

การปรับปรุงวิธีหาน้ำหนักบรรทุกจากผลตอบสนองของสะพาน



นางสาววิชุดา จินศรีคง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Improvement of Truck Weight Identification from Bridge Responses

Miss Witchuda Jeensrikong



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงวิธีหาน้ำหนักถบรทุกจากผลตอบสนองของ
สะพาน

โดย

นางสาววิชุดา จินศรีคง

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. อธิวัฒน์ เสนจันทร์ไชย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. อธิวัฒน์ เสนจันทร์ไชย)

วิชุดา จินศรีคง : การปรับปรุงวิธีหาน้ำหนักรถบรรทุกจากผลตอบสนองของสะพาน (Improvement of Truck Weight Identification from Bridge Responses) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว, 198 หน้า.

ปัจจุบันรัฐบาลสูญเสียงบประมาณจำนวนมากทุกปีโดยไม่จำเป็น เพื่อใช้ในการซ่อมบำรุงถนนและสะพานที่ชำรุดเสียหายจากรถบรรทุกที่บรรทุกน้ำหนักเกินพิกัดกฎหมายกำหนด เพราะมีการแข่งขันราคาค่าขนส่งกันรุนแรง และการควบคุมยังไม่มีประสิทธิภาพและทั่วถึงเพียงพอ การแก้ไขปัญหาด้วยการบังคับใช้กฎหมายที่เข้มงวด จำเป็นต้องเพิ่มเจ้าหน้าที่ และจำนวนด่านควบคุมน้ำหนัก ในบางประเทศจึงนำเอาเทคโนโลยีระบบชั่งน้ำหนักรถบรรทุกจากผลตอบสนองของสะพานมาใช้ เพราะมีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า และสามารถเคลื่อนย้ายไปติดตั้งที่สะพานแห่งใหม่ได้

งานวิจัยนี้พัฒนาปรับปรุงระบบการชั่งน้ำหนักรถบรรทุกชนิดติดตั้งได้สะพาน ซึ่งพบว่ามีปัญหาความไม่แม่นยำในการชั่งน้ำหนักเมื่อมีรถมากกว่า 1 คันเคลื่อนที่ผ่านสะพานพร้อมกัน โดยการปรับปรุงอัลกอริทึมการหาน้ำหนักด้วยวิธีเบต้า ซึ่งพิจารณาเฉพาะผลตอบสนองของสะพานในแนวตามยาว และงานวิจัยในอดีตพบว่าให้ค่าน้ำหนักที่แม่นยำ ให้รวมพิจารณาผลตอบสนองของสะพานที่กระจายในแนวตามขวาง ทำให้อัลกอริทึมที่ถูกปรับปรุงนี้สามารถทำนายน้ำหนักรถบรรทุกในกรณีที่เคลื่อนที่ข้ามสะพานคู่กันได้ เพื่อจะทดสอบประสิทธิภาพในการหาค่าน้ำหนักรถบรรทุกของอัลกอริทึมที่นำเสนอ จึงจำลองเหตุการณ์รถบรรทุกเคลื่อนที่ข้ามสะพานคู่กัน 2 คัน จากการรวมผลตอบสนองของสะพานจริงภายใต้การเคลื่อนที่ข้ามสะพานของรถบรรทุกทีละคัน ซึ่งเคยมีการทดสอบไว้กับสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กระบบคานรูปตัวไอ แบบ 2 ช่องจราจร มีความยาวช่วง 21.70 เมตร ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด (strain gauge) ที่ท้องคานบริเวณกึ่งกลางช่วง และอุปกรณ์ตรวจจับเพลลา (axle detector) บริเวณราวสะพาน เพื่อตรวจวัดระยะห่างระหว่างเพลลา จำนวนเพลลา และความเร็วของรถ

จากผลการศึกษาภายใต้เหตุการณ์จำลองรถบรรทุกเคลื่อนที่ข้ามสะพานคู่กัน 2 คัน โดยมีค่าน้ำหนักบรรทุกรวมและความเร็วรถที่แตกต่างกัน รวมทั้งสิ้น 1,152 กรณี พบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถให้ค่าน้ำหนักรถบรรทุกของรถทั้งสองคันได้ใกล้เคียงจริง โดยมีความคลาดเคลื่อนของค่าน้ำหนักของรถบรรทุกในช่องจราจรซ้ายเท่ากับ 39.75%, 0.02% และ 6.14% สำหรับค่ามากที่สุด ค่าน้อยสุด และค่าเฉลี่ยตามลำดับ และมีความคลาดเคลื่อนของค่าน้ำหนักของรถบรรทุกในช่องจราจรขวาเท่ากับ 36.08%, 0.03% และ 8.12% สำหรับค่ามากที่สุด ค่าน้อยสุด และค่าเฉลี่ยตามลำดับ ซึ่งหากประเมินประสิทธิภาพความถูกต้องเทียบกับค่ามาตรฐาน COST323 พบว่าน้ำหนักบรรทุกที่ประมาณได้อยู่ในเกณฑ์ระดับความถูกต้อง D(20) ที่กำหนดเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักบรรทุกรวมไว้ไม่เกินร้อยละ 20 ที่ 95 เปอร์เซนต์ไทล์ (percentile) นอกจากนี้ยังพบว่าอัลกอริทึมที่เสนอสามารถคำนวณได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2559

5870308021 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: BRIDGE WEIGH-IN-MOTION, BETA METHOD, TRANSVERSE DISTRIBUTION OF WHEEL LOADS, MULTIPLE PRESENCE.

WITCHUDA JEENSRIKONG: Improvement of Truck Weight Identification from Bridge Responses.
ADVISOR: ASSOC. PROF. TOSPOL PINKAEW, Ph.D., 198 pp.

Thai government has spent budget for maintenance and rehabilitation road networks several billion baht every year due to overloaded trucks because of the competitive price among transportation providers and the existing truck weight stations are not coverage. To effectively enforce the weight control, additional truck weight stations are required. In some countries, the technology of weigh-in-motion system using bridge response has been adopted because the cost is lower and can be reinstalled to the new bridge.

This research improves the bridge weigh-in-motion system (B-WIM) to deal with the identification problem when more than one vehicles on the bridge at the same time. The identification method, namely the Beta method which considers only longitudinal bridge responses and is reported to be quite effective for weight identification of single truck passage, is improved to identify the weights of multiple trucks by taking into account the transverse bridge responses. The method is enhanced to capture the effects of two vehicles driving side-by-side and can be used to identify the weight of each truck. The study simulates the multiple presence of trucks from existing field test on an actual RC bridge having 2 traffic lanes in one direction and span length of 21.70 m under single truck passages. The tested bridge is composed of 5 girders with RC deck slab. The weigh-in-motion system utilizes 5 strain sensors installed on each girder at the bridge mid-span. The strain data is synchronized with the truck classification system using two laser sensors installed along the bridge barrier. About 88 cases of bridge strain histories under single-truck passages having different speeds and traffic lanes (left or right lane) were recorded. These strain signals are used to artificially construct the bridge responses under multiple presences of two trucks traveling on the bridge side-by-side. Using linear superposition of two records from single truck passages on left and right lanes, a total of 1,152 multiple presence event cases can be generated. Based on the obtained results, the percentage errors of the predicted GWs on left lane are 39.75%, 0.02% and 6.14%, for maximum, minimum and average, respectively. While the similar errors on the right lane are 36.08%, 0.03% and 8.12%, for maximum, minimum and average, respectively. In addition, it is found that the proposed algorithm can quickly estimate the truck weights and its overall accuracy achieves D(20) class according to COST323 which requires the errors of GWs is not greater than 20% at 95 percentile.

Department: Civil Engineering

Student's Signature

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2016

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนอย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร.ทศพล ปิ่นแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ มอบความรู้และความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์นี้อย่างดียิ่งมาโดยตลอด นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ธีรพงศ์ เสนจินทร์มไชย ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.ธีระชัย ดีสมสุข ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นกรรมการคุมสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งทุกท่านได้ให้ความกรุณาตรวจสอบ ให้คำปรึกษา และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จลุล่วงสมบูรณ์

ขอขอบคุณคณะทำงานของหน่วยงานบัณฑิตวิทยาลัยและภาควิชากรรมโยธาทุกท่าน รวมทั้งคุณวรรณ ช้างเกิด อธิการภาคส่วนประสานงานบัณฑิตศึกษา ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือประสานงานด้านระเบียบและเอกสารต่างๆ เป็นอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณนิสิต รุ่นพี่ สาขาวิชาวิศวกรรมโครงสร้างทุกท่านที่ร่วมศึกษาเล่าเรียนด้วยกันมา โดยเฉพาะนิสิตที่อยู่ในความดูแลของ รศ.ดร.ทศพล ปิ่นแก้ว ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือ รวมทั้งขอขอบคุณที่สมพล มาวิโชติกุล ที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างดียิ่งตลอดงานวิจัยของข้าพเจ้า จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ลุล่วงตามเป้าหมายด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้กรุณาส่งเสริมให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาสทางการศึกษา และอบรมสั่งสอนตลอดจนเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าตลอดมา รวมทั้งขอขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้แก่ข้าพเจ้าตั้งแต่เริ่มต้นการศึกษาจนถึงปัจจุบัน ท้ายที่สุดนี้ด้วยความช่วยเหลือจากทุกท่านเหล่านี้ ข้าพเจ้าจะจดจำตลอดไป และหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะ เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษา จุดประกายความคิด และเป็นรากฐานงานวิจัยอื่นเพื่อเป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา	2
1.2.1 งานวิจัยที่ศึกษาระบบการหาน้ำหนักและแรงกระทำจากรถบรรทุก.....	2
1.2.2 งานวิจัยที่ศึกษาระบบตรวจจับเพลลาและระบุตำแหน่งรถบรรทุก	16
1.3 วัตถุประสงค์.....	18
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	18
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	19
1.6 การดำเนินงานวิจัย	19
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	21
2.1 การพิจารณาผลการตอบสนองของโครงสร้างสะพาน	21
2.1.1 ค่าผลการตอบสนองของโมเมนต์ดัดที่ได้จากการวัด.....	23
2.1.2 ค่าผลการตอบสนองของโมเมนต์ดัดที่ได้จากการคำนวณ	23
2.2 เส้นอิทธิพลของผลตอบสนองสะพาน.....	24
2.2.1 เส้นอิทธิพลจากทฤษฎีแบบสถิต (Theoretical static influence line).....	25
2.2.2 เส้นอิทธิพลจากการตรวจวัดโดยตรง (Influence line from direct measurements).....	26

2.2.2.1 การสร้างเส้นอิทธิพลจากการทดสอบ (Influence Ordinates) (Hua Zhao and Nasim Uddin,2010),(O'Brien, Quilligan and Karoumi,2014)	27
2.3 การพิจารณาหน้าหนักของรถบรรทุกด้วยเส้นอิทธิพล	33
2.3.1 การหาค่าผลตอบสนองของสะพานจากการวัดและจากทฤษฎี.....	33
2.3.2 การประมาณค่าน้ำหนักเพลาของรถบรรทุกโดยใช้วิธีผลต่างกำลังสองน้อยสุด (Least Squares) และ เมทริกซ์ผกผันเทียม (Pseudo inverse matrix).....	35
2.4 วิธีเบต้า (Beta method).....	35
2.5 ตัวคูณปรับแก้การกระจายน้ำหนักตามขวาง (Transverse Load Distribution Factor)	38
2.6 วิธีปรับปรุงวิธีเบต้า (Modified Beta Method).....	41
2.6.1 คำนิยามของปัญหากรณีร่ว้งคู่กันบนสะพาน (Multiple Presence Problem Events)41	
2.6.2 สมการกรณีร่ว้งคู่กันบนสะพาน (Multiple Presence Equations)	43
2.6.3 วิธีผลต่างกำลังสองน้อยสุด (Least Squares) และ เมทริกซ์ผกผันเทียม (Pseudo Inverse Matrix)	46
บทที่ 3 การทดสอบภาคสนาม	48
3.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานที่ใช้ในการทดสอบ	48
3.2 อุปกรณ์ทดสอบภาคสนาม	52
3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล.....	54
3.3 ขั้นตอนการทดสอบภาคสนาม	62
3.3.1 การทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลรถที่ใช้ในการสอบเทียบอัลกอริทึม	63
3.3.2 การทดสอบเก็บข้อมูลต่อเนื่องเพื่อนำไปวิเคราะห์.....	64
บทที่ 4 ผลการศึกษา	65
4.1 ค่าคงที่ และตัวอย่างการคำนวณ.....	65

4.2	ทดสอบผลการคำนวณน้ำหนักบรรทุกทุกรถบรรทุกสอบเทียบ.....	69
4.3	ทดสอบอัลกอริทึมด้วยข้อมูลรถบรรทุกสอบเทียบ.....	70
4.3.1	ผลกระทบเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก.....	70
4.3.2	ผลกระทบเนื่องจากความเร็วของรถบรรทุก.....	80
4.4	ทดสอบอัลกอริทึมด้วยข้อมูลรถบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพานทดสอบจริง	90
4.5	การพิจารณาหาน้ำหนักของรถบรรทุก ในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบเดี่ยว ...	99
4.5.1	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย	99
4.5.1.1	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 6 ล้อ.....	99
4.5.1.2	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 10 ล้อ.....	100
4.5.1.3	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ.....	101
4.5.1.4	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 20 ล้อ.....	101
4.5.1.5	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ.....	102
4.5.1.6	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 24 ล้อ.....	102
4.5.1.7	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 18 ล้อ	103
4.5.1.8	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 20 ล้อ	103
4.5.1.9	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ	104
4.5.1.10	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 24 ล้อ.....	105
4.5.2	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรขวา.....	105
4.5.2.1	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 6 ล้อ.....	105
4.5.2.2	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 10 ล้อ.....	106
4.5.2.3	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ.....	106
4.5.2.4	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 20 ล้อ.....	107
4.5.2.5	ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ.....	107

4.6 การพิจารณาหาตำแหน่งของรถบรรทุก ในกรณีที่มีรถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบคู่กัน (Multiple Presence Events)	108
4.6.1 ผลการพิจารณาหาตำแหน่งรถบรรทุกกรณีวิ่งคู่กันบนสะพาน	109
4.6.1.1 ผลการพิจารณาหาตำแหน่งรถบรรทุกกรณีวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อ รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ	109
4.6.1.2 ผลการพิจารณาหาตำแหน่งรถบรรทุกกรณีวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อ รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ	114
4.6.1.3 ผลการพิจารณาหาตำแหน่งรถบรรทุกกรณีวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อ รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ	121
4.6.1.4 ผลการพิจารณาหาตำแหน่งรถบรรทุกกรณีวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อ รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 20 ล้อ	126
4.6.1.5 ผลการพิจารณาหาตำแหน่งรถบรรทุกกรณีวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อ รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ	128
4.6.1.6 ผลการพิจารณาหาตำแหน่งรถบรรทุกกรณีวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อ รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 24 ล้อ	132
4.6.1.7 ผลการพิจารณาหาตำแหน่งรถบรรทุกกรณีวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อ รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 18 ล้อ.....	137
4.6.1.8 ผลการพิจารณาหาตำแหน่งรถบรรทุกกรณีวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อ รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 20 ล้อ.....	139
4.6.1.9 ผลการพิจารณาหาตำแหน่งรถบรรทุกกรณีวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อ รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ.....	142
4.6.1.10 ผลการพิจารณาหาตำแหน่งรถบรรทุกกรณีวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 24 ล้อ.....	147
บทที่ 5 ประสิทธิภาพ และผลกระทบเนื่องจากกรณีวิ่งบนสะพานคู่กัน	151
5.1 ประสิทธิภาพการคำนวณหาตำแหน่งรถบรรทุกรวม และผลกระทบเนื่องจากกรณีวิ่งบน สะพานคู่กัน.....	151

5.2 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอัลกอริทึม	152
5.2.1 ความถูกต้องของพื้นที่ได้กราฟของค่าสัญญาณความเครียด	153
5.2.2 ผลเนื่องจากความแตกต่างของข้อมูลรบกวนทุกที่พิจารณา.....	155
5.3 ชุดข้อมูลกรณีที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง	157
5.3.1 ตรวจสอบสัญญาณความเครียดรบกวนทุกช่องจรรยาชัย	161
5.3.2 ศึกษาผลกระทบเหตุการณ์ Multiple Presence เนื่องจากสัญญาณความเครียด เทียมที่มีน้ำหนัก และความเร็วของบรบททุกเท่ากับกรณีที่มีความคลาดเคลื่อนสูง	174
5.4 การประเมินผลด้านความเร็วในการทำงาน	193
5.5 การประเมินผลด้านความถูกต้อง	194
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา	196
6.1 ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมคำนวณน้ำหนักรบกวนทุกกรณีถึงผ่านสะพานคู่กันแบบ อัตโนมัติ	196
6.2 ข้อจำกัดของอัลกอริทึม.....	197
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	197
6.3.1 ข้อเสนอแนะในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง	198
6.3.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม	198
รายการอ้างอิง	ข
1. ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียด	พ
2. ความถี่ของช่องสัญญาณความเครียดที่มีความคลาดเคลื่อนสูงสุด	ร
3. ค่าความแตกต่างของข้อมูลแต่ละชุดที่นำมาพิจารณา.....	ร
4. ผลเนื่องจากความแตกต่างของตัวแปร โดยใช้ข้อมูลรบกวนทุกสอบเทียบ	ฮ
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	ง

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่เบต้า.....	67
ตารางที่ 4.2 ค่าตัวคูณปรับแก้การกระจายน้ำหนักตามแนวขวางในแต่ละคานสะพาน.....	67
ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณน้ำหนักบรรทุกรถบรรทุกสอบเทียบ	69
ตารางที่ 4.4 เกณฑ์มาตรฐานของ COST 323 “Weigh-in-motion of Road Vehicle” – EUROPEAN WIM Specification.....	70
ตารางที่ 4.5 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย เนื่องจากความเร็วต่างกัน.....	88
ตารางที่ 4.6 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกช่องจราจรขวา เนื่องจากความเร็วต่างกัน.....	89
ตารางที่ 4.7 ผลกระทบการหาค่าน้ำหนักบรรทุกรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย เนื่องจากความเร็วต่างกัน.....	89
ตารางที่ 4.8 ผลกระทบการหาค่าน้ำหนักบรรทุกรถบรรทุกช่องจราจรขวา เนื่องจากความเร็วต่างกัน.....	90
ตารางที่ 4.9 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 6 ล้อ.....	100
ตารางที่ 4.10 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 10 ล้อ	100
ตารางที่ 4.11 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ.....	101
ตารางที่ 4.12 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 20 ล้อ.....	102
ตารางที่ 4.13 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ.....	102
ตารางที่ 4.14 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 24 ล้อ.....	103
ตารางที่ 4.15 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 18 ล้อ.....	103
ตารางที่ 4.16 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 20 ล้อ.....	104
ตารางที่ 4.17 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ.....	104

ตารางที่ 4.86 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก พ่วง 22 ล้อ	145
ตารางที่ 4.87 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก พ่วง 22 ล้อ	145
ตารางที่ 4.88 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก พ่วง 22 ล้อ	146
ตารางที่ 4.89 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก พ่วง 22 ล้อ	146
ตารางที่ 4.90 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก พ่วง 24 ล้อ	147
ตารางที่ 4.91 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก พ่วง 24 ล้อ	148
ตารางที่ 4.92 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก พ่วง 24 ล้อ	148
ตารางที่ 4.93 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก พ่วง 24 ล้อ	149
ตารางที่ 4.94 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก พ่วง 24 ล้อ	149
ตารางที่ 4.95 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก พ่วง 24 ล้อ	150
ตารางที่ 5.1 ผลกระทบเนื่องจากกรรวิงคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกบนช่องการจราจรซ้ายเป็น รถบรรทุก 10 ล้อ หน้า 18.5 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	160
ตารางที่ 5.2 ผลกระทบเนื่องจากกรรวิงคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกบนช่องการจราจรซ้ายเป็น รถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ หน้า 43 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 31 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	183
ตารางที่ 5.3 Tolerances of the accuracy classes (δ in %).....	194

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	การหาค่าโมเมนต์ดัดของสะพานจากน้ำหนักบรรทุกจริง.....	22
รูปที่ 2.2	การคำนวณค่าโมเมนต์ดัดของสะพานจากน้ำหนักรถจำลอง.....	22
รูปที่ 2.3	เส้นอิทธิพลของโมเมนต์ดัดที่ตำแหน่งหน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งของสะพาน.....	22
รูปที่ 2.4	แบบจำลองสะพานและรถบรรทุก.....	25
รูปที่ 2.5	เส้นอิทธิพลของโมเมนต์ดัดที่หน้าตัด.....	26
รูปที่ 2.6	ตัวอย่างพิกัดเส้นอิทธิพลของรถบรรทุก N เหล่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ที่ช่วงเวลา k ...	28
รูปที่ 2.7	อธิบายรายละเอียดด้วยรถบรรทุก 3 เหล่า.....	30
รูปที่ 2.8	เส้นอิทธิพลของโมเมนต์ดัดที่ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์.....	36
รูปที่ 2.9	แผนภาพโมเมนต์ดัดเนื่องจากรถบรรทุก 3 เหล่าวิ่งผ่านสะพาน.....	36
รูปที่ 2.10	รถบรรทุกสอบเทียบขณะวิ่งผ่านสะพานทดสอบ.....	38
รูปที่ 2.11	ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด.....	38
รูปที่ 2.12	ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด.....	39
รูปที่ 2.13	ตัวอย่างกราฟค่าสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกในช่องจราจรซ้าย.....	40
รูปที่ 2.14	ตัวอย่างกราฟค่าสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกในช่องจราจรขวา.....	40
รูปที่ 2.15	เหตุการณ์รถบรรทุก 2 คัน วิ่งคู่กันบนสะพานทดสอบ.....	42
รูปที่ 2.16	เหตุการณ์รถบรรทุก 2 คัน วิ่งคู่กันบนสะพานทดสอบ และตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด.....	42
รูปที่ 3.1	ตำแหน่งของสะพานที่ใช้ในการทดสอบ.....	50
รูปที่ 3.2	ตำแหน่งของสะพานที่ใช้ในการทดสอบ.....	50
รูปที่ 3.3	ภาพถ่ายสะพานโดยรวม.....	51
รูปที่ 3.4	ผังการติดตั้งอุปกรณ์ระบบ B-WIM : แพลนสะพาน.....	52
รูปที่ 3.5	ผังการติดตั้งอุปกรณ์ระบบ B-WIM : แพลนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ.....	53

รูปที่ 3.6	ผังการติดตั้งอุปกรณ์ระบบ B-WIM : รูปตัดแสดงการวิ่งของรถบรรทุก	53
รูปที่ 3.7	มาตรวัดน้ำหนักและการติดตั้ง	54
รูปที่ 3.8	ตัวอย่างสัญญาณค่าความเครียด	55
รูปที่ 3.9	ระบบตรวจจับเพลลา (Axle Detector) : อุปกรณ์ SF03 Laser Rangefinder	56
รูปที่ 3.10	ระบบตรวจจับเพลลา (Axle Detector) และการติดตั้งที่สะพาน	57
รูปที่ 3.11	ตัวอย่างสัญญาณการตรวจจับเพลลา	58
รูปที่ 3.12	ระบบบันทึกภาพ : กล้อง Mobotix M15 และการติดตั้ง	59
รูปที่ 3.13	ตัวอย่างรูปถ่ายรถบรรทุกจากระบบบันทึกภาพ : กล้อง Mobotix M15.....	60
รูปที่ 3.14	แผนผังการทำงานของระบบตรวจวัดข้อมูลต่อเนื่อง.....	61
รูปที่ 3.15	การติดตั้งควบคุมระบบตรวจวัดข้อมูลต่อเนื่อง	62
รูปที่ 3.16	รถบรรทุก 10 ล้อ ที่นำมาทำการทดสอบเทียบ.....	63
รูปที่ 4.1	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกสอบเทียบบนช่องจราจรซ้าย	66
รูปที่ 4.2	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกสอบเทียบบนช่องจราจรขวา	66
รูปที่ 4.3	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายหนัก 10 ตัน	71
รูปที่ 4.4	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายหนัก 30 ตัน	72
รูปที่ 4.5	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายหนัก 50 ตัน	72
รูปที่ 4.6	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายหนัก 10 30 และ 50 ตัน	73
รูปที่ 4.7	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาหนัก 10 ตัน	73
รูปที่ 4.8	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาหนัก 30 ตัน	74
รูปที่ 4.9	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาหนัก 50 ตัน	74
รูปที่ 4.10	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาหนัก 10 30 และ 50 ตัน	75
รูปที่ 4.11	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวาหนัก 10 ตัน	75
รูปที่ 4.12	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวาหนัก 10 และ 30 ตัน ตามลำดับ.....	76

รูปที่ 4.13	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายหนัก 10 ตัน และ 50 ตัน ตามลำดับ	76
รูปที่ 4.14	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายหนัก 50 ตัน.....	77
รูปที่ 4.15	สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence.....	77
รูปที่ 4.16	สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence.....	78
รูปที่ 4.17	สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence.....	78
รูปที่ 4.18	สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence.....	79
รูปที่ 4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความคลาดเคลื่อนการหาน้ำหนักบรรทุกบน ช่องจราจรซ้าย	79
รูปที่ 4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความคลาดเคลื่อนการหาน้ำหนักบรรทุกบน ช่องจราจรขวา.....	80
รูปที่ 4.21	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายวิ่งด้วยความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง..	81
รูปที่ 4.22	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายวิ่งด้วยความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง..	82
รูปที่ 4.23	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายวิ่งด้วยความเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง..	82
รูปที่ 4.24	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายวิ่งด้วยความเร็ว 20 50 และ 90 km/hr.....	83
รูปที่ 4.25	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาวิ่งด้วยความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ..	83
รูปที่ 4.26	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาวิ่งด้วยความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ..	84
รูปที่ 4.27	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาวิ่งด้วยความเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ..	84
รูปที่ 4.28	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาวิ่งด้วยความเร็ว 20 50 และ 90 km/hr.....	85
รูปที่ 4.29	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย และขวาวิ่งด้วยความเร็ว 20 km/hr	85
รูปที่ 4.30	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวาวิ่งด้วยความเร็ว 20 และ 50 km/hr.....	86
รูปที่ 4.31	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวาวิ่งด้วยความเร็ว 20 และ 90 km/hr.....	86

รูปที่ 4.32	สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence.....	87
รูปที่ 4.33	สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence.....	87
รูปที่ 4.34	สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence.....	88
รูปที่ 4.35	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกกิ่งฟุ้ง 18 ล้อบนช่องจราจรซ้าย.....	92
รูปที่ 4.36	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกฟุ้ง 18 ล้อบนช่องจราจรขวา.....	92
รูปที่ 4.37	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายหนัก 10 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 20 km/hr.....	93
รูปที่ 4.38	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาหนัก 10 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 20 km/hr.....	93
รูปที่ 4.39	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาหนัก 10 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 50 km/hr.....	94
รูปที่ 4.40	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาหนัก 10 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 90 km/hr.....	94
รูปที่ 4.41	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและช่องจราจรซ้ายขวา.....	95
รูปที่ 4.42	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและช่องจราจรซ้ายขวา.....	95
รูปที่ 4.43	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและช่องจราจรซ้ายขวา.....	96
รูปที่ 4.44	สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence.....	96
รูปที่ 4.45	สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence.....	97
รูปที่ 4.46	สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence.....	97
รูปที่ 4.47	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก และความเร็วยานรถบรรทุก กับความคลาดเคลื่อนการหา น้ำหนักบรรทุก	98
รูปที่ 4.48	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก และความเร็วยานรถบรรทุก กับความคลาดเคลื่อนในการหาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรขวา	98
รูปที่ 4.49	รายละเอียดรถบรรทุก 6 ล้อ.....	99
รูปที่ 4.50	รายละเอียดรถบรรทุก 10 ล้อ.....	100

รูปที่ 4.51	รายละเอียดรถบรรทุกกิ่งฟาง 18 ล้อ.....	101
รูปที่ 4.52	รายละเอียดรถบรรทุกกิ่งฟาง 20 ล้อ.....	101
รูปที่ 4.53	รายละเอียดรถบรรทุกกิ่งฟาง 22 ล้อ.....	102
รูปที่ 4.54	รายละเอียดรถบรรทุกกิ่งฟาง 24 ล้อ.....	102
รูปที่ 4.55	รายละเอียดรถบรรทุกฟาง 18 ล้อ.....	103
รูปที่ 4.56	รายละเอียดรถบรรทุกฟาง 20 ล้อ.....	103
รูปที่ 4.57	รายละเอียดรถบรรทุกฟาง 22 ล้อ.....	104
รูปที่ 4.58	รายละเอียดรถบรรทุกฟาง 24 ล้อ.....	105
รูปที่ 4.59	รายละเอียดรถบรรทุก 6 ล้อ.....	105
รูปที่ 4.60	รายละเอียดรถบรรทุก 10 ล้อ.....	106
รูปที่ 4.61	รายละเอียดรถบรรทุกกิ่งฟาง 18 ล้อ.....	106
รูปที่ 4.62	รายละเอียดรถบรรทุกกิ่งฟาง 20 ล้อ.....	107
รูปที่ 4.63	รายละเอียดรถบรรทุกกิ่งฟาง 22 ล้อ.....	107
รูปที่ 5.1	ร้อยละของความคลาดเคลื่อนการหาค่าน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย	152
รูปที่ 5.2	ร้อยละของความคลาดเคลื่อนการหาค่าน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรขวา.....	152
รูปที่ 5.3	ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียดจากน้ำหนักบรรทุกรวมบนช่องจราจร ซ้ายที่หายได้.....	154
รูปที่ 5.4	ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียดจากน้ำหนักบรรทุกรวมบนช่องจราจร ขวาที่หายได้.....	154
รูปที่ 5.5	ความถี่ของช่องสัญญาณความเครียดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด.....	155
รูปที่ 5.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างของน้ำหนัก และความเร็วของรถที่วิ่งข้ามสะพาน คู่กันต่อความคลาดเคลื่อนของค่าน้ำหนักในช่องจราจรซ้าย	156
รูปที่ 5.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างของน้ำหนัก และความเร็วของรถที่วิ่งข้าม สะพานคู่กันต่อความคลาดเคลื่อนของค่าน้ำหนักในช่องจราจรขวา.....	156
รูปที่ 5.8	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย	158

รูปที่ 5.9	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรขวา	158
รูปที่ 5.10	สัญญาณความเครียดของรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายและช่องจราจรขวา.....	159
รูปที่ 5.11	สัญญาณความเครียดเนื่องจากกรณีรถวิ่งผ่านสะพานคู่กัน	159
รูปที่ 5.12	รถบรรทุก 10 ล้อ หน้า 18.5 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	161
รูปที่ 5.13	รถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ หน้า 17.6 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 67 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	163
รูปที่ 5.14	รถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ หน้า 40.7 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 76 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	163
รูปที่ 5.15	รถบรรทุกพ่วง 24 ล้อ หน้า 44.4 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 28 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	164
รูปที่ 5.16	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย.....	164
รูปที่ 5.17	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย	165
รูปที่ 5.18	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย	165
รูปที่ 5.19	สัญญาณความเครียดเทียบมรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย	166
รูปที่ 5.20	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายที่มีน้ำหนักและความเร็วเท่ากัน.....	166
รูปที่ 5.21	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย	167
รูปที่ 5.22	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย	167
รูปที่ 5.23	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย	168
รูปที่ 5.24	สัญญาณความเครียดเทียบมรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย	168
รูปที่ 5.25	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายที่มีน้ำหนักและความเร็วเท่ากัน.....	169
รูปที่ 5.26	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย	169
รูปที่ 5.27	สัญญาณความเครียดของรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย.....	170
รูปที่ 5.28	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายที่มีน้ำหนักและความเร็วเท่ากัน.....	170
รูปที่ 5.29	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย	171
รูปที่ 5.30	สัญญาณความเครียดของรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย.....	171
รูปที่ 5.31	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายที่มีน้ำหนักและความเร็วเท่ากัน.....	172
รูปที่ 5.32	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย	172

รูปที่ 5.33	สัญญาณความเครียดของรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย.....	173
รูปที่ 5.34	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายที่มีน้ำหนักและความเร็วเท่ากัน.....	173
รูปที่ 5.35	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวา.....	174
รูปที่ 5.36	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา.....	175
รูปที่ 5.37	สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence.....	175
รูปที่ 5.38	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา.....	176
รูปที่ 5.39	สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence.....	176
รูปที่ 5.40	สัญญาณความเครียดเทียบรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย.....	177
รูปที่ 5.41	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา.....	177
รูปที่ 5.42	สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence.....	178
รูปที่ 5.43	สัญญาณความเครียดเทียบรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย.....	178
รูปที่ 5.44	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา.....	179
รูปที่ 5.45	สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence.....	179
รูปที่ 5.46	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย.....	180
รูปที่ 5.47	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา.....	180
รูปที่ 5.48	สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence.....	181
รูปที่ 5.49	รถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ หน้า 43 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 31 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	184
รูปที่ 5.50	รถบรรทุก 6 ล้อ หน้า 11 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 58 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	184
รูปที่ 5.51	รถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ หน้า 43 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 55 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	185
รูปที่ 5.52	รถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ หน้า 24 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง.....	185
รูปที่ 5.53	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย.....	186
รูปที่ 5.54	สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย.....	186
รูปที่ 5.55	สัญญาณความเครียดเทียบรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย.....	187
รูปที่ 5.56	สัญญาณความเครียดของรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา.....	187

รูปที่ 5.57 สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence 188

รูปที่ 5.58 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย 188

รูปที่ 5.59 สัญญาณความเครียดเทียบรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย..... 189

รูปที่ 5.60 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา 189

รูปที่ 5.61 สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence 190

รูปที่ 5.62 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย 190

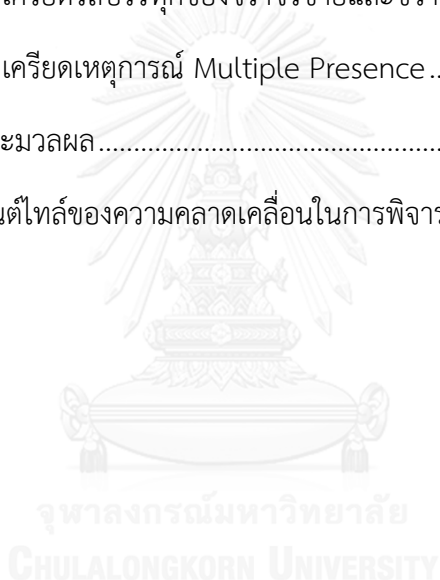
รูปที่ 5.63 สัญญาณความเครียดเทียบรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย..... 191

รูปที่ 5.64 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา 191

รูปที่ 5.65 สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence 192

รูปที่ 5.66 เวลาในการประมวลผล..... 194

รูปที่ 5.67 กราฟเปอร์เซ็นต์ไทม์ของความคลาดเคลื่อนในการพิจารณาน้ำหนักบรรทุก 195



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

การคมนาคมขนส่งเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญที่ทำให้เกิดการพัฒนาระบบเศรษฐกิจของประเทศ ทำให้ระบบการขนส่งและระบบโลจิสติกส์เข้ามามีบทบาทสำคัญ โดยถนนและสะพานถูกออกแบบให้มีความสามารถรองรับการใช้งานของยานพาหนะประเภทต่างๆ ให้สอดคล้องกับสภาพการจราจรจริงภายในประเทศ แต่ด้วยระยะเวลาการใช้งานที่ยาวนานและมียานพาหนะจำนวนมากที่บรรทุกน้ำหนักเกินกฎหมายกำหนด ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างของระบบคมนาคมขนส่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงสร้างสะพาน ทำให้โครงสร้างสะพานมีอายุการใช้งานสั้นลง ทำให้สูญเสียงบประมาณการบำรุงรักษาและซ่อมแซมสะพานจำนวนมากโดยไม่จำเป็น

ในการแก้ปัญหารถบรรทุกที่บรรทุกน้ำหนักเกินกฎหมายกำหนด ด้วยการบังคับใช้กฎหมายที่เข้มงวด จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนเจ้าหน้าที่และจำนวนด่านควบคุมน้ำหนัก ซึ่งรัฐบาลต้องมีภาระเงินลงทุนจำนวนมาก อีกทั้งด้านช่างควบคุมน้ำหนักแบบถาวรในปัจจุบัน ยังมีข้อเสียคือมีราคาค่าก่อสร้างที่สูง ไม่สามารถเคลื่อนย้ายได้ ต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์ และปริมาณแฉกคอรของยานพาหนะที่รอเข้าช่องอาจส่งผลกระทบต่อเกิดการจราจรติดขัดได้ รวมถึงพฤติกรรมของผู้ขับขี่ที่จะหลบหลีกการเข้าด่านชั่ง และความโปร่งใสในการตรวจวัด ทำให้ปัจจุบันการควบคุมน้ำหนักรถบรรทุกยังไม่สามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพและทั่วถึงเพียงพอ

ระบบ weight in motion (WIM) เป็นระบบที่ถูกคิดค้นและพัฒนาเพื่อให้สามารถตรวจวัดข้อมูลต่างๆ เช่น น้ำหนักเพลา ระยะห่างระหว่างเพลา จำนวนเพลา และความเร็วของรถ ในขณะที่ยานพาหนะกำลังเคลื่อนที่อยู่บนถนนหรือสะพาน โดยติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดบนผิวจราจรหรือโครงสร้างสะพาน แต่ระบบการติดตั้งอุปกรณ์ที่ผิวจราจรนั้นมีข้อเสีย คือ มีความคลาดเคลื่อนสูง และระหว่างติดตั้งและซ่อมบำรุงจำเป็นต้องมีการปิดการจราจร จึงได้มีการพัฒนาและปรับปรุงเป็นระบบที่ใช้กับโครงสร้างสะพาน คือ ระบบ Bridge weight in motion (BWIM) โดยการนำอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด (strain gauge) หรืออุปกรณ์ตรวจวัดความเร่ง (accelerometer) ไปติดตั้งที่ชิ้นส่วนที่รับน้ำหนักของโครงสร้างสะพาน เพื่อวัดค่าการตอบสนองและนำมาวิเคราะห์หาน้ำหนักที่มา

กระทำ ส่วนข้อมูลระยะห่างระหว่างเพลลา จำนวนเพลลา และความเร็วของรถ จะใช้อุปกรณ์ตรวจจับเพลลา (axle detector) ติดตั้งไว้บริเวณราวสะพานเพื่อทำการตรวจวัด

การศึกษาและพัฒนาองค์ความรู้ในเรื่อง WIM และ BWIM มีการดำเนินการมาอย่างต่อเนื่อง ได้มีการคิดค้นเทคนิคและพัฒนาความถูกต้องแม่นยำ ในการวิเคราะห์หาน้ำหนักและข้อมูลต่างๆไปของรถบรรทุก จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า วิธีเบต้า (beta method) เสนอโดย Ojio and Yamada (2002) ได้ใช้พื้นที่ใต้สัญญาณความเครียด (strain signal area) ในการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกรวม (gross vehicle weight , GVW) แทนการใช้แผนภาพโมเมนต์ดัด (bending moments diagram) วิธีนี้มีความคลาดเคลื่อนในการหา GVW น้อยกว่า 5% ซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีเบต้า (modified beta method) โดยการพิจารณาร่วมกับการพิจารณาการกระจายน้ำหนักตามแนวขวางในแต่ละคานสะพาน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพความถูกต้องของการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุก และเพื่อให้สามารถแก้ปัญหาการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกในกรณีที่มีรถบรรทุกวิ่งคู่กัน (Multiple Presence Problem) บนสะพานทดสอบ โดยจะศึกษาผลกระทบเนื่องจากกรณีที่มีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อเทียบกับกรณีวิ่งคันเดียว

1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา

1.2.1 งานวิจัยที่ศึกษาระบบการหาน้ำหนักและแรงกระทำจากรถบรรทุก

Moses et al (1979) สรุปว่า ผลกระทบทางพลศาสตร์เป็นปัญหาหลักในการชั่งน้ำหนักบนผิวทาง ผลกระทบทางพลศาสตร์ที่เกิดจากความขรุขระของผิวทางและการกระแทกที่เกิดขึ้นจากรถบรรทุกของตัวยานพาหนะเอง ให้แรงทางพลศาสตร์มีค่าเป็น 30-40% ของค่าทางสถิต เป็นปัญหาหลักที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ [1]

Ghosn and Xu (1988) ได้ศึกษาพิจารณาผลของแรงทางพลศาสตร์ โดยการเพิ่มพจน์ของโคไซน์ (cosine) และไซน์ (sine) เข้าไปในสมการการเคลื่อนที่ และทำการวิเคราะห์โดยวิธีฟูรีเยร์ (fourier analysis) ซึ่งวิธีนี้จะทำให้สามารถพิจารณาผลทางพลศาสตร์ได้ แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนในการทำนายถึง 50% [2]

Ansari (1990) ได้ทำการกรองผลทางพลศาสตร์ออกจากข้อมูลที่เก็บได้ โดยใช้ตัวกรองสัญญาณแบบดิจิทัล (digital filter) แล้วทำการสร้างเส้นอิทธิพล (influence line) โดยใช้วิธีเซบิ์เชบโพลีโนเมียล (chebyshev polynomial) เพื่อใช้ในการหาค่าน้ำหนักเพลลาเนื่องจากผลทางสถิต

และได้พิจารณาแก้ปัญหาที่พบในการชั่งน้ำหนักบนผิวทางของ Moses et al (1979) โดยการเพิ่มการวัดความเค้นของคานสะพาน ซึ่งพบว่าวิธีการวัดน้ำหนักจากคานสะพาน (girder) ดีกว่าการวัดน้ำหนักจากผิวทาง เนื่องจากแรงทางพลศาสตร์ที่ผิวสัมผัสของยางจะถูกรองออก และแรงทางพลศาสตร์จะลดลงด้วยความเฉื่อยเนื่องจากมวลของสะพาน (massive inertia) และอาจถูกกำจัดได้หมดโดยการใช้วิธีการยกกำลังสองน้อยที่สุด (least square method) และในท้ายที่สุดจะสามารถพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกทุกได้ด้วยวิธีการหาความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด (strain) กับการทำนายบนพื้นฐานของความเร็ว และระยะห่างระหว่างเพลารถ

Laman and Novak (1996) ได้นำระบบ WIM มาใช้ในโครงสร้างสะพานที่ประกอบด้วยคานเหล็ก (girder) 5 อัน เพื่อทำการพัฒนารูปแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความคล้า โดยการใช้วิธีการของเรนโพล (rainflow) ข้อมูลความเครียดจะถูกรวบรวมภายใต้การจราจรปกติ ซึ่งข้อมูลที่วัดได้จะถูกเก็บรวบรวมและบันทึกจากเครื่องมือ 2 ชุด ชุดที่ 1 คือ ระบบการวัดความเค้น (Stress Measuring System, SMS) ที่ทำหน้าที่เก็บรวบรวมค่าความเครียดในอดีตที่ผ่านมาภายใต้การจราจรปกติ และทำการรวบรวมเข้ากับแผนภูมิแท่งซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (stress) กับจำนวนรอบโดยวิธีของ rainflow ชุดที่ 2 คือ ระบบการชั่งน้ำหนักบรรทุกทุก (Truck Weighing System, TWS) ที่ทำหน้าที่คำนวณน้ำหนักเพลารถจากความเครียด โดยการใช้เส้นอิทธิพล (influence line) ของสะพาน ส่วนข้อมูลอื่นๆของรถบรรทุกสามารถหาได้โดยการพิจารณาจากข้อมูลสัญญาณที่ได้จากเซนเซอร์ 2 ตัวที่ติดตั้งไว้กับผิวทางจราจร [3]

Thater G., Chang P., Schelling D.R. and Fu C.C. (1998) ได้นำระบบ WIM มาใช้ในการพิจารณาผลตอบสนองทางพลศาสตร์ของยานพาหนะขณะเคลื่อนที่ โดยจำลองในคอมพิวเตอร์แล้วทำการแยกผลทางพลศาสตร์ออก เพื่อหาน้ำหนักทางสถิตด้วยการใช้เทคนิคการกรองผลทางพลศาสตร์เทียบเท่า (Equivalent Dynamic Filter Technique, EDFT) แยกแรงออกเป็น 2 ส่วน คือ แรงทางพลศาสตร์ (dynamics) และผลตอบสนองเหมือนทางสถิต (Pseudo static response) โดยใช้ Fast Fourier Transform เทียบผลจากการแอนตัวเป็นสัดส่วน เรียกว่าอัตราส่วนการกรองเทียบเท่า (Equivalent Filtering Ratio, EFR) ผลที่ได้พบว่าสามารถลดระยะเวลาในการคำนวณ และให้ความถูกต้องแม่นยำในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกทุกได้ถึง $\pm 5\%$ ซึ่งให้ผลที่ดีกว่าระบบ WIM แบบเดิม ที่ให้ความถูกต้องแม่นยำในช่วง $\pm 10\%$ แต่มีข้อเสียคือวิธีดังกล่าวไม่สามารถพิจารณาน้ำหนักในแต่ละเพลารถได้ และไม่ได้นำคุณสมบัติของสะพานจริงมาใช้ในการพิจารณา [4]

Chan T.H.T., Law S.S., Yung T.H. and Yuan X.R. (1999) ได้พิจารณาการหาน้ำหนักรถบรรทุกโดยใช้วิธีปฏิกิริยาตอบสนองของสะพานในรูปแบบของคำตอบที่แน่นอน (closed-form solution) ในการพิจารณาหาน้ำหนักคงที่ที่เคลื่อนที่ตามเวลาที่เปลี่ยนไปสามารถหาได้โดยวิธีการเชิงตัวเลข (numerical method) โดยสมการที่ใช้จะอยู่บนพื้นฐานของสมการของออยเลอร์ (euler's equation) ของคาน และแบบจำลองของรถที่ใช้ในการสร้างปฏิกิริยาตอบสนองจะพิจารณาเป็นรถ 2 เพลา [5]

Zhu X.Q., Law S.S. (1999) ได้ทำการจำลองรูปแบบสะพานเป็นคานต่อเนื่องหลายช่วง และมีหน้าตัดไม้คองที่ พฤติกรรมการสั่นไหวของคานภายใต้น้ำหนักเคลื่อนที่จะถูกวิเคราะห์โดยหลักการของ Hamilton โดยจุดรองรับภายในจะถูกแทนด้วยสปริงที่มีความแข็งมาก วิธีการหาน้ำหนักจะใช้หลักการซูเปอร์โพสิชันเชิงโหมด (modal superposition) และเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) ซึ่งค่าน้ำหนักที่หาได้จะอยู่ในโดเมนของเวลา ด้วยการพิจารณาจากวิธีหาผลต่างกำลังสอง พบว่าค่าน้ำหนักที่พิจารณาได้นั้นจะมีความน่าเชื่อถือ ถ้าจำนวนของจุดวัดมีไม่น้อยกว่าจำนวนโหมดการสั่นของสะพาน [6]

Law S.S., Chan T.H.T., and Zeng Q.H., (1999) ได้ทำการพิจารณาหาน้ำหนักของรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่ ด้วยการทดสอบจากแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลปฏิกิริยาตอบสนองของการสั่นไหวของสะพานเพียงอย่างเดียวในโดเมนของเวลาและความถี่ (Frequency - Time domain) โดยปราศจากการใช้ข้อมูลของลักษณะรถ ซึ่งรถจะถูกจำลองให้มีรูปแบบเป็น 1 เพลา และ 2 เพลา (กำหนดระยะห่างระหว่างเพลาไว้คงที่) เคลื่อนที่อยู่บนคานที่มีจุดรองรับแบบธรรมดาและมีความหน่วง (viscous damping) สามารถหาสมการการเคลื่อนที่ของคานได้โดยผ่านการแปลงพิกัดเชิงโหมด (modal transform) ซึ่งผลลัพธ์ของสมการจะเชื่อมโยงกับฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (fourier transforms) และน้ำหนักของรถจะถูกแปลงกลับไปสู่โดเมนของเวลา (time domain) ความถูกต้องของค่าน้ำหนักที่หาได้จะถูกตรวจสอบด้วยการเปรียบเทียบระหว่างปฏิกิริยาตอบสนองที่วัดได้กับปฏิกิริยาตอบสนองที่ถูกสร้างขึ้นมาจากน้ำหนักที่หาได้ วิธีดังกล่าวจะสามารถทำนายน้ำหนักของรถที่เคลื่อนที่ผ่านสะพานได้ โดยไม่คำนึงถึงข้อมูลลักษณะรถ ซึ่งค่าน้ำหนักของรถได้จากการเฉลี่ยค่าแรงที่หาได้ ซึ่งค่าเฉลี่ยนี้ให้ความคลาดเคลื่อนสูงสุดถึง 20% อีกทั้งการเฉลี่ยค่าแรงนี้ เมื่อพิจารณาจากแรงที่ได้จริงพบว่าลักษณะของแรงมีค่าไม่ตรงกับความเป็นจริง คือมีค่ามากเกินไปหรือน้อยเกินไปจนมีค่าลบในบางช่วง ซึ่งเกิดจากสภาวะบกพร่อง (ill-condition) ทำให้ค่าเฉลี่ยที่ได้ไม่มีความน่าเชื่อถือ จึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริง [7]

Chan T.H.T., Law S.S., and Yung T.H. (2000) ได้ทำการพิจารณาหาค่าน้ำหนักบรรทุกขณะกำลังเคลื่อนที่ โดยเลือกใช้สะพานที่เป็นสะพานคอนกรีตอัดแรง (pre-stressed concrete bridge) ทำการติดตั้งมาตรวัดความเครียดและเครื่องตรวจวัดความเร่งที่ขึ้นส่วนคาน (girder) ของสะพาน และอุปกรณ์ตรวจนับจำนวนเพลลา (axle sensors) ที่ผิวทางของสะพาน จากนั้นนำรถบรรทุก 2 เพลลามาใช้ในการทดสอบเพื่อทำการปรับแก้ข้อมูลที่วัดได้จากภาคสนาม น้ำหนักเพลลาทางพลศาสตร์สามารถพิจารณาได้โดยวิธีการโดเมนของเวลา (time domain) ซึ่งค่าน้ำหนักรวมของรถบรรทุกจะสามารถพิจารณาได้จากผลรวมของน้ำหนักแต่ละเพลลา และทำการหาความถี่พื้นฐาน (fundamental frequency) ของรถบรรทุก โดยการแปลงน้ำหนักแต่ละเพลลาที่หาได้ในโดเมนของเวลาไปสู่โดเมนของความถี่ (frequency domain) โดยการใช้ Fourier Transform พบว่าเวลาที่ใช้ในการหาค่าน้ำหนักใช้เวลานานมากถึง 30 นาที เมื่อใช้ CPU รุ่น Pentium II 300Hz และค่าน้ำหนักที่ทำนายได้ในโดเมนของเวลาที่มีความแปรปรวนสูงมากจนไม่สามารถเชื่อถือได้ ซึ่งเกิดจากสภาวะบกพร่อง (ill-condition) แม้ว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่หาได้จะมีความคลาดเคลื่อนต่ำเพียง $\pm 5\%$ ก็ตาม [8]

Zhu X.Q. and Law S.S. (2000) ได้ทำการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกขณะเคลื่อนที่บนสะพาน โดยการจำลองรูปแบบสะพานเป็นแผ่นบางสี่เหลี่ยมผืนผ้า (orthotropic rectangular plate) การวิเคราะห์พฤติกรรมการสั่นไหวของโครงสร้างสะพานภายใต้น้ำหนักเคลื่อนที่ จะถูกวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีของแผ่นบาง (orthotropic rectangular theory) และหลักการของซูเปอร์โพสิชันที่เชิงโหมด (modal superposition principle) ซึ่งจะสามารถหาค่าน้ำหนักได้ในโดเมนของเวลา (time domain) โดยนำน้ำหนักที่หาได้จากวิธีการจำลองรูปแบบเป็นขึ้นส่วนคานกับวิธีการจำลองรูปแบบเป็นแผ่นบางมาเปรียบเทียบกัน รวมทั้งทำแบบทดสอบกับแบบจำลองย่อยส่วนผลการทดสอบพบว่าค่าน้ำหนักที่หาได้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% แต่มีข้อเสียคือเวลาที่ใช้ในการหาน้ำหนักจะต้องใช้เวลานานมากเพราะต้องมีการหาค่าพารามิเตอร์เรกูลาร์ไรเซชัน (Regularization, λ) ที่เหมาะสมในการคำนวณแต่ละครั้ง อีกทั้งค่าพารามิเตอร์ λ มีผลต่อการทำนายน้ำหนักค่อนข้างมาก จึงไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง และในส่วนของกรหาน้ำหนักด้วยการใช้ความเร่งจะให้ผลที่ดีกว่าการใช้ความเครียด และพบว่ากรเอียงศูนย์มีผลทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการหาค่าน้ำหนักมีค่ามากขึ้น [9]

Law S.S., Chan T.H.T. and Zeng Q.H. (2001) พบว่าการหาน้ำหนักของรถบรรทุกที่กำลังเคลื่อนที่ มีความคลาดเคลื่อนสูงที่บริเวณจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของแกนเวลา ซึ่งเรียกสภาวะดังกล่าวนี้ว่าสภาวะที่บกพร่อง (ill-conditioned) ดังนั้น Law S.S. และคณะ จึงได้เพิ่มวิธีการ

Regularization เข้าไปในขั้นตอนการคำนวณ โดยจะทำการหาค่าพารามิเตอร์ λ ที่เหมาะสม ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างน้ำหนักที่หาได้กับน้ำหนักที่เกิดขึ้นจริงจะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ λ ที่ถูกนำมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นตัวถ่วงน้ำหนัก ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยที่สุดจะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด แต่ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนั้นใช้เวลานานและสิ้นเปลืองเกินไป อีกทั้งค่าที่เหมาะสมนี้ยังขึ้นกับลักษณะของตัวยานพาหนะอีกด้วย จึงทำให้การนำไปประยุกต์ใช้ทำได้ลำบาก [10]

Law S.S. and Fang Y.L. (2001) ได้ทำการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกทุกขณะเคลื่อนที่จากแบบจำลองย่อส่วน โดยใช้เทคนิคของไดนามิกโปรแกรมมิ่ง (dynamic programming) ซึ่งเป็นการทำให้ความคลาดเคลื่อนระหว่างปฏิริยาตอบสนองที่วัดได้กับปฏิริยาตอบสนองที่สร้างขึ้นมาจากน้ำหนักที่หาได้มีค่าน้อยที่สุด น้ำหนักในรูปแบบของสเตทสเปซ (state-space formulation) ของระบบพลศาสตร์จะถูกหาในโดเมนของเวลา โดยการใช้รีเคอร์ซีฟอรัล (recursive formular) บนพื้นฐานของการใช้ตัวเซนเซอร์หลายๆตัวในการวัดปฏิริยาตอบสนองของสะพาน ซึ่งการคำนวณด้วยการใช้ recursive formular จะใช้เวลาน้อยกว่าวิธีอื่นๆ และมีความคลาดเคลื่อนขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ λ เช่นกัน ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวต้องนำมาใช้ในการพิจารณาไม่สามารถละทิ้งได้ และหากนำค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสมมาในการคำนวณ จะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่มีค่าสูง [11]

คณะกรรมการยุโรป (2001) ได้ทำการพัฒนาระบบ WIM มาใช้ในโครงสร้างสะพาน เรียกว่า Bridge WIM หรือ B-WIM โดยใช้วิธียกกำลังสองน้อยที่สุดเช่นเดียวกัน ซึ่งในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) จะคำนึงถึงพารามิเตอร์ที่ต้องการทราบพร้อมๆกัน เพื่อให้ได้ทั้งความเร็ว จำนวนเพลาระยะห่างเพลลา และน้ำหนักรวม และทำการพัฒนาการวิเคราะห์โดยจำลองรูปแบบสะพานเป็น 2 มิติ เพื่อคำนึงถึงผลของตำแหน่งที่เอียงศูนย์ตามแนวขวาง โดยจะทำการตรวจสอบรูปแบบจำลองสะพานดังกล่าวด้วยการทดลองในภาคสนาม โดยใช้สะพานที่มีลักษณะแบบ orthotopic deck และยังคำนึงถึงพารามิเตอร์จากสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น ผลของอุณหภูมิจากฤดูกาล และความชันตามแนวขวางของขอบทาง นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบกับสะพานช่วงเดียวและสะพานหลายช่วง เพื่อตรวจสอบหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งมาตรวัดความเครียด จากงานวิจัยพบว่าผลความคลาดเคลื่อนของความเร็วและระยะห่างเพลลาในการวิเคราะห์แบบ 2 มิติมีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าการวิเคราะห์แบบมิติเดียว แต่ผลการหาแรงทางพลศาสตร์ยังมีความ

คลาดเคลื่อนอยู่มากเนื่องจากมีความแปรปรวนของข้อมูลสูง สำหรับผลการหาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติให้ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ [12]

Zhu X.Q., and Law S.S. (2002) ได้ทำการพิจารณาหาค่าพารามิเตอร์ทุกโดยการจำลองในคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีโดเมนของเวลา (time domain method) จากผลตอบสนองการสั่นสะเทือนของแบบจำลองคานต่อเนื่อง โดยการใช้ความเครียดและความเร่งที่วัดได้ขณะรถบรรทุกเคลื่อนที่ และใช้วิธีการ Regularization ในการคำนวณเพื่อเพิ่มขอบเขตในการแก้ปัญหาและลดระยะเวลาในการคำนวณ จากผลการทดลองด้วยวิธีเชิงตัวเลข สามารถหาค่าพารามิเตอร์ λ ที่เหมาะสมซึ่งจะสามารถลดผลกระทบจากสิ่งรบกวนภายนอก (noise) ได้ และพบว่าการใช้ความเร่งเป็นพารามิเตอร์ในการหาค่าน้ำหนักแทนการใช้ความเครียด จะต้องใช้จำนวนโหมดในการวิเคราะห์ที่มากขึ้น ซึ่งวิธีการนี้ยังสามารถนำไปใช้ได้กับวิธีการหาค่าน้ำหนักแบบวิธีโดเมนของเวลาและวิธีโดเมนของความถี่และเวลา โดยการแก้ปัญหาใช้วิธีซิงกูลาร์แวลูดีคอมโพสิชัน (Singular Value Decomposition, SVD) ให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่มากน้อยตามระดับการรบกวนของสัญญาณ โดยให้ค่าความแม่นยำสูงสุดถึง 4% แต่มีข้อเสียคือจำเป็นต้องใช้เวลาในการคำนวณที่นานเนื่องจากขนาดของเมทริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณมีขนาดใหญ่ และต้องใช้เวลาในการหาค่าพารามิเตอร์ λ ที่เหมาะสมที่สุด จึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริง [13]

Yu L. and Chan T.H.T. (2002) ได้ทำการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ทุกขณะเคลื่อนที่ด้วยแบบจำลองย่อส่วน โดยการใช้ผลตอบสนองของสะพานด้วยโมเมนต์ตัด โดยเลือกใช้วิธีโดเมนของเวลา (Time Domain Method, TDM) และวิธีโดเมนของความถี่และเวลา (Frequency Time Domain Method, FTDM) และทำการเปรียบเทียบเทคนิคการแก้ระบบสมการเชิงเส้น 2 วิธี คือ เทคนิคการใช้เมทริกซ์ผกผันเทียม (Pseudo-Inverse matrix, PI) และวิธีซิงกูลาร์แวลูดีคอมโพสิชัน (Singular Value Decomposition, SVD) อีกทั้งยังได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ความถี่ที่เลือกใช้ จำนวนโหมดทางพลศาสตร์ ความเร็วของรถขณะเคลื่อนที่ จำนวนและตำแหน่งของอุปกรณ์ในการวัด จากผลการศึกษาพบว่าการใช้เทคนิค Singular Value Decomposition สามารถเพิ่มความถูกต้องแม่นยำได้ทั้งในวิธี TDM และ FTDM โดยเฉพาะในกรณีของวิธี FTDM สามารถแก้ปัญหาสถานะบกพร่อง (ill-condition) ได้ดีกว่าการใช้เทคนิค Pseudo-Inverse matrix และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ตามที่ได้อธิบายข้างต้น ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่ถือว่าดี คืออยู่ในช่วงไม่เกิน 5-10% แต่ค่าพารามิเตอร์ λ มีผลต่อการหาค่าน้ำหนักค่อนข้างมาก อีกทั้งยังใช้เวลาใน

การคำนวณในแต่ละกรณีนั้น เนื่องจากจะต้องหาค่าที่เหมาะสมที่สุดตลอดเวลาการคำนวณ จึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริง [14]

Zhu X.Q. และ Law S.S. (2003) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการหาน้ำหนักกระหว่าง 2 วิธี คือ วิธีแรกจะหาน้ำหนักโดยตรงจากลักษณะของสะพาน กับวิธีที่สองจะทำการหาน้ำหนักโดยใช้หลักการของทฤษฎีไฟไนต์เอเลเมนต์ ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบผ่านแบบจำลองซึ่งจำลองเป็นลักษณะของสะพานและรถบรรทุก โดยศึกษาค่าตัวแปรหลายตัวแปร เช่น จำนวนโหนดของการสั้นไหวที่นำมาใช้ จำนวนจุดข้อมูลที่ติดตั้งเครื่องมือวัด ตลอดจนผลของการแย่งศูนย์ของแนวการวิ่งของรถ เป็นต้น พบว่าวิธีแรกค่าความแม่นยำของระบบนั้นจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งการวิ่งของรถ ส่วนวิธีที่สองค่าความแม่นยำนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณ [15]

พลกฤษณ์ พนาปวุฒิกุล (2003) ได้ทำการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกบนโครงสร้างสะพาน เพื่อพิจารณาหาน้ำหนักรถบรรทุกทุกขณะเคลื่อนที่บนสะพาน ด้วยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิง (dynamic programming) โดยการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่พิจารณาโครงสร้างสะพานเป็นแผ่นบางรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (orthotropic rectangular plate) พร้อมทั้งพิจารณาผลการบิดของสะพาน และผลกระทบจากปัจจัยอื่นเนื่องมาจากความเร็วขณะรถเคลื่อนที่และความขรุขระของผิวจราจรในการพิจารณาค่าน้ำหนักด้วย จากการศึกษาพบว่า การเลือกใช้ Regularization parameter มีผลต่อความแม่นยำในการพิจารณาหาน้ำหนัก และค่าน้ำหนักที่พิจารณาได้มาจากการเฉลี่ยแรงในช่วงกึ่งกลางของเวลาที่รถวิ่งบนสะพานทั้งสองเพลลา เป็นผลให้การพิจารณาน้ำหนักไม่แม่นยำและเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน อีกทั้งการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณานั้น จะทำให้ผลที่ถูกต้องขึ้นอยู่กับจำนวนองศาความอิสระตามทฤษฎีไฟไนต์เอเลเมนต์ ซึ่งการใช้แบบจำลองที่มีจำนวนองศาความอิสระมากขึ้น แม้ว่าจะได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำมากขึ้น แต่ก็ต้องใช้เวลาในการคำนวณมากขึ้นด้วยเช่นกัน ทำให้วิธีดังกล่าวยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานจริง [16]

ธวัช อัครวิทยาภูมิ (2003) ได้ทำการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกบนโครงสร้างสะพาน เพื่อพิจารณาหาน้ำหนักรถบรรทุกทุกขณะเคลื่อนที่บนสะพาน ด้วยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิง (dynamic programming) เช่นเดียวกับพลกฤษณ์ พนาปวุฒิกุล (2003) แต่ไม่พิจารณาผลการบิดของสะพาน และเพิ่มเทคนิคการคำนวณซ้ำ (iteration technique) ซึ่งเป็นการนำค่าความเครียดทางพลศาสตร์ที่ได้จากการคำนวณครั้งแรก มาพิจารณาคำนวณซ้ำด้วยวิธีไดนามิก

โปรแกรมมิ่งอีกครั้ง เพื่อให้ค่าน้ำหนักบรรทุกู้เข้าหาค่าที่ถูกต้องมากขึ้นกว่าการคำนวณครั้งแรก ผลที่ได้พบว่าค่าน้ำหนักบรรทุกู้ที่คำนวณได้มีความถูกต้องแม่นยำที่ดีขึ้น โดยมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 5% แต่การวิจัยนี้ยังขาดการพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลในการคำนวณค่าน้ำหนักในสภาพแวดล้อมจริง เช่น ผลของผิวจราจรบนสะพานที่ไม่ราบเรียบ ประเภทจุดรองรับของโครงสร้างสะพาน และสภาพทางกายภาพทั่วไปของโครงสร้างสะพาน เป็นต้น [17]

Jiang Au and Cheung (2003) ได้ทำการศึกษาพารามิเตอร์ของรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่บนสะพาน ได้แก่ มวลของตัวรถช่วงบนและช่วงล่าง ค่าความหน่วงของรถ ค่าสติเฟเนส สปริงระหว่างมวลทั้งสอง และค่าสติเฟเนสสปริงอีกค่าสำหรับผิวสัมผัสระหว่างล้อรถกับผิวสะพาน โดยพิจารณาหาค่าพารามิเตอร์เหล่านี้พร้อมกัน โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึม (genetic algorithm) โดยการจำลองผลการตอบสนองของสะพาน และใช้ความเร่งของการสั่นไหวของสะพานในขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) จากผลการศึกษาพบว่าค่าพารามิเตอร์ในส่วนของมวลรถมีความคลาดเคลื่อนต่ำ ในขณะที่ค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง และการที่จะทำให้ผลการคำนวณมีความแม่นยำมากขึ้นจำเป็นต้องมีจำนวนตำแหน่งการเก็บข้อมูล (station) หลายตำแหน่ง และการคำนวณใช้เวลานานมาก เนื่องจากระบบการคำนวณใช้วิธีการค้นหาข้อมูล (search) ที่เหมาะสมที่สุดจากขอบเขต (limits) ที่กำหนด [18]

Zhu and Law (2003) ได้ทำการศึกษาการหาแรงขณะรถเคลื่อนที่บนสะพานด้วยข้อมูลความเร็วรถที่ไม่คงที่ โดยทำการศึกษาการวัดสัญญาณที่แตกต่างกัน ได้แก่ การใช้สัญญาณความเร่งของการสั่นไหวของสะพาน และการใช้สัญญาณความเครียดของสะพาน โดยทั้งสองวิธีทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์โดยตรง (exact solution) ร่วมกับวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดและเทคนิค Regularization เช่นเดียวกับการศึกษาข้างต้น โดยทำการสร้างแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ ขณะที่การทดสอบด้วยแบบจำลองย่อส่วนจะทำการศึกษาโดยใช้สัญญาณความเครียดเท่านั้น โดยใช้ความเร็วเฉลี่ยของรถในช่วงการเคลื่อนที่บนสะพานมาวิเคราะห์แทนความเร็วจริงซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการชะลอรถเพื่อให้มีความเร็วไม่คงที่ และยังพิจารณาผลของความขรุขระและระดับของสัญญาณรบกวน (noise) จากผลการศึกษาพบว่า การหาแรงโดยใช้สัญญาณความเร่งให้ผลที่แม่นยำกับแรงทางสถิติมากกว่าการใช้สัญญาณความเครียดซึ่งมีความแปรปรวนสูง (แรงที่ได้มีการกวัดแกว่งที่สูง) โดยเฉพาะกับรถที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อีกทั้งยังทำการจำลองรูปแบบสะพานแบบคานต่อเนื่อง ซึ่งพบว่าแรงที่คำนวณได้ขณะรถผ่านจุดรองรับมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เนื่องจากจะเกิดสภาวะบกพร่อง (ill-condition) ที่ตำแหน่งเข้าใกล้จุดรองรับ ซึ่งต้องการ

ค่าพารามิเตอร์ Regularization ที่มีค่าน้อยที่ตำแหน่งเวลาที่รถเข้าใกล้จุดรองรับเพื่อลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น และยังพบว่าในการวิเคราะห์สะพานแบบต่อเนื่อง ระดับสัญญาณรบกวนจะมีผลมากต่อการหาแรงเมื่อเทียบกับสะพานแบบช่วงเดียวปกติ [19]

พัชรพงษ์ อาสนจินดา (2004) ได้ทำการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกทุกขณะเคลื่อนที่บนสะพานด้วยการทดสอบจากแบบจำลองย่อส่วน โดยใช้วิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่ง เนื่องจากพบว่ามีความเร็วเร็วกว่าวิธีซิงกูลาร์แวลูดีคอมโพสิชัน ร่วมกับการใช้เทคนิคการคำนวณซ้ำเพื่อเพิ่มความถูกต้องของค่าน้ำหนักที่คำนวณได้ โดยศึกษาผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ มวลและความเร็วของรถบรรทุก ระดับความขรุขระของพื้นผิวสะพาน ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของรถตามแนวขวางของสะพาน ประเภทฐานรองรับของสะพาน และผลของจำนวนเพลลาของรถบรรทุก ซึ่งพบว่าการนำค่าความเครียดในหน้าตัดสะพานเดียวกันมาทำการเฉลี่ยแล้วนำไปพิจารณาหาค่าน้ำหนัก จะสามารถลดผลการบิดