บทที่ 3
ข้อมูลการตรวจวัดและการวิเคราะห์

3.1 บทนำ

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการประเมินผลต่าง ๆ นั้น ส่วนใหญ่แล้วจะมีที่มาจากข้อมูลการตรวจวัดภาคสนามมาประยุกต์ใช้กับสมการพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง และวิธีการดังกล่าวเป็นที่ยอมรับว่าจะนำไปสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความน่าเชื่อถือและให้ค่าจากการประเมินใกล้เคียงกับความเป็นจริง เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดเป็นตัวแทนของสภาพความเป็นจริงที่เกิดขึ้น

ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการประเมินอายุการใช้งานของสะพานเหล็กจำเป็นที่จะต้องมีการเก็บข้อมูลจากการตรวจวัดสะพานภายใต้สภาพการใช้งานจริง โดยทำการตรวจวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในโครงสร้างสะพาน อีกทั้งได้ทำการบันทึกประเภทและปริมาณการจราจรบนสะพานขณะทำการตรวจวัดด้วย

ในการศึกษาวิจัยนี้ การเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ได้ทำการแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรก เป็นการตรวจวัดภาคสนาม ซึ่งจะกล่าวถึงตั้งแต่การสำรวจเบื้องต้น การตรวจวัดปริมาณการจราจร การติดตั้งและการตรวจวัดความเครียดที่เกิดขึ้น ขั้นตอนที่สอง เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจวัดภาคสนาม จะกล่าวตั้งแต่การดึงข้อมูลจากหน่วยความจำหลักเพื่อนำมาหาหน่วยแรงที่เกิดขึ้น ความเค้นเทียบเท่า ความเค้นประสิทธิผล ประเมินค่าน้ำหนักของรถ ตัวประกอบการขยายพลวัต รวมทั้งการประเมินอายุการใช้งานของสะพานจากการตรวจวัดสภาพการใช้งานจริงและการประเมินอายุการใช้งานของสะพานจากมาตรฐานของ AASHTO

3.2 การตรวจวัดภาคสนาม

การจราจรที่เกิดขึ้นในสภาพการใช้งานจริงนั้นมีลักษณะที่ไม่คงที่ ทั้งปริมาณ น้ำหนัก และประเภทของรถที่ใช้ รวมทั้งลักษณะของโครงสร้างสะพานที่มีความซับซ้อน วิธีการที่จะประเมินให้ได้ผลที่มีความถูกต้องและใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุดก็คือการประเมินผลจากข้อมูลที่คาดว่าจะเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดที่เกิดขึ้น โดยที่ตัวแทนของข้อมูลจะได้จากการตรวจวัดภาคสนามภายใต้สภาพการใช้งานจริง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

3.2.1 การสำรวจเบื้องต้น

การสำรวจเบื้องต้นเป็นการหาข้อมูลที่จำเป็นเบื้องต้นที่จะใช้สำหรับการวางแผน กำหนดแนวทางและรายละเอียดของการตรวจวัดได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมตามหลักวิชาการ รวมทั้งให้มีผลกระทบต่อผู้ใช้ถนนระหว่างการดำเนินงานในการตรวจวัดให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยทำการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของสะพาน ลักษณะการ

จราจร การติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดดังตารางที่ 3-1 ซึ่งสรุปการสำรวจเบื้องต้น และตำแหน่งที่ตั้งของสะพานแต่ละแห่ง แนวการวางตัว และช่วงคานหลักดังแสดงในรูปที่ 3-1 ซึ่งการสำรวจเบื้องต้นสามารถสรุปได้ดังนี้

3.2.1.1 ลักษณะทั่วไปของสะพาน

ลักษณะและรูปแบบโครงสร้างของตัวสะพานมีผลอย่างมากต่อระดับการสั่นสะเทือนของสะพาน ซึ่งจะทำให้เกิดหน่วยแรงขึ้น-ลงแบบซ้ำ ๆ ต่อโครงสร้างของสะพาน การกำหนดวิธีการดำเนินงานในการเก็บข้อมูลของสะพานแต่ละแห่ง เพื่อที่จะให้ได้ข้อมูลที่มีประโยชน์สูงสุดต่อการที่จะให้ได้ข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการประเมินและการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นการสำรวจลักษณะโครงสร้างสะพานเบื้องต้นนี้ จะทำการเก็บข้อมูลรูปแบบโครงสร้างสะพานทั้งในส่วนของช่วงคานหลัก (main span) และช่วงคานรอง (approach span) ของทุกสะพาน และทำการตรวจสอบกับแบบที่ใช้ในการก่อสร้างที่ได้รับจากทางกรุงเทพมหานครดังรูปที่ 3-2

3.2.1.2 ข้อมูลการจราจรเบื้องต้น

สะพานที่ทำการตรวจวัดแต่ละแห่งมีทำเลที่ตั้งแตกต่างกัน ทำให้มีผลต่อประเภทและปริมาณของการใช้รถมากน้อยแตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อการสั่นสะเทือนของโครงสร้างสะพานโดยตรงเช่นกัน ดังนั้นจึงได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลการจราจรเบื้องต้นทั้งในแง่รูปแบบการใช้งานสะพาน ปริมาณการจราจร ประเภทของรถ รวมทั้งพฤติกรรมการขับขี่ ดังรูปที่ 3-3

3.2.1.3 การติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดความเครียด (strain gage)

การตรวจวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างสะพานในสภาพการใช้งานจริงเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญหลักอย่างหนึ่งในการที่จะนำไปประเมินอัตราการเสื่อมสภาพของสะพานและการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินอายุการใช้งานของสะพาน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะได้จากอุปกรณ์การตรวจวัดที่จะต้องทำการติดตั้งกับโครงสร้างของสะพาน และขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดจำเป็นที่จะต้องทำการปิดการจราจรในบางช่องทางจราจรขณะทำการติดตั้ง ดังนั้นข้อมูลการสำรวจในส่วนนี้ นอกจากใช้กำหนดตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ในการตรวจวัดแล้ว ยังจะใช้เพื่อเป็นการกำหนดแนวทางให้มีผลกระทบต่อผู้ใช้รถให้น้อยที่สุดด้วยดังรูปที่ 3-4

3.2.1.4 การตรวจนับปริมาณการจราจร

ในระหว่างที่ทำการตรวจวัดความเครียดจากอุปกรณ์ที่ติดตั้งกับโครงสร้างสะพานนั้น ขณะเดียวกันก็ได้มีการตรวจนับปริมาณการจราจรและประเภทของรถไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งการบันทึกดังกล่าวได้ใช้ทั้งคนในการบันทึกและการบันทึกจากกล้องวีดีโอสำหรับสะพานบางแห่ง ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องและลดความผิดพลาด จึงพิจารณาในแง่ของความชัดเจนของการมองเห็นยวดยานระหว่างทำการบันทึก ระยะทางในการติดต่อสื่อสารระหว่าง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้บันทึกและตู้เคบิน ความปลอดภัยของผู้ตรวจนับในยามค่ำคืน รวมทั้งความยากง่ายในการขออนุญาติเข้าไปใช้สถานที่ ดังรูปที่ 3-5

3.2.2 การตรวจวัดความเครียด

ขั้นตอนการตรวจวัดความเครียดเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากในการตรวจวัดภาคสนาม ไม่ว่าจะเป็นตำแหน่งของการติดตั้งและการใช้อุปกรณ์การตรวจวัดความเครียด เพราะถ้าค่าความเครียดที่ทำการตรวจวัดไม่ได้เป็นตัวแทนของข้อมูลที่ถูกต้องแล้ว จะมีผลทำให้การประเมินในขั้นตอนต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการประเมินอัตราการเสื่อมสภาพและการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความผิดพลาดหมด โดยจะทำการพิจารณาดังต่อไปนี้

3.2.2.1 ตำแหน่งของช่วงละพานที่ทำการตรวจวัด

ความเครียดที่มีค่าสูง ๆ ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะเกิดในช่วงคานหลักของสะพาน เนื่องจากโครงสร้างสะพานถูกออกแบบให้มีการรับน้ำหนักบรรทุกได้เท่ากัน ดังนั้นความยาวของช่วงคานหลักที่มีระยะระหว่างฐานรองรับที่มากจะทำให้สะพานเกิดการแอ่นตัวได้มากกว่าช่วงคานรอง ด้วยเหตุนี้การตรวจวัดสะพานจึงกำหนดการตรวจวัดความเครียดในช่วงคานหลัก และในกรณีที่สะพานบางแห่งมีช่วงคานหลักมากกว่าหนึ่งช่วง จะกำหนดช่วงคานที่ทำการตรวจวัดเป็นช่วงคานหลักที่มีความยาวมากที่สุด และเนื่องจากสะพานที่ทำการตรวจวัดได้ถูกออกแบบให้มีการรับน้ำหนักในแต่ละทิศทางการจราจรที่แยกออกจากกัน ดังนั้นทิศทางที่จะทำการตรวจวัดจะทำการกำหนดในทิศทางที่มุ่งหน้าเข้าสู่กรุงเทพมหานคร ทั้งนี้เพราะว่าในทิศทางดังกล่าวจะเป็นทิศทางที่รถบรรทุกจำนวนมากใช้สะพานเพื่อเข้าสู่ตัวเมือง โดยที่รถเหล่านี้ถูกคาดหมายว่าเป็นสาเหตุสำคัญที่จะทำให้เกิดความเครียดสูง ๆ ทำให้เพิ่มอัตราการเสื่อมสภาพของสะพานให้เกิดเร็วขึ้น ดังรูปที่ 3-1

3.2.2.2 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัด

ในการพิจารณาตำแหน่งที่จะทำการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดความเครียด จำเป็นที่จะต้องเป็นตำแหน่งที่แสดงถึงพฤติกรรมของความล้าที่เกิดกับโครงสร้างของสะพาน ดังนั้นตำแหน่งที่คำนึงถึงควรที่จะสอดคล้องกับปัจจัยดังต่อไปนี้

ก. บริเวณที่สามารถแสดงรูปแบบและลักษณะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากรถแล่นผ่าน
ข. บริเวณที่มีความสำคัญต่อเสถียรภาพของสะพานหากเกิดความเสียหายเนื่องจากผลของความล้า
ค. บริเวณที่ให้ค่าความเครียดที่สูง ซึ่งอาจเป็นจุดวิกฤตที่ทำให้โครงสร้างเกิดการวิบัติ

ดังนั้นจะพบว่าบริเวณที่มีความสอดคล้องและเหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัด คือ บริเวณกึ่งกลางช่วงคานหลัก เพราะเป็นบริเวณที่มีค่าความเครียดที่สูงพร้อมทั้งยังเป็นบริเวณที่มีโอกาสเสี่ยงต่อความเสียหาย

ที่เกิดเนื่องจากความล้าสูงอีกด้วย และการเลือกติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดจะทำการติดตั้งที่ตำแหน่งปีกล่างของช่วงคานหลัก เนื่องจากความล้าที่เกิดขึ้นจะมีผลมาจากหน่วยแรงดึงในช่วงคานหลัก และห่างจากแผ่นเหล็กตั้งประมาณ 2 เซนติเมตร เพื่อลดผลกระทบในบริเวณของรอยเชื่อมที่มีความหนาแน่นของหน่วยแรงสูง ซึ่งตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดจะกำหนดเป็น SP1 , SP2 , SP3 , SP4 , SP5 นอกจากนี้ในบางสะพานได้พิจารณาถึงผลของความเครียดที่ปีกล่างของคานตัวนอกในบริเวณ 1 ใน 4 ของช่วงคานหลักสะพานเป็น SP6 และบริเวณกึ่งกลางช่วงคานรองของสะพานเป็น SP7 ดังรูปที่ 3-6

3.2.2.3 อุปกรณ์การตรวจวัดความเครียดและหน้าที่การทำงาน

อุปกรณ์หลักที่สำคัญที่ใช้ในขั้นตอนของการตรวจวัดความเครียดที่เกิดขึ้นในโครงสร้างสะพานมี 6 ชนิดคือ

ก. สเตรนเกจ (strain gage) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดความเครียดที่เกิดขึ้น โดยที่สเตรนเกจที่ใช้เป็นสเตรนเกจแบบต้านทานไฟฟ้า นั่นคือเป็นเกจที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนค่าการยืดและหดตัวของสเตรนเกจให้เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งสเตรนเกจที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นแบบเมททอลฟลอยเกจ (metal foil gage) ดังรูปที่ 3-7 และมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่ 3-2

ข. ชีลเคเบิล (shield cable) เป็นสายไฟที่มีความต้านทานต่ำประมาณ 0.05 โอห์มต่อเมตรและป้องกันสัญญาณรบกวน ซึ่งชีลเคเบิลจะทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อตัวสเตรนเกจเข้ากับไดนามิคสเตรนแอมปลิไฟเออร์ (dynamic strain amplifier) โดยกำหนดให้อุปกรณ์ทำการสร้างวงจรไฟฟ้าแบบวีทสโตนบริดจ์ (wheatstone bridge) สำหรับสเตรนเกจแต่ละตัวในรูปแบบที่เรียกว่า ระบบควอเทอร์บริดจ์ทรีวาย (quarter bridge-3-wires system) ซึ่งเป็นรูปแบบที่สามารถลดผลกระทบจากการใช้สายไฟยาวลงได้

ค. ไดนามิคสเตรนแอมปลิไฟเออร์ ดังแสดงในรูปที่ 3-8 มีหน้าที่สำคัญ 3 ประการคือ ประการที่หนึ่งจะทำการขยายสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากในการยืดหดของสเตรนเกจที่ติดอยู่กับโครงสร้างของสะพานนั้นมีค่าการยืดหดที่น้อยมาก ประการที่สองไดนามิคสเตรนแอมปลิไฟเออร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนค่าสัญญาณความเครียดที่จุดตรวจวัดให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาลอก (analog signal) และประการสุดท้าย คือ ไดนามิคสเตรนแอมปลิไฟเออร์จะทำการส่งกระแสไฟฟ้าไปเลี้ยงที่สเตรนเกจ เพราะมิฉะนั้นแล้วตัวสเตรนเกจจะไม่สามารถทำงานได้

ง. อนาลอกโลว์พาสฟิวเตอร์ (analog lowpass filter) สัญญาณที่ได้รับจากไดนามิคสเตรนแอมปลิไฟเออร์จะมีสัญญาณรบกวนผสมมาด้วย เช่น สัญญาณรบกวนจากกระแสไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้าน ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการกรองสัญญาณรบกวนออกไปด้วยอนาลอกโลว์พาสฟิวเตอร์ ดังรูปที่ 3-9 ซึ่งมีหน้าที่ให้สัญญาณที่อยู่ในย่านความถี่ที่ต่ำกว่าความถี่ตัดออก (cut-off frequency, f_c) ผ่านได้โดยที่สัญญาณในย่านความถี่ต่ำไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่จะปิดกั้นและไม่ยอมให้ความถี่ที่สูงกว่าความถี่ตัดออกผ่าน และจากงานวิจัยนี้กำหนดให้ความถี่ตัด

ออกเป็น 20 เฮิรทซ์ เนื่องจากพบว่าการสั่นของโครงสร้างสะพานที่เป็นโครงสร้างเหล็กมีความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) อยู่ระหว่าง 2 ถึง 4 เฮิรทซ์ และสัญญาณการสั่นของสะพานที่พบมีค่าไม่เกิน 20 เฮิรทซ์ รวมทั้งยังได้พบอีกว่าสัญญาณรบกวนอยู่ที่ย่านความถี่ 50 เฮิรทซ์ ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ใช้

จ. อนาลอก ทู ดิจิตอล คอนเวอร์ทเตอร์ (analog-to-digital converter) ดังรูปที่ 3-10 ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาลอกที่ผ่านการกรองจากอนาลอกโลพาสฟิวเตอร์ให้เป็นสัญญาณแบบดิจิตอล

ฉ. คอมพิวเตอร์ (computer) หลังจากที่ทำการแปลงเป็นสัญญาณแบบดิจิตอลแล้ว จะนำข้อมูลที่ได้ส่งไปเก็บในหน่วยความจำหลัก (harddisk) ของคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม LABVIEW ในการเก็บข้อมูล ดังรูปที่ 3-11 ซึ่งจะมีการจัดเก็บข้อมูลในลักษณะของข้อมูลเลขฐานสอง (binary file, *.bin) เพื่อเป็นการประหยัดเนื้อที่ในการเก็บข้อมูล และอัตราความถี่ในการแปลงสัญญาณถูกกำหนดเป็น 50 ข้อมูลตัวเลขต่อวินาทีต่อช่องสัญญาณ ซึ่งสูงพอที่จะรักษาสภาพและลักษณะการเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลงของสัญญาณให้สมบูรณ์เมื่อนำข้อมูลมาใช้วิเคราะห์ และขั้นตอนการเก็บข้อมูลทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-12

3.2.3 การตรวจวัดการใช้ยวดยาน

ในการพิจารณาถึงอัตราการเสื่อมสภาพเนื่องจากรถแต่ละประเภท หรือการประเมินอายุการใช้งานของสะพานรวมทั้งการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จะใช้ในการประเมินอัตราการเสื่อมสภาพของสะพานนั้น จำเป็นที่จะต้องทำการเก็บข้อมูลทั้งประเภทและปริมาณการจราจรของรถไปพร้อม ๆ กับการเก็บข้อมูลความเครียดที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างสะพาน ซึ่งการเก็บข้อมูลการใช้ยวดยานสามารถจำแนกได้เป็น

3.2.3.1 การจำแนกประเภทของรถ

ความล้าของสะพานเกิดขึ้นเนื่องจากโครงสร้างของสะพานได้รับหน่วยแรงกระทำซ้ำขณะที่รถแล่นผ่าน และจากการวิเคราะห์ผลเบื้องต้นทำให้ทราบว่า รถยนต์ขนาดเล็กมีผลต่อความล้าน้อยมากเมื่อเทียบผลกับรถที่มีน้ำหนักบรรทุกมาก ได้แก่ รถบรรทุกหกล้อ รถบัส รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกกึ่งพ่วง และรถบรรทุกพ่วง ดังรูปที่ 3-13 ดังนั้นในการเก็บข้อมูลประเภทของรถจะทำการเก็บข้อมูลของรถเพียง 5 ประเภท ที่กล่าวข้างต้น

3.2.3.2 การบันทึกข้อมูล

ในการจดบันทึกข้อมูลการใช้ยวดยานนั้น จะทำการบันทึกทั้งประเภท ปริมาณของรถ และเวลาที่รถเคลื่อนผ่านตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดความเครียด รวมทั้งช่องทางการจราจรที่ใช้ ดังรูปที่ 3-14 เพื่อที่จะใช้ในการจับคู่กับสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดความเครียด และศึกษาผลของรถแต่ละประเภทที่มีต่ออัตราการเสื่อมสภาพเนื่องจากความล้า และในสะพาน B2 ได้มีการเก็บข้อมูลปริมาณของยวดยานเป็นวีดีโอเทปด้วย เพื่อที่จะได้

ตรวจสอบความผิดพลาดจากการบันทึกจากคนที่จดในภายหลัง และผลปรากฏว่าความถูกต้องในการจดบันทึกนั้นมีความถูกต้องมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจวัด

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการตรวจวัดนั้น เป็นขั้นตอนในการนำข้อมูลที่ได้ทำการเก็บจากการตรวจวัดภาคสนามที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นมาทำการวิเคราะห์ ตั้งแต่พฤติกรรมการสั่นของโครงสร้างสะพานขณะที่มีรถแล่นผ่าน หน่วยแรงที่เกิดขึ้น การประเมินน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัต การประเมินอายุการใช้งานของสะพาน และขั้นตอนในการวิเคราะห์ผลนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-15

3.3.1 การเรียกสัญญาณข้อมูลความเครียดจากการตรวจวัดภาคสนาม

เนื่องจากข้อมูลความเครียดจากการตรวจวัดภาคสนามที่เก็บไว้ในฮาร์ดดิสก์ เป็นการเก็บในลักษณะของไบนารีไฟล์หรือข้อมูลในเลขฐานสอง ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องทำการเปลี่ยนข้อมูลของเลขฐานสองดังกล่าวให้เป็นข้อมูลของเลขฐานสิบ เพื่อที่จะนำไปใช้งานและแสดงผลในขั้นตอนต่อไป

3.3.2 ทำการแยกประเภทของยานพาหนะ

เนื่องจากในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินอายุการใช้งานของสะพานนั้น จำเป็นที่จะต้องหาตัวแทนน้ำหนักของรถแต่ละประเภท ดังนั้นจึงต้องทำการแยกประเภทของรถออกเพื่อความสะดวกในขั้นตอนต่อ ๆ ไป โดยข้อมูลที่ทำการตรวจนับที่ใช้คนในการจดบันทึก จะจดทั้งเวลาที่รถแล่นผ่านจุดตรวจวัดและประเภทของรถ ซึ่งจากเวลาที่รถแล่นผ่านจุดตรวจวัด ความยาวของช่วงสะพานและความเร็วของรถที่ประเมินได้จะนำมาหาช่วงเวลาของสัญญาณที่รถแล่นผ่านช่วงสะพาน เมื่อได้ช่วงสัญญาณดังกล่าวก็จะทำการแยกประเภทของรถออกเป็นแต่ละประเภท

3.3.3 การหาค่าสูงสุดและต่ำสุดสัมพัทธ์ของช่วงสัญญาณความเครียด

เมื่อได้ช่วงสัญญาณความเครียดของรถแต่ละคันมาแล้ว จะนำช่วงความเครียดดังกล่าวมาหาจุดสูงสุดและต่ำสุดสัมพัทธ์ เพื่อที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนของวิธีการเรนโฟล์วเคาน์ติ้ง เนื่องจากวิธีการของเรนโฟล์วเคาน์ติ้งต้องการเพียงจุดต่ำสุดและสูงสุดสัมพัทธ์ของช่วงสัญญาณเท่านั้น และในการเก็บข้อมูลความเครียดจากการตรวจวัดภาคสนามนั้น ใน 1 วินาทีจะเก็บข้อมูลของสัญญาณได้ถึง 50 ข้อมูล เมื่อนำตัวอย่างของสัญญาณมาเขียนกราฟจะได้ดังรูป 3-16 ก และเมื่อขยายสัญญาณตัวอย่างจะเห็นได้ว่ามีจุดที่ไม่ใช่จุดสูงสุดและต่ำสุดสัมพัทธ์อยู่ ซึ่งไม่สามารถใช้กับวิธีการของเรนโฟล์วเคาน์ติ้ง ดังนั้นจึงต้องทำการหาจุดสูงสุดและต่ำสุดสัมพัทธ์ของช่วงความเครียดซึ่งจะได้ดังรูปที่ 3-16 ข

3.3.4 การวิเคราะห์ความเครียดด้วยวิธีการเรนโฟล์วเคาน์ติ้ง

จากสัญญาณตัวอย่างที่ได้ทำการหาจุดสูงสุดและต่ำสุดสัมพัทธ์ของช่วงสัญญาณความเครียด เมื่อนำช่วงสัญญาณตัวอย่างผ่านวิธีเรนโฟล์วเคาน์ติ้งก็จะได้จำนวนรอบและค่าช่วงความเค้น ดังรูปที่ 3-17 ก และรูปที่ 3-17 ข ซึ่งวิธีการและขั้นตอนได้อธิบายไว้ในหลักการและทฤษฎี

3.3.5 การวิเคราะห์ความเค้น

การบันทึกสัญญาณความเครียดที่ได้จากสเตรนเกจนั้น สัญญาณที่ได้จะอยู่ในรูปของความต่างศักย์ ซึ่งความสัมพันธ์ของความเครียดและความต่างศักย์นั้นจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์การตรวจวัด และในการตรวจวัดนี้ได้กำหนดความสัมพันธ์ของความเครียดกับความต่างศักย์เป็น 1 โวลท์ ต่อ 100 ไมโครสเตรน

$$1 \text{ volt} = 100\mu \text{ strain} \qquad (3\text{-}1)$$

และจากความสัมพันธ์ของความเครียดและความเค้นดังสมการที่ (2-6) ซึ่งค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็กเท่ากับ 2×10^6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และจะได้ความสัมพันธ์เป็น

$$\sigma = (2\times10^6)\cdot(\varepsilon) \qquad (3\text{-}2)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (3-1) และ (3-2) จะได้ความสัมพันธ์ของความต่างศักย์และความเค้นเป็น

$$1 \text{ volt} = 200 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร} \qquad (3\text{-}3)$$

3.3.6 การวิเคราะห์ความเค้นเทียบเท่าของรถแต่ละคัน

เมื่อสัญญาณตัวอย่างผ่านวิธีการเรนโฟล์วเคาน์ติ้งดังรูปที่ 3-17 และทำการเปลี่ยนค่าความเครียดเป็นความเค้นจะได้ดังรูปที่ 3-18 ก ซึ่งสัญญาณความเค้นที่ได้จะมีหลายค่าช่วงความเค้น และเมื่อต้องการแทนด้วยความเค้นเทียบเท่าเพียง 1 รอบ โดยที่อัตราความเสียหายที่เกิดขึ้นเท่าเดิมนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการที่(2-12) ซึ่งจะได้ความเค้นเทียบเท่าดังรูปที่ 3-18 ข

$$S_1 = \sqrt[3]{\left(166.4^3 + 50.2^3 + 43.2^3 + 30.4^3 + \ldots\right)}$$

$$S_1 = 169.67 \quad \text{กก./ตร.ซม.}$$

3.3.7 วิเคราะห์ความเค้นเทียบเท่าสถิตศาสตร์

การวิเคราะห์ค่าตัวประกอบการขยายพลวัตจำเป็นที่จะต้องหาความเค้นเทียบเท่าสถิตศาสตร์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากรถคันนั้น ๆ แล่นผ่านจุดตรวจวัด ซึ่งความเค้นเทียบเท่าสถิตศาสตร์เป็นความเค้นเสมือนที่เกิดเนื่องจากน้ำหนักรถแล่นผ่านจุดตรวจวัดอย่างช้า ๆ โดยไม่เกิดการสั่นสะเทือนของโครงสร้าง เกิดเฉพาะการแอ่นตัวของคานเนื่องจากน้ำหนักสถิตศาสตร์และจากสัญญาณการตรวจวัดที่ได้มาจะมีสัญญาณการสั่นสะเทือนที่มีความถี่สูงกว่าความถี่ของความเค้นสถิตศาสตร์ปนมาด้วย

ดังนั้นเมื่อต้องการเพียงสัญญาณของความเค้นสถิตศาสตร์ก็สามารถทำได้โดยทำการกรองสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าสัญญาณความเค้นทางสถิตศาสตร์ออก ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ฟังชันก์ในโปรแกรม MATLAB ที่ใช้วิธีการของ Lowpass Butterworth Filter ในการกรองสัญญาณความเครียดที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3-19 และได้ค่าความเค้นเทียบเท่าสถิตศาสตร์เป็น 145.4 กก./ตร.ซม.

3.3.8 ตัวประกอบการขยายพลวัต

ตัวประกอบการขยายพลวัต คือ อัตราส่วนของความเค้นที่รวมผลของการสั่นพลวัตต่อความเค้นเทียบเท่าสถิตศาสตร์ ซึ่งจากสมการที่ (2-18) สามารถคำนวณค่าตัวประกอบการขยายพลวัตของสัญญาณ ตัวอย่างได้เป็น

$$DAF_i = \frac{169.7}{145.5} = 1.17$$

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินอายุการใช้งานจำเป็นที่จะต้องประเมินถึงค่าตัวประกอบการขยายพลวัตของรถแต่ละประเภท แต่เนื่องจากลักษณะของสะพานที่แตกต่างกัน เช่น ความยาวและลักษณะของสะพาน ความขรุขระ ฯลฯ ทำให้ไม่สามารถหาตัวแทนของตัวประกอบการขยายพลวัตรวมทุกสะพานในรถแต่ละประเภทของได้ จึงต้องหาตัวประกอบการขยายพลวัตของรถแต่ละประเภทแยกเป็นสะพานเพื่อที่จะนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่อไป ซึ่งจากสมการที่ (2-16) จะได้เป็น

$$Se_{jk} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{T_{jk}} \left(f_i \cdot S_i^3 \right)} \qquad (3\text{-}4)$$

โดยที่ j ประเภทของรถ

k ลำดับของสะพาน

Se_{jk} เป็นความเค้นประสิทธิผลของรถประเภท j ในสะพาน k

T_{jk} จำนวนรถประเภท j ทั้งหมด ในสะพาน k

จากสมการที่ (2-18) และสมการที่ (3-4) สามารถหาค่าตัวประกอบการขยายพลวัตของรถประเภท j และสะพาน k ได้เป็น

$$DAF_{jk} = \frac{Se_{jk}}{Seq_{jk}} \qquad (3\text{-}5)$$

$$Seq_{jk} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{T_{jk}} \left(Sq_i^3\right)} \qquad (3\text{-}6)$$

โดยที่ DAF_{jk} ตัวประกอบการขยายพลวัตของรถประเภท j ใน สะพาน k

Seq_{jk} ความเค้นเทียบเท่าสถิตศาสตร์ประสิทธิผลของรถประเภท j ในสะพาน k

Sq_i ความเค้นเทียบเท่าสถิตศาสตร์ของรถคันที่ i

ดังนั้นจะได้ความเค้นประสิทธิผลและตัวประกอบการขยายพลวัตของรถแต่ละประเภทในแต่ละสะพานดังตารางที่ 3-3

3.3.9 การประเมินน้ำหนักรถจากค่าความเค้นที่ได้จากการตรวจวัด

เมื่อทราบถึงความเค้นและตัวประกอบการขยายพลวัตที่เกิดขึ้นที่จุดตรวจวัดเนื่องจากรถแล่นผ่านแล้ว ทำให้สามารถที่จะประเมินน้ำหนักรถคันนั้น ๆ ได้จาก

$$S_i = \frac{M_i}{Z_i} \qquad (3\text{-}7)$$

$$S_i = \frac{\left(W_i \cdot DAF_i \cdot Le_i \cdot m_i\right)}{Z_i} \qquad (3\text{-}8)$$

โดยที่ M_i โมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่จุดตรวจวัด

Z_i โมดูลัสหน้าตัด (modulus of section) ของสะพานนั้น ๆ (ดูในภาคผนวก ก และตารางที่ ก-3)

W_i น้ำหนักรถ

Le_i ตัวประกอบการกระจายด้านข้างของสะพานนั้น ๆ (ดูในหัวข้อ 3.5.1.3)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

m_i ตัวประกอบโมเมนต์ดัด (moment factor) ของรถแต่ละประเภท (ดูในหัวข้อ 3.5.2)

จากสมการที่ (3-8) จะได้สมการของน้ำหนักรถเป็น

$$W_i = \frac{(S_i \cdot Z_i)}{(DAF_i \cdot Le_i \cdot m_i)} \qquad (3\text{-}9)$$

และจากสัญญาณตัวอย่างเป็นสัญญาณของรถบรรทุกหกล้อ ที่ทำการตรวจวัดได้ที่สะพาน B1 ซึ่งตัวแปรในการประเมินน้ำหนักมีดังนี้คือ

S = 169.67 กก./ตร.ซม.

Z = 36036.70 ซม.^{3}

m = 1195.62 หน่วยน้ำหนัก-ซม.

DAF = 1.17

Le = 0.47

แทนค่าดังกล่าวลงในสมการที่ (3-9) จะได้น้ำหนักของรถบรรทุกหกล้อเป็น

$$W = \frac{(169.67 \times 36036.70)}{(1195.62 \times 1.17 \times 0.47)}$$

$$W = 9299.79 \text{ กก.}$$

น้ำหนักประสิทธิผล (effective weight) เป็นตัวแทนน้ำหนักที่ทำให้เกิดความเสียหายรวมเท่ากัน ซึ่งจากน้ำหนักของรถแต่ละคันที่ประเมินได้สามารถที่จะหาน้ำหนักประสิทธิผลของรถแต่ละประเภทในสะพานนั้น ๆ ได้ โดยจากสมการที่ (3-4) และสมการที่ (3-9) จะได้เป็น

$$We_{jk} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{T_{jk}} (f_i \cdot W_i^3)} \qquad (3\text{-}10)$$

โดยที่ We_{jk} น้ำหนักประสิทธิผลของรถประเภท j ในสะพาน k

และจะได้น้ำหนักประสิทธิผลของรถแต่ละประเภทในแต่ละสะพานดังแสดงในตารางที่ 3-3 และการกระจายน้ำหนักของรถแต่ละประเภทดังรูปที่ 3-20

3.4 การประเมินอายุการใช้งานของสะพานเหล็กจากข้อมูลการตรวจวัดความเครียด

การประเมินอายุการใช้งานของสะพานเหล็กจากข้อมูลการตรวจวัดความเครียดจากสภาพการใช้งานจริง เป็นวิธีการประเมินอายุการใช้งานที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่สุด เนื่องจากความเครียดที่ได้จากการตรวจวัดเป็นความเครียดที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของสะพาน โดยการประเมินอายุด้วยวิธีการนี้จะประเมินผ่าน ค่าความเค้นประสิทธิผล ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของความเค้นเนื่องจากความล้า ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันต่อช่องทางการจราจรนอกสุด และลักษณะของรอยเชื่อม ดังสมการที่ (2-24)

$$Y = \frac{K \times 10^{6}}{Ta \cdot C \cdot Se^{3}}$$

และในขั้นตอนการประเมินอายุการใช้งานนี้ จะทำการประเมินสะพาน B1 เป็นตัวอย่าง

3.4.1 ความเค้นประสิทธิผล

ทำการคำนวณความเค้นประสิทธิผลจากความเค้นเทียบเท่าของรถแต่ละคัน โดยทำการแทนความเค้นเทียบเท่าของรถทุกคันในสะพานนั้น ๆ (สะพาน B1) ลงในสมการที่ (2-16)

$$Se_k = \sqrt[3]{\left(\sum_{i=1}^{T_k} f_i \cdot S_i^{3} \right)} \qquad (3\text{-}11)$$

โดยที่ Se_k ความเค้นประสิทธิผลที่เกิดขึ้นกับสะพาน k

T_k จำนวนรถทั้งหมดในสะพานนั้น ๆ

ซึ่งความเค้นประสิทธิผล และจำนวนรถที่เกิดในแต่ละสะพานแสดงได้ดังตารางที่ 3-4 และในสะพาน B1 มีความเค้นประสิทธิผล

$$Se = 315.58 \text{ กก./ตร.ซม.}$$

3.4.2 ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันต่อช่องการจราจรนอกสุด

เนื่องจากในการตรวจวัดความเครียดได้ทำการตรวจวัดเป็นระยะเวลา 3 วัน ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงจำนวนข้อมูลของการจราจรในแต่ละสะพานให้เป็นปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันต่อช่องทางการจราจรนอกสุด ซึ่งจะได้ดังตารางที่ 3-4 และในสะพาน B1 มีปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันต่อช่องทางการจราจรนอกสุดเป็น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Ta = 274 คันต่อวันต่อช่องทางการจราจรนอกสุด

3.4.3 ลักษณะของรอยเชื่อม

ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดมีลักษณะของรอยเชื่อมเป็นแบบ B' ในทุก ๆ สะพาน ดังนั้นจากตารางที่ 2-1 จะได้ค่าลักษณะของรอยเชื่อมเป็น

K = 17

3.4.4 จำนวนรอบของความเค้นต่อการแล่นผ่านของรถ 1 คัน

เนื่องจากขั้นตอนในการประเมินความเค้นเทียบเท่านั้น ได้มีการแปลงค่าความเค้นที่มีลักษณะจำนวนรอบหลาย ๆ รอบต่อการผ่านของรถ 1 คัน ให้เป็นความเค้นเทียบเท่าเพียงหนึ่งรอบแล้ว ดังนั้นจึงใช้ค่าจำนวนรอบของความเค้นต่อการแล่นผ่านของรถ 1 คันเป็น

C = 1 รอบ / คัน

3.4.5 อายุการใช้งานของสะพานเหล็ก

จากสะพานตัวอย่าง B1 ซึ่งมีค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการประเมินอายุการใช้งานของสะพานดังนี้

Se = 4.49 กิโลปอนด์ / ตร.นิ้ว (315.58 กก. / ตร.ซม.)
Ta = 274 คันต่อวันต่อช่องทางการจราจรนอกสุด
K = 17
C = 1 รอบ / คัน

แทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ลงในสมการที่ 2-24 จะได้อายุการใช้งานของสะพาน B1 (ไม่คิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณการจราจรในอนาคต) เป็น

$$Y = \frac{17 \times 10^6}{274 \times 1 \times 4.49^3}$$

Y = 684 ปี

และอายุการใช้งานของสะพานอื่น ๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3-4

3.5 การประเมินอายุการใช้งานของสะพานเหล็กโดยใช้แบบจำลองรถบรรทุกตามมาตรฐานของ AASHTO

ในการประเมินอายุการใช้งานของสะพานเหล็กโดยใช้แบบจำลองของรถบรรทุกตามมาตรฐานของ AASHTO นั้น จะใช้ลมการในการประเมินอายุการใช้งานเหมือนกับการประเมินอายุการใช้งานจากการตรวจวัดความเครียด แต่ในการใช้แบบจำลองของรถบรรทุกมาตรฐานนี้ จำเป็นที่จะต้องคำนวณความเค้นประสิทธิผลจากการนำแบบจำลองรถบรรทุกมาตรฐานแล่นผ่านบนสะพาน และปริมาณรถบรรทุกเฉลี่ยต่อวันต่อช่องทางการจราจร จะต้องทำการแปลงปริมาณของรถที่ตรวจนับได้ไปเป็นปริมาณของรถบรรทุกมาตรฐาน ส่วนจำนวนรอบของความเค้นต่อการแล่นผ่านของรถบรรทุกจะขึ้นอยู่กับความยาวของสะพานดังที่ได้กล่าวไว้ในหลักการและทฤษฎี และในขั้นตอนนี้จะแสดงการประเมินอายุการใช้งานของสะพาน B1 ดังนี้

3.5.1 ความเค้นประสิทธิผล

3.5.1.1 ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่กึ่งกลางช่วงคานหลัก เนื่องจากรถบรรทุกมาตรฐาน

จากลักษณะของรถบรรทุกมาตรฐาน ดังรูปที่ 2-8 ซึ่งมีน้ำหนักลงเพลาหน้าเป็น 2728 กิโลกรัม (6 กิโลปอนด์) ส่วนเพลากลางและเพลาท้ายเป็น 10886 กิโลกรัม (24 กิโลปอนด์) และระยะห่างระหว่างเพลาหน้าและเพลากลาง 4.3 เมตร (14 ฟุต) และระยะระหว่างเพลากลางและเพลาท้ายเป็น 9.1 เมตร (30 ฟุต) ซึ่งเมื่อให้ความยาวช่วงคานหลักของสะพานมีความยาวเป็น L ดังนั้นสามารถที่จะทำการจัดวางตำแหน่งของรถบรรทุกมาตรฐานให้อยู่ในตำแหน่งที่เกิดค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่กึ่งกลางช่วงคานหลักได้ดังรูปที่ 3-21 ซึ่งตำแหน่งของเพลากลางจะอยู่ที่กึ่งกลางช่วงคานหลักของสะพาน (L/2) พอดี และจะได้ลมการโมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งดังกล่าวเป็น

$$M = 6123.5 \cdot L - 55383.6 \qquad (3\text{-}12)$$

โดยที่ M โมเมนต์ดัดสูงสุดที่กึ่งกลางช่วงคานหลัก (กก.-ม)

L ความยาวของช่วงคานหลัก (ม.)

ดังนั้นในสะพานตัวอย่าง B1 มีความยาวช่วงคานหลักเป็น 50 เมตร ซึ่งจะให้ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดเป็น

$$M = 6123.5 \times 50 - 55383.6$$

$$M = 250791.4 \text{ กก.-ม.}$$

3.5.1.2 การกระแทก

ตามมาตรฐานของ AASHTO ได้กำหนดให้ใช้ตัวประกอบการกระแทกดังนี้คือ

1.10 สำหรับผิวทางที่มีความเรียบ

1.10-1.30 สำหรับผิวทางที่มีความขรุขระ

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ค่าตัวประกอบการกระแทก 1.20

3.5.1.3 การกระจายด้านข้าง

ตัวประกอบการกระจายด้านข้าง เป็นค่าที่จะนำไปกระจายค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในช่วงคานหลักสู่ชิ้นส่วนที่จะทำการพิจารณา และการคำนวณค่าการกระจายด้านข้างของสะพาน B1 สามารถแสดงได้ดังนี้

ก. ตัวประกอบการกระจายด้านข้าง สำหรับคานด้านใน

$$Li = \frac{s}{D} \quad \text{แต่ไม่มากกว่า} \quad \frac{s-3}{s}$$

โดยที่ s เป็นระยะห่างระหว่างคาน ซึ่งจากแบบของโครงสร้างสะพาน B1 พบว่า s = 6.30 ฟุต (1.92 เมตร) และ D เป็นตัวประกอบดังตารางที่ 1-2 ซึ่งสะพาน B1 มีความยาว 50 เมตร จะได้ D = 23 ดังนั้นจะได้

$$\frac{s}{D} = 0.27 \, , \, \frac{s-3}{s} = 0.52$$

ดังนั้นสะพาน B1 จะมีค่าการกระจายด้านข้างสำหรับคานด้านใน Li = 0.27

ข. ตัวประกอบการกระจายด้านข้าง สำหรับคานด้านนอก

$P > 0.5$ แล้ว $Le = 0.7 - 0.4 \cdot P$ แต่ไม่น้อยกว่า Li

$P \leq 0.5$ แล้ว $Le = 0.9 - 0.8 \cdot P$ แต่ไม่น้อยกว่า Li

โดยที่ P เป็นระยะระหว่างคานตัวนอกถึงกึ่งกลางช่องการจราจรด้านนอกที่ใกล้กับคานตัวนอกที่สุดหารด้วยระยะห่างระหว่างคาน และจากแบบโครงสร้างสะพานจะได้

$$P = \frac{3.60}{6.30}$$

$$P = 0.57$$

ซึ่งจะได้

$$Le = 0.7 - 0.4 \times 0.57 \quad \text{แต่ไม่น้อยกว่า Li}$$

$$Le = 0.47$$

ดังนั้นสะพาน B1 จะมีค่าการกระจายด้านข้างสำหรับคานด้านนอก Le = 0.47

3.5.1.4 ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่กึ่งกลางช่วงคานหลักด้านนอกสุด

ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่คานตัวนอกสุด มีผลมาจากค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้น การกระจายแรงด้านข้างและการกระแทก ซึ่งจะได้ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่กึ่งกลางคานตัวนอกเป็น

$$M_e = M \cdot I \cdot Le \qquad (3\text{-}13)$$

ดังนั้นแทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ (3-13) ซึ่งจะได้เป็นค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในสะพาน B1

$$M_e = 141759.8 \text{ กก.-ม.}$$

ความเค้นที่เกิดขึ้นที่กึ่งกลางของคานตัวนอกสุด สามารถคำนวณได้จาก

$$S = \frac{M_e}{Z}$$

และในสะพาน B1 มีค่า Z = 36036.70 ซม.^{3} (ดูในภาคผนวก ก และตารางที่ ก-3) ดังนั้นจะได้ค่าช่วงความเค้น

$$S = \frac{141759.84 \times 100}{36036.70}$$

S = 393.4 กก. / ตร.ซม. (5.59 กิโลปอนด์ / ตร.นิ้ว.)

3.5.2 ปริมาณรถบรรทุกเฉลี่ยต่อวันต่อช่องทางการจราจร

ในการประเมินอายุการใช้งานตามมาตรฐานของ AASHTO นั้น ปริมาณรถบรรทุกต่อวันต่อช่องทางการจราจรที่จะใช้ในการประเมินอายุการใช้งาน จำเป็นที่จะต้องทำการแปลงปริมาณรถที่ทำการตรวจนับทั้งหมด ได้แก่ รถบรรทุกหกล้อ รถบัส รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกกึ่งพ่วง และรถบรรทุกพ่วง ให้เป็นปริมาณของรถบรรทุกมาตรฐาน โดยการคิดปริมาณอัตราความเสียหายที่เกิดจากรถที่ได้จากการตรวจนับให้เท่ากับอัตราความเสียหายที่เกิดขึ้นจากรถบรรทุกมาตรฐาน และจากสมการอัตราความเสียหาย (สมการที่ 2-7) จะเห็นได้ว่าอัตราความเสียหายขึ้นกับความเค้นกำลังสาม หรือก็คือขึ้นกับค่าโมเมนต์ดัดกำลังสามนั่นเอง

ในการคำนวณค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นเนื่องจาก รถบรรทุกหกล้อ รถบัส รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกกึ่งพ่วง และรถบรรทุกพ่วง ที่แล่นผ่านสะพานนั้น มีความแตกต่างกันในลักษณะของรถประเภทเดียวกัน เช่น ในรถบรรทุกสิบล้อ อาจจะมีระยะระหว่างเพลา หรือน้ำหนักลงเพลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการคำนวณค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดเนื่องจากรถแต่ละประเภท จะพิจารณาลักษณะของรถแต่ละประเภท เช่น น้ำหนักรถ น้ำหนักลงเพลา ตามกฎหมายควบคุมน้ำหนักรถ และมีการจัดวางตำแหน่งของรถแต่ละประเภทให้เกิดค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดที่กึ่งกลางช่วงคานหลัก ดังรูปที่ 3-22 และจะได้สมการของตัวประกอบโมเมนต์ดัด (โมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนัก 1 หน่วย) ที่กึ่งกลางช่วงคานหลักเป็น

$$\begin{aligned} m_{6W} &= 25 \cdot L - 54.375 \\ m_{Bus} &= 25 \cdot L - 110.250 \\ m_{10W} &= 25 \cdot L - 70.833 \\ m_{Semi} &= 25 \cdot L - 210.267 \\ m_{Full} &= 25 \cdot L - 190.663 \end{aligned} \qquad (3\text{-}14)$$

โดยที่ 6W Bus 10W Semi และ Full แทนด้วย รถบรรทุกหกล้อ รถบัส รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกกึ่งพ่วง และรถบรรทุกพ่วง และค่าตัวประกอบโมเมนต์ดัด ค่าโมเมนต์ดัดสูงสุดของสะพาน B1 ที่เกิดขึ้นเนื่องจากรถแต่ละประเภทที่ใช้น้ำหนักตามกฎหมายควบคุมน้ำหนักรถ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3-5 และปริมาณรถบรรทุกมาตรฐานต่อวันต่อช่องทางการจราจรดังตารางที่ 3-6 และในสะพาน B1 จะได้

Ta = 259 คันต่อวันต่อช่องทางการจราจร

3.5.3 จำนวนรอบของความเค้นต่อการแล่นผ่านของรถ

จากสมการที่ (2-28) เนื่องจากสะพานที่ทำการศึกษาทั้งหมดมีความยาวมากกว่า 40 ฟุต (12 เมตร) ดังนั้น จำนวนรอบของความเค้นต่อการแล่นผ่านของรถในทุกสะพานจะมีค่าเท่ากันคือ

$$C = 1.0$$

3.5.4 อายุการใช้งานของสะพานเหล็กตามมาตรฐานของ AASHTO

จากสะพานตัวอย่าง B1 ซึ่งมีค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการประเมินอายุการใช้งานของสะพานดังนี้

Se = 5.59 กิโลปอนด์ / ตร.นิ้ว (393.38 กก. / ตร.ซม.)
Ta = 259 คันต่อวันต่อช่องทางการจราจรนอก
K = 17
C = 1 รอบ / คัน

แทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ลงในสมการที่ (2-24) จะได้อายุการใช้งานของสะพาน B1 เป็น

$$Y = \frac{17 \times 10^6}{259 \times 1 \times 5.59^3}$$

$$Y = 375 \text{ ปี}$$

และการประเมินอายุการใช้งานของสะพานต่าง ๆ ตามมาตรฐานของ AASHTO สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3-7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย