บทที่ 6

การทดสอบภาคสนามและการประเมินความถูกต้องของการหาน้ำหนัก

จากผลการทดสอบที่ผ่านมาของ Tawat (2003) ได้ทำการใช้เทคนิคการหาน้ำหนักรถขณะเคลื่อนที่บนสะพานด้วยเทคนิคไดนามิคโปรแกรมมิงร่วมกับเทคนิคการคำนวณซ้ำ (Iteration Technique) โดยทำการยืนยันความถูกต้องของวิธีการหาน้ำหนักด้วยการทดสอบด้วยการจำลองบนคอมพิวเตอร์และทำการทดสอบจากแบบจำลองย่อส่วนซึ่งพบว่าค่าน้ำหนักที่หาได้นั้นมีความถูกต้องใกล้เคียงกับมาตรฐานประเภทที่ 3 ของ ASTM ดังได้กล่าวไว้ใน หัวข้อ 2.4 และหัวข้อ 2.5 แต่ยังขาดการทดสอบในภาคสนามเพื่อสนับสนุนกระบวนการดังกล่าวว่าสามารถนำไปใช้กับสะพานจริงได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาการนำเทคนิคไดนามิคโปรแกรมมิงและเทคนิคการคำนวณซ้ำ (Iteration Technique) ไปใช้ในการหาน้ำหนักของรถที่สะพานจริงว่ามีความถูกต้องเพียงพอสำหรับนำไปใช้งานได้หรือไม่ ตลอดจนเพื่อศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่อาจมีผลกระทบต่อความถูกต้องในการหาน้ำหนักด้วยการทดสอบบนโครงสร้างสะพานจริง โดยในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบจากรูปแบบการทดสอบทั้งหมดและทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้เพื่ออธิบายถึงพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกบนสะพานและความถูกต้องแม่นยำในการหาน้ำหนัก เพื่ออธิบายถึงความเชื่อถือได้ของวิธีการหาน้ำหนัก

6.1 การทดสอบภาคสนาม

6.1.1 รูปแบบการทดสอบภาคสนาม

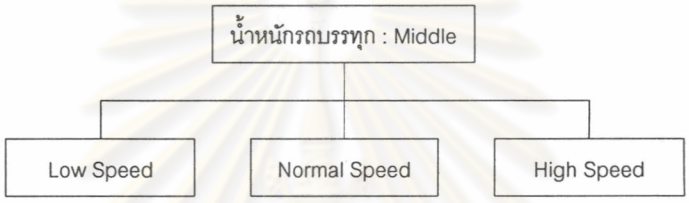
การทดสอบในครั้งนี้จะทำการทดสอบภาคสนามโดยเลือกใช้สะพานบางน้อยในการทดสอบซึ่งมีความเหมาะสมในหลายด้านและเลือกใช้รถบรรทุกสิบล้อในการทดสอบซึ่งได้กล่าวในหัวข้อ 4.1 และหัวข้อ 4.2 ตามลำดับ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการหาน้ำหนัก ดังนั้นการหาน้ำหนักรถบรรทุกในการทดสอบภาคสนามครั้งนี้ จะทำการศึกษาถึงตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการหาน้ำหนักคือ น้ำหนักของรถบรรทุก ความเร็วของรถบรรทุกในขณะวิ่งข้ามสะพาน ตำแหน่งตามแนวขวางของช่องจราจรและผลของความขรุขระของผิวทางของสะพาน

โดยน้ำหนักรถบรรทุกสิบล้อจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกเบา (light) น้ำหนักบรรทุกปานกลาง (middle) น้ำหนักบรรทุกหนัก (heavy) เช่นเดียวกัน ในส่วนของความเร็วของรถบรรทุกในขณะวิ่งข้ามสะพานก็จะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ เช่นกัน ได้แก่ ระดับความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งช้า(low speed) ระดับความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งปกติ (normal speed) ระดับความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งเร็ว(high speed) ซึ่งจะทำการทดสอบทั้งหมดโดยวิ่งในช่องจราจรกลาง (middle lane) และ วิ่งในช่องจราจรซ้าย (left lane) เพื่อ ประเมินความถูกต้องของการหาน้ำหนักเนื่องจากผลของตำแหน่งการวิ่งทางขวางของช่องจราจร โดยจะออกแบบการทดสอบเป็น 3 รูปแบบการทดสอบ คือ

<u>รูปแบบการทดสอบที่1</u> เพื่อตรวจสอบผลของน้ำหนักและความเร็วของรถบรรทุกที่มีผลต่อการหาน้ำหนัก(วิ่งช่องจราจรกลาง)

กรณีที่ 1

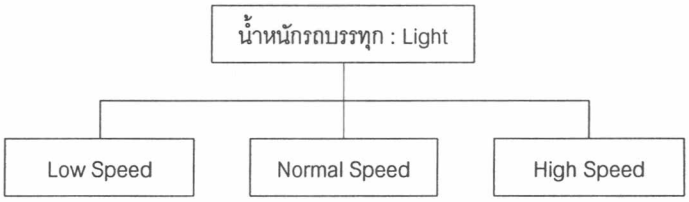
กรณีที่ 2



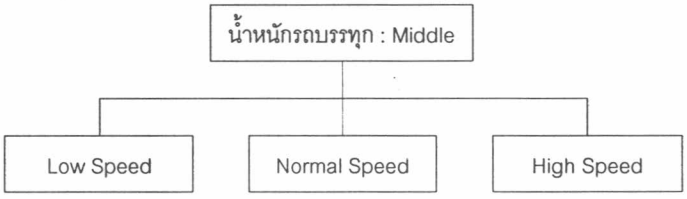
กรณีที่ 3

<u>รูปแบบการทดสอบที่2</u> เพื่อตรวจสอบผลของน้ำหนักและความเร็วของรถบรรทุกที่มีผลต่อการหาน้ำหนักเมื่อพิจารณาผลของตำแหน่งการวิ่งทางขวางของช่องจราจร(วิ่งช่องจราจรซ้าย) โดยแผนการทดสอบจะเหมือนกับแผนการทดสอบที่ 1 ดังนี้

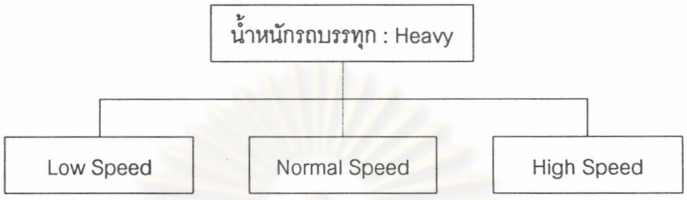
กรณีที่ 1



กรณีที่ 2

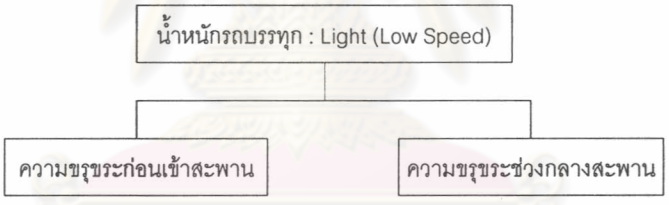


กรณีที่ 3



<u>รูปแบบการทดสอบที่3</u> เพื่อตรวจสอบผลของการหาน้ำหนักเมื่อพิจารณาผลของความขรุขระของผิวทางของสะพาน (วิ่งช่องจราจรซ้าย)

กรณีที่ 1



6.1.2 <u>รถบรรทุกทดสอบ</u>

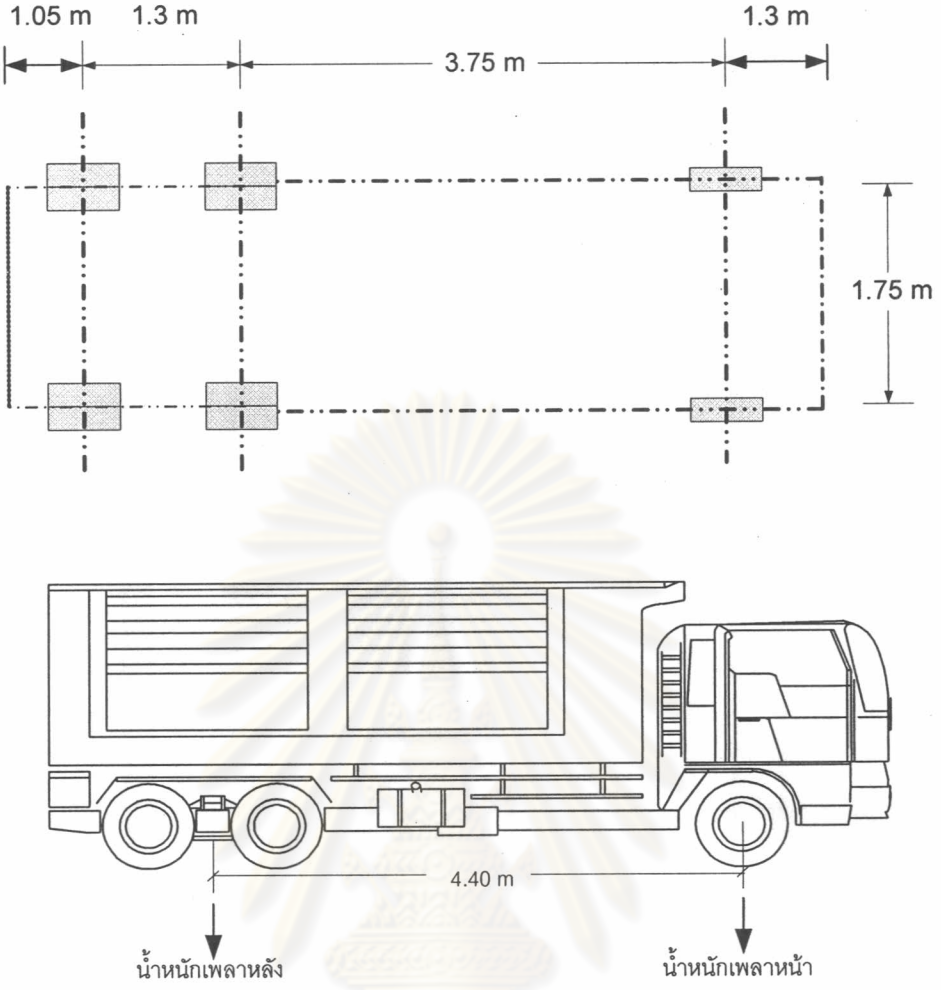
คุณสมบัติของรถบรรทุกที่ต้องตรวจวัดก่อนการทดสอบได้แก่ ระยะเพลา น้ำหนักเพลาหน้า น้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวม ซึ่งน้ำหนักรถบรรทุกสิบล้อที่ใช้ในการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกเบา (light) น้ำหนักบรรทุกปานกลาง (middle) น้ำหนักบรรทุกหนัก (heavy) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 6.1 โดยได้ทำการชั่งน้ำหนักที่ด่านชั่งก่อนการทดสอบ ซึ่งวัสดุที่ใช้บรรทุกเพื่อเป็นน้ำหนักในการทดสอบครั้งนี้ได้ใช้ทรายหยาบในการบรรทุก

ตารางที่ 6.1 คุณสมบัติรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ

ลำดับ	น้ำหนักรถบรรทุก	วันที่ทดสอบ	ทะเบียนรถ	ระยะเพลา (ม.)	น้ำหนัก (กก.)		
					เพลาหน้า	เพลาหลัง	น้ำหนักรวม
1	เบา	23/2/2005	818970	4.4	4610	16260	20870
2	ปานกลาง	12/2/2005	818414	4.4	4435	18930	23365
3	หนัก	26/2/2005	818970	4.4	5645	20140	25785

รูปที่ 6.1 ลักษณะรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



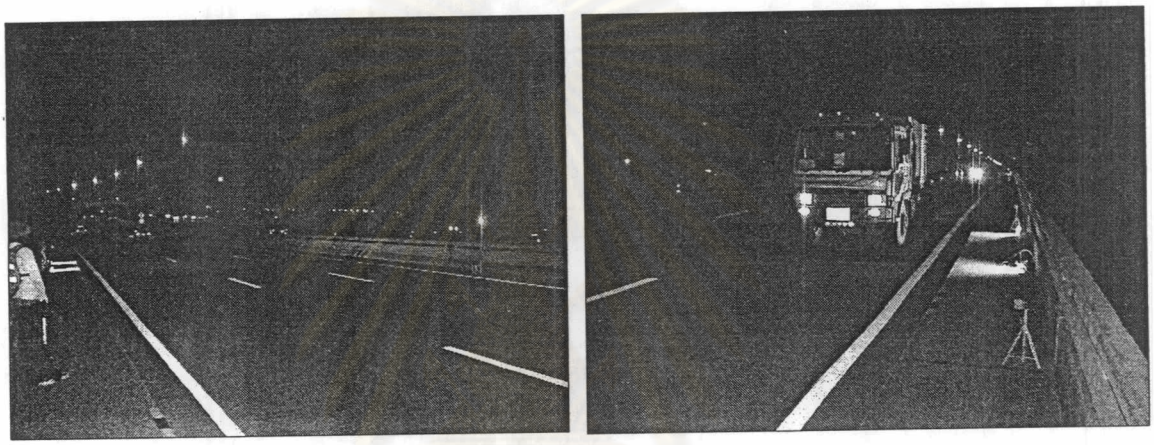
รูปที่ 6.2 คุณสมบัติรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ

6.1.3 <u>การดำเนินการทดสอบ</u>

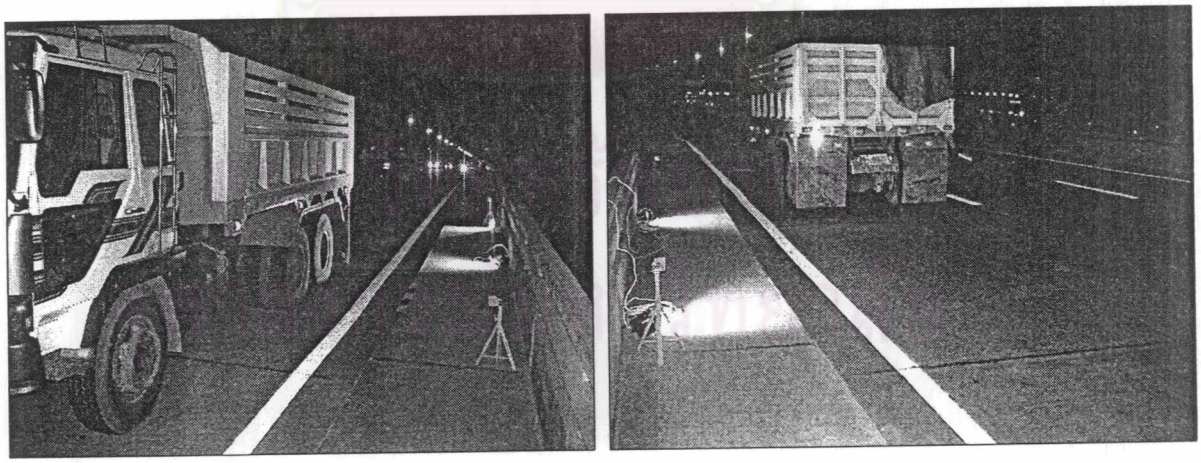
ภายหลังจากติดตั้งระบบเก็บข้อมูลสำหรับการน้ำหนักรถบรรทุกซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบเก็บข้อมูลความเครียดและ ระบบตรวจจับการเคลื่อนที่ผ่านของรถ ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.4 เรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการตรวจสอบสัญญาณเบื้องต้นก่อนการทดสอบทุกครั้ง เพื่อตรวจสอบว่าระบบเก็บข้อมูลสำหรับการหาน้ำหนักรถบรรทุกมีความพร้อมสำหรับการทดสอบหรือไม่

โดยช่วงเวลาที่ทำการทดสอบจะใช้ช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากปริมาณการจราจรของรถในช่วงเวลากลางคืนจะน้อยกว่าช่วงเวลากลางวันตลอดจนสามารถปิดการจราจรทางช่องจราจรซ้ายของสะพานได้ซึ่งทำให้สะดวกในการทดสอบ ซึ่งก่อนทำการทดสอบในแต่ละครั้งจะต้องทำการตรวจสอบว่าช่วงเวลาในขณะนั้นจะต้องไม่มีรถอยู่บนสะพาน โดยผู้ที่ทำการตรวจสอบว่าช่วงเวลาใดเหมาะสมสำหรับทำการทดสอบเป็นผู้ให้สัญญาณซึ่งการติดต่อสื่อสารทั้งหมดจะใช้วิทยุสื่อสาร จากนั้นเมื่อตรวจสอบแล้วว่าช่วงเวลาขณะนั้นไม่มีรถอื่นบนสะพานแล้วผู้ควบคุมการทดสอบก็จะทำการบอกรูปแบบที่จะทำการทดสอบของรถบรรทุกแต่ละกรณีแก่บุคคลที่ทำการ

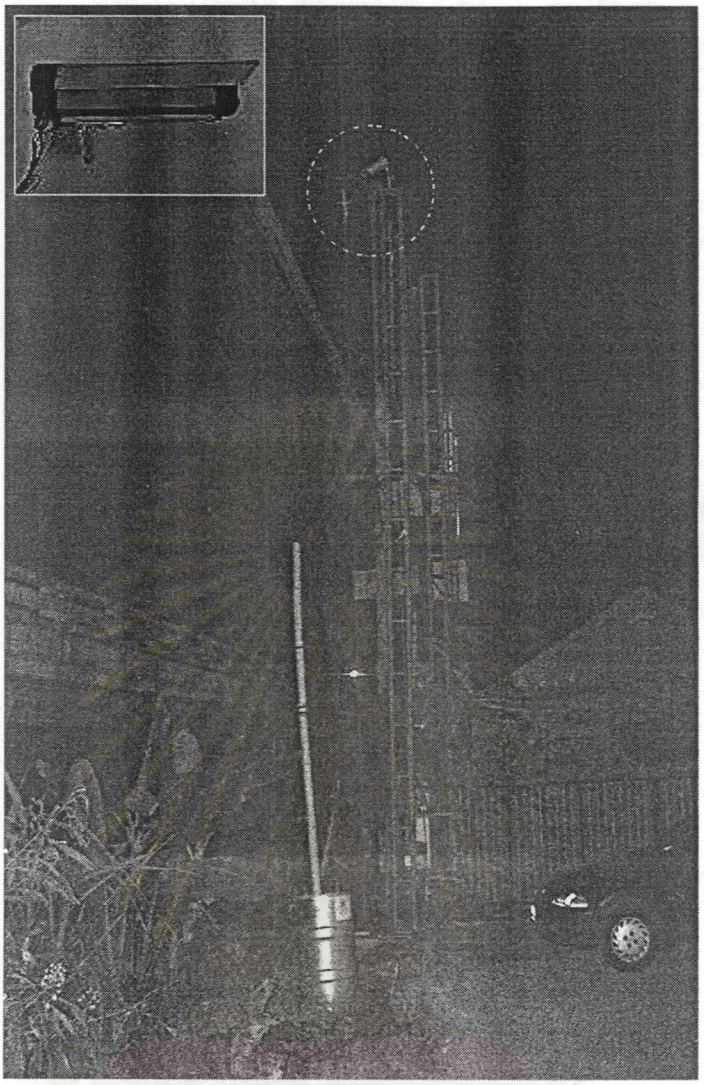
ทดสอบทั้งหมดให้ทราบ โดยจะประกอบด้วยฝ่ายเก็บข้อมูลที่อยู่ใต้สะพานในห้องทดสอบ ผู้ควบคุมรถบรรทุกเพื่อบอกรูปแบบที่จะทำการทดสอบให้แก่คนขับรถบรรทุกได้ทราบ จากนั้นผู้ควบคุมการทดสอบก็จะให้สัญญาณให้รถบรรทุกที่เตรียมพร้อมอยู่แล้วเริ่มวิ่งเข้าสะพานตามกรณีที่ทดสอบ ซึ่งช่วงเวลาเดียวกันนี้ก็จะให้สัญญาณแก่ฝ่ายเก็บข้อมูลเริ่มทำการเก็บข้อมูลสัญญาณจากนั้นเมื่อรถเคลื่อนที่ออกจากสะพานไปแล้วก็จะทำการจัดเก็บข้อมูลพร้อมทั้งตรวจสอบลักษณะของสัญญาณ ตลอดจนบันทึกวีดิโอเหตุการณ์ขณะช่วงเวลารถบรรทุกวิ่งข้ามสะพานเก็บไว้ ดังแสดงในรูปที่ 6.3 ถึง รูปที่ 6.5 โดยหลังจากทำการทดสอบในแต่ละครั้งจะต้องมีการปิดช่องจราจรซ้ายของสะพาน เพื่อใช้ในการถอยรถบรรทุกกลับเข้าสะพานไปที่ตำแหน่งที่เตรียมพร้อมสำหรับทำการทดสอบครั้งต่อไป ซึ่งการทดสอบแต่ละครั้งจะใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 5-10 นาที ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับช่วงของปริมาณการจราจรที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบนั้นเอง



รูปที่ 6.3 ขั้นตอนการทดสอบขณะรถบรรทุกเริ่มวิ่งเข้าสะพาน

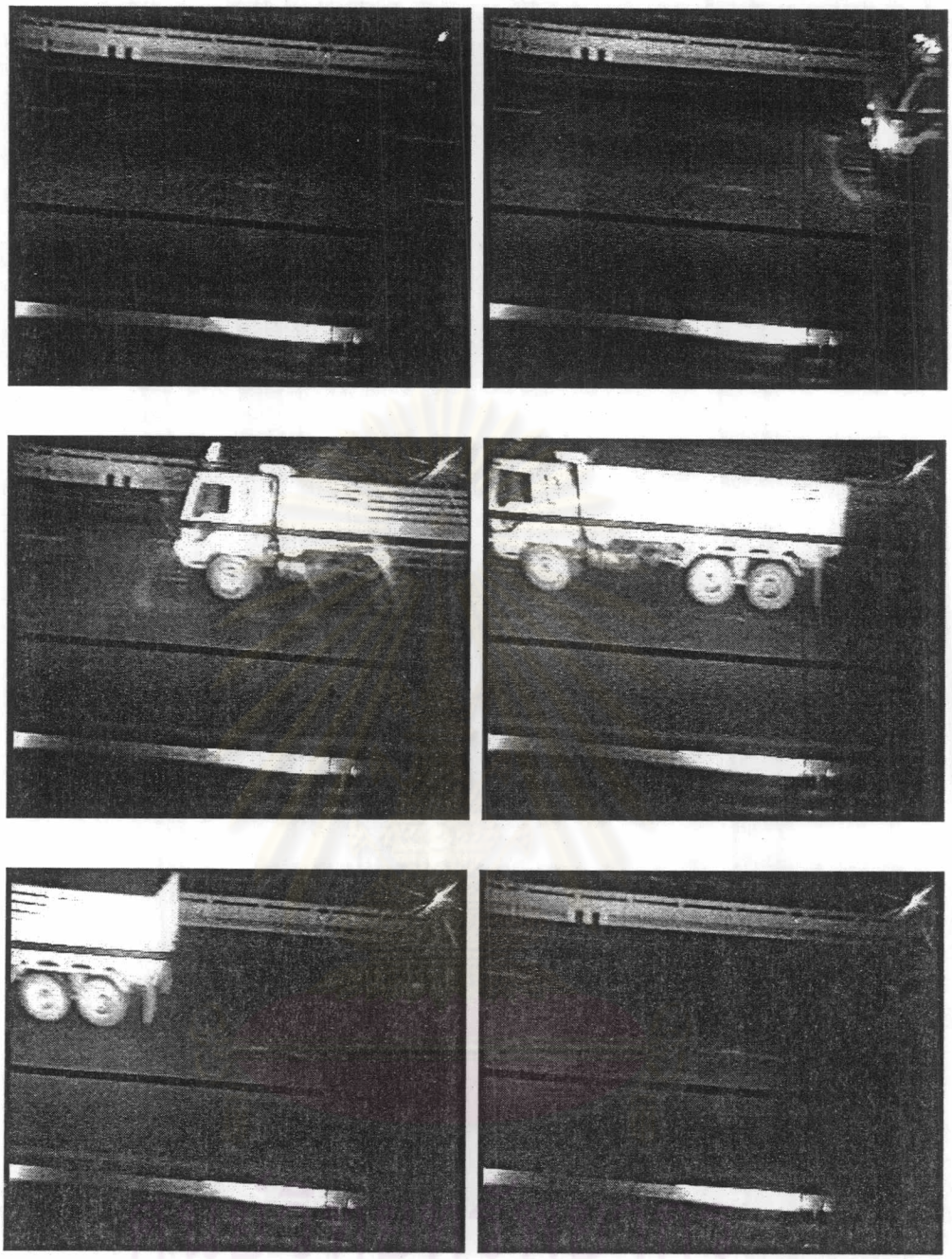


รูปที่ 6.4 ขั้นตอนการทดสอบขณะรถบรรทุกวิ่งออกจากสะพาน



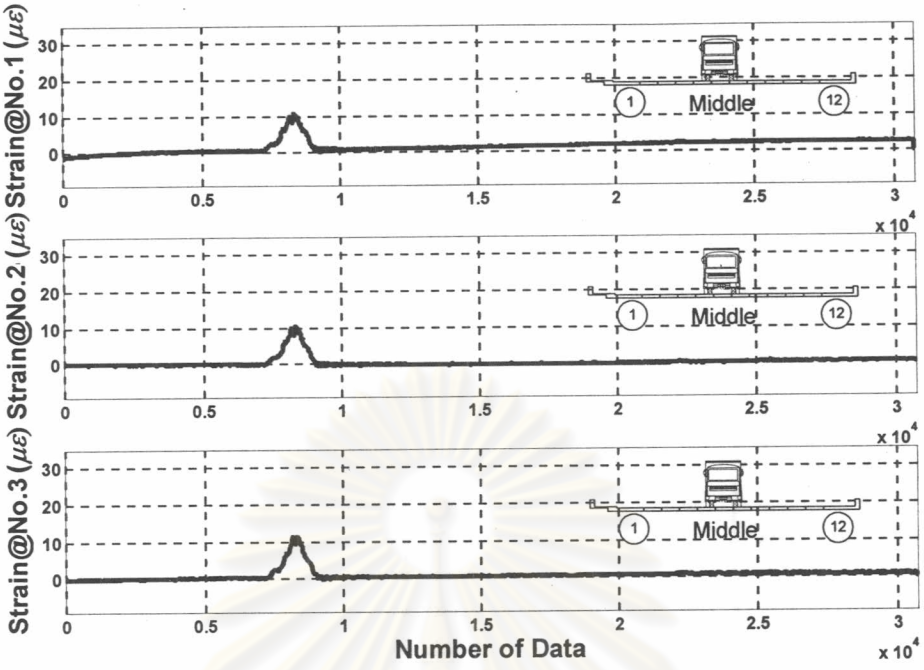
รูปที่ 6.5 กล้องวีดิโอที่ติดตั้งบนโครงสร้างเหล็กข้างสะพานสำหรับเก็บภาพขณะทดสอบ

รูปที่ 6.6 ลักษณะของระบบที่ใช้สำหรับทำการทดสอบการหาน้ำหนัก

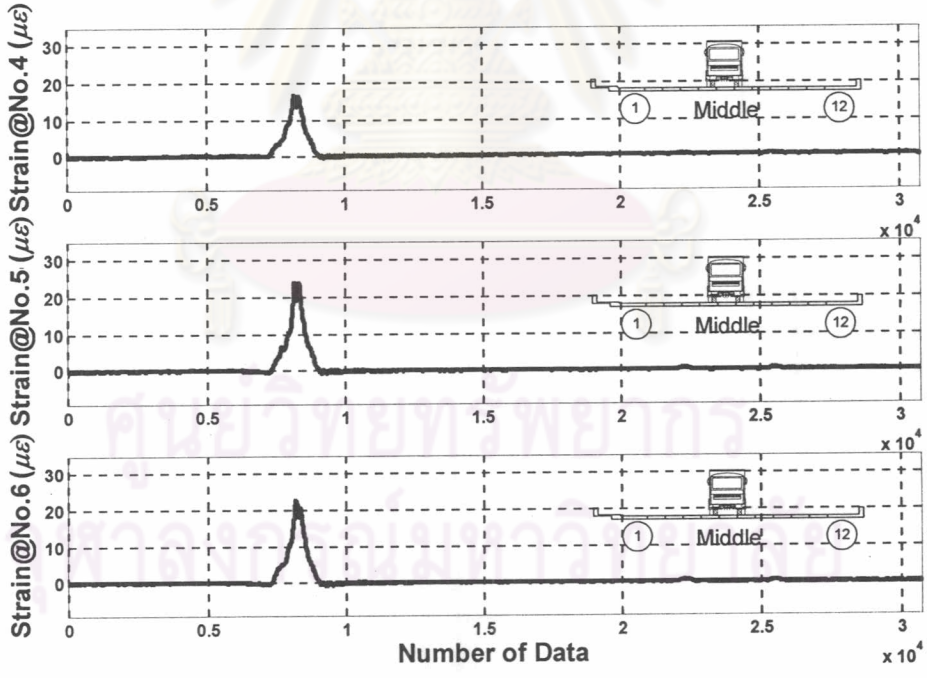


รูปที่ 6.7 ลักษณะภาพวีดิโอของรถบรรทุกทดสอบที่ถ่ายได้จากกล้องวีดิโอ

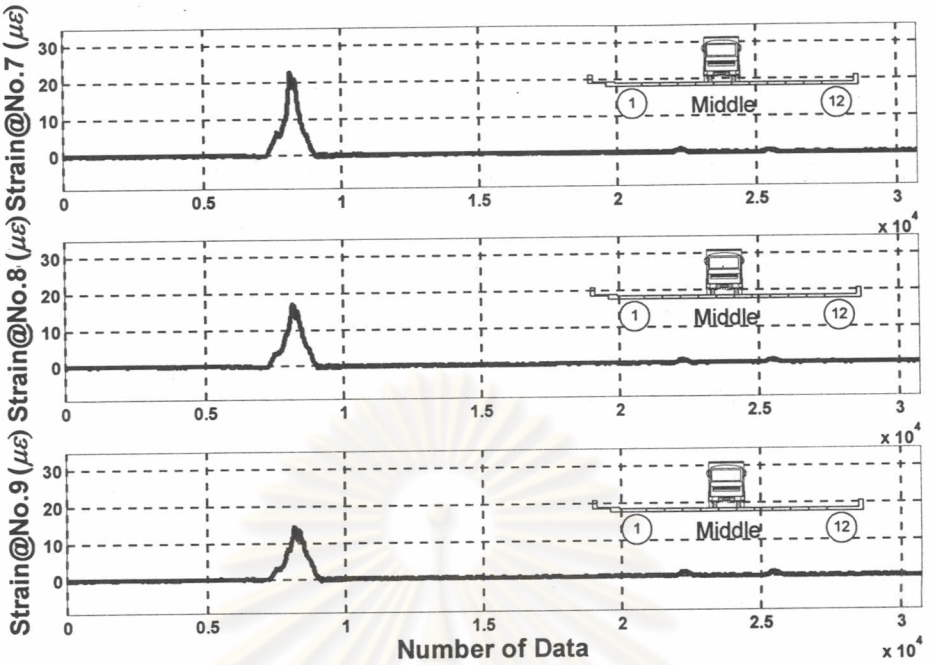
โดยลักษณะของสัญญาณความเครียดที่เก็บวัดได้จากอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานขณะที่รถบรรทุกเคลื่อนที่ผ่านช่วงสะพานที่ทำการทำการทดสอบจะมีทั้งหมด 36 ช่องสัญญาณ และอีก 2 ช่องสัญญาณจะเป็นของเซ็นเซอร์บอกตำแหน่ง ซึ่งลักษณะของสัญญาณที่ทำการกรองสัญญาณเรียบร้อยแล้วของแต่ละช่องสัญญาณจะแสดงในรูปที่ 6.8 ถึง รูปที่ 6.21



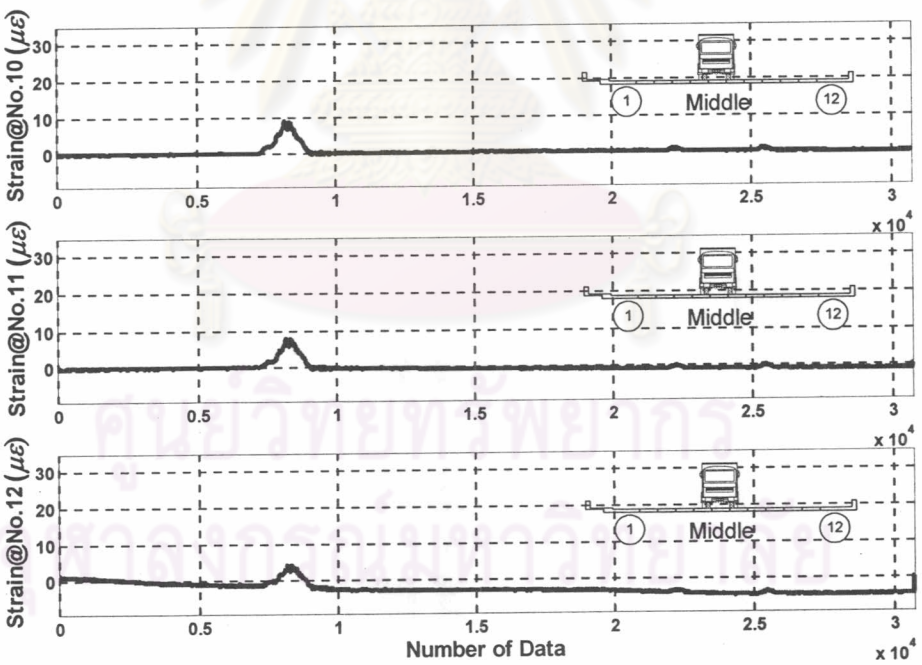
รูปที่ 6.8 ลักษณะของสัญญาณความเครียดของอุปกรณ์วัดความเครียดตัวที่1 ถึงตัวที่ 3



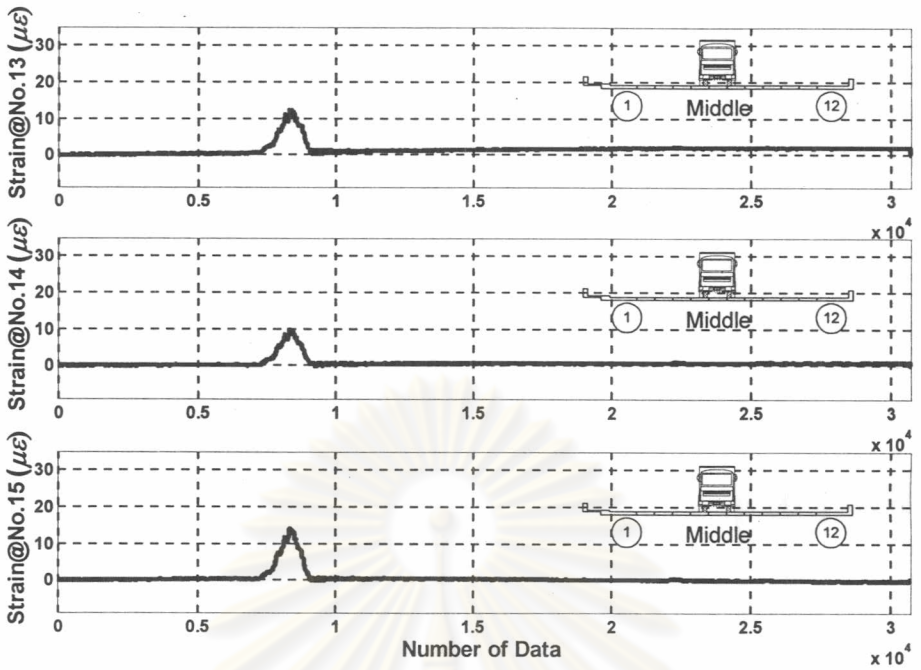
รูปที่ 6.9 ลักษณะของสัญญาณความเครียดของอุปกรณ์วัดความเครียดตัวที่ 4 ถึงตัวที่ 6



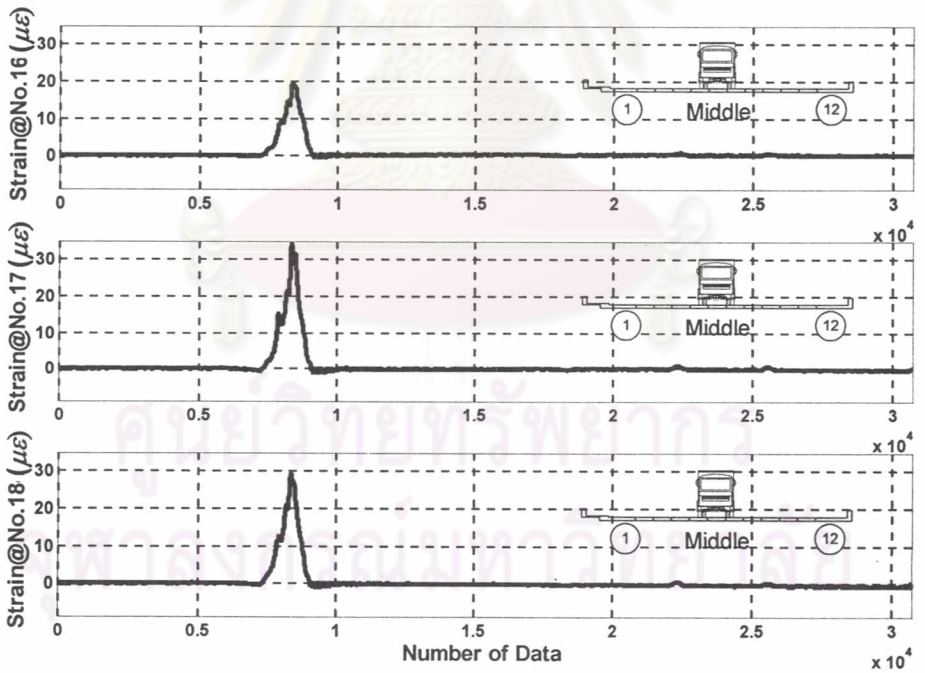
รูปที่ 6.10 ลักษณะของสัญญาณความเครียดของอุปกรณ์วัดความเครียดตัวที่7 ถึงตัวที่ 9



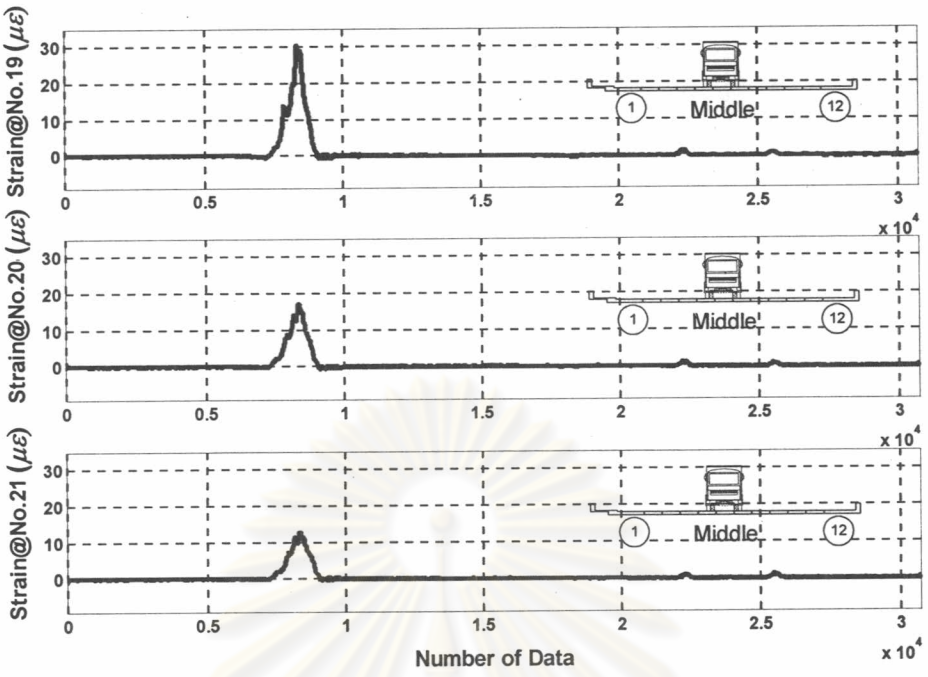
รูปที่ 6.11 ลักษณะของสัญญาณความเครียดของอุปกรณ์วัดความเครียดตัวที่10 ถึงตัวที่ 12



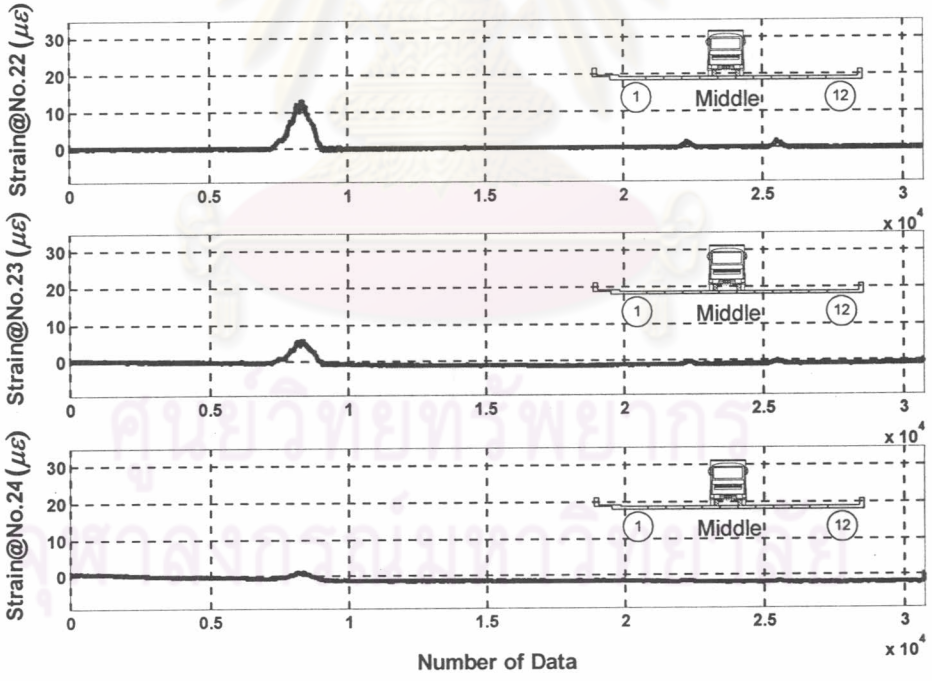
รูปที่ 6.12 ลักษณะของสัญญาณความเครียดของอุปกรณ์วัดความเครียดตัวที่13 ถึงตัวที่ 15



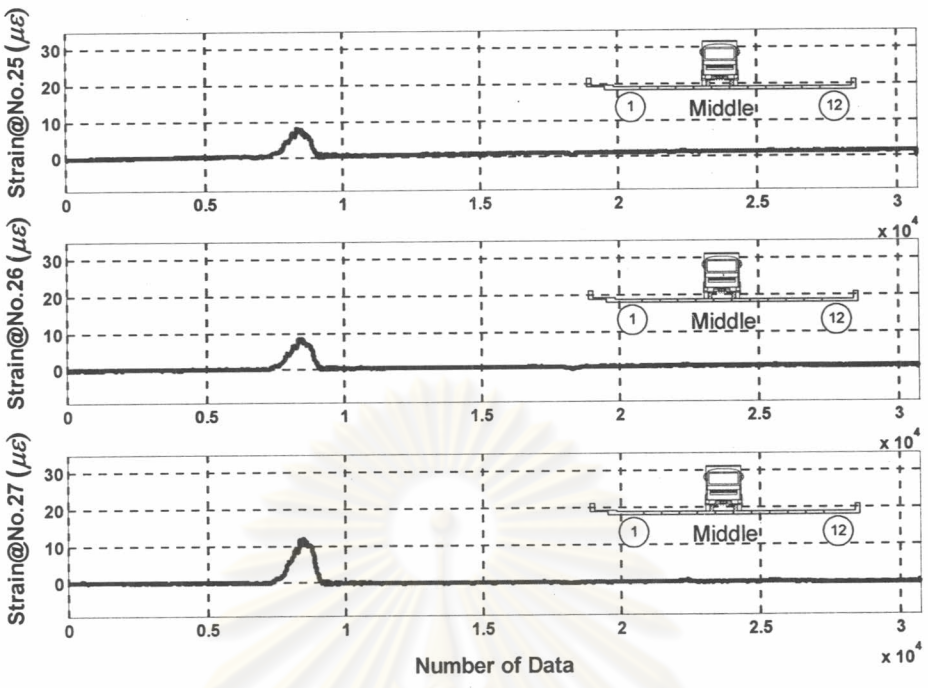
รูปที่ 6.13 ลักษณะของสัญญาณความเครียดของอุปกรณ์วัดความเครียดตัวที่16 ถึงตัวที่ 18



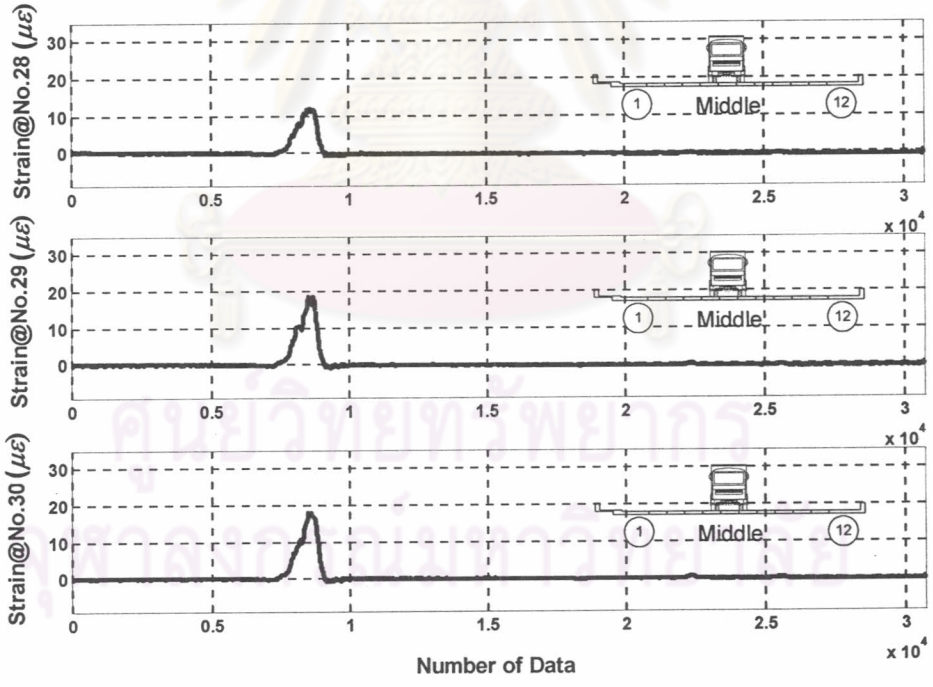
รูปที่ 6.14 ลักษณะของสัญญาณความเครียดของอุปกรณ์วัดความเครียดตัวที่19 ถึงตัวที่ 21



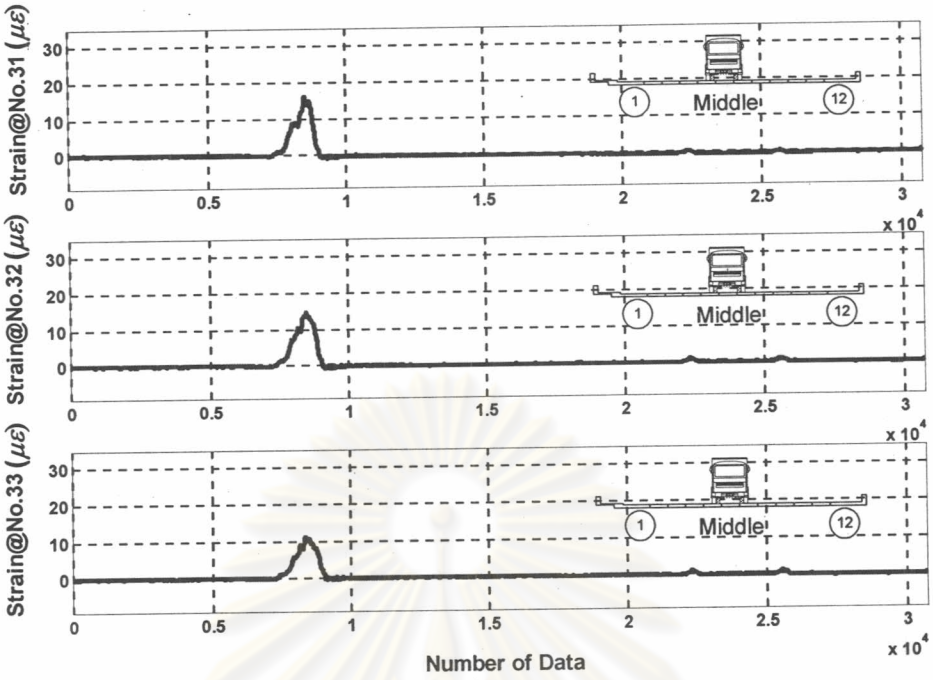
รูปที่ 6.15 ลักษณะของสัญญาณความเครียดของอุปกรณ์วัดความเครียดตัวที่22 ถึงตัวที่ 24



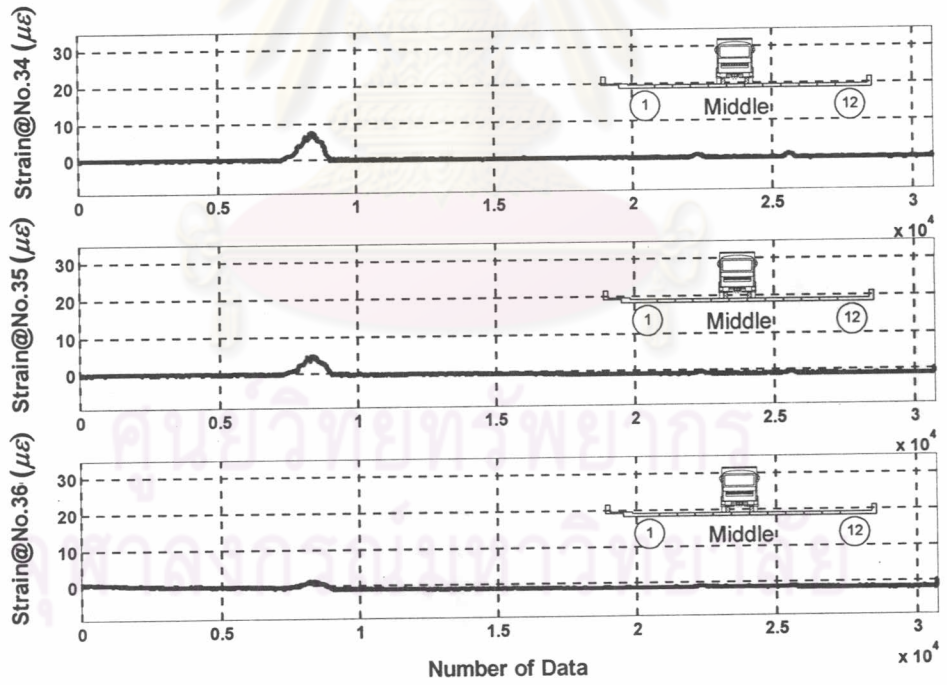
รูปที่ 6.16 ลักษณะของสัญญาณความเครียดของอุปกรณ์วัดความเครียดตัวที่25 ถึงตัวที่ 27



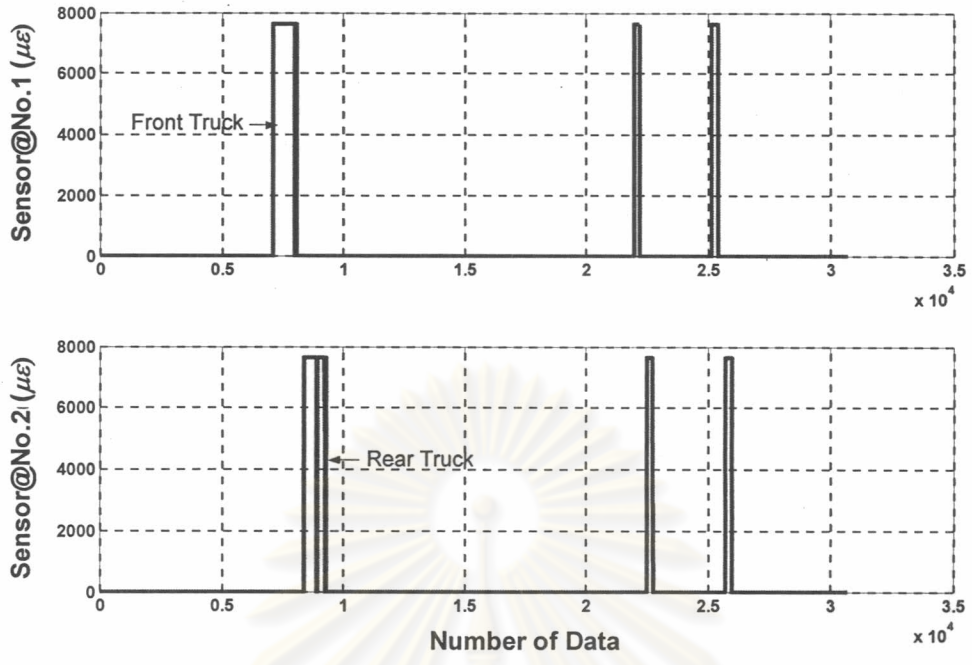
รูปที่ 6.17 ลักษณะของสัญญาณความเครียดของอุปกรณ์วัดความเครียดตัวที่28 ถึงตัวที่ 30



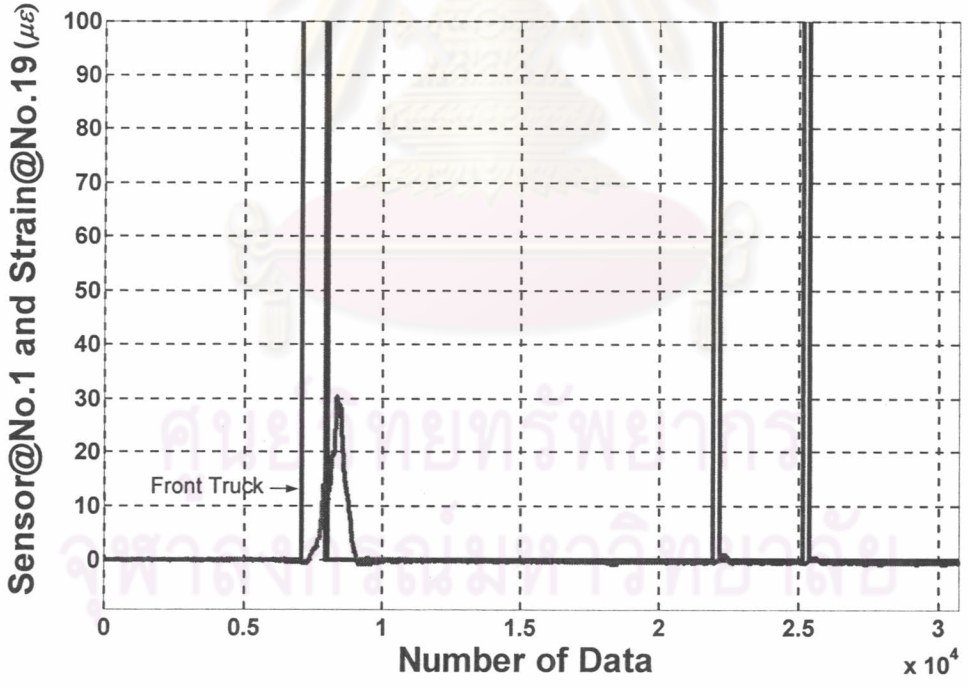
รูปที่ 6.18 ลักษณะของสัญญาณความเครียดของอุปกรณ์วัดความเครียดตัวที่31 ถึงตัวที่ 33



รูปที่ 6.19 ลักษณะของสัญญาณความเครียดของอุปกรณ์วัดความเครียดตัวที่34 ถึงตัวที่ 36



รูปที่ 6.20 ลักษณะของสัญญาณของเซ็นเซอร์บอกตำแหน่งที่จุดเข้าออกของสะพาน



รูปที่ 6.21 เปรียบเทียบสัญญาณความเครียดกับเซ็นเซอร์บอกตำแหน่งที่ตำแหน่งก่อนเข้าสะพาน

6.2 การหาน้ำหนักรถ

ในการทดสอบหาน้ำหนักรถบรรทุกในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการนำเทคนิคไดนามิคโปรแกรมมิงและเทคนิคการคำนวณซ้ำ (Iteration Technique) ที่ได้กล่าวในบทที่ 2 มาใช้ในการหาน้ำหนักของรถบรรทุกสิบล้อที่ทดสอบกับสะพานจริงเพื่อประเมินความถูกต้องของวิธีการนี้ โดยหลักการคำนวณซ้ำนี้จากการสังเกตลักษณะของสัญญาณระหว่างการหาน้ำหนัก จะพบว่าค่าน้ำหนักรถบรรทุกที่คำนวณได้ในแต่ละรอบจะมีค่าเข้าใกล้ค่าคงที่ค่าหนึ่งเสมอเมื่อจำนวนรอบในการคำนวณมากขึ้น ซึ่งเป็นการยืนยันด้วยผลการทดสอบจากข้อมูลที่วัดได้จากสะพานจริงเป็นครั้งแรกว่าการนำเทคนิคไดนามิคโปรแกรมมิงและเทคนิคการคำนวณซ้ำ มาใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกสามารถคำนวณค่าน้ำหนักออกมาได้ โดยตรวจสอบด้วยจะทำการหยุดการคำนวณเมื่อค่าน้ำหนักเพลาหน้า น้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวมของรอบที่คำนวณได้มีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 1 % ของค่าน้ำหนักเพลาหน้า ค่าน้ำหนักเพลาหลังและค่าน้ำหนักรวมที่คำนวณได้จากรอบก่อนหน้านั้น

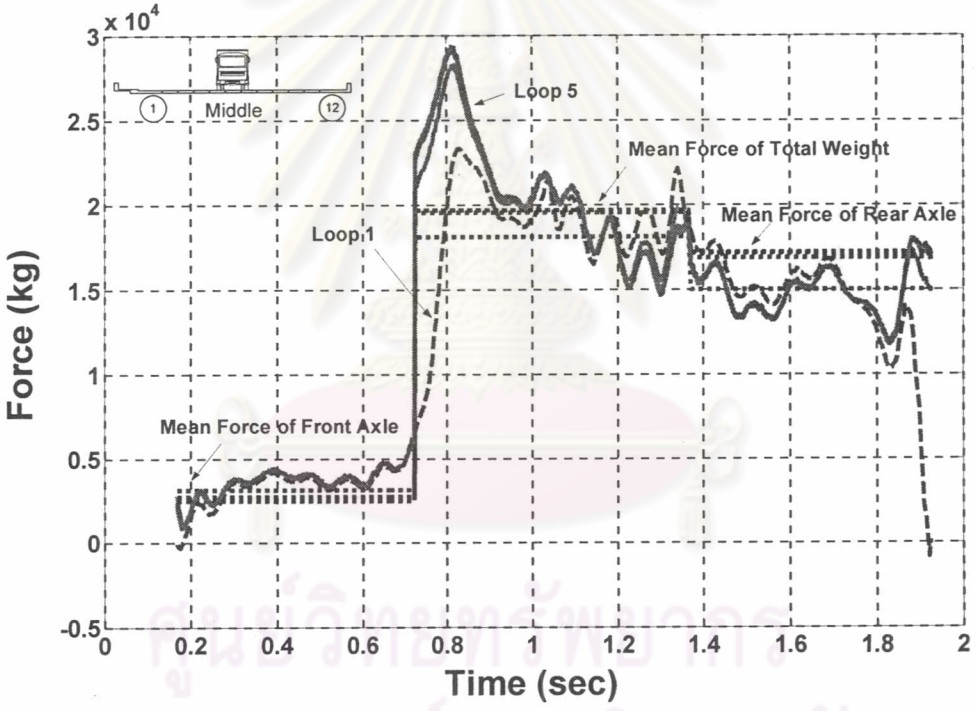
จากนั้นเมื่อทำการตรวจสอบน้ำหนักเพลาหน้า น้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวม ที่ได้จากการคำนวณด้วยการนำเทคนิคของไดนามิคโปรแกรมมิงและเทคนิคการคำนวณซ้ำเปรียบเทียบน้ำหนักเพลาหน้า น้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวมของรถบรรทุก ที่ทำการทดสอบจริงจะพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ดีที่ไม่มากนัก ดังตัวอย่างที่แสดงใน ตารางที่ 6.2 และ 6.3 ที่แสดงถึงจากลู่เข้าของน้ำหนักเพลาหน้า น้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวม ที่คำนวณได้จากเทคนิคไดนามิคโปรแกรมมิงและเทคนิคการคำนวณซ้ำและทำการเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักจริงของรถบรรทุก

ตารางที่ 6.2 ลักษณะของการลู่เข้าของน้ำหนักเพลาหน้า น้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวม ในแต่ละรอบ

น้ำหนักที่หาได้จากการคำนวณ(กก.)	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5
น้ำหนักเพลาหน้า	3101	2683	2509	2466	2456
น้ำหนักเพลาหลัง	14966	16852	17138	17188	17198
น้ำหนักรวม	18067	19535	19647	19654	19654
ค่าน้ำหนักเพลาหน้าที่เปลี่ยนแปลง(%)	-	13.48	6.48	1.71	0.38
ค่าน้ำหนักเพลาหลังที่เปลี่ยนแปลง(%)	-	12.60	1.70	0.29	0.06
ค่าน้ำหนักรวมที่เปลี่ยนแปลง(%)	-	8.13	0.58	0.04	0.00

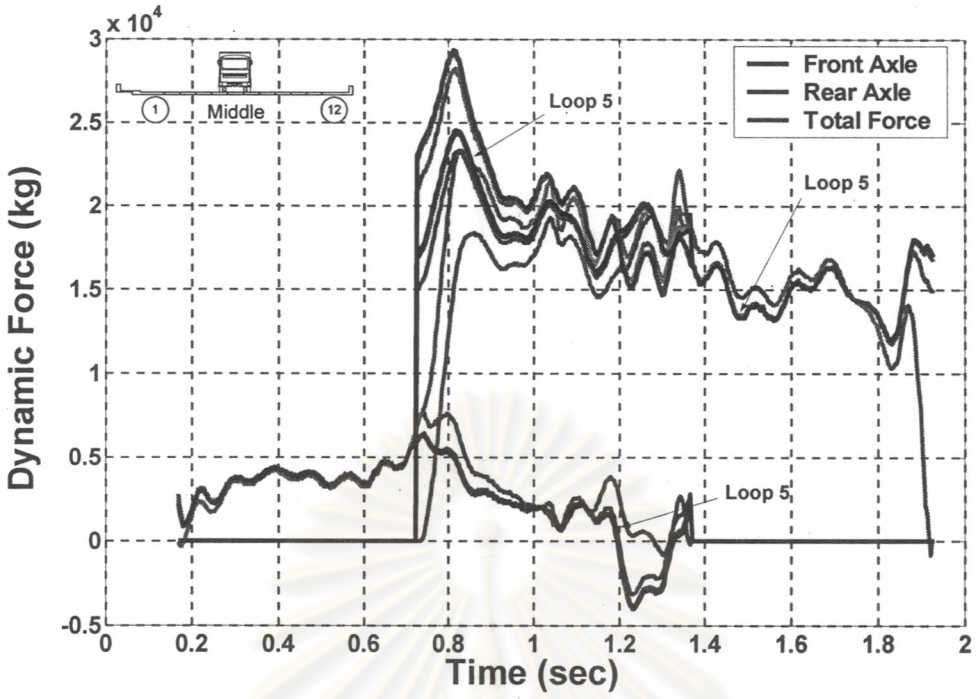
ตารางที่ 6.3 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าน้ำหนักที่หาได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับน้ำหนักจริงของรถบรรทุก

น้ำหนัก	น้ำหนักที่คำนวณได้	น้ำหนักจริงที่ได้จากการชั่ง
น้ำหนักเพลาหน้า(กก.)	2456	4610
น้ำหนักเพลาหลัง(กก.)	17198	16260
น้ำหนักรวม(กก.)	19654	20870
ค่าความคลาดเคลื่อนของเพลาหน้า(%)	-	-46.72
ค่าความคลาดเคลื่อนของเพลาหลัง(%)	-	5.77
ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวม(%)	-	-5.82

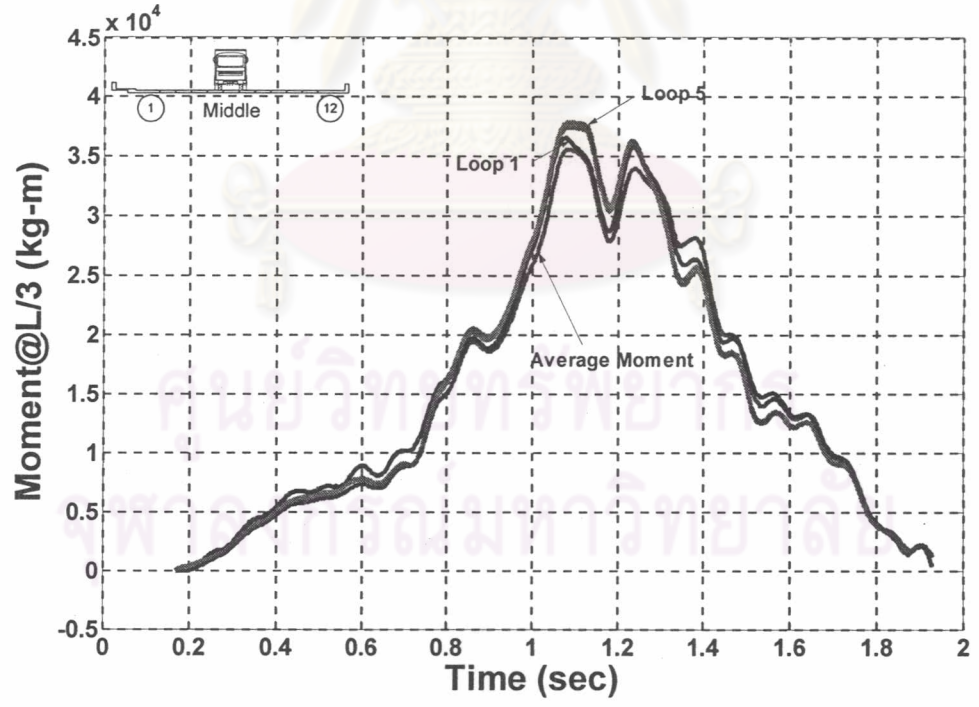


รูปที่ 6.22 ค่าน้ำหนักรถบรรทุกที่หาได้จากการคำนวณ

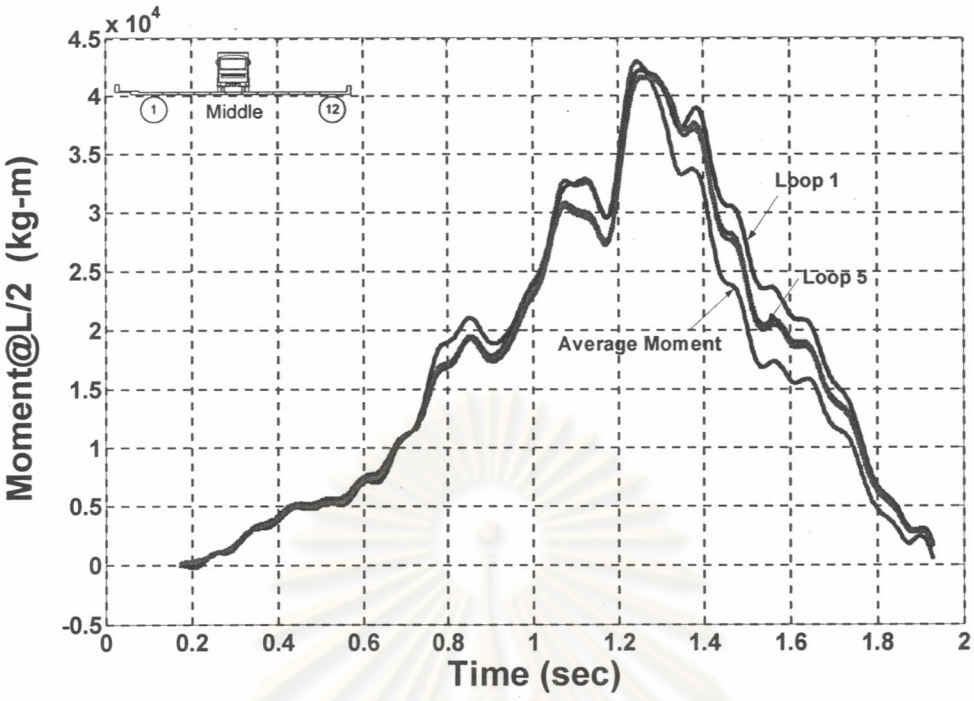
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



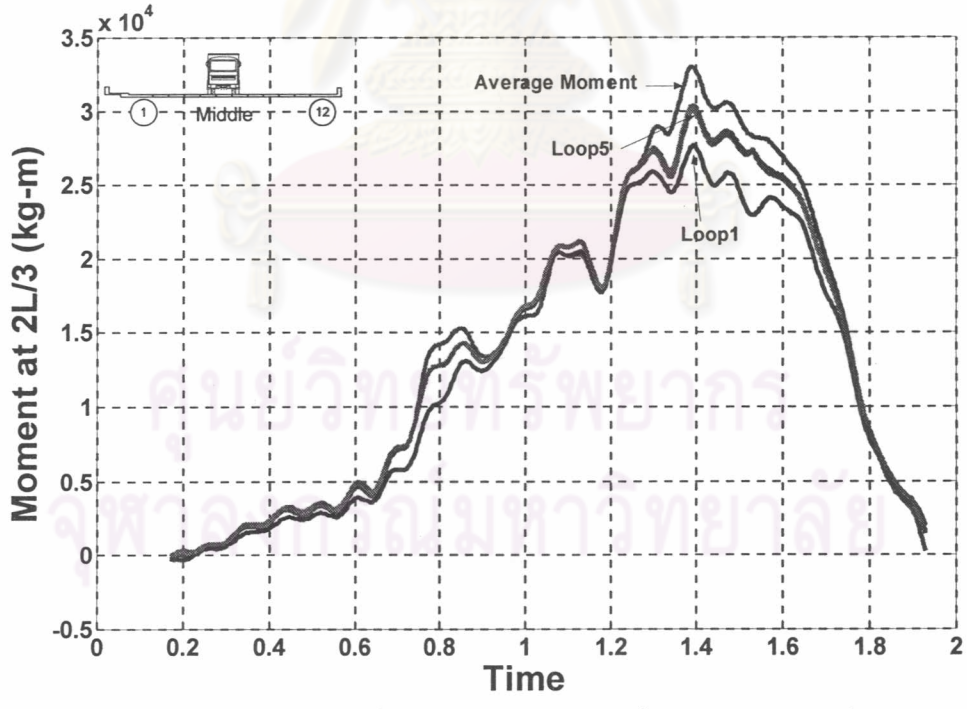
รูปที่ 6.23 ลักษณะแรงพลศาสตร์ของรถบรรทุกที่หาได้จากการคำนวณ



รูปที่ 6.24 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดที่หน้าตัด L/3



รูปที่ 6.25 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดที่หน้าตัด L/2



รูปที่ 6.26 เปรียบเทียบค่าโมเมนต์ที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดที่หน้าตัด 2L/3

เมื่อทำการตรวจสอบแล้วว่าการใช้เทคนิคไดนามิคโปรแกรมมิงและเทคนิคการคำนวณซ้ำในการคำนวณหาน้ำหนักเพลาหน้า น้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวมของรถบรรทุกทดสอบมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับนำไปใช้งานจริงแล้ว จึงได้ทำการประเมินความถูกต้องของการหาน้ำหนักด้วยการใช้เทคนิคไดนามิคโปรแกรมมิงและเทคนิคการคำนวณซ้ำในการคำนวณหาน้ำหนักเพลาหน้า น้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวมด้วยกรณีต่างๆ ดังแสดงในหัวข้อที่ 6.1.1 ซึ่งจะได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 6.4 ถึงตารางที่ 6.6

ทำการหาน้ำหนักรถบรรทุกทดสอบโดยทำการทดสอบกรณีเคลื่อนที่ในตำแหน่งช่องจราจรกลางของสะพาน ซึ่งทำการทดสอบที่ระดับน้ำหนักของรถบรรทุกทดสอบต่างกัน 3 ระดับคือ น้ำหนักรถบรรทุกเบา(light) น้ำหนักรถบรรทุกปานกลาง (middle) และน้ำหนักรถบรรทุกหนัก (heavy) โดยแต่ละระดับน้ำหนักรถบรรทุกจะทดสอบที่ระดับความเร็วของรถบรรทุกในขณะวิ่งข้ามสะพาน 3 ระดับ คือ ระดับความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งช้า(low speed) ระดับความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งปกติ (normal speed) และระดับความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งเร็ว(high speed) ซึ่งแต่ละรูปแบบการทดสอบจะทำการทดสอบ 3 การทดสอบด้วยกัน โดยในกรณีน้ำหนักรถบรรทุกปานกลาง(middle) ความเร็วรถบรรทุกที่วิ่งเร็ว(high speed) สามารถทำการทดสอบได้แค่ 2 การทดสอบเนื่องจากปัญหาหน้างานเช่นเดียวกันกับกรณีน้ำหนักรถบรรทุกหนัก(heavy) จะไม่ได้ทดสอบกรณีความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งเร็ว(high speed) เนื่องจากปัญหาหน้างานเช่นกัน โดยรถบรรทุกที่ทำการทดสอบเกิดชำรุดไม่สามารถใช้งานต่อได้ จึงรวมการทดสอบในกรณีนี้ทั้งหมดเป็นจำนวน 23 การทดสอบ และใช้ค่าปรับเทียบสำหรับกรณีวิ่งกลาง (α_M) เท่ากับ 2.35 และค่าเรกูลาร์ไรเซชั่นพารามิเตอร์ (regularization parameter, λ) สำหรับโปรแกรมการหาน้ำหนักเท่ากับ 0.05 ซึ่งได้ผลการทดสอบในการหาน้ำหนักเพลาหน้า เพลาหลัง และน้ำหนักรวม รวมทั้งค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักที่ทายได้ดังตารางที่ 6.4

ต่อมาทำการหาน้ำหนักรถบรรทุกทดสอบโดยทำการทดสอบกรณีเคลื่อนที่ในตำแหน่งช่องจราจรกลางของสะพาน ซึ่งทำการทดสอบที่ระดับน้ำหนักของรถบรรทุกทดสอบต่างกัน 3 ระดับ คือ น้ำหนักรถบรรทุกเบา (light) น้ำหนักรถบรรทุกปานกลาง (middle) และน้ำหนักรถบรรทุกหนัก (heavy) โดยแต่ละระดับน้ำหนักรถบรรทุกจะทดสอบที่ระดับความเร็วของรถบรรทุกในขณะวิ่งข้ามสะพาน 3 ระดับ คือ ระดับความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งช้า(low speed) ระดับความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งปกติ (normal speed) และระดับความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งเร็ว(high speed) ซึ่งแต่ละรูปแบบการทดสอบจะทำการทดสอบ 3 การทดสอบด้วยกัน โดยในกรณีน้ำหนักรถบรรทุกปานกลาง(middle) ทำการทดสอบได้เฉพาะการทดสอบครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ซึ่งไม่สามารถทำการทดสอบครั้งที่ 3ได้เนื่องจากปัญหาหน้างาน จึงรวมการทดสอบในกรณีนี้ทั้งหมดเป็นจำนวน 24 การทดสอบ และใช้ค่าปรับเทียบสำหรับกรณีวิ่งซ้าย (α_L) เท่ากับ 2.15 และค่าเรกูลาร์ไรเซชั่นพารามิเตอร์ (regularization parameter, λ) สำหรับโปรแกรมการหาน้ำหนักเท่ากับ 0.05 ซึ่งได้ผลการทดสอบในการหาน้ำหนักเพลาหน้า เพลาหลัง และน้ำหนักรวม รวมทั้งค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักที่ทายได้ดังตารางที่ 6.5

สำหรับกรณีที่ต้องการศึกษาผลของค่าแรงทางพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นให้มีความชัดเจนมากขึ้น จึงได้ทำการทดสอบการหาน้ำหนักของรถบรรทุกที่เคลื่อนที่บนสะพานโดยพิจารณาผลของความขรุขระของสะพานระหว่างรถบรรทุกวิ่งข้ามสะพาน โดยทำการศึกษาจากตำแหน่งที่ทำให้เกิดความขรุขระ 2 กรณีด้วยกัน ได้แก่ ตำแหน่ง

ที่ทำให้เกิดความขรุขระก่อนเข้าสะพานและตำแหน่งที่ทำให้เกิดความขรุขระช่วงกลางของสะพานโดยแต่ละกรณีจะทำการทดสอบ 2 การทดสอบด้วยกัน ซึ่งทำการทดสอบในช่องจราจรซ้ายของสะพานเท่านั้นเนื่องจากความเหมาะสมของการทำการทดสอบ โดยทำการทดสอบเฉพาะกรณีน้ำหนักรถบรรทุกเบา (light) และใช้ระดับความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งช้า (low speed) จึงรวมการทดสอบในกรณีนี้ทั้งหมดเป็นจำนวน 4 การทดสอบ โดยผลการทดสอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 6.6

โดยอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความขรุขระบนสะพานนั้นออกแบบโดยใช้ท่อเหล็กกลมกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 3.5 ซม. หนา 0.1 ซม. ยาว 3.0 ม. วางสอดบนเหล็กบนขนาด 10.0 x 30.0 ซม.^{2} ที่ทำการเชื่อมสลักเหล็กสำหรับยึดเหล็กเรียบร้อยแล้ว โดยใช้วางบนสะพานก่อนการทดสอบที่ตำแหน่งที่ต้องการของแต่ละกรณี ดังแสดงในรูปที่ 6.27

รูปที่ 6.27 อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดความขรุขระบนสะพาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.4 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักรถบรรทุกและค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิต กรณีเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งช่องจราจรกลางของสะพาน

กรณีรถบรรทุกเคลื่อนที่		น้ำหนักรถบรรทุกเบา			น้ำหนักรถบรรทุกปานกลาง			น้ำหนักรถบรรทุกหนัก		
ตำแหน่งช่องจราจรกลางของสะพาน		การทดสอบครั้งที่			การทดสอบครั้งที่			การทดสอบครั้งที่		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Low Speed	จำนวนรอบที่คำนวณ	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	ความเร็ว(กม./ชม.)	28	29	26	20	23	19	27	24	28
	น้ำหนักเพลาหน้า(กก.)	2456	2526	2422	3486	3725	3428	3573	4003	2744
	Error Static (%)	-46.72	-45.21	-47.45	-21.40	-16.00	-22.70	-36.71	-29.09	-51.39
	น้ำหนักเพลาหลัง(กก.)	17198	17191	17250	18993	19189	19611	21290	21693	22011
	Error Static (%)	5.77	5.73	6.09	0.33	1.37	3.60	5.71	7.71	9.29
	น้ำหนักรวม(กก.)	19654	19717	19673	22479	22914	23039	24863	25696	24755
	Error Static (%)	-5.82	-5.52	-5.74	-3.79	-1.93	-1.39	-3.58	-0.35	-3.99
Normal Speed	จำนวนรอบที่คำนวณ	5	5	5	4	5	5	5	5	5
	ความเร็ว(กม./ชม.)	37	37	39	27	29	27	33	31	28
	น้ำหนักเพลาหน้า(กก.)	3453	3816	3219	4156	3264	3517	3881	3921	3477
	Error Static (%)	-25.10	-17.23	-30.17	-6.30	-26.41	-20.70	-31.25	-30.54	-38.41
	น้ำหนักเพลาหลัง(กก.)	18100	18234	16777	18136	18893	19425	21382	21978	21950
	Error Static (%)	11.31	12.14	3.18	-4.19	-0.19	2.62	6.17	9.13	8.99
	น้ำหนักรวม(กก.)	21553	22050	19996	22292	22157	22942	25263	25899	25427
	Error Static (%)	3.27	5.65	-4.19	-4.59	-5.17	-1.81	-2.02	0.44	-1.39
High Speed	จำนวนรอบที่คำนวณ	5	5	5	5	5				
	ความเร็ว(กม./ชม.)	44	44	42	33	33	-	-	-	-
	น้ำหนักเพลาหน้า(กก.)	2699	2640	4027	2972	3830	-	-	-	-
	Error Static (%)	-41.46	-42.73	-12.64	-33.00	-13.63	-	-	-	-
	น้ำหนักเพลาหลัง(กก.)	16894	17814	18135	20008	19347	-	-	-	-
	Error Static (%)	3.90	9.55	11.53	5.70	2.20	-	-	-	-
	น้ำหนักรวม(กก.)	19593	20454	22162	22980	23177	-	-	-	-
	Error Static (%)	-6.12	-2.00	6.19	-1.65	-0.80	-	-	-	-

ตารางที่ 6.5 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักรถบรรทุก และค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิต กรณีเคลื่อนที่ ณ ช่องจราจรซ้ายของสะพาน

กรณีรถบรรทุกเคลื่อนที่		น้ำหนักรถบรรทุกเบา			น้ำหนักรถบรรทุกปานกลาง			น้ำหนักรถบรรทุกหนัก		
ตำแหน่งช่องจราจรซ้ายของสะพาน		การทดสอบครั้งที่			การทดสอบครั้งที่			การทดสอบครั้งที่		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Low Speed	จำนวนรอบที่คำนวณ	5	5	5	5	5		5	5	5
	ความเร็ว(กม./ชม.)	27	26	21	19	23	-	27	26	26
	น้ำหนักเพลาหน้า(กก.)	2508	2504	2922	2967	2710	-	3482	3638	3297
	Error Static (%)	-45.59	-45.69	-36.61	-33.10	-38.90	-	-38.31	-35.55	-41.60
	น้ำหนักเพลาหลัง(กก.)	17285	17129	17042	19449	19243	-	21625	21581	21536
	Error Static (%)	6.30	5.35	4.81	2.74	1.65	-	7.37	7.15	6.93
	น้ำหนักรวม(กก.)	19793	19633	19964	22416	21953	-	25107	25219	24833
	Error Static (%)	-5.16	-5.93	-4.34	-4.06	-6.04	-	-2.63	-2.19	-3.69
Normal Speed	จำนวนรอบที่คำนวณ	5	5	5	5	5		5	5	5
	ความเร็ว(กม./ชม.)	38	38	38	27	28	-	30	32	30
	น้ำหนักเพลาหน้า(กก.)	2199	2307	3707	3008	2911	-	2824	3424	3045
	Error Static (%)	-52.30	-49.95	-19.58	-32.18	-34.37	-	-49.97	-39.35	-46.07
	น้ำหนักเพลาหลัง(กก.)	18214	18191	17028	19179	18833	-	22109	22146	22153
	Error Static (%)	12.02	11.87	4.73	1.32	-0.51	-	9.78	9.96	10
	น้ำหนักรวม(กก.)	20413	20498	20736	22187	21744	-	24933	25570	25198
	Error Static (%)	-2.19	-1.78	-0.64	-5.04	-6.94	-	-3.3	-0.84	-2.28
High Speed	จำนวนรอบที่คำนวณ	5	5	5	5	5		5	5	5
	ความเร็ว(กม./ชม.)	45	44	45	31	31	-	36	35	34
	น้ำหนักเพลาหน้า(กก.)	2339	2479	2326	2814	2490	-	2779	3062	3046
	Error Static (%)	-49.26	-46.22	-49.55	-36.54	-43.85	-	-50.77	-45.75	-46.04
	น้ำหนักเพลาหลัง(กก.)	18246	18436	18401	19399	20135	-	21708	21800	22181
	Error Static (%)	12.21	13.38	13.17	2.48	6.37	-	7.79	8.24	10.14
	น้ำหนักรวม(กก.)	20585	20915	20727	22213	22626	-	24488	24863	25227
	Error Static (%)	-1.36	0.22	-0.69	-4.93	-3.16	-	-5.03	-3.58	-2.16

ตารางที่ 6.6 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักรถบรรทุก และค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิต

กรณีเคลื่อนที่ ณ ช่องจราจรด้านซ้ายของสะพานและพิจารณาผลความขรุขระของผิวทาง

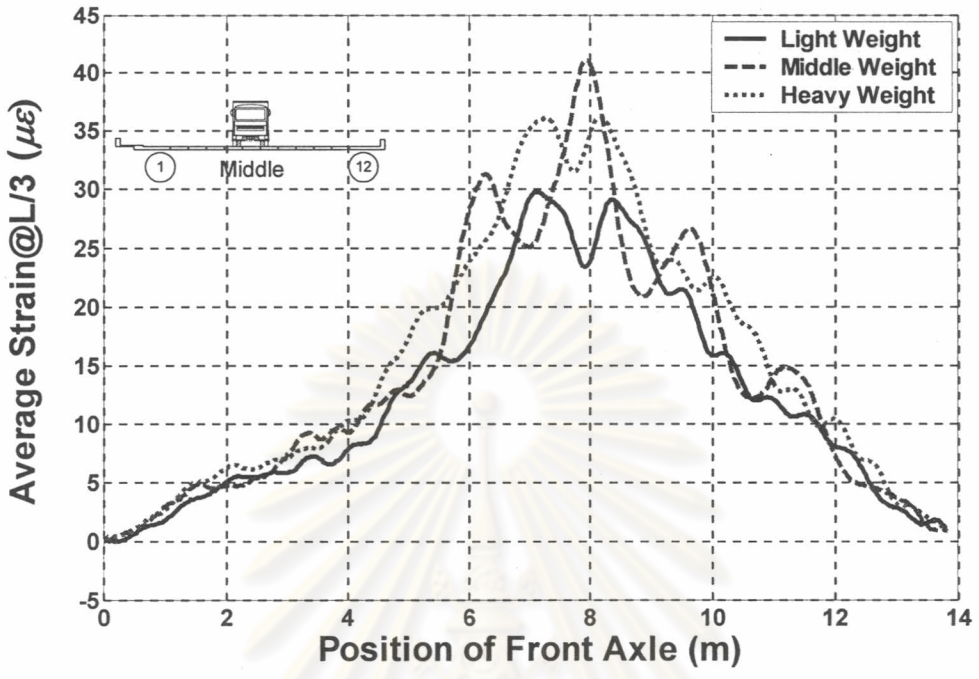
กรณีรถบรรทุกเคลื่อนที่		น้ำหนักรถบรรทุกเบา		น้ำหนักรถบรรทุกเบา	
ตำแหน่งช่องจราจรซ้ายของสะพานและพิจารณาผลความขรุขระ		ความขรุขระก่อนเข้าสะพาน		ความขรุขระช่วงกลางสะพาน	
		การทดสอบครั้งที่		การทดสอบครั้งที่	
		1	2	1	2
Low Speed	จำนวนรอบที่คำนวณ	5	4	5	5
	ความเร็ว(กม./ชม.)	24	22	22	21
	น้ำหนักเพลาหน้า(กก.)	1764	3514	1979	2937
	Error Static (%)	-61.74	-23.78	-57.07	-36.30
	น้ำหนักเพลาหลัง(กก.)	16608	16345	16920	16361
	Error Static (%)	2.14	0.52	4.06	0.62
	น้ำหนักรวม(กก.)	18371	19859	18899	19297
	Error Static (%)	-11.97	-4.84	-9.44	-7.54

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

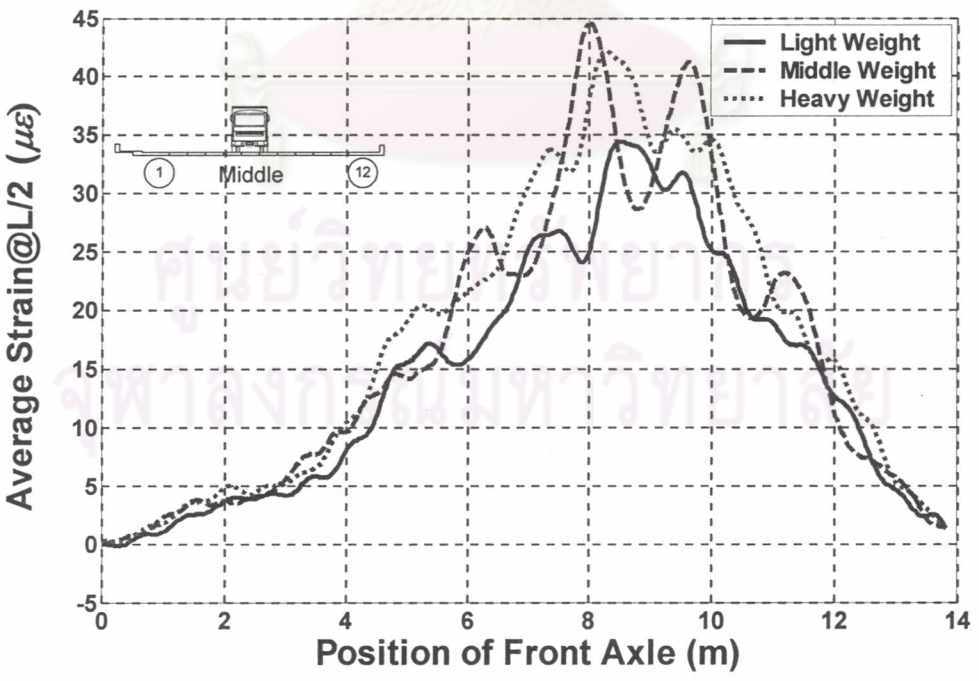
6.3 อิทธิพลของน้ำหนักของรถบรรทุกต่อความถูกต้องในการหาน้ำหนัก

เมื่อทำการพิจารณาจากค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักที่ได้ทำการปรับเทียบด้วยค่าปรับเทียบแบบจำลองในตารางที่ 5.1 แล้วนั้นจะพบว่า ลักษณะของค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักจะมีลักษณะแปรผันตรงกับค่าน้ำหนักของรถบรรทุกที่ทำการทดสอบ กล่าวคือถ้าน้ำหนักรถที่ใช้ในการทดสอบมีค่ามากขึ้น ค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของแต่ละหน้าตัดของสะพานจะมีค่ามากขึ้นเช่นกัน ดังตัวอย่างลักษณะสัญญาณที่แสดงในรูปที่ 6.28 ถึงรูปที่ 6.30 จะพบว่าค่าความเครียดแบบถ่วงน้ำหนักในกรณีน้ำหนักรถบรรทุกหนัก(heavy) จะมีค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักมากที่สุดในทุกหน้าตัดของสะพานที่ทำการพิจารณา แต่จากลักษณะสัญญาณของค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของกรณีน้ำหนักรถบรรทุกปานกลาง(middle) จะมีลักษณะของความแปรปรวนค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณของค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักกรณีน้ำหนักรถบรรทุกเบา(light) และน้ำหนักรถบรรทุกหนัก(heavy) ซึ่งน่าจะมีผลมาจากขั้นตอนการทดสอบกล่าวคือ รถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ไม่ได้ใช้รถคันเดียวตลอดการทดสอบ โดยในกรณีของน้ำหนักบรรทุกเบา(light) และน้ำหนักบรรทุกหนัก(heavy)จะใช้รถบรรทุกทะเบียน 818970 ซึ่งแตกต่างกับกรณีน้ำหนักรถบรรทุกปานกลาง(middle) ที่ใช้รถบรรทุกทะเบียน 818414 ดังแสดงในตารางที่ 6.1 ดังนั้น จากลักษณะที่แตกต่างกันของรถบรรทุกทั้งสองคันจึงสันนิษฐานว่าการถ่ายแรงในระบบช่วงล่างของรถบรรทุกสองคันนี้ต่างกัน โดยจากลักษณะสัญญาณสามารถสรุปได้ว่ารถบรรทุกทะเบียน 818414 ซึ่งใช้ในกรณีน้ำหนักบรรทุกปานกลาง(middle) จะมีแรงพลศาสตร์ของตัวรถที่ล้อรถกระทำกับสะพานมากกว่ารถบรรทุกทะเบียน 818970 ทำให้สัญญาณค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของกรณีรถบรรทุกปานกลาง(middle) มีลักษณะของแรงพลศาสตร์ร่วมอยู่ในสัญญาณในปริมาณที่มากกว่า

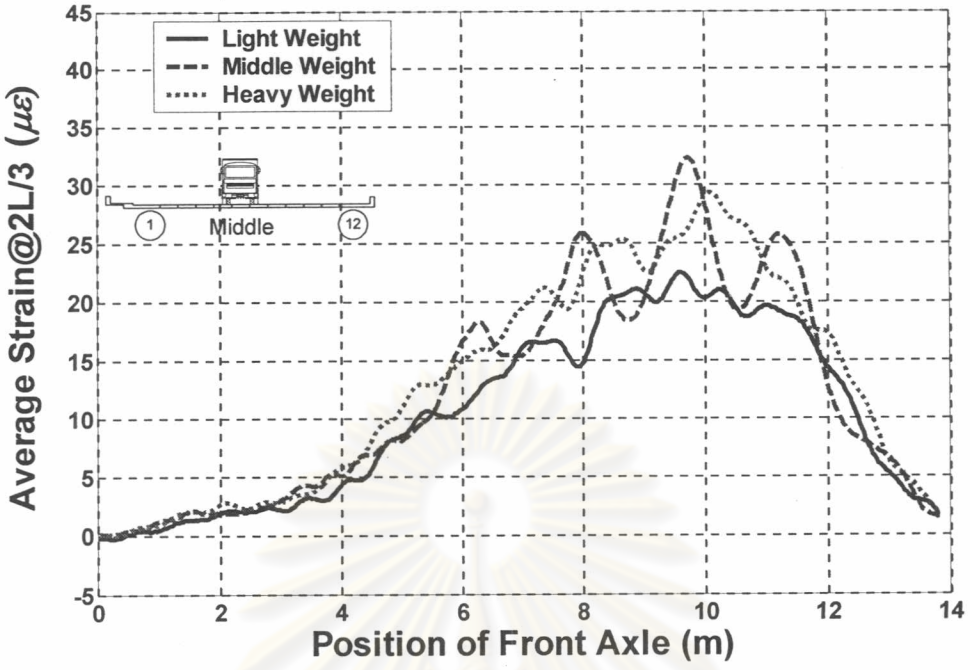
จากนั้นทำการพิจารณาโดยการสังเกตค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของทั้งน้ำหนักเพลาหน้า น้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวมของรถบรรทุกดังแสดงในรูปที่ 6.31-6.33 จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักบรรทุกรวมของรถบรรทุกส่วนใหญ่ที่ได้จากการหาน้ำหนักจะมีลักษณะน้อยกว่าค่าน้ำหนักรวมจริงของรถบรรทุก เนื่องมาจากค่าความคลาดเคลื่อนของเพลาหน้าของรถบรรทุกที่หาได้จะมีค่าต่ำกว่าค่าน้ำหนักเพลาจริงค่อนข้างมาก (ประมาณ 30-50%) ส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนของเพลาหลังจะมีน้ำหนักมากกว่าค่าน้ำหนักเพลาหลังจริงของรถบรรทุกเช่นกัน โดยเมื่อคิดค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมก็จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมติดลบเนื่องจากค่าความคลาดเคลื่อนของเพลาหน้าจะมากกว่าเพลาหลังมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาลักษณะเปอร์เซ็นต์ของค่าความคลาดเคลื่อนจะพบว่า รถบรรทุกที่มีน้ำหนักมากจะให้ค่าคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่ารถบรรทุกที่มีน้ำหนักเบากว่า แต่ถ้าพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนจริงที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6.34-6.35 จะพบว่าค่าน้ำหนักของรถบรรทุกที่คลาดเคลื่อนจริงจะมีค่าค่อนข้างคงที่ เช่น อยู่ในช่วง +/-1500 กก. สำหรับกรณีในน้ำหนักรวม ซึ่งเป็นการยืนยันว่าค่าความคลาดเคลื่อนจากการหาน้ำหนักด้วยเทคนิคไดนามิคโปรแกรมมิงร่วมกับเทคนิคการคำนวณซ้ำอาจจะไม่ขึ้นกันผลของน้ำหนักรถบรรทุกก็เป็นได้ เนื่องจากในการทดสอบครั้งนี้ใช้น้ำหนักรถบรรทุกทดสอบที่มีน้ำหนักบรรทุกใกล้เคียงกัน จึงทำให้ไม่สามารถสรุปผลของอิทธิพลของน้ำหนักรถบรรทุกต่อความถูกต้องในการหาน้ำหนักได้ชัดเจนนัก



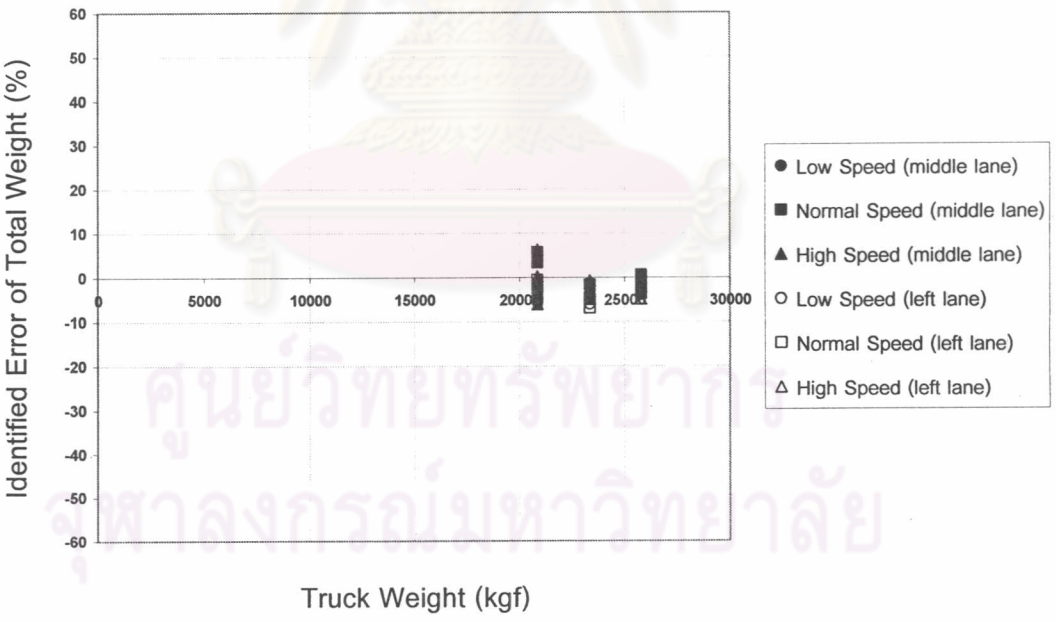
รูปที่ 6.28 เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ค่าน้ำหนักรถต่างกันที่หน้าตัด L/3กรณีวิ่งช่องจราจรกลาง



รูปที่ 6.29 เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ค่าน้ำหนักรถต่างกันที่หน้าตัด L/2 กรณีวิ่งช่องจราจรกลาง

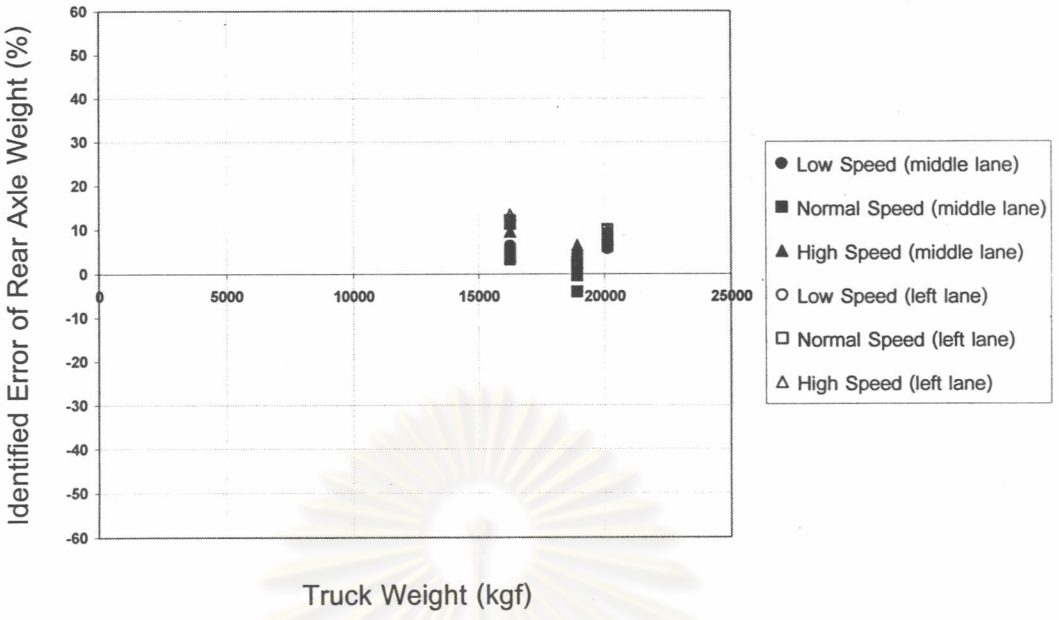


รูปที่ 6.30 เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ค่าน้ำหนักรถต่างกันที่หน้าตัด 2L/3 กรณีวิ่งช่องจราจรกลาง

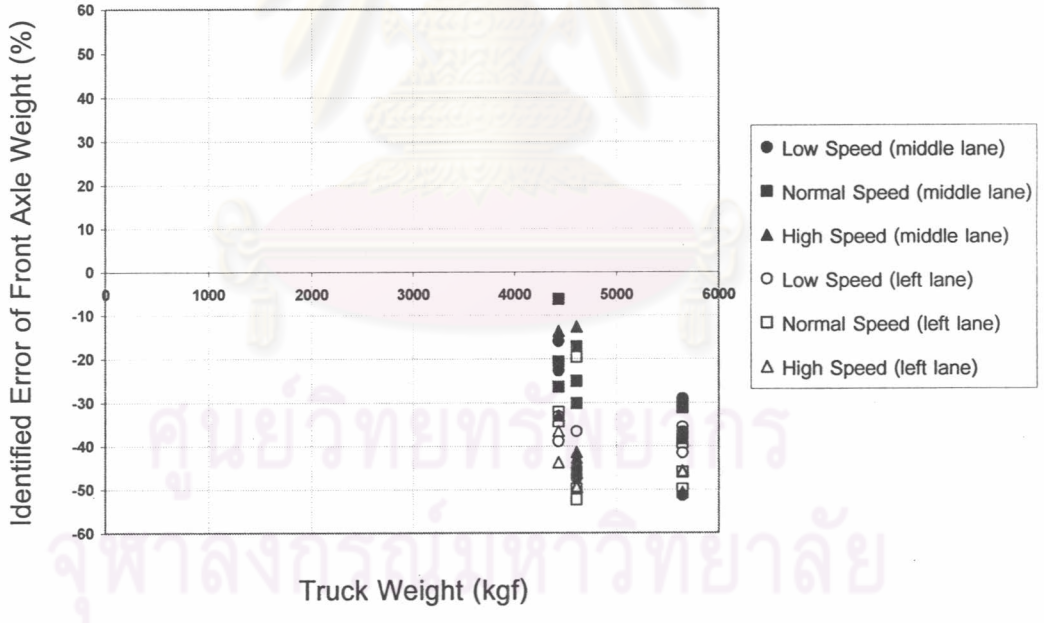


รูปที่ 6.31 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

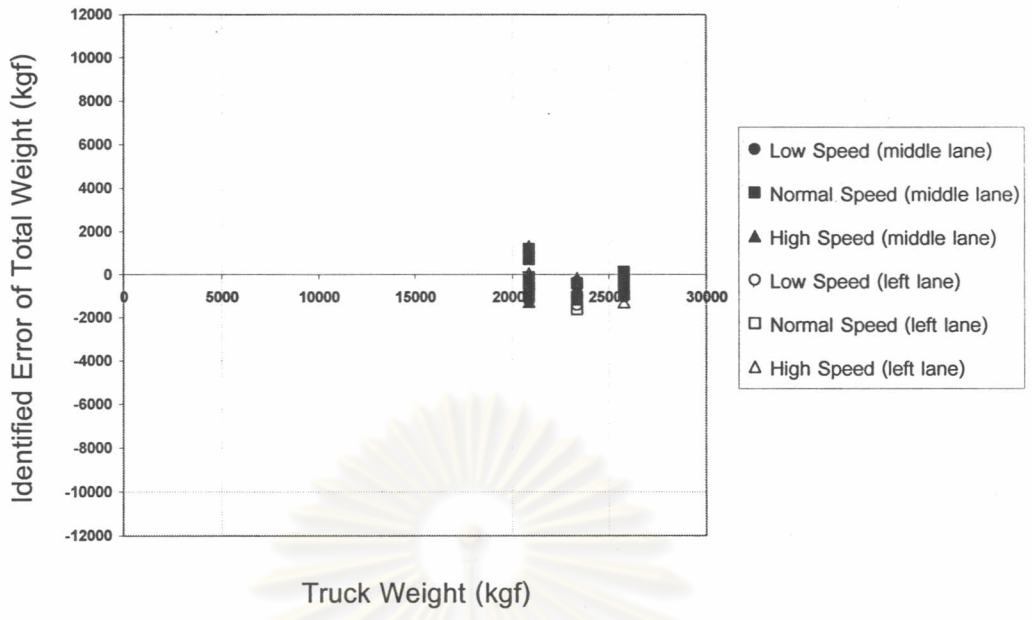


รูปที่ 6.32 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหลัง

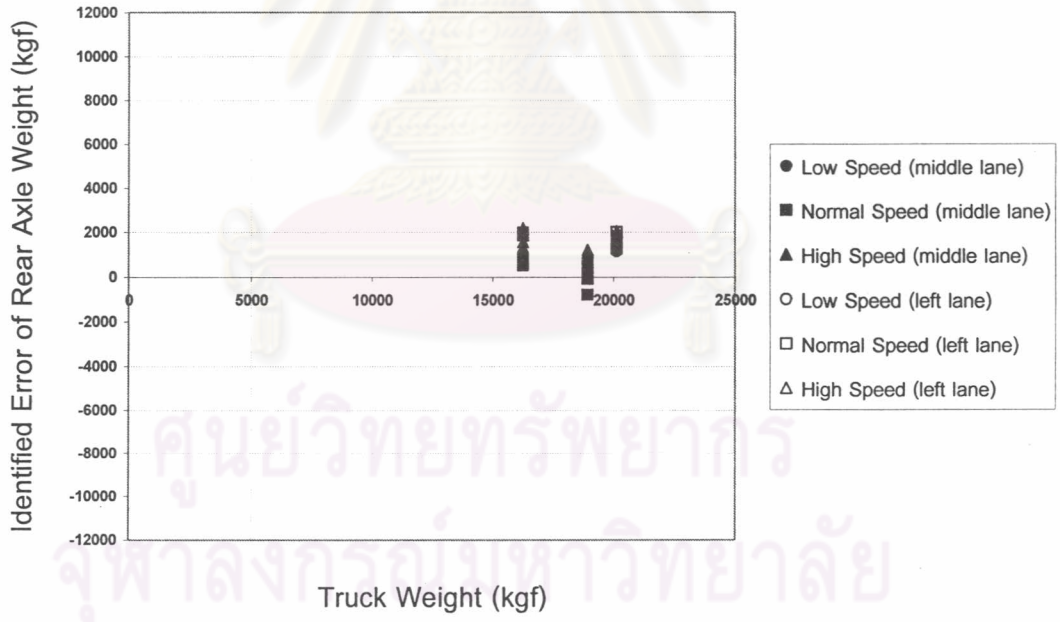


รูปที่ 6.33 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหน้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

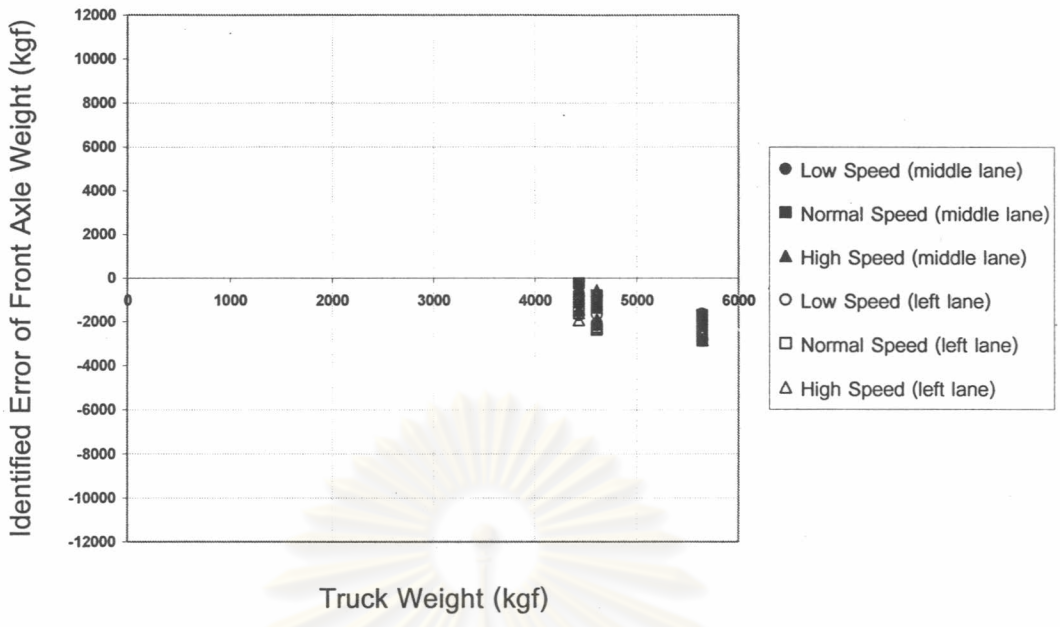


รูปที่ 6.34 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวม



รูปที่ 6.35 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหลัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



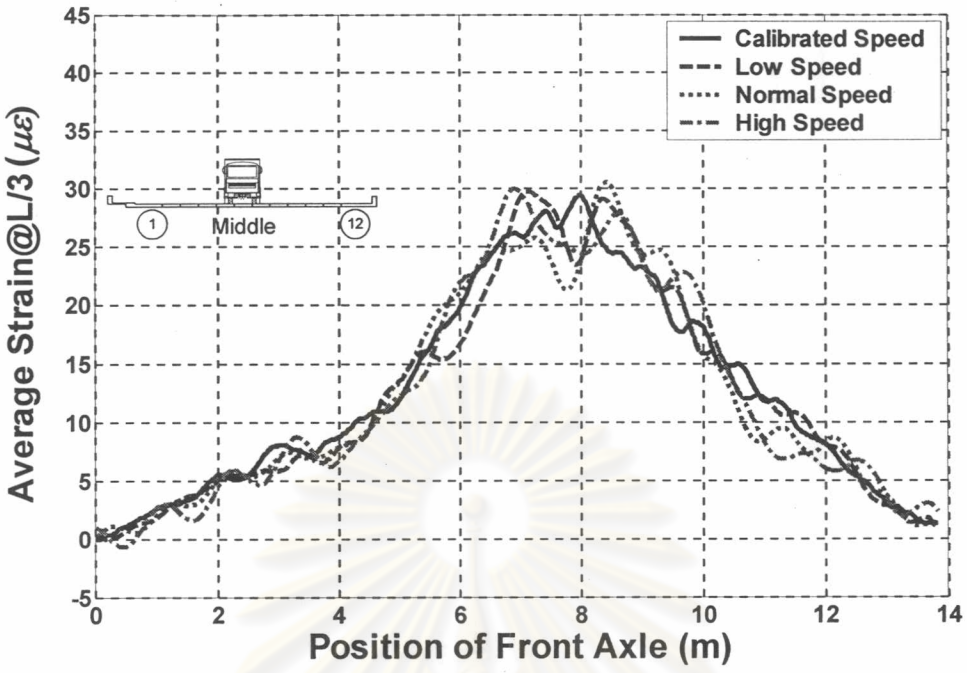
รูปที่ 6.36 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหน้า

6.4 อิทธิพลของความเร็วของรถบรรทุกต่อความถูกต้องในการหาน้ำหนัก

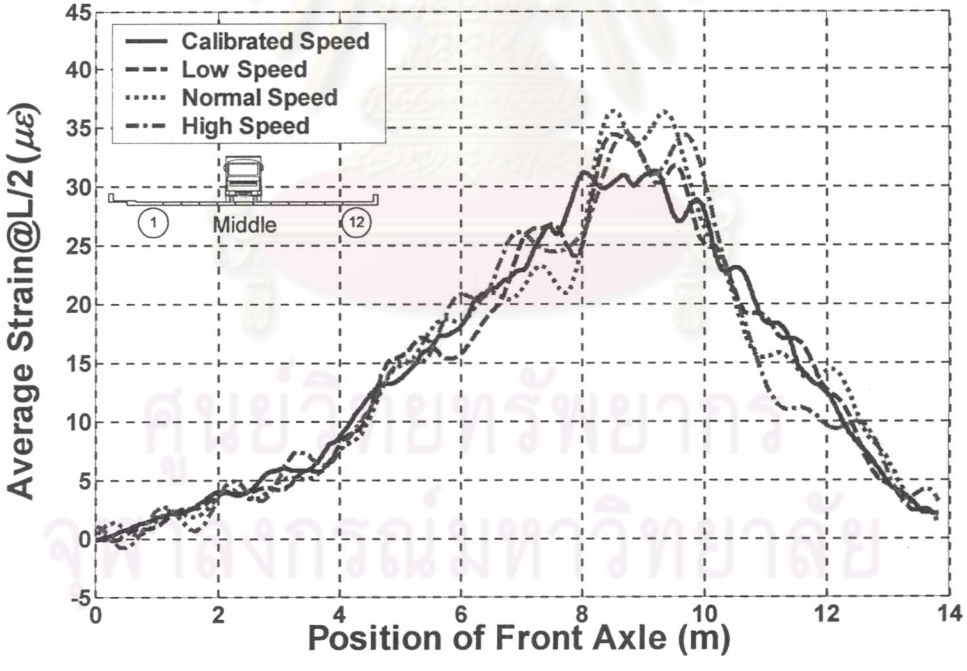
ทำการพิจารณาค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักจากกรณีที่ค่าความเร็วของรถบรรทุกที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในช่วงสะพานแตกต่างกันแล้วเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักบรรทุกทดสอบระดับต่างๆ จะพบว่าเมื่อรถบรรทุกเคลื่อนที่ผ่านสะพานด้วยความเร็วที่สูง จะส่งผลทำให้ค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักมีลักษณะสัญญาณที่แปรปรวนมากขึ้น กล่าวคือการที่รถบรรทุกเคลื่อนที่ผ่านสะพานด้วยความเร็วที่สูงจะส่งผลให้เกิดแรงทางพลศาสตร์ที่ล้อรถกระทำกับสะพานมากขึ้นกว่ารถบรรทุกที่วิ่งด้วยความเร็วที่ช้ากว่าดังแสดงในรูปที่ 6.37 ถึงรูปที่ 6.39 ซึ่งค่าแรงทางพลศาสตร์ที่ล้อรถบรรทุกกระทำกับผิวทางของสะพานสูงมากขึ้นจะเป็นปัจจัยทำให้ค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักในกรณีดังกล่าวนี้จะไม่สอดคล้องกับค่าความเครียดที่ใช้ปรับเทียบการหาน้ำหนักส่งผลทำให้ลักษณะแรงในเพลาของรถบรรทุกที่หาได้จะมีความแปรปรวนสูง ทำให้น้ำหนักรถบรรทุกที่หาได้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นเพราะการหาน้ำหนักรถบรรทุกจะใช้การเฉลี่ยแรงในเพลาของรถบรรทุก

จากนั้นทำการสังเกตค่าความคลาดเคลื่อนของเพลาหน้า เพลาหลัง และน้ำหนักรวม ทั้งกรณีที่คิดค่าความคลาดเคลื่อนเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 6.40 ถึงรูปที่ 6.42 และกรณีที่คิดค่าความคลาดเคลื่อนแบบผลต่างพบว่า เมื่อรถบรรทุกที่ทำการทดสอบวิ่งข้ามสะพานด้วยความเร็วที่สูงก็จะทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีแนวโน้มสูงมากขึ้นเช่นกัน

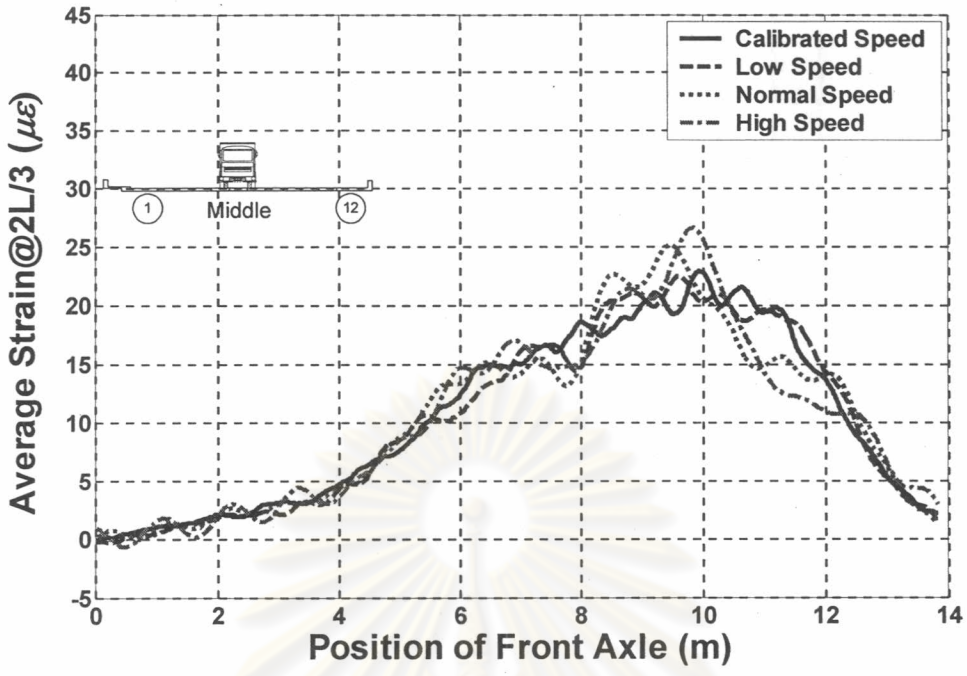
อย่างไรก็ดีการทดสอบในครั้งนี้ได้ทำการทดสอบโดยมีช่วงของความเร็วรถบรรทุกอยู่ในช่วงระหว่าง 20 - 45 กม./ชม.เท่านั้น เพราะติดขัดเรื่องความปลอดภัยระหว่างการทดสอบ



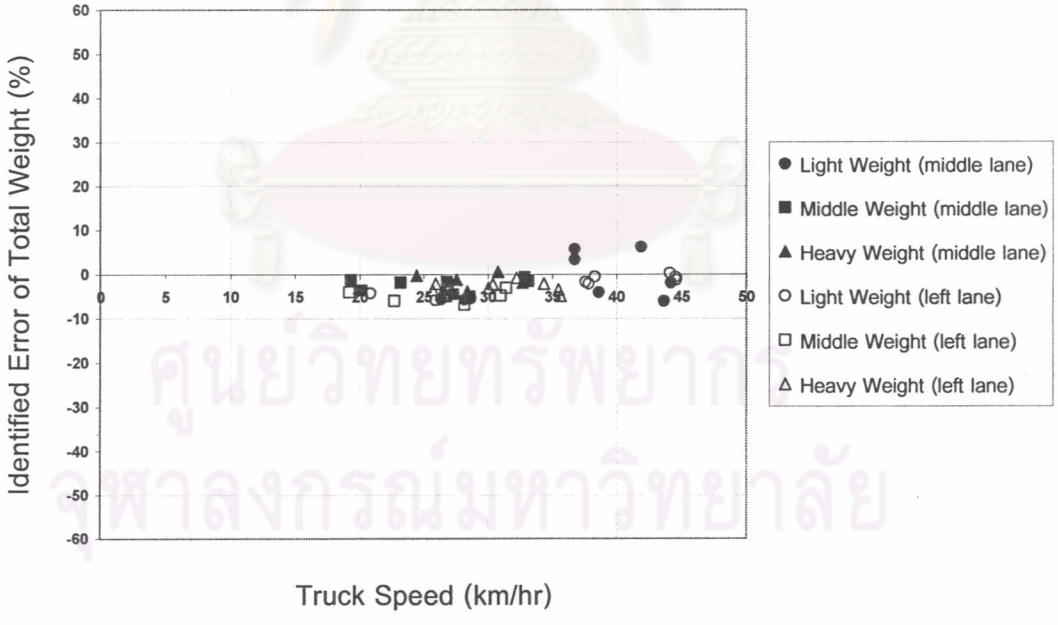
รูปที่ 6.37 เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ความเร็วรถต่างกันที่หน้าตัด L/3 กรณีวิ่งช่องจราจรกลาง



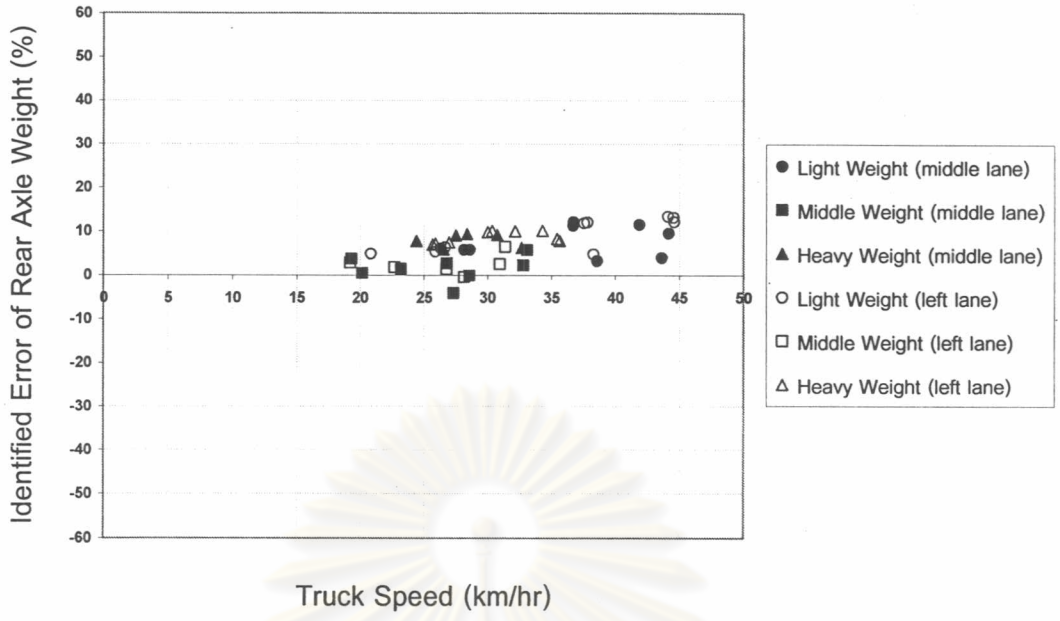
รูปที่ 6.38 เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ความเร็วรถต่างกันที่หน้าตัด L/2 กรณีวิ่งช่องจราจรกลาง



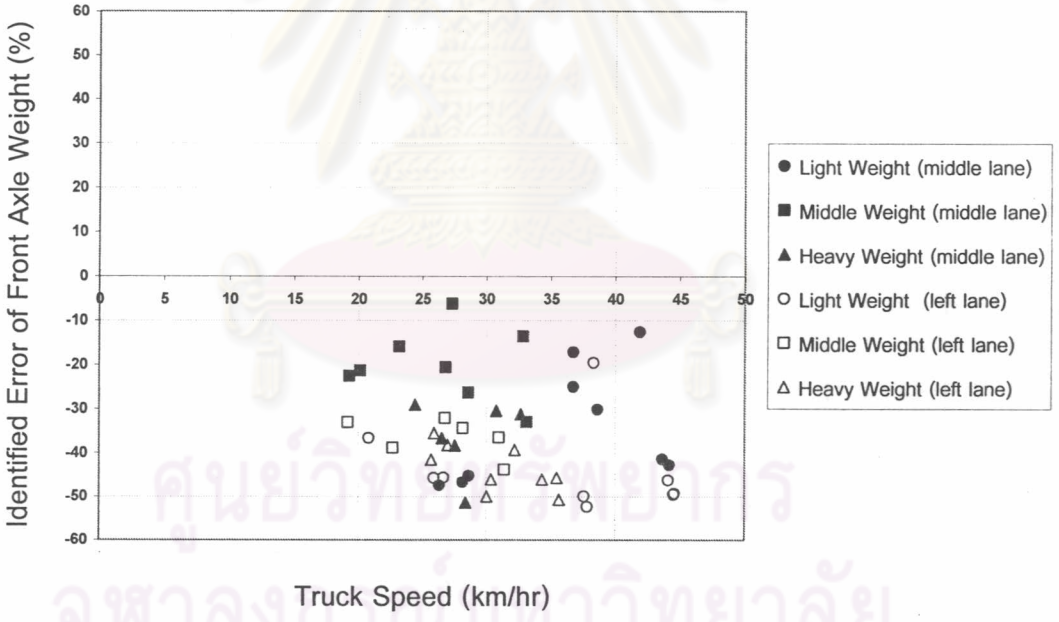
รูปที่ 6.39 เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ความเร็วรถต่างกันที่หน้าตัด 2L/3 กรณีวิ่งช่องจราจรกลาง



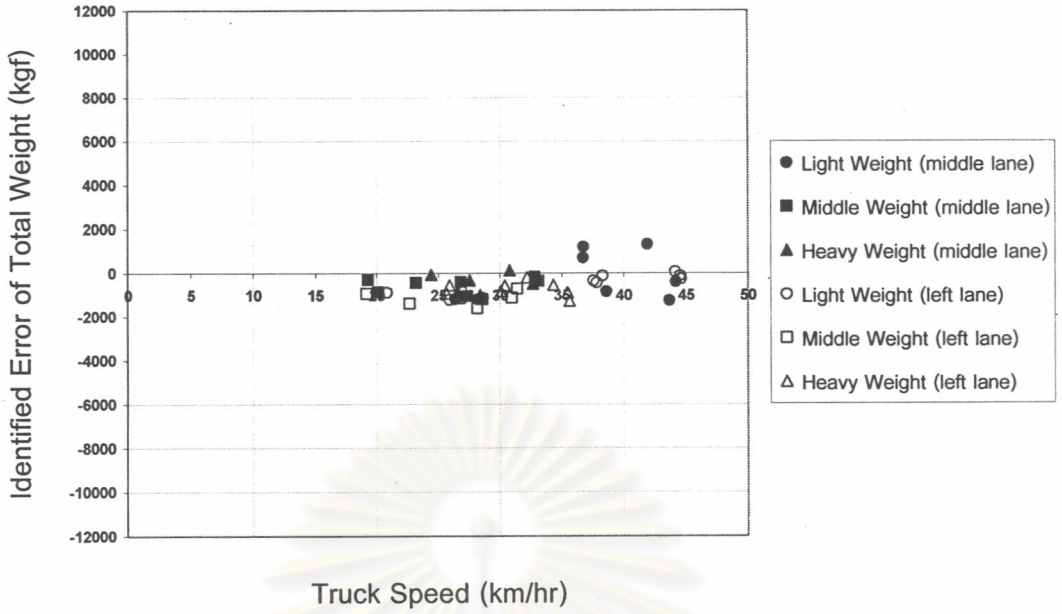
รูปที่ 6.40 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมที่ระดับความเร็วต่างๆ



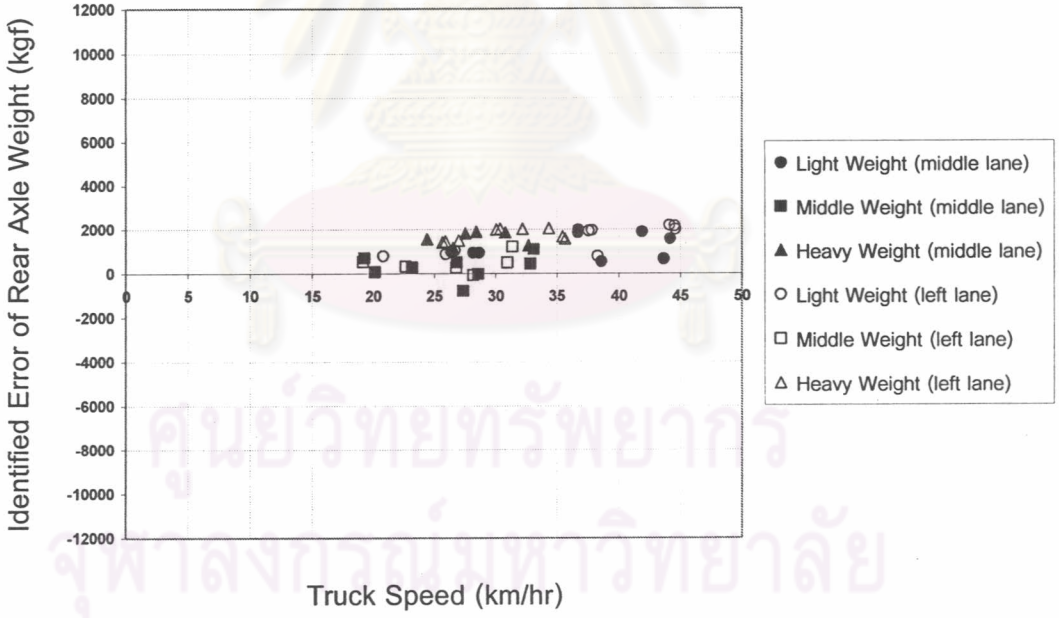
รูปที่ 6.41 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหลังที่ระดับความเร็วต่างๆ



รูปที่ 6.42 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหน้าที่ระดับความเร็วต่างๆ

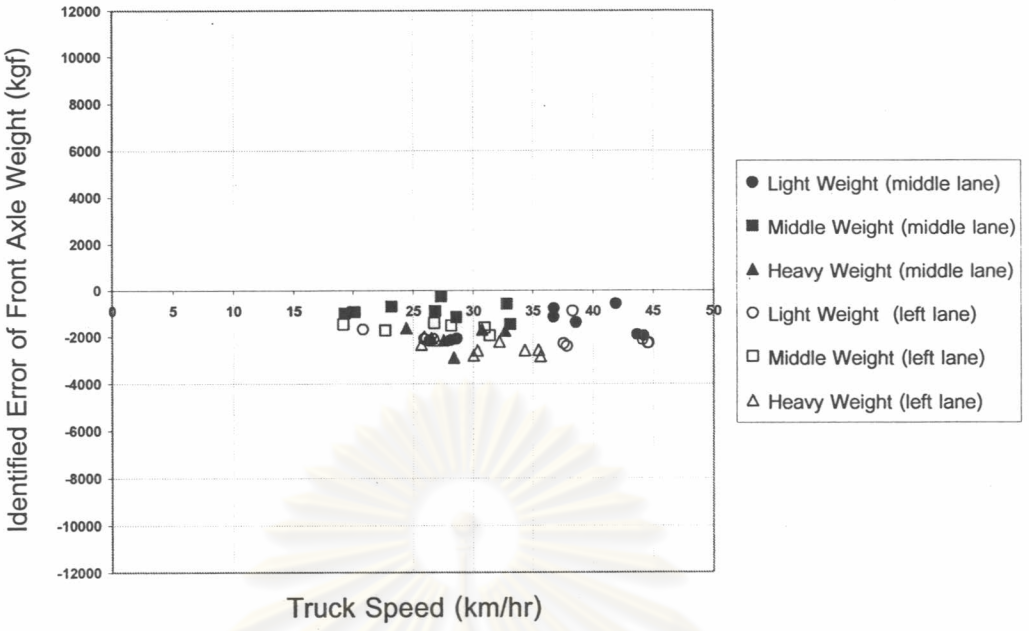


รูปที่ 6.43 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมที่ระดับความเร็วต่างๆ



รูปที่ 6.44 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหลังที่ระดับความเร็วต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

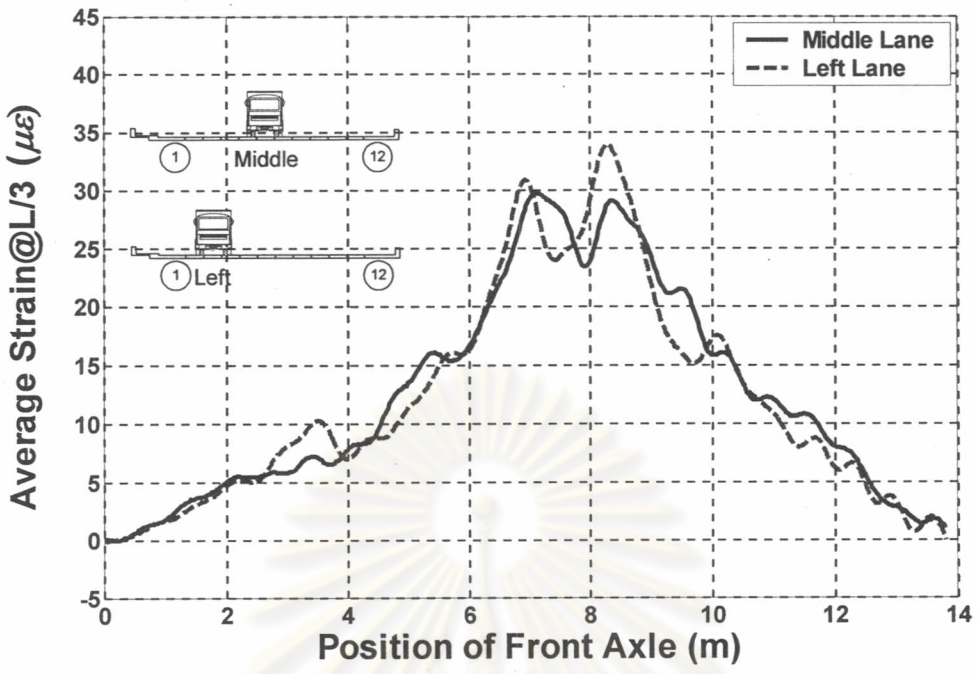


รูปที่ 16.45 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหน้าที่ระดับความเร็วต่างๆ

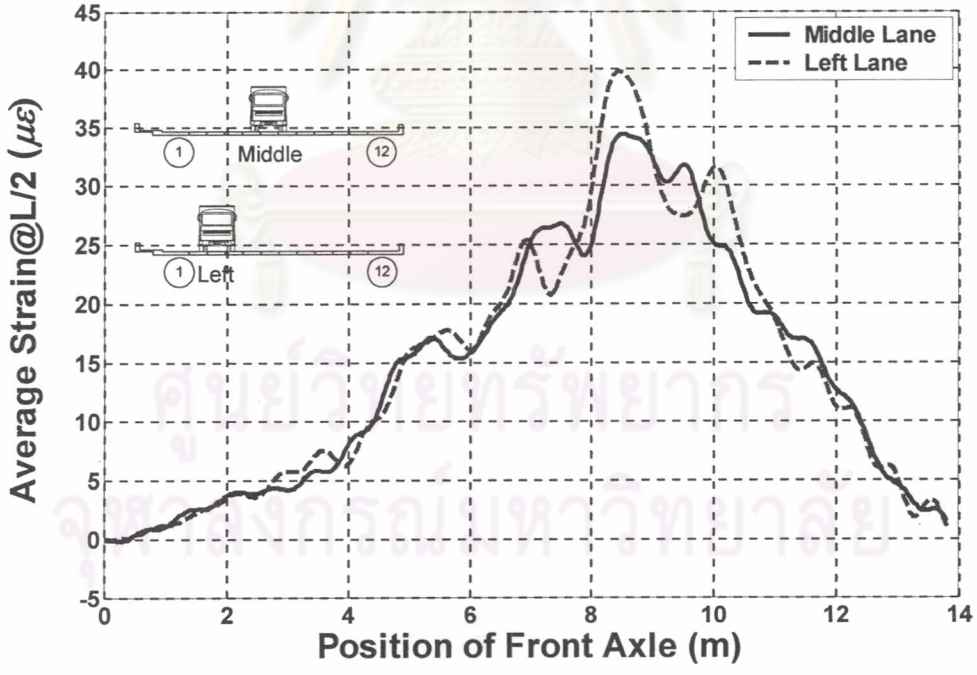
6.5 อิทธิพลของช่องจราจร

การทดสอบในครั้งนี้จะทำการศึกษาอิทธิพลของช่องจราจรโดยจะทำการปรับเทียบค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของทั้งสองกรณีแยกกัน คือ ค่าปรับเทียบค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งช่องจราจรกลางและค่าปรับเทียบค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งช่องจราจรซ้าย ดังได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 5.2 เพื่อขจัดผลของความไม่เท่าของค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของสองกรณีออกไป โดยอาศัยค่าปรับเทียบใน 2 กรณี ในการศึกษาครั้งนี้เมื่อนำค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของแต่ละกรณีมาทำการคูณด้วยค่าปรับเทียบของแต่ละกรณีแล้ว จะพบว่าค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของกรณีวิ่งช่องจราจรกลาง และกรณีวิ่งช่องการจราจรซ้าย จะมีค่าใกล้เคียงกันหลังจากการคูณค่าปรับเทียบของในละกรณีไปดังแสดงในรูปที่ 6.46 ถึงรูปที่ 6.48

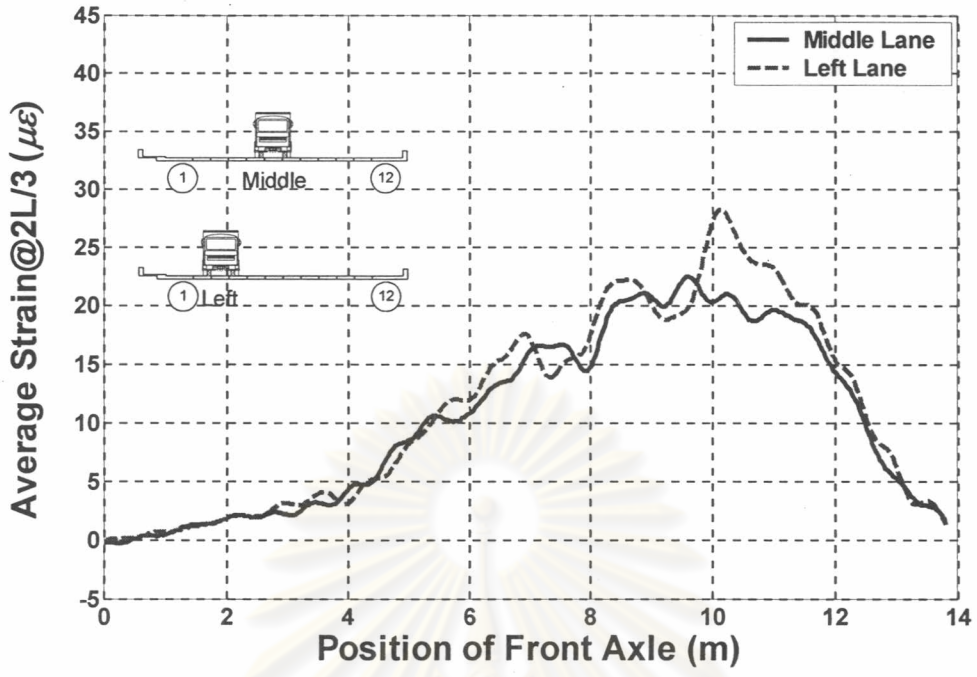
ซึ่งเมื่อพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนของทุกกรณีคือ น้ำหนักเพลาหน้า น้ำหนักเพลาหลัง และน้ำหนักรวม จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักที่หาได้จากการคำนวณจะมีลักษณะกระจายตัวที่ไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจนทั้งลักษณะการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อนหรือค่าน้ำหนักที่คลาดเคลื่อนไปเนื่องจากการหาน้ำหนักจากการคำนวณ โดยจากผลของค่าความคลาดเคลื่อนของทุกกรณีคือ น้ำหนักเพลาหน้า น้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวม จึงสามารถสรุปได้ว่า ผลของการเคลื่อนที่ต่างช่องจราจรของรถบรรทุกที่ทำการทดสอบไม่มีผลกับความถูกต้องของค่าน้ำหนักที่หาได้จากการคำนวณอย่างมีนัยสำคัญนั้นเอง โดยผลของค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.49 ถึงรูปที่ 6.54



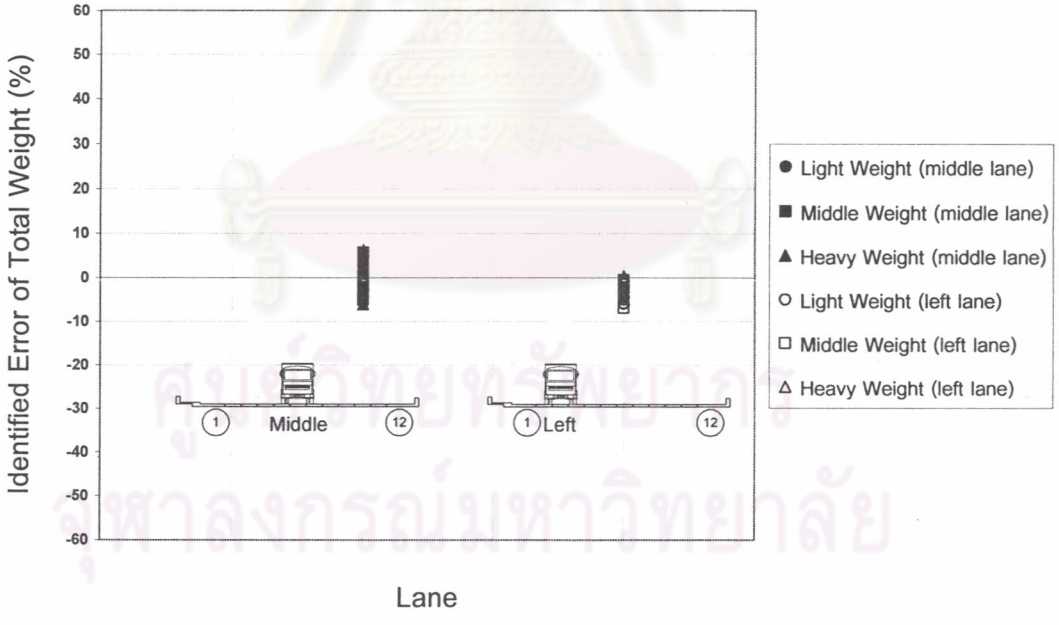
รูปที่ 6.46 เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ช่องจราจรต่างกันที่หน้าตัด L/3



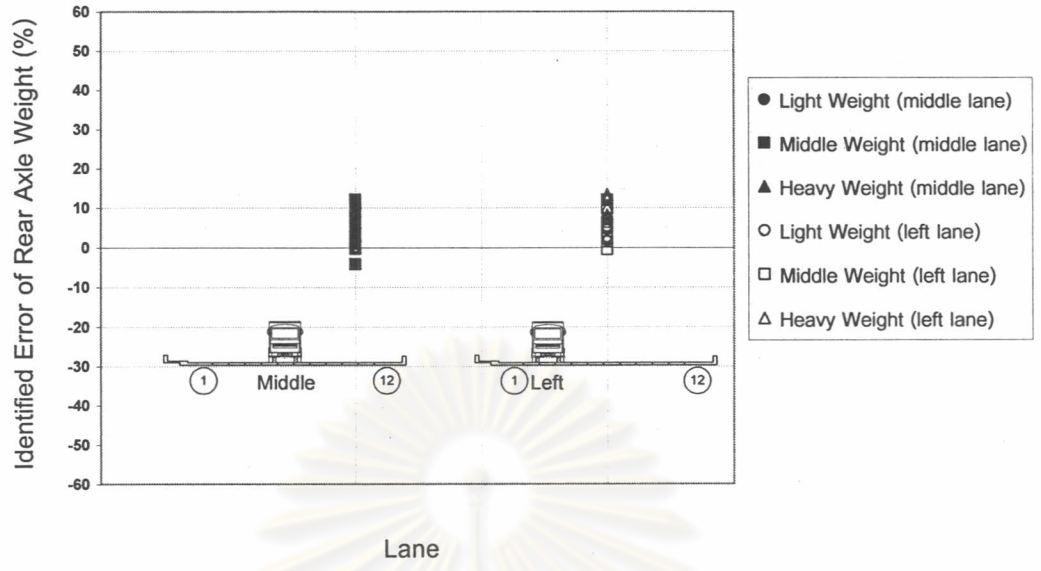
รูปที่ 6.47 เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ช่องจราจรต่างกันที่หน้าตัด L/2



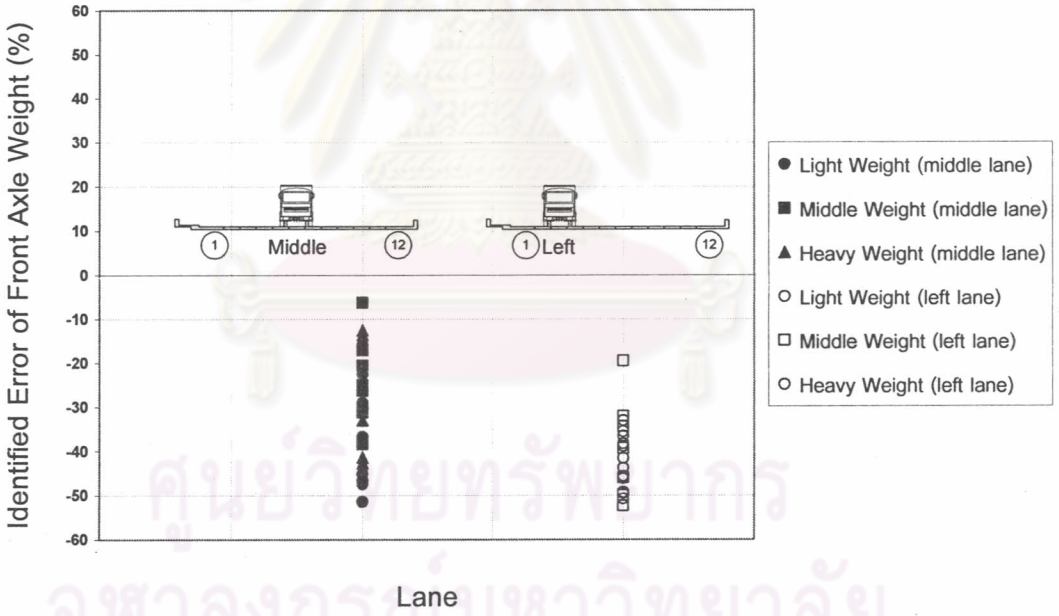
รูปที่ 6.48 เปรียบเทียบค่าความเครียดที่ช่องจราจรต่างกันที่หน้าตัด 2L/3



รูปที่ 6.49 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมที่ช่องจราจรต่างกัน

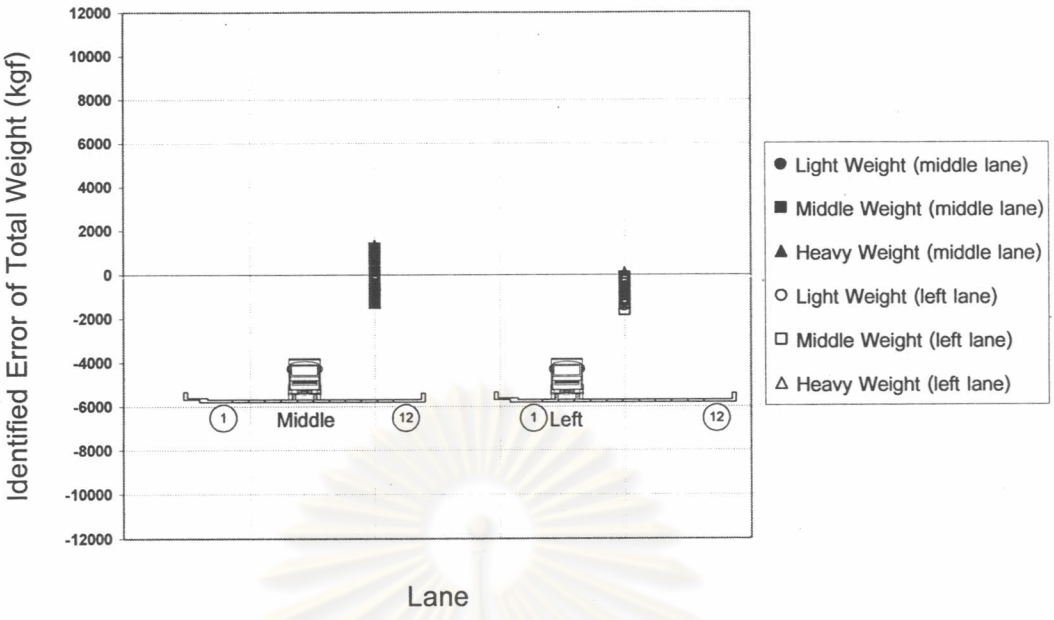


รูปที่ 6.50 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหลังที่ช่องจราจรต่างกัน

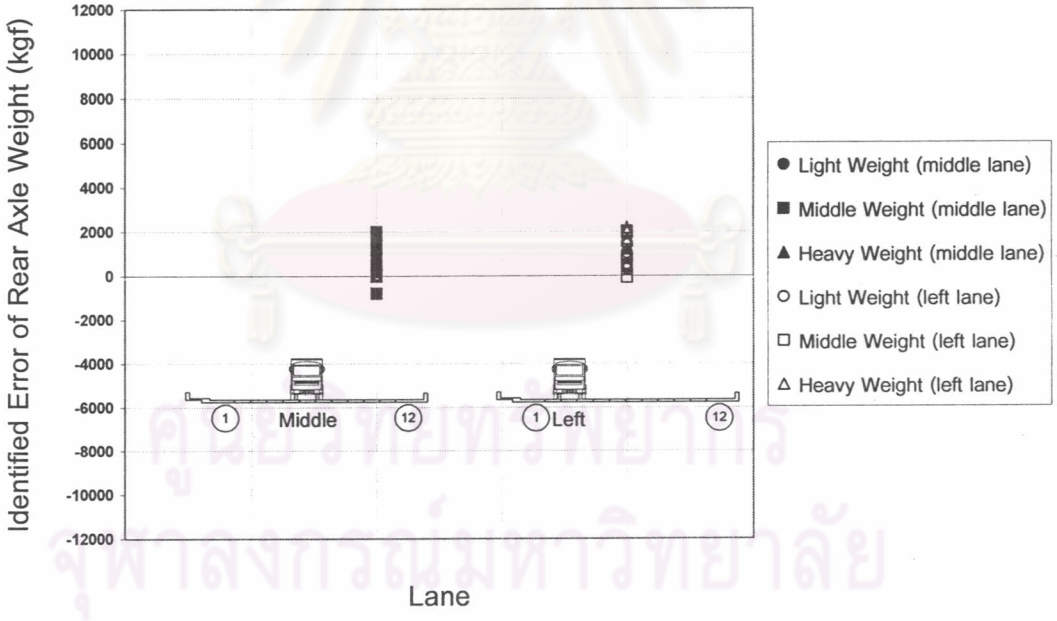


รูปที่ 6.51 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหน้าที่ช่องจราจรต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

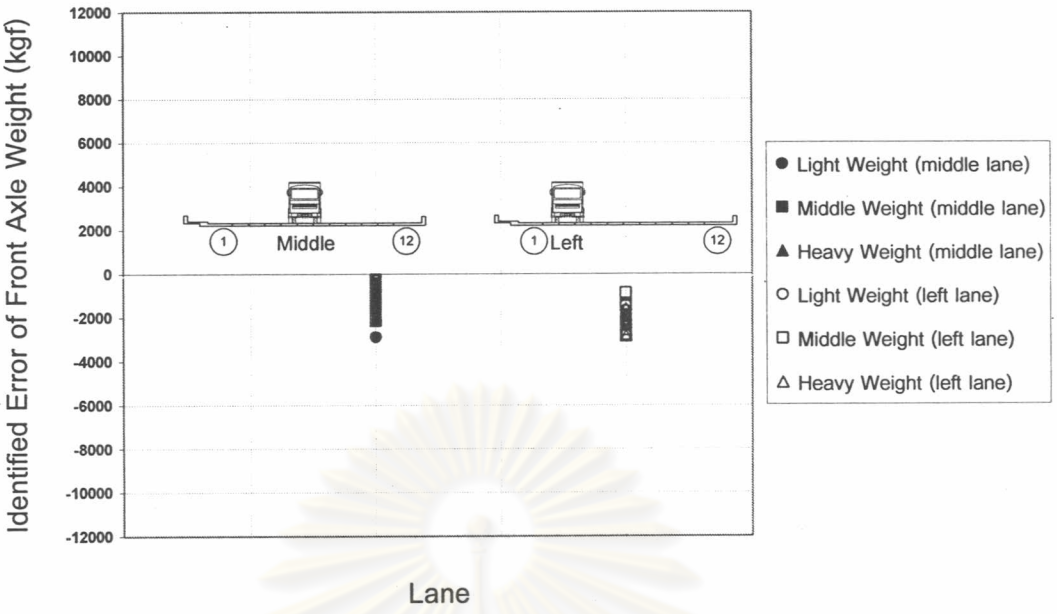


รูปที่ 6.52 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมที่ช่องจราจรต่างกัน



รูปที่ 6.53 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหลังที่ช่องจราจรต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



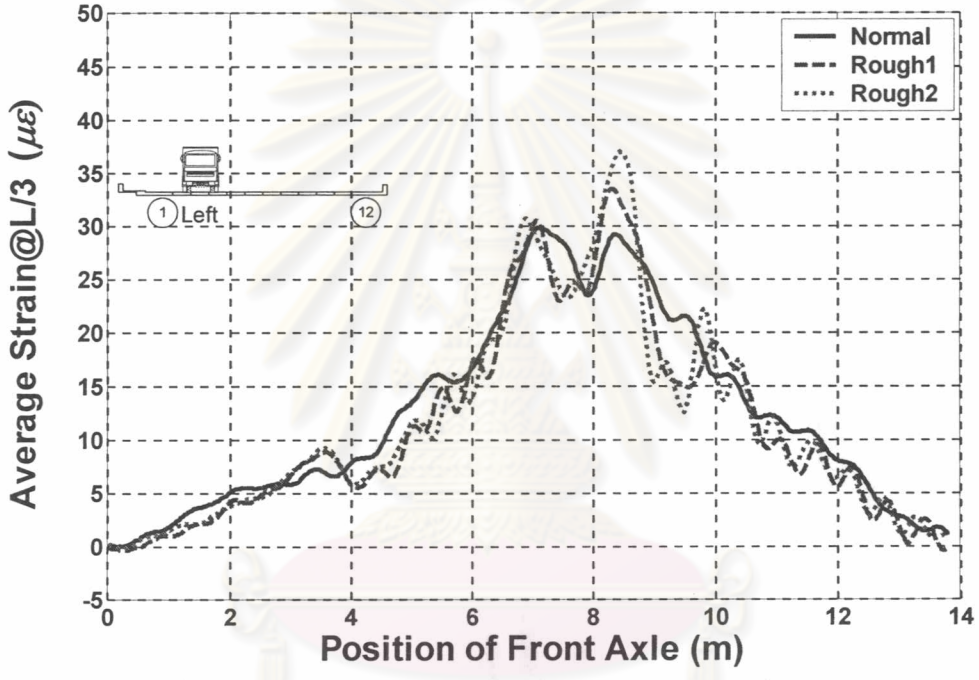
รูปที่ 6.54 เปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหน้าที่ช่องจราจรต่างกัน

6.6 อิทธิพลของความขรุขระของพื้นผิวทาง

จากงานวิจัยที่ผ่านในอดีตพบว่า ผลของความขรุขระของสะพานที่ทำการทดสอบจะมีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของการหาน้ำหนักค่อนข้างมาก คือผลของความขรุขระของสะพานจะทำให้ค่าความคลาดของน้ำหนักรถที่คำนวณได้มีค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่มีความขรุขระ ดังนั้นในการทดสอบภาคสนามในครั้งนี้จึงทำการศึกษาผลของความขรุขระของสะพานโดยได้จำลองความขรุขระของสะพานด้วยการใช้ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 3.5 เซนติเมตร วางขวางระหว่างช่องทางขณะที่รถบรรทุกเคลื่อนที่ผ่านช่วงสะพานระหว่างการทดสอบ โดยจะทำการทดสอบ 2 กรณี คือวางท่อเหล็กขวางรถบรรทุกก่อนเข้าสะพาน และวางท่อเหล็กขวางรถบรรทุกที่ช่วงกลางของสะพาน

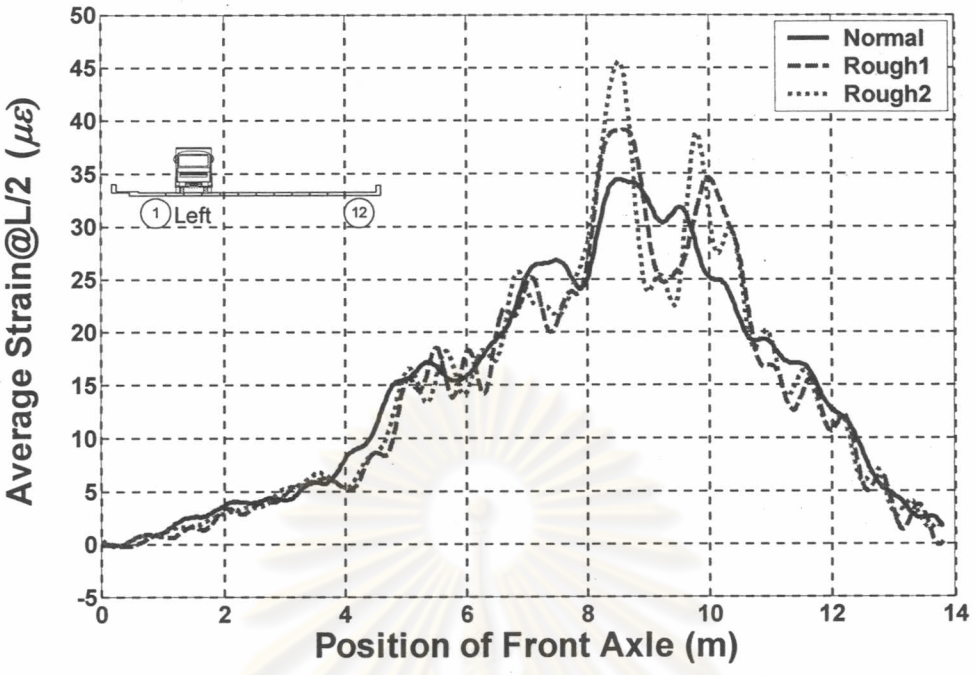
จากนั้นทำการเปรียบเทียบลักษณะสัญญาณของค่าความเครียดแบบถ่วงน้ำหนักของกรณีจำลองความขรุขระด้วยการวางเหล็กขวางรถบรรทุกกับกรณีที่ไม่มีเหล็กขวางในช่องทาง จะพบว่าค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของกรณีจำลองความขรุขระด้วยการวางเหล็กขวางรถบรรทุกจะมีความแปรปรวนของสัญญาณเป็นอย่างมาก กล่าวคือ มีผลของแรงกระแทกระหว่างล้อรถบรรทุกที่กระทำผิวทางของสะพานอย่างมากเมื่อรถบรรทุกเหยียบที่ท่อเหล็กและจากนั้นล้อของรถบรรทุกจะกระแทกกับสะพาน ส่งผลให้มีลักษณะของแรงพลศาสตร์เกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนในตัวสัญญาณความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักของกรณีจำลองความขรุขระด้วยการวางเหล็กขวางรถบรรทุก ดังแสดงในรูปที่ 6.55 ถึงรูปที่ 6.57

จากผลของค่าความคลาดเคลื่อนของการทดสอบทั้งสองกรณี ที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.58 จะเห็นว่า ผลของความขรุขระของสะพานมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการหาน้ำหนักรถบรรทุกบนสะพาน กล่าวคือการที่รถบรรทุกเคลื่อนที่ผ่านสะพานที่มีความขรุขระของผิวทางจะส่งผลให้เกิดแรงทางพลศาสตร์ที่ล้อรถกระทำกับสะพานมากขึ้นกว่ารถบรรทุกเคลื่อนที่ผ่านสะพานปกติ ซึ่งค่าแรงทางพลศาสตร์ที่ล้อรถบรรทุกกระทำกับผิวทางของสะพานสูงมากขึ้นจะเป็นปัจจัยทำให้ค่าความเครียดเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนักในกรณีดังกล่าวนี้จะไม่สอดคล้องกับค่าความเครียดที่ใช้ปรับเทียบการหาน้ำหนักส่งผลทำให้ลักษณะแรงในเพลาของรถบรรทุกที่หาได้จะมีความแปรปรวนสูงคือ มีแรงพลศาสตร์มากนั้นเอง ทำให้น้ำหนักรถบรรทุกที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นด้วย เพราะหาน้ำหนักรถบรรทุกจะใช้การเฉลี่ยแรงในเพลาของรถบรรทุก

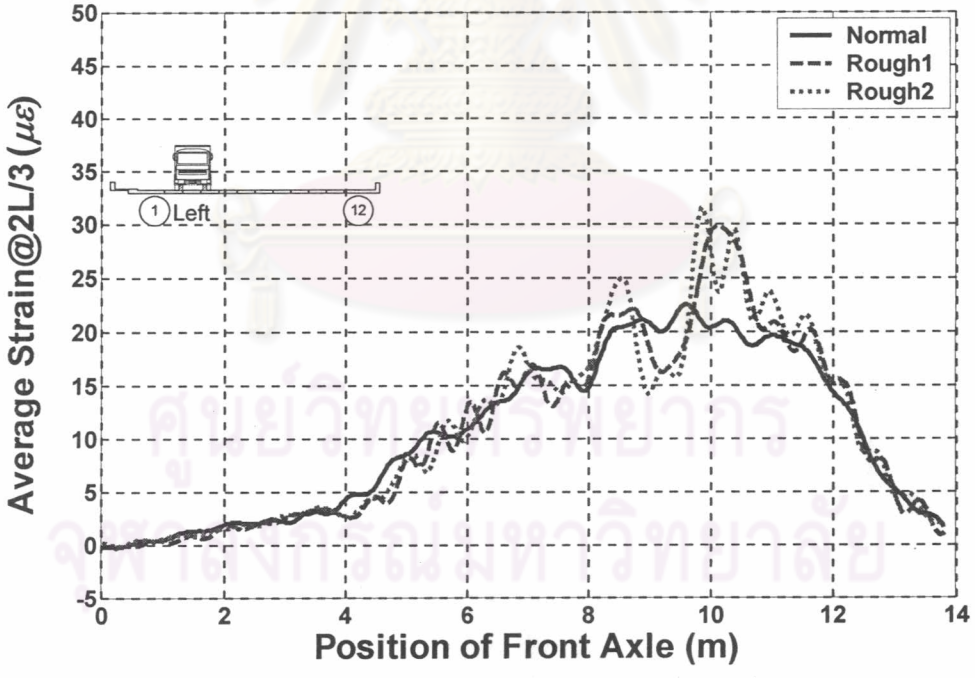


รูปที่ 6.55 เปรียบเทียบค่าความเครียดที่มีผลของความขรุขระที่หน้าตัด L/3

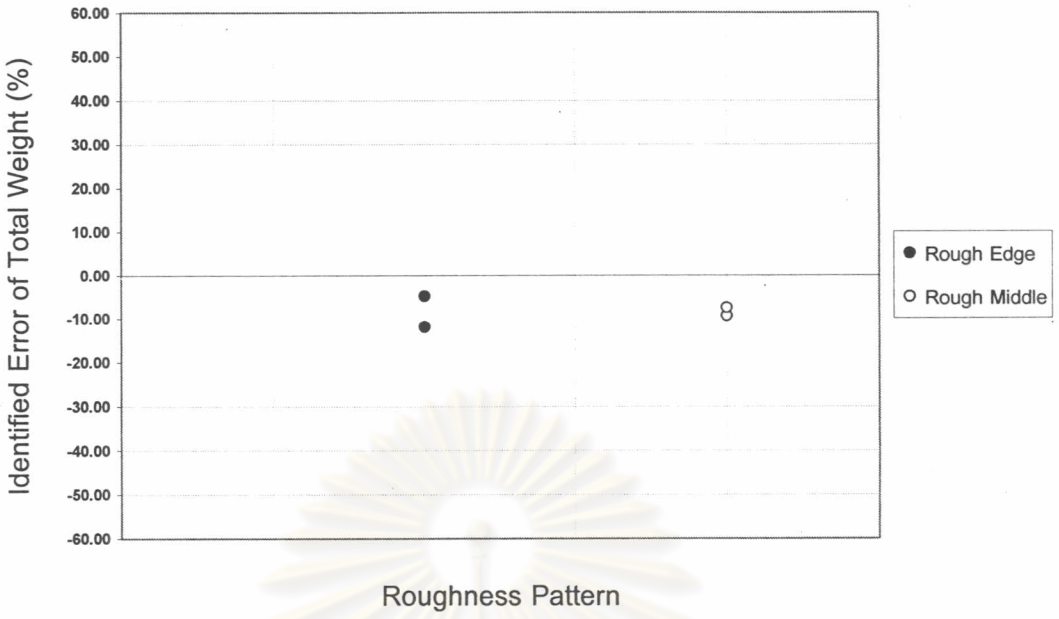
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.56 เปรียบเทียบค่าความเครียดที่มีผลของความขรุขระที่หน้าตัด L/2



รูปที่ 6.57 เปรียบเทียบค่าความเครียดที่มีผลของความขรุขระที่หน้าตัด 2L/3



รูปที่ 6.58 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมที่มีผลของความขรุขระแตกต่างกัน

6.7 ระดับความถูกต้องของการหาน้ำหนักของรถบรรทุก

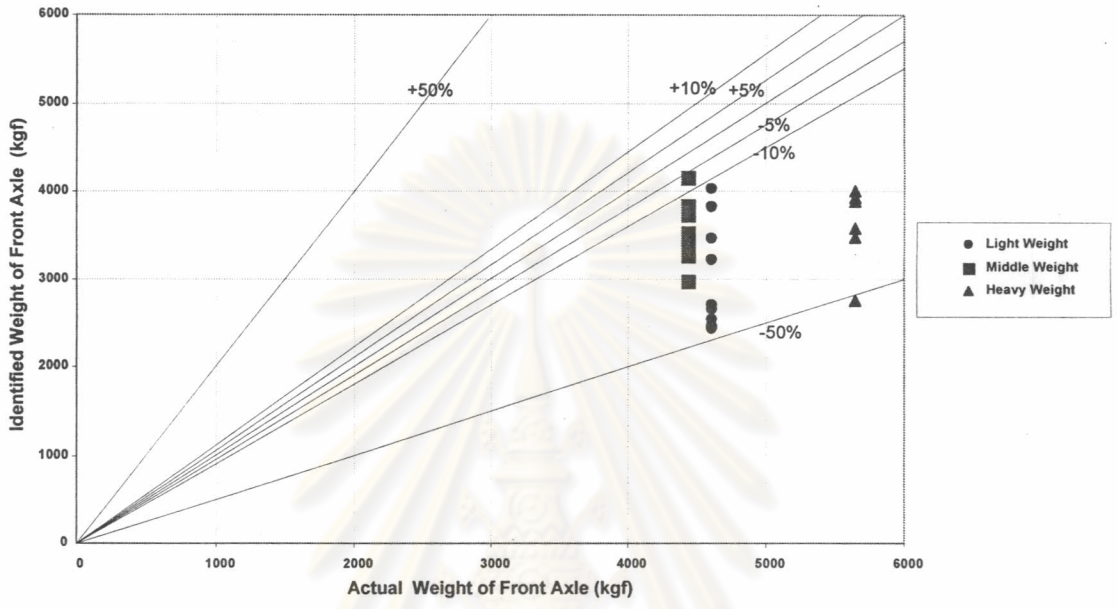
จากผลการทดสอบทั้งหมด เพื่อยืนยันว่าระบบการทายน้ำหนักรถบรรทุกที่ทำการศึกษานั้นมีความเชื่อถือได้ที่เพียงพอต่อการนำไปใช้งานจริง จึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลในเชิงสถิติ โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่

1. การหาน้ำหนักรถบรรทุกเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว กรณีวิ่งช่องจราจรกลาง
2. การหาน้ำหนักรถบรรทุกเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว กรณีวิ่งช่องจราจรซ้าย
3. การหาน้ำหนักรถบรรทุกเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว กรณีวิ่งช่องจราจรซ้ายและคิดผลของความขรุขระของรถบรรทุกระหว่างเคลื่อนที่บนสะพาน

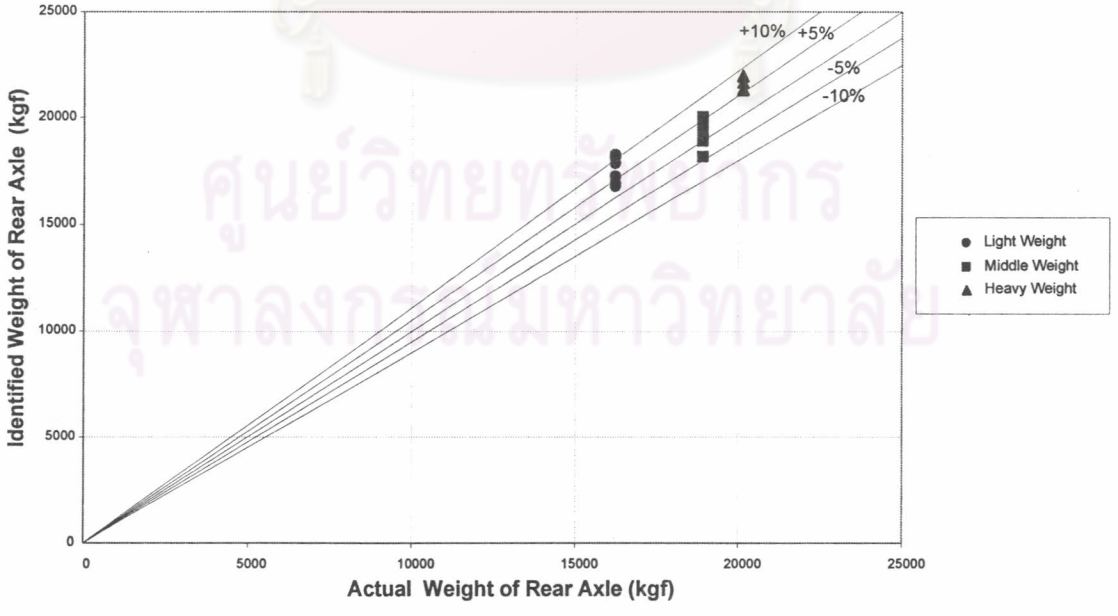
ซึ่งได้ทำการศึกษาผลของน้ำหนักของรถบรรทุก ความเร็วของรถบรรทุกในขณะวิ่งข้ามสะพาน ตำแหน่งตามแนวขวางในช่องการจราจรและผลของความขรุขระที่เกิดขึ้นระหว่างการวิ่งข้ามสะพานไปแล้ว ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของทั้งค่าน้ำหนักเพลา และน้ำหนักรวมที่ทำการหาได้

6.7.1 <u>รถบรรทุกเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว กรณีวิ่งช่องจราจรกลาง</u>

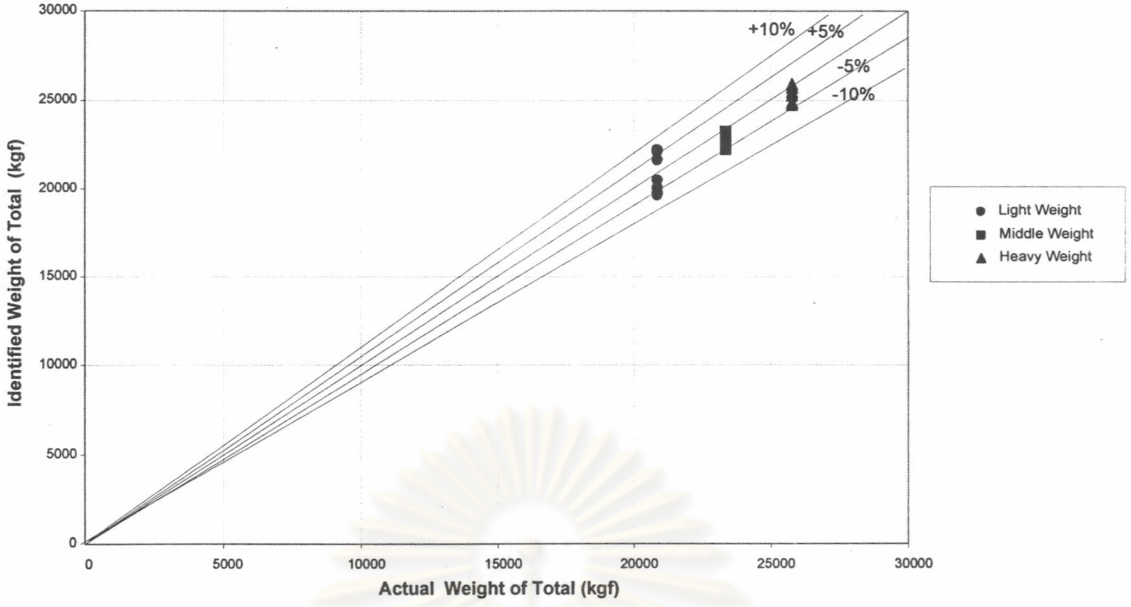
รูปที่ 6.59 ถึง 6.61 แสดงค่าน้ำหนักที่หาได้และค่าน้ำหนักที่วัดได้จริง เมื่อรถบรรทุกเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวกรณีวิ่งช่องจราจรกลางกับช่วงความคลาดเคลื่อนในระดับต่างๆ ทั้งน้ำหนักเพลาหน้า น้ำหนักเพลาหลัง และน้ำหนักรวมตามลำดับ



รูปที่ 6.59 ค่าน้ำหนักเพลาหน้าที่หาได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลาหน้าที่วัดได้จริง กรณีเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว วิ่งช่องจราจรกลาง



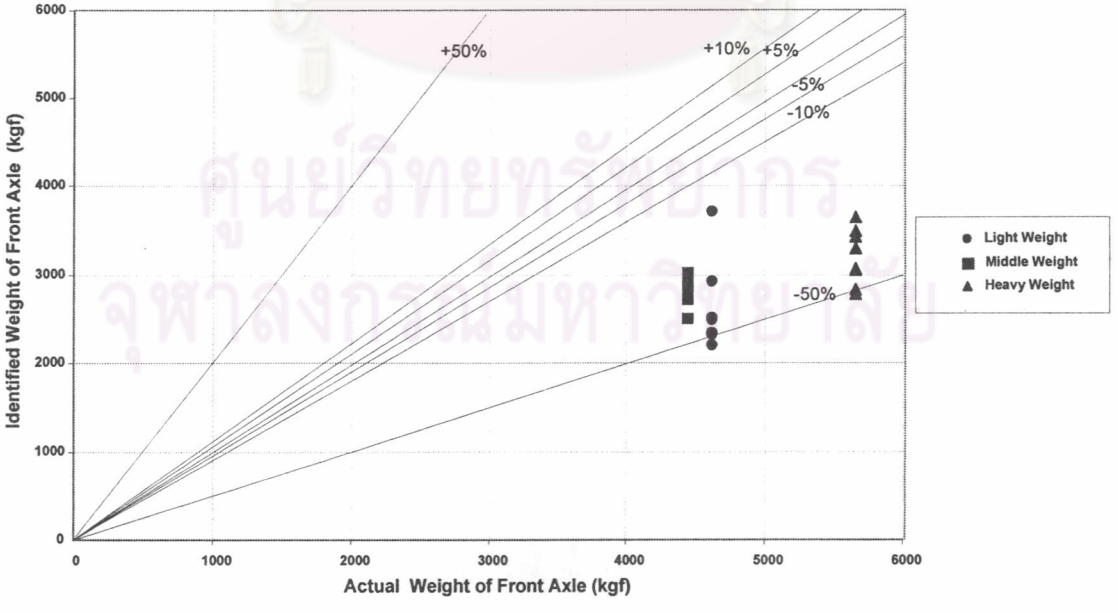
รูปที่ 6.60 ค่าน้ำหนักเพลาหลังที่หาได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลาหลังที่วัดได้จริง กรณีเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว วิ่งช่องจราจรกลาง



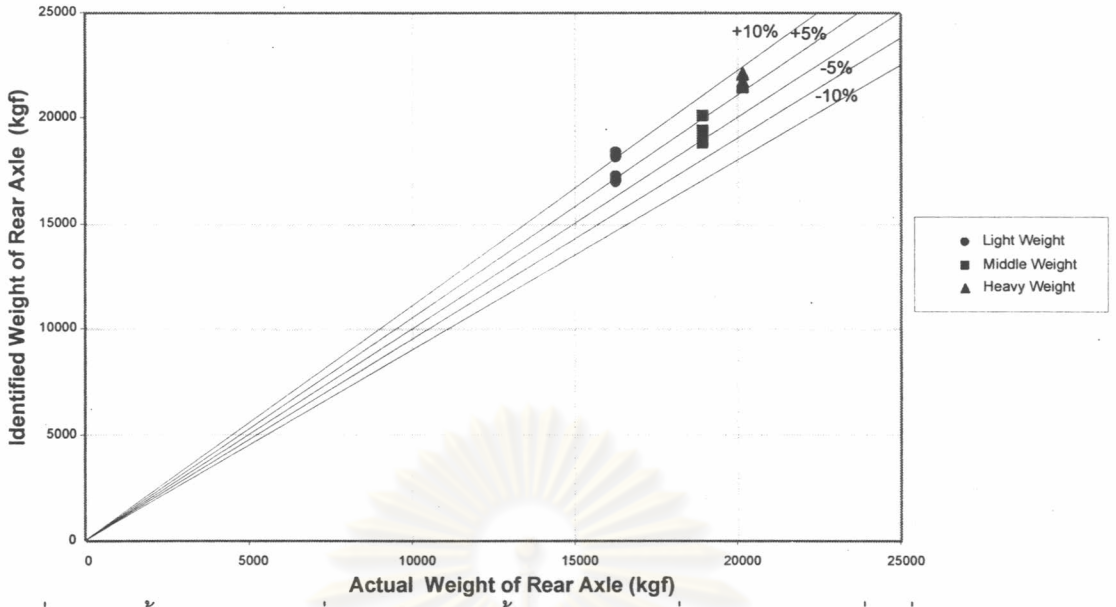
รูปที่ 6.61 ค่าน้ำหนักรวมที่หาได้เทียบกับค่าน้ำหนักรวมที่วัดได้จริง กรณีเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว วิ่งช่องจราจรกลาง

6.7.2 <u>รถบรรทุกเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว กรณีวิ่งช่องจราจรซ้าย</u>

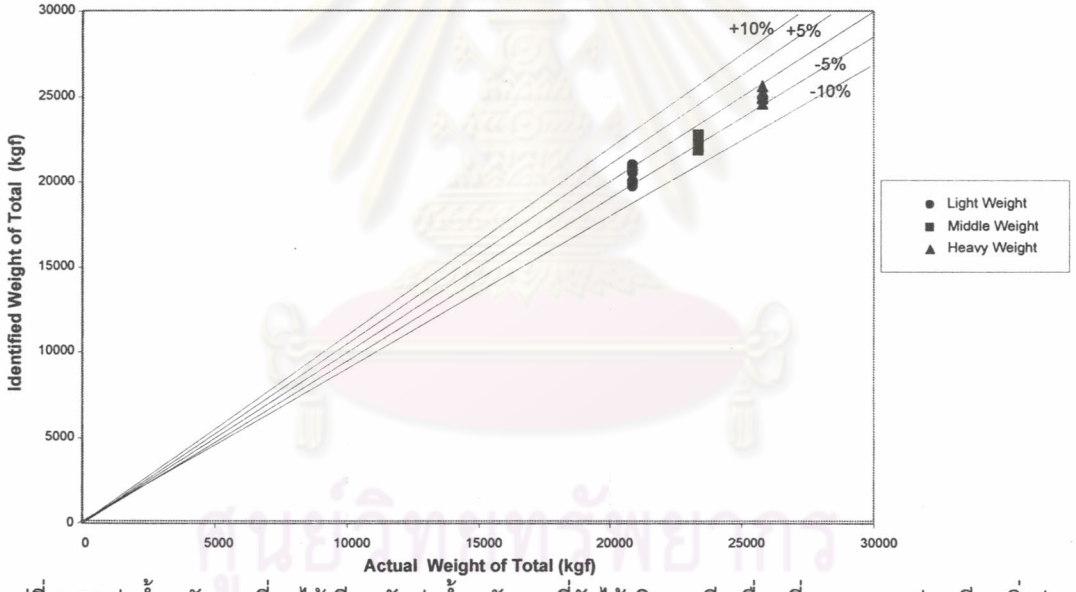
รูปที่ 6.62 ถึง 6.64 แสดงค่าน้ำหนักที่หาได้และค่าน้ำหนักที่วัดได้จริง เมื่อรถบรรทุกเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวกรณีวิ่งช่องจราจรซ้ายกับช่วงความคลาดเคลื่อนต่างๆ ทั้งน้ำหนักเพลาหน้า เพลาหลัง และน้ำหนักรวมตามลำดับ



รูปที่ 6.62 ค่าน้ำหนักเพลาหน้าที่หาได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลาหน้าที่วัดได้จริง กรณีเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว วิ่งช่องจราจรซ้าย



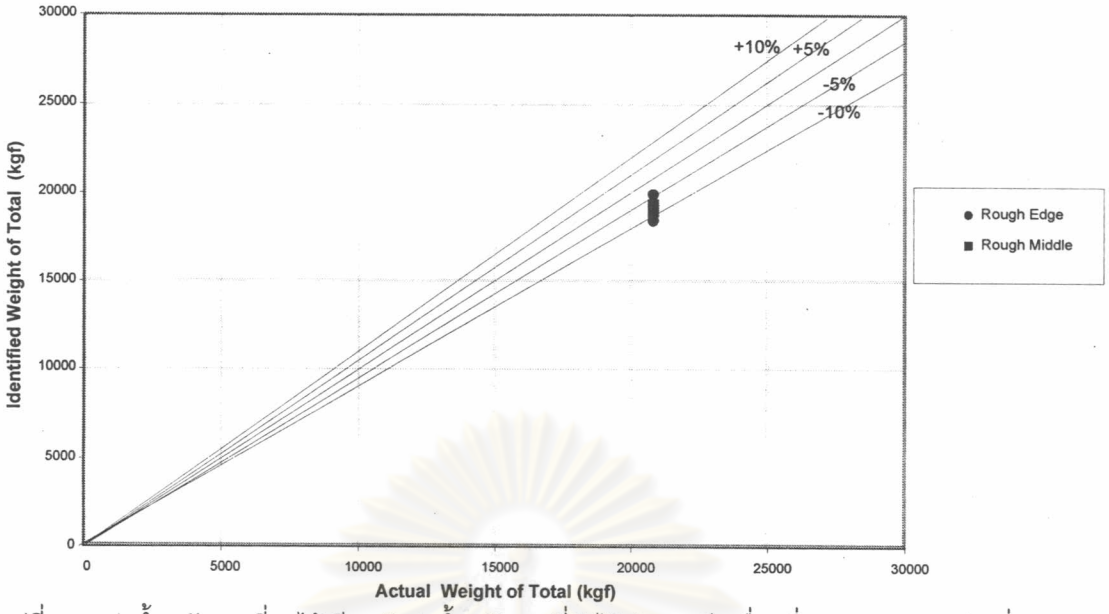
รูปที่ 6.63 ค่าน้ำหนักเพลาหลังที่หาได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลาหลังที่วัดได้จริง กรณีเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว วิ่งช่องจราจรซ้าย



รูปที่ 6.64 ค่าน้ำหนักรวมที่หาได้เทียบกับค่าน้ำหนักรวมที่วัดได้จริง กรณีเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว วิ่งช่องจราจรซ้าย

6.7.3 <u>รถบรรทุกเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว กรณีวิ่งช่องจราจรซ้ายและคิดผลของความขรุขระของพื้นผิวทาง</u>

รูปที่ 6.65 แสดงค่าน้ำหนักที่หาได้และค่าน้ำหนักที่วัดได้จริง เมื่อรถบรรทุกเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวกรณีวิ่งช่องจราจรซ้ายและคิดผลของแรงกระแทกกับช่วงความคลาดเคลื่อนต่างๆ ของน้ำหนักรวม



รูปที่ 6.65 ค่าน้ำหนักรวมที่หาได้เทียบกับค่าน้ำหนักรวมที่วัดได้จริง กรณีเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียววิ่งช่องจราจรซ้ายคิดผลของแรงกระแทก

จากผลการหาน้ำหนักของรถบรรทุกที่เคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวทั้งหมด พบว่าในส่วนของน้ำหนักเพลาหน้าจะมีค่าความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนของน้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวม โดยสาเหตุน่าจะมาจากการถ่ายแรงระหว่างเพลาของรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่อยู่บนช่วงของสะพานที่ทำการทดสอบและเมื่อสังเกตจากลักษณะของแรงที่หาได้ก่อนการเฉลี่ยจะพบว่ามีความแปรปรวนค่อนข้างมาก นั้นคือลักษณะของแรงที่ทายได้จะมีผลของแรงทางพลศาสตร์รวมอยู่ด้วยในอัตราส่วนที่ค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักทางสถิตที่หาได้ ประกอบกับอัตราส่วนของช่วงความยาวของสะพานที่ทำการทดสอบกับระยะเพลาของรถบรรทุกมีค่าค่อนข้างน้อยจึงมีช่วงระยะเวลาที่รถบรรทุกอยู่บนสะพานค่อนข้างน้อยทำให้การเฉลี่ยแรงพลศาสตร์ของเพลารถหรือน้ำหนักรวมทำได้ไม่ถูกต้องนัก ทำให้กรองผลทางพลศาสตร์จากแรงที่ทายได้โดยการเฉลี่ยไม่ดีพอ

โดยค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหน้าโดยส่วนใหญ่จะมีค่าไม่เกิน ± 50% แต่จากการตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหลังและน้ำหนักรวมพบว่าผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ดีพอสมควร โดยผลการหาน้ำหนักโดยส่วนใหญ่มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 10% สำหรับน้ำหนักเพลาหลังและไม่เกิน ± 6% สำหรับน้ำหนักรวม จากจำนวนการทดสอบในกรณีนี้ทั้งหมด 47 การทดสอบ

เมื่อพิจารณาผลของความขรุขระของรถบรรทุกที่เกิดขึ้นระหว่างการวิ่งข้ามสะพานกรณีวิ่งช่องจราจรซ้ายทั้ง 2 กรณี พบว่าจากการทดสอบจำนวน 4 การทดสอบ โดยผลการทายน้ำหนักโดยส่วนใหญ่มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 10% สำหรับน้ำหนักรวม ซึ่งเกิดจากผลของแรงทางพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นขณะรถบรรทุกวิ่งผ่านช่วงที่ขรุขระบนสะพาน