บทที่ 7

บทสรุป

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่าวิธีการหาน้ำหนักรถบรรทุกได้เริ่มทำการศึกษาจากการสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์เพื่อศึกษาว่าวิธีการหาน้ำหนักรถบรรทุกนั้นมีข้อจำกัดในด้านในบ้างตลอดจนทำการทดสอบด้วยแบบจำลองย่อส่วนเพื่อยืนยันประสิทธิภาพ แต่ก็ยังมีข้อจำกัดมากมายที่ไม่สามารถยืนยันได้ว่าวิธีการหาน้ำหนักรถบรรทุกนั้นมีความสามารถในการใช้งานจริงได้ เช่น ลักษณะการกระจายแรงของสะพานหรือความแตกต่างของแบบจำลองสะพานกับรถบรรทุกกับของจริงเป็นต้น ดังนั้นในการทดสอบครั้งนี้จะทำการทดสอบการหาน้ำหนักรถบรรทุกด้วยการใช้เทคนิคไดนามิคโปรแกรมมิงร่วมกับเทคนิคการคำนวณซ้ำเพื่อประเมินว่าวิธีการหาน้ำหนักรถด้วยการใช้เทคนิคไดนามิคโปรแกรมมิงร่วมกับเทคนิคการคำนวณซ้ำมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับงานนำไปใช้งานจริง

การทดสอบการหาน้ำหนักรถบรรทุกในครั้งนี้เป็นการทดสอบกับสะพานจริงเป็นครั้งแรกซึ่งในการทดสอบครั้งนี้ได้เลือกสะพานบางน้อยสำหรับทำการทดสอบซึ่งรูปแบบโครงสร้างใช้ระบบพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงสำเร็จรูปเป็นตัวสะพาน โดยจากการตรวจสอบพบว่าขนาดสัญญาณค่าความเครียดที่ทำการตรวจวัดได้มีค่ามากเพียงพอสำหรับการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาน้ำหนักจากค่าความเครียดหรือค่าโมเมนต์ โดยจากผลการวิจัยพบว่าสะพานจะไม่มีความต่อเนื่องระหว่างช่วงสะพานและสะพานมีลักษณะการกระจายแรงระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตที่แตกต่างไปจากสะพานที่เคยทำการศึกษาในอดีต ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าสะพานที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้มีลักษณะการถ่ายแรงร่วมกัน ซึ่งสามารถใช้วิธีการหาน้ำหนักด้วยวิธีเทคนิคไดนามิคโปรแกรมมิงร่วมกับเทคนิคการคำนวณซ้ำ เพื่อนำไปสู่คำตอบที่ถูกต้องที่ใกล้เคียงกับน้ำหนักจริงได้

จากการศึกษาการหาน้ำหนักรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่บนสะพานด้วยการทดสอบภาคสนามโดยนำค่าความเครียดของสะพานที่ตรวจวัดได้มาทำการหาน้ำหนักรถนั้น พบว่าการใช้วิธีไดนามิคโปรแกรมมิงร่วมกับเทคนิคการคำนวณซ้ำสามารถให้ผลการทายน้ำหนักที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าน้ำหนักจริงของรถบรรทุกทดสอบ แม้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหน้าโดยส่วนใหญ่จะมีค่าค่อนข้างมากแต่ถ้าพิจารณาในส่วนของค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวมที่ได้ก็สามารถยืนยันได้ว่าผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ดีพอสมควร ซึ่งจากผลการศึกษาจากการทดสอบทั้ง 51 การทดสอบในแต่ละรูปแบบนั้น พบว่ามีอิทธิพลต่างๆ ที่อาจส่งผลต่อระดับความถูกต้องในการหาน้ำหนัก ดังนี้

