอียดการทดสอบอาจจะเปลี่ยนแปลงตามขนาดและจำนวนช่องจราจรของสะพานที่ใช้ทำการทดสอบจริง เช่น หากทำการทดสอบสะพานที่มีความกว้างมาก อาจทำการเพิ่มแนววิ่งรถทดสอบตามความกว้างของสะพานที่เพิ่มขึ้น เป็นต้น

ตารางที่ 2-1 ลักษณะการทดสอบโครงสร้างสะพาน

การทดสอบ ที่	ลักษณะการ ตรวจวัด	ความเร็ว กม./ชม.	ตำแหน่งรถที่ใช้ ทดสอบ	ภาพแสดง
1	สภาวะสถิต	5	ชิดขวาตามทิศทางการ วิ่งของรถบรรทุก	
2	สภาวะสถิต	5	ชิดซ้ายตามทิศทางการ วิ่งของรถบรรทุก	
3	สภาวะสถิต	5	กลาง	
4	สภาวะ พลศาสตร์	30	กลาง	
5	สภาวะ พลศาสตร์	60	กลาง	



รูปที่ 2-3 ตัวอย่างการใช้รถบรรทุกทดสอบวิ่งด้วยความเร็วสูงเพื่อตรวจวัดคุณสมบัติทางพลวัต

การทดสอบนี้จะทำการตรวจวัดพฤติกรรมความเครียด (Strain) การแอ่นตัว (Deflection หรือ Displacement) และ ความเร่งของการเคลื่อนที่ (Acceleration) ของสะพาน ณ ตำแหน่งต่างๆ เมื่อน้ำหนักทดสอบจากรถบรรทุกกระทำลงบนสะพานด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน โดยน้ำหนักและความเร็วที่ใช้ในการทดสอบจะถูกวิเคราะห์และประเมินเบื้องต้นแล้วว่าไม่ทำให้โครงสร้างสะพาน เกิดความเสียหายขณะทำการทดสอบ

จากผลการทดสอบที่ตรวจวัดได้จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์และประเมินดัชนีความปลอดภัย (Rating Factor) และคุณสมบัติทางพลวัตของโครงสร้างดังต่อไปนี้

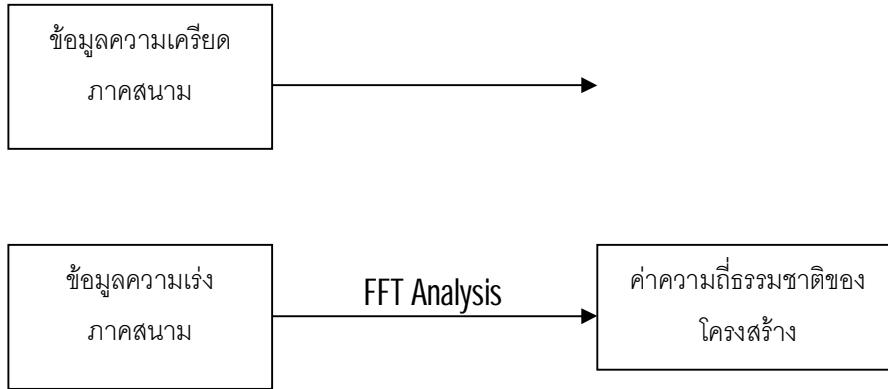
ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

1. การประมวลผลสัญญาณตรวจวัดภาคสนาม

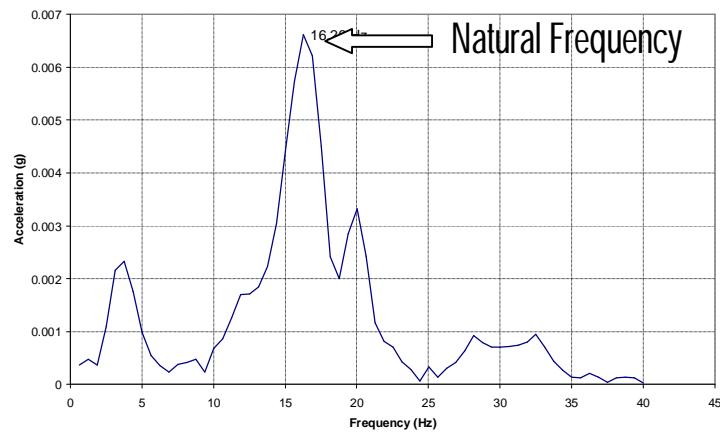
ค่าความเครียดที่ได้จากการตรวจวัด จะถูกนำมาใช้เพื่อประเมินค่าความเครียดในภาวะสถิตและพลวัต ณ เวลาต่าง ๆ ขณะที่รถบรรทุกทดสอบอยู่บนสะพาน

ค่าความเร่งของการสั่นไหวของโครงสร้างสะพานที่ได้จากการตรวจวัดสามารถนำมาประเมินหา ค่าความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างได้โดยอาศัยกระบวนการ Frequency Spectrum Analysis หรือ Fast Fourier Transformation (FFT) โดยแปลงข้อมูลความเร่งจากพิสัยเวลาให้อยู่ในพิสัยความถี่

ความเครียดจากรถบรรทุก
ทดสอบ
Static Component
Dynamic Component



รูปที่ 2-4 กระบวนการประมวลผลข้อมูลภาคสนาม



รูปที่ 2-5 ตัวอย่างการวิเคราะห์ FFT ของสัญญาณตรวจวัด

2. Dynamic Amplification Factor (DAF)

DAF คือค่าอัตราส่วนระหว่างผลการตอบสนองรวมต่อผลการตอบสนองเชิงสถิต โดยที่ผลการตอบสนองหมายถึง ค่าความเครียด หรือ ค่าการแอ่นตัว เป็นต้น DAF เป็นตัวแปรสำคัญในการพิจารณาผลกระทบเนื่องจากการสั่นไหวของโครงสร้างสะพานในการ ออกแบบเพราะเป็นตัวแปรที่บอกถึงผลการตอบสนองของโครงสร้างที่เพิ่มขึ้นในสภาวะพลศาสตร์นอกเหนือจากแรงกระทำแบบสถิต โดยที่

$$DAF = \frac{R_{total}}{R_{sta}} = \frac{R_{sta} + R_{dyn}}{R_{sta}}$$

เมื่อ DAF = Dynamic Amplification Factor

R_{sta} = ผลการตอบสนองสูงสุดของพหุติกรรมเชิงสถิต

$$R_{dyn} = \text{ผลการตอบสนองเชิงพลศาสตร์ ณ เวลาเดียวกับ } R_{sta}$$

ค่า DAF นั้นจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น น้ำหนักและความเร็วของรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ รูปตัดทางขวางของสะพาน และความเรียบของพื้นผิวสะพาน เป็นต้น โดยที่การควบคุมคุณภาพการก่อสร้างพื้นผิวสะพานที่ดี จะสามารถส่งผลให้ค่า DAF ลดลงได้ ตามมาตรฐาน AASHTO ได้กำหนดให้ค่า Impact Factor มีค่าไม่เกิน 0.30 ซึ่งสามารถคำนวณเป็นค่า DAF เท่ากับ 1.30

3. ค่าความหน่วงของโครงสร้าง (Damping Ratio, DR)

เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของโครงสร้างในการสลายพลังงานการสั่นไหวที่สะสม โดยปกติ สะพานจะมีค่าความหน่วงอยู่ที่ประมาณ 2-10% สะพานที่มีค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงมากก็จะมีแนวโน้มที่จะไม่เกิดปัญหาเนื่องจากการสั่นไหวของโครงสร้างสะพาน นั่นคือสะพานจะเกิดการแกว่งตัวในระยะเวลาสั้นๆ ก็จะกลับมาอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง ค่าสัมประสิทธิ์ความหน่วงสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$DR = \frac{1}{2pm} \ln \frac{d_n}{d_{n+m}}$$

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

4. ค่าความเค้นและความเครียดสูงสุด

ความเค้นและความเครียดสูงสุดในชิ้นส่วนหลักระหว่างการทดสอบ จะเป็นค่าสูงสุดที่รวมผลของปัจจัยการกระแทกจริงเข้าไว้ด้วย ซึ่งเป็นประโยชน์ในการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของสะพาน โดยคุณสมบัติทางพลวัตต่างๆที่ได้จากการวิเคราะห์ในข้างต้นจะได้นำมาใช้ประกอบในการปรับแก้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโครงสร้าง ให้มีพฤติกรรมสอดคล้องกับโครงสร้างจริงยิ่งขึ้น และใช้ประกอบในการพิจารณาประเมินสภาพและความเสียหายของสะพาน