บทที่ 7

บทสรุป

จากการศึกษาการหาน้ำหนักรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่บนสะพานด้วยการใช้แบบจำลองย่อส่วนนั้น พบว่าการใช้วิธีไดนามิคโปรแกรมมิงร่วมกับเทคนิคการคำนวณซ้ำ ให้ผลการทายน้ำหนักที่มีความถูกต้องแม่นยำและใช้เวลาในการคำนวณที่สั้นกว่าวิธีซิงกูลาร์แวลูดีคอมโพซิชั่น และมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ โดยสามารถกำหนดค่าเรกูลาร์ไรเซชั่นได้ในช่วงที่กว้าง โดยไม่ทำให้ค่าน้ำหนักที่ทายได้เปลี่ยนแปลงไปมากนัก ซึ่งจากผลการทดสอบทั้ง 540 การทดสอบในแต่ละรูปแบบนั้นพบว่าระบบการน้ำหนักยังมีขอบเขตต่อการนำไปใช้งานตามแต่กรณี ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบหลักได้แก่

7.1 <u>การหาน้ำหนักรถบรรทุกแบบ 2 เพลาที่เคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวที่มีจุดรองรับแบบธรรมดา</u>

การทายน้ำหนักรถบรรทุกในกรณีนี้ให้ผลการทดสอบที่มีความถูกต้องแม่นยำสูง และมีความคลาดเคลื่อนที่ต่ำ โดยผลการทายน้ำหนักโดยส่วนใหญ่มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm$ 10% สำหรับน้ำหนักแยกเพลาและไม่เกิน $\pm$ 5% สำหรับน้ำหนักรวม ซึ่งจากจำนวนการทดสอบในกรณีนี้ทั้งหมด 135 การทดสอบพบว่ามีจำนวนการทดสอบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมมากกว่าช่วง $\pm$ 5% เพียง 5 การทดสอบเท่านั้น และเป็นกรณีที่รถบรรทุกมีน้ำหนัก 10 กก.ทั้งหมด

เมื่อพิจารณาถึงผลของการบิดของสะพานจากการเคลื่อนที่ตามแนวขวางของรถบรรทุก พบว่าหากค่าโมเมนต์บิดมีค่าไม่เกิน 10% ของโมเมนต์ดัด การนำค่าความเครียดในหน้าตัดสะพานเดียวกันมาทำการเฉลี่ยและนำไปทายน้ำหนักจะสามารถลดผลของการบิดตัวของสะพานได้ดี และให้ผลการทายน้ำหนักรถที่ใกล้เคียงกันไม่ว่ารถจะเคลื่อนที่ในตำแหน่งตามแนวขวางของสะพานอย่างไรก็ตาม

เมื่อพิจารณาผลของมวลและความเร็วของรถบรรทุก พบว่ารถบรรทุกที่มีน้ำหนักมากและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ จะมีแนวโน้มในการทายน้ำหนักที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำกว่ารถบรรทุกที่มีน้ำหนักเบาและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสัญญาณความเครียดหรือโมเมนต์ดัดของหน้าตัดสะพานที่ทำการเก็บวัดด้วย รวมทั้งผลของการเก็บวัดตำแหน่งของรถบรรทุกซึ่งมีความสำคัญมากเช่นเดียวกัน ซึ่งการสมมติให้รถบรรทุกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่นั้น อาจทำได้หากรถบรรทุกมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ แต่หากรถบรรทุกเคลื่อนที่ด้วยความเร่งหรือความหน่วงแล้ว ค่าน้ำหนักที่ทายได้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูง

และเมื่อทำการเพิ่มระดับความขรุขระของพื้นผิวสะพานพบว่ามีผลต่อความถูกต้องในการทายน้ำหนัก โดยทำให้น้ำหนักที่ทายได้มีความแปรปรวนสูง และมีค่าความคลาดเคลื่อนที่มากขึ้นตามระดับของความขรุขระ เนื่องจากพื้นผิวที่มีความขรุขระนั้น จะทำให้รถบรรทุกที่เคลื่อนที่ผ่านมีการกระจายน้ำหนักกันระหว่างเพลาอย่างไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการสั่นสะเทือน เป็นเหตุให้ค่าสัญญาณความเครียดหรือโมเมนต์ดัดที่เก็บวัดมาได้นั้น ไม่สอดคล้องกับแรงทางสถิตที่สมมติว่ากระทำแบบจุดและมีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลา จึงได้ผลการทายน้ำหนักที่มีค่า

ความคลาดเคลื่อนสูง และสรุปได้ว่าในการนำระบบการหาน้ำหนักไปใช้งาน ควรใช้งานกับสะพานที่มีพื้นผิวเรียบหรือทำการปรับพื้นผิวสะพานเสียก่อน

7.2 การหาน้ำหนักรถบรรทุกแบบ 2 เพลาที่เคลื่อนที่บนสะพานต่อเนื่อง

สำหรับกรณีการหาน้ำหนักรถบรรทุกที่เคลื่อนที่บนสะพานต่อเนื่องนั้น การสร้างแบบจำลองที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วยการใช้แบบจำลองคานช่วงเดียวซึ่งมีจุดรองรับแบบข้อหมุนสปริงนั้น พบว่าง่ายและมีความสะดวกและให้ผลการทายน้ำหนักที่มีแนวโน้มที่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีของ Zhu และ Law (2003a) ซึ่งจะเกิดสภาวะบกพร่อง (ill-condition) ขึ้นที่ตำแหน่งจุดรองรับภายในของสะพาน

ในขั้นตอนการทายน้ำหนักซึ่งต้องกำหนดค่าเริ่มต้นผลตอบสนองของสะพาน เนื่องจากข้อมูลในตำแหน่งแรกที่นำมาทายน้ำหนักนั้น สะพานไม่ได้เริ่มจากสภาพนิ่งเพราะมีการสั่นไหนอยู่ก่อนหน้า จากการศึกษาและทำการปรับค่าเริ่มต้นของผลตอบสนองนี้ พบว่ามีผลต่อค่าน้ำหนักที่ทายได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น และสามารถกำหนดค่าเริ่มต้นนี้ด้วยการสมมติให้สะพานหยุดนิ่งได้โดยการแทนค่าด้วยเวคเตอร์ศูนย์ เนื่องจากสะดวกต่อการนำไปใช้งาน

โดยผลการทดสอบที่ได้พบว่าค่าน้ำหนักที่ทายได้ในแต่ละเพลานั้นจะมีความคลาดเคลื่อนที่สูง แต่ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมนั้นพบว่าอยู่ในช่วงประมาณ $\pm 20\%$ สำหรับกรณีสะพานต่อเนื่องที่มีค่าดัชนีความต่อเนื่อง (continuity index) เท่ากับ 0.8 และอยู่ในช่วงไม่เกิน $\pm 10\%$ สำหรับกรณีสะพานต่อเนื่องที่มีค่าดัชนีความต่อเนื่อง (continuity index) เท่ากับ 0.7 และเมื่อทำการศึกษาถึงพฤติกรรมของสะพานจำลองแบบต่อเนื่องนี้ พบว่าลักษณะของความยาวช่วงหลักของสะพานมีผลต่อค่าปรับเทียบของค่าสติฟเนสของข้อหมุน k_1, k_2 และค่าปรับเทียบจากคุณสมบัติวัสดุ α โดยพบว่าสะพานต่อเนื่องที่มีความยาวช่วงหลักมาก จะมีผลต่อค่าปรับเทียบที่มากกว่าสะพานต่อเนื่องที่มีความยาวช่วงหลักที่สั้น ทำให้ผลการทดสอบที่ได้กรณีที่สะพานมีค่าดัชนีความต่อเนื่องเท่ากับ 0.8 ซึ่งมีความยาวช่วงหลักที่มากกว่านั้นมีความแปรปรวนและความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่า ทั้งนี้มีสาเหตุจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบอีกด้วย

7.3 การหาน้ำหนักรถบรรทุกแบบ 3 เพลาที่เคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวที่มีจุดรองรับแบบธรรมดา

เนื่องจากระบบการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกแบบ 3 เพลานั้นมีความซับซ้อนมากกว่ากรณีรถบรรทุกแบบ 2 เพลา และจะมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่า (unknown) เพิ่มขึ้นเป็น 3 ตัว ซึ่งจากแบบจำลองสะพานที่ติดตั้งจุดเก็บวัดสัญญาณความเครียดไว้ 3 จุด สามารถแก้ระบบสมการและหาค่าน้ำหนักทั้ง 3 เพลาได้ แต่เนื่องจากแบบจำลองรถบรรทุกที่สร้างขึ้นนั้น ไม่มีระบบช่วงล่างที่ยืดหยุ่นได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของแบบจำลองรถบรรทุกที่ใช้ จึงทำให้บางช่วงเวลาขณะที่รถเคลื่อนที่จะพบว่าจะมีล้อบางล้อที่ไม่สัมผัสกับผิวสะพาน เนื่องจากตัวรถสามารถทรงตัวได้ด้วยล้อเพียง 4 ล้อ ทำให้ค่าแรงที่กระทำต่อสะพานมีลักษณะที่ไม่คงที่และแปรปรวนมาก ทำให้ค่าน้ำหนักที่ทายได้นั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงโดยเฉพาะค่าน้ำหนักในแต่ละเพลา ดังนั้นความถูกต้องของน้ำหนักที่หาได้จากการทดสอบในกรณีรถบรรทุกแบบ 3 เพลานี้ อาจจะยังไม่สมบูรณ์นัก ซึ่งต้องการการทดสอบด้วยแบบจำลองรถบรรทุกที่มีระบบช่วงล่างที่ดีและล้อทุกล้อสัมผัสกับพื้นถนนตลอดเวลาจึงจะสามารถสรุปได้

เพื่อศึกษาถึงสมมติฐานที่สมมติให้กรณีเพลาหลังของรถบรรทุก 2 เพลารวมกันเป็นเพลาเดียวนั้นมีความถูกต้องมากเพียงใดต่อการทายน้ำหนัก จึงได้ทดลองนำสัญญาณความเครียดเดียวกันนี้ไปทำการทายน้ำหนักโดยลดจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่าให้เหลือเพียง 2 ตัวแปร โดยมีสมมติฐานว่าค่าน้ำหนักในเพลาคู่หลังนั้นมีอัตราส่วนในแต่ละเพลาที่เท่า ๆ กัน ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้พบว่าค่าน้ำหนักที่ทายได้นั้นมีค่าใกล้เคียงมากกับกรณีที่ทำการแก้ปัญหาแบบ 3 ตัวแปร ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถทายน้ำหนักรถบรรทุกที่มี 3 เพลาได้ด้วยการจำลองเสมือนรถบรรทุกแบบ 2 เพลา ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลาในการคำนวณ

จากผลการทดสอบทุก ๆ กรณีจะพบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าน้ำหนักที่ทายได้นั้นคือลักษณะของแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถที่เกิดขึ้น ซึ่งหากค่าแรงในเพลารถนี้มีความแปรปรวนมากเท่าใดก็จะทำให้น้ำหนักที่ทายได้มีความคลาดเคลื่อนที่สูง เนื่องจากสมมติฐานของเทคนิคการคำนวณซ้ำนั้นอ้างอิงค่าน้ำหนักทางสถิติด้วยค่าเฉลี่ยของน้ำหนักทางพลศาสตร์นั่นเอง

7.4 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาด้วยการทดสอบจากแบบจำลองย่อส่วน มีข้อเสนอแนะทั้งในการประยุกต์ใช้จริงและในการวิจัยเพิ่มเติมดังนี้

7.4.1 ข้อเสนอแนะในการประยุกต์ใช้จริง

1. ระบบการหาตำแหน่งของรถควรมีความถูกต้องแม่นยำสูง
2. การปรับเทียบแบบจำลองสะพานมีความสำคัญ และมีผลต่อประสิทธิภาพการทายน้ำหนักอย่างมาก ดังนั้นการปรับเทียบด้วยการใช้สัญญาณความเครียดที่ครอบคลุมรูปแบบของรถบรรทุก จะให้ผลการทายน้ำหนักที่มีความแม่นยำ (precision) สูง
3. การเลือกใช้สะพานที่มีรูปแบบและพฤติกรรมแบบคานช่วงเดียวที่มีจุดรองรับแบบธรรมดามาติดตั้งระบบการหาน้ำหนัก จะให้ผลการทายน้ำหนักที่ดีกว่าและมีความคลาดเคลื่อนที่ต่ำกว่าการใช้สะพานที่มีรูปแบบและพฤติกรรมแบบคานต่อเนื่อง
4. พื้นผิวสะพานควรมีความราบเรียบหรือทำการปรับสภาพพื้นผิวถนนที่ขรุขระก่อนนำมาใช้งาน ผลการทายน้ำหนักจึงจะมีความถูกต้องสูง

7.4.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม

1. อุปกรณ์ที่ใช้เก็บวัดข้อมูลควรมีความละเอียดสูงและมีระบบป้องกันสัญญาณรบกวนที่ดี
2. ควรมีการศึกษาและทดสอบกับแบบจำลองรถบรรทุกที่หลากหลายและมีความสมจริงมากขึ้น
3. ควรมีการศึกษาและทดสอบการหาน้ำหนักรถบรรทุกหลายเพลา
4. ควรมีการศึกษาและทดสอบการหาน้ำหนักรถบรรทุกหลายคัน