7.1 อิทธิพลของน้ำหนักของรถบรรทุก

จากผลการทดสอบจะพบว่า ลักษณะของค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักจะมีลักษณะแปรผันกับค่าน้ำหนักของรถบรรทุกที่ทำการทดสอบ กล่าวคือถ้าน้ำหนักรถที่ใช้ในการทดสอบมีค่ามากขึ้น ค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของแต่ละหน้าตัดของสะพานจะมีค่ามากขึ้น และเมื่อทำการพิจารณาโดยการสังเกตค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของทั้งน้ำหนักเพลาหน้า น้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวมของรถบรรทุกทดสอบพบว่ารถบรรทุกที่มีน้ำหนักมากจะให้ค่าคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่ารถบรรทุกที่มีน้ำหนักเบากว่า แต่ถ้าพิจารณาจากค่าน้ำหนักที่ความคลาดเคลื่อน จะพบว่าค่าน้ำหนักของรถบรรทุกที่คลาดเคลื่อนจริงจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งเป็นการยืนยันว่าค่าความคลาดเคลื่อนจากการหาน้ำหนักด้วยเทคนิคไดนามิคโปรแกรมมิงร่วมกับเทคนิคการคำนวณซ้ำอาจจะไม่ขึ้นกันผลของน้ำหนักรถบรรทุกก็เป็นได้ อย่างไรก็ดีในการทดสอบครั้งนี้ใช้น้ำหนักรถบรรทุกทดสอบที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วงระหว่าง 20-26 ตัน จึงทำให้ไม่สามารถสรุปผลของอิทธิพลของน้ำหนักรถบรรทุกต่อความถูกต้องในการหาน้ำหนักได้ชัดเจน

7.2 อิทธิพลของความเร็วของรถบรรทุก

จากผลการทดสอบจะพบว่าเมื่อรถบรรทุกเคลื่อนที่ผ่านสะพานด้วยความเร็วที่สูง จะส่งผลทำให้ค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักมีลักษณะสัญญาณที่แปรปรวนมากขึ้น กล่าวคือการที่รถบรรทุกเคลื่อนที่ผ่านสะพานด้วยความเร็วที่สูงจะส่งผลให้เกิดแรงทางพลศาสตร์ที่ล้อรถกระทำกับสะพานมากขึ้นกว่ารถบรรทุกที่วิ่งด้วยความเร็วที่ช้ากว่า ซึ่งทำให้น้ำหนักรถบรรทุกที่หาได้มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นเพราะการหาน้ำหนักรถบรรทุกจะใช้การเฉลี่ยแรงในเพลาของรถบรรทุก ดังนั้นเมื่อรถบรรทุกที่ทำการทดสอบวิ่งข้ามสะพานด้วยความเร็วที่สูงก็จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีแนวโน้มสูงมากขึ้นเช่นกัน แต่จากการทดสอบครั้งนี้ได้ทำการทดสอบโดยมีช่วงจำกัดของความเร็วรถบรรทุกอยู่ในช่วงระหว่าง 20 ถึง 45 กม./ชม.

7.3 อิทธิพลของช่องจราจร

ทำการศึกษาอิทธิพลของช่องจราจรโดยจะทำการปรับเทียบค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของทั้งสองกรณีแยกกัน คือ ค่าปรับเทียบค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งช่องจราจรกลางและค่าปรับเทียบค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งช่องจราจรซ้าย เพื่อขจัดผลของความไม่เท่าของค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของสองกรณีออกไป โดยสาเหตุที่ต้องทำการศึกษากรณีช่องจราจรทั้งสองแยกกันเนื่องจากผลของความไม่สม่ำเสมอของหน้าตัดสะพานจริงกับแบบมาตรฐานไม่ตรงกันเช่น ความหนาของแผ่นพื้นจริงของสะพานไม่ตรงตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวง อิทธิพลของราวกันตกคอนกรีตเสริมเหล็กตลอดจนลักษณะแผ่นพื้นจริงที่จะประกอบด้วยแผ่นพื้นคอนกรีต ชั้นของคอนกรีตเททับ(topping)และชั้นของแอสฟัลท์(asphalt)ที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนของทุกกรณี จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักที่หาได้จากการคำนวณจะมีลักษณะ

กระจายตัวที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ผลของการเคลื่อนที่ต่างช่องจราจรของรถบรรทุกที่ทำการทดสอบไม่มีผลกับความถูกต้องของค่าน้ำหนักที่หาได้จากการคำนวณ

7.4 อิทธิพลของความขรุขระของพื้นผิวทาง

จากการเปรียบเทียบลักษณะสัญญาณของค่าความเครียดแบบถ่วงน้ำหนักของกรณีจำลองความขรุขระกับกรณีปกติ พบว่าค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของกรณีจำลองความขรุขระจะมีความแปรปรวนของสัญญาณเป็นอย่างมาก ส่งผลให้มีลักษณะของแรงพลศาสตร์เกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนในตัวสัญญาณความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของกรณีจำลองความขรุขระ ซึ่งค่าแรงทางพลศาสตร์ที่ล้อรถบรรทุกกระทำกับผิวทางของสะพานสูงมากขึ้นจะเป็นปัจจัยทำให้ค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักในกรณีดังกล่าวนี้ไม่สอดคล้องกับค่าความเครียดที่ใช้ปรับเทียบการหาน้ำหนักส่งผลทำให้ลักษณะแรงในเพลาของรถบรรทุกที่หาได้มีความแปรปรวนสูง ทำให้น้ำหนักรถบรรทุกที่หาได้มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นทั้งนี้เพราะว่าการหาน้ำหนักรถบรรทุกใช้การเฉลี่ยแรงในเพลาของรถบรรทุก

โดยค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหน้าโดยส่วนใหญ่มีค่าไม่เกิน ±50% แต่จากการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวมพบว่าผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ดีพอสมควร โดยผลการทายน้ำหนักโดยส่วนใหญ่มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 10% สำหรับน้ำหนักเพลาหลังและไม่เกิน ± 6% สำหรับน้ำหนักรวม ซึ่งจากจำนวนการทดสอบทั้งหมด 47 การทดสอบ ยกเว้นแต่ในกรณีของการหาน้ำหนักรวมที่พิจารณาผลของความขรุขระของสะพานจำนวน 4 การทดสอบ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 10% สำหรับน้ำหนักรวม

ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมของการทดสอบทั้งหมด 47 การทดสอบยกเว้นกรณีที่คิดผลของความขรุขระของสะพาน จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อน ± 6% ของน้ำหนักรวม ซึ่งถ้าใช้มาตรฐานของ ASTM E1318-94 ซึ่งใช้แยกประเภทของระบบ Weight in motion (WIM) จะใกล้เคียงกับประเภทที่ 3 ของ ASTM E1318-94 ซึ่งถือว่าเพียงพอสำหรับนำไปใช้งานจริง โดยผลของความขรุขระของสะพานจะสามารถควบคุมได้โดยการปรับผิวทางของสะพานให้เรียบถ้าจะนำวิธีการหาน้ำหนักนี้ไปใช้งานจริง ทั้งนี้ควรจะมีการควบคุมความเร็วในการตรวจสอบรถบรรทุกที่วิ่งบนสะพานเนื่องจากผลของความเร็วของรถบรรทุกที่ทำการทดสอบในครั้งนี้จะมีอิทธิพลอย่างมากกับค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรถบรรทุก

7.5 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบทุก ๆ กรณีจะพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าน้ำหนักรถบรรทุกที่หาได้นั้นคือลักษณะของแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถบรรทุกที่เกิดขึ้น ซึ่งหากค่าแรงในเพลารถบรรทุกนี้มีความแปรปรวนมากเท่าใดก็จะทำให้น้ำหนักรถบรรทุกที่หาได้มีความคลาดเคลื่อนที่สูง เนื่องจากสมมติฐานของเทคนิคการคำนวณซ้ำนั้นอ้างอิงค่าน้ำหนักทางสถิติด้วยค่าเฉลี่ยของแรงพลศาสตร์ในเพลารถบรรทุกนั่นเอง ซึ่งจากการศึกษาด้วยการทดสอบภาคสนามทั้งหมด มีข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติมดังนี้

ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม

1. อุปกรณ์ที่ใช้เก็บวัดข้อมูลควรมีความละเอียดสูงและมีระบบป้องกันสัญญาณรบกวนที่ดี
2. ควรมีการศึกษาและทดสอบกับสะพานลักษณะอื่นๆ เช่น สะพานที่มีระบบโครงสร้างที่มีผลของความต่อเนื่อง เป็นต้น
3. ควรมีการศึกษาและทดสอบเกี่ยวกับผลของคุณสมบัติอื่นๆของรถบรรทุกที่เกี่ยวข้องกับการทายน้ำหนัก เช่น ระยะเพลาของรถบรรทุก รถบรรทุกหลายเพลา เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย