บทที่ 7

บทสรุป

ในการทายน้ำหนักรถบรรทุกด้วยวิธีไดนามิคโปรแกรมมิงนั้น พบว่ามีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับความถูกต้องอยู่หลายตัว ดังได้กล่าวในบทที่ 3 ซึ่งเป็นการศึกษาผลของการทายน้ำหนักของรถบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพานด้วยการจำลองในคอมพิวเตอร์ ผลของพารามิเตอร์ต่างๆต่อความถูกต้องในการทายน้ำหนักสามารถสรุปได้ดังนี้

ค่าพารามิเตอร์ (λ) ซึ่งจะส่งผลต่อการทายน้ำหนัก โดยเมื่อค่า λ มีค่าน้อยก็จะทำให้การทายน้ำหนักทางสถิตนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงน้ำหนักจริง แต่การเปลี่ยนแปลงของค่าน้ำหนักกับเวลาจะมีความแปรปรวนสูง อีกทั้งยังเสี่ยงต่อความบกพร่องของระบบ (illed matrices) ที่ใช้คำนวณ ในทางตรงข้ามถ้าค่า λ มีค่ามากก็จะทำให้การทายน้ำหนักนั้นมีค่าต่ำกว่าน้ำหนักจริง แต่น้ำหนักที่ทายได้นั้นจะราบเรียบ และการคำนวณมีเสถียรภาพ ดังนั้นการจะทายค่าน้ำหนักให้ถูกต้องนั้นจะต้องเลือกค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมด้วย ซึ่งในความเป็นจริงนั้นค่า λ ที่เหมาะสมหาได้ยาก แต่เมื่อนำเทคนิคการคำนวณซ้ำเข้ามาช่วยในการคำนวณจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนั้นอยู่ในช่วงที่กว้างมากขึ้น อย่างไรก็ดีไม่ควรใช้ค่า λ ที่มากเกินไปเพราะจะทำให้การคำนวณนั้นช้า เนื่องจากต้องใช้การคำนวณหลายรอบกว่าค่าน้ำหนักจะลู่เข้า ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2

ผลกระทบของความเร็วของรถบรรทุกได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.3.1 แนวโน้มการทายน้ำหนัก คือ เมื่อความเร็วของรถบรรทุกสูงขึ้น ค่าน้ำหนักที่ทายได้ก็จะมากขึ้นด้วย ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตของน้ำหนักทั้งก่อนและหลังการคำนวณซ้ำนั้นจะได้ผลในลักษณะเดียวกัน คือ เมื่อความเร็วของรถบรรทุกเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ความคลาดเคลื่อนทางสถิตของน้ำหนักเพิ่มขึ้นด้วย ยกเว้นค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตของน้ำหนักเพลาหน้าก่อนการคำนวณซ้ำจะมีค่าลดลง เมื่อความเร็วรถบรรทุกเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากค่าน้ำหนักเพลาหน้าก่อนที่จะทำการคำนวณซ้ำนั้นมีค่าน้อยกว่าค่าจริง ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ของน้ำหนักเพลาหน้า, เพลาหลัง และน้ำหนักรวมทั้งก่อนและหลังการคำนวณซ้ำนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วสูงขึ้นทั้งหมด

ผลกระทบของความขรุขระของผิวทางได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.3.2 ซึ่งแนวโน้มนั้นจะลักษณะเช่นเดียวกับกรณีผลกระทบของความเร็ว

ผลกระทบของอัตราส่วนของน้ำหนักเพลาหน้าต่อเพลาหลังได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.3.3 พบว่าไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความคลาดเคลื่อนทั้งทางสถิต และทางพลศาสตร์ของน้ำหนักเพลาหน้า, เพลาหลัง และน้ำหนักรวม ทั้งก่อน และหลังการคำนวณซ้ำ ยกเว้นค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิต และทางพลศาสตร์ของน้ำหนักเพลาหน้าก่อนการคำนวณซ้ำ ซึ่งจะมีน้อยลงเมื่ออัตราส่วนระหว่างเพลาหน้าต่อเพลาหลังเพิ่มขึ้น

ส่วนค่าสติฟเนสของสปริงที่เพลาของรถบรรทุกนั้นก็ไม่ส่งผลกระทบต่อการทายน้ำหนัก

จึงสามารถสรุปได้ว่า สิ่งที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนในการหาน้ำหนักมากที่สุด คือ ความเร็วของรถบรรทุกและระดับของความขรุขระของผิวทาง ซึ่งได้กล่าวในหัวข้อที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเร็วของรถบรรทุกและระดับของความขรุขระของผิวทางมีค่าสูงพร้อมกันจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการทายน้ำหนักสูงมาก ซึ่งหากนำเทคนิคการคำนวณซ้ำเข้ามาช่วยในการทายน้ำหนักก็จะทำให้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นน้อยลง โดยค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตหลังจากผ่านการคำนวณซ้ำแล้วจะมีค่าลดลงจากค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตก่อนการ

คำนวณซ้ำอยู่ในช่วง 20-30% โดยจะมีค่าความคลาดเคลื่อนหลังจากผ่านการคำนวณซ้ำเหลือเพียง แต่ที่ความเร็วของรถบรรทุกและความสูงของความขรุขระของผิวทางมีค่าสูงพร้อมกันนั้น การลดลงของค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตจะเหลือเพียง 5-10% อย่างไรก็ดีค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตของน้ำหนักเพลาหน้านั้น พบว่าหลังจากผ่านการคำนวณซ้ำแล้วบางกรณีจะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ผลที่ได้ก็มีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกล่าวคือ ที่ความเร็วของรถบรรทุกและความสูงของความขรุขระของผิวทางมีค่าสูงจะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์สูง แต่เมื่อผ่านเทคนิคการคำนวณซ้ำแล้วค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวจะมีค่าลดลงประมาณ 20-40% ส่วนเมื่อความเร็วของรถบรรทุกและความสูงของความขรุขระของผิวทางมีค่าสูงมากพร้อมกันนั้น หลังจากผ่านการคำนวณซ้ำค่าความคลาดเคลื่อนที่ลดลงจะมีค่าประมาณ 5-10% ซึ่งจะเห็นว่า เทคนิคการคำนวณซ้ำนั้นช่วยทายน้ำหนักให้ค่าที่ถูกต้องได้เป็นอย่างดี แต่ที่ความเร็วสูงมากๆคือ 30-40 m/s (108-144 km/hr) และความขรุขระของผิวทางสูงๆคือ 3-5 cm นั้นยังไม่สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนลงมาได้

ส่วนในหัวข้อที่ 3.5 ได้ทดลองใส่สัญญาณรบกวนเพิ่มเข้าไปในสัญญาณที่ทำการเก็บวัดมาก่อน แล้วจึงนำไปทายน้ำหนัก ซึ่งระดับสัญญาณรบกวนที่เพิ่มเข้าไปก็มีขนาดตั้งแต่ 5-30% ของค่าสูงสุดของสัญญาณที่ทำการเก็บวัดมา ซึ่งผลที่ได้ออกมาคือ สัญญาณรบกวนนั้นแทบจะไม่มีผลต่อการทายน้ำหนัก จะมีผลแต่เฉพาะค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ของเพลาหน้าหลังจากการคำนวณซ้ำแล้ว โดยเมื่อขนาดของสัญญาณรบกวนมากขึ้นค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ของเพลาหน้าหลังจากการคำนวณซ้ำก็จะมากขึ้นด้วย

ส่วนผลกระทบจากการที่ใช้ค่าระยะห่างระหว่างเพลาที่ผิดพลาดไปทายน้ำหนัก ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.6 ซึ่งแนวโน้มที่ได้คือ เมื่อระยะห่างระหว่างเพลามีค่ามากขึ้นก็จะทำให้ทายน้ำหนักได้น้อยลง ซึ่งผลก็คือ ค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตของน้ำหนักเพลาหน้าก่อนการคำนวณซ้ำจะมากขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างเพลามีค่ามากขึ้น ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตของน้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวมก่อนการคำนวณซ้ำจะน้อยลงเมื่อระยะห่างระหว่างเพลามีค่ามากขึ้น แต่หลังจากผ่านการคำนวณซ้ำแล้ว ค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตของน้ำหนักเพลาหน้าและน้ำหนักรวมที่ระยะห่างระหว่างเพลาถูกต้องนั้นน้อยมาก ดังนั้นเมื่อระยะห่างระหว่างเพลามีค่าต่างจากค่าจริงเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าจริง ก็จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตนั้นเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตของน้ำหนักเพลาหลังนั้นไม่มีผลกระทบ

ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ของน้ำหนักเพลาหลัง และน้ำหนักรวมนั้นก่อนการคำนวณซ้ำไม่มีผลกระทบ ยกเว้นค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ของน้ำหนักเพลาหน้าจะมีค่ามากขึ้นเมื่อระยะห่างระหว่างเพลานั้นมีค่ามากขึ้น และเมื่อผ่านการคำนวณซ้ำไปแล้ว ค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ของน้ำหนักเพลาหน้า, เพลาหลัง และน้ำหนักรวมนั้นจะเพิ่มขึ้น เมื่อระยะห่างระหว่างเพลามีค่าต่างจากค่าจริงเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าจริงก็ตาม

ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นเพียงการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกโดยจำลองในคอมพิวเตอร์เท่านั้น ดังนั้นเพื่อที่จะยืนยันประสิทธิภาพของการทายน้ำหนักโดยเทคนิคการคำนวณซ้ำ จึงได้ทำการศึกษาโดยการใช้การทดสอบบนแบบจำลองย่อส่วนด้วย

ในหัวข้อที่ 4.5 จะเห็นว่าตำแหน่งของแบบจำลองย่อส่วนรถบรรทุกที่วิ่งบนแบบจำลองย่อส่วนสะพานนั้นจะมีผลต่อข้อมูลที่จะทำการเก็บวัดซึ่งในที่นี้คือ ค่าความเครียด โดยถ้ารถบรรทุกไม่อยู่ในแนวกลางสะพานจะทำให้ค่า

ความเครียดในแต่ละจุดบนหน้าตัดไม่เท่ากัน ซึ่งตำแหน่งของสเตรนเกจที่อยู่ในแนวเส้นทางที่รถบรรทุกวิ่งผ่านจะได้ค่าความเครียดมากกว่า แต่เมื่อนำค่าความเครียดทั้งหน้าตัดมาทำการเฉลี่ยกันก็จะเห็นว่า ตำแหน่งของรถบรรทุกตามแนวขวางจะมีผลต่อค่าความเครียดเพียงประมาณ 2-3%

อย่างที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 5.2 ก่อนที่จะทำงานจริงนั้นจะต้องมีการปรับเทียบ (calibration) ก่อน ซึ่งในการทดสอบครั้งนี้ก็ได้แสดงให้เห็นว่า หลังจากการปรับเทียบแล้วจะทำให้ค่าน้ำหนักที่ทายได้นั้นดีขึ้น และจากผลการทดสอบในที่นี้จะได้ค่าปรับเทียบ (α) เท่ากับ 1.06 เป็นค่าที่ดีที่สุด

จากนั้นก็จะได้ทำการทดสอบจริงซึ่งได้ดูผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ (λ) ที่มีต่อการทายน้ำหนัก ดังแสดงในหัวข้อที่ 6.1 ซึ่งก็จะได้ผลเช่นเดียวกับการจำลองบนคอมพิวเตอร์ นั่นคือ เมื่อผ่านการคำนวณซ้ำแล้วจะเห็นว่า ค่า λ ที่เหมาะสมนั้นจะมีช่วงกว้างมากขึ้น ซึ่งก็เป็นประโยชน์ในการใช้งานจริง แต่ก็ไม่ควรที่จะใช้ค่า สูงมากไปเพราะจะทำให้ใช้เวลาในการคำนวณนานกว่าค่าน้ำหนักที่ทายจะลู่เข้า

ในหัวข้อที่ 6.2 ได้ทำการทดสอบโดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักอัตราส่วนเดียว แต่ใช้ความเร็วทั้งหมด 3 ระดับ และที่แต่ละระดับความเร็วนั้นมี 8 การทดสอบ รวมทั้งหมดเป็นจำนวน 24 การทดสอบ ซึ่งจะได้ความคลาดเคลื่อนทางสถิตของน้ำหนักหลังจากผ่านการคำนวณซ้ำนั้นไม่เกิน 5.00% ซึ่งก่อนที่จะผ่านการคำนวณซ้ำนั้นค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตที่น้อยที่สุดยังสูงถึง 16.67% ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตของน้ำหนักเพลาหลังเมื่อผ่านการคำนวณซ้ำมีค่าสูงสุดเพียง 8.26% ซึ่งก่อนผ่านการคำนวณซ้ำนั้นค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตที่น้อยที่สุดสูงถึง 42.83% ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตของเพลาหน้าหลังจากผ่านการคำนวณซ้ำนั้นก็ยังคงสูงอยู่ถึง 30% และก็ยังมีบางการทดสอบที่หลังจากผ่านการคำนวณซ้ำแล้วค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิตกลับสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นว่าเทคนิคการคำนวณซ้ำนั้นให้ผลที่น่าพอใจในการทายน้ำหนัก

จากนั้นในหัวข้อ 6.3 จะได้ทำการทายน้ำหนักของรถบรรทุกโดยให้มีอัตราส่วนของน้ำหนัก 4 อัตราส่วน โดยแต่ละอัตราส่วนจะมี 3 ความเร็ว และที่แต่ละความเร็วจะมี 8 การทดสอบ รวมทั้งหมดเป็นจำนวน 96 การทดสอบ ซึ่งก็ได้ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมหลังจากผ่านการคำนวณซ้ำนั้นไม่เกิน 5.00% ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหลังนั้นสูงสุดเท่ากับ 11.28% ส่วนค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหน้านั้นสูงสุดเท่ากับ 38.21% จากนั้นได้นำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation :SD) จะได้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมรถบรรทุก, เพลาหลัง และเพลาหน้าสูงสุดเท่ากับ 2.44%, 13.84% และ 9.68% ตามลำดับ ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมรถบรรทุก, เพลาหลัง และเพลาหน้าสูงสุดเท่ากับ 1.73%, 5.25% และ18.88% ตามลำดับ จากหลักการทางสถิติถ้าสมมุติให้การกระจายตัวของข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ (normal distribution) จะได้ว่าในการทดสอบ 100 ครั้งจะมีโอกาสถึง 90 ครั้งที่จะทายน้ำหนักรวมรถบรรทุก, เพลาหลัง และน้ำหนักเพลาหน้าได้คลาดเคลื่อนไม่เกิน ±3.35, ±9.95 และ ±21.12 และมีโอกาสถึง 99% ที่จะทายน้ำหนักรวมรถบรรทุก, น้ำหนักเพลาหลัง และน้ำหนักเพลาหน้าได้คลาดเคลื่อนไม่เกิน ±4.9, ±13.24 และ ±32.6 ส่วนที่ความน่าจะเป็น 95% ก็จะได้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมรถบรรทุก, น้ำหนักเพลาหลัง และน้ำหนักเพลาหน้าไม่เกิน ±3.89%, ±10.85% และ ±25.08% ซึ่งทำให้สามารถจัดระบบ WIM ที่นำเสนอนี้ให้อยู่ในระบบ WIM ประเภทที่ 3 ตามมาตราฐานของ ASTM E1318-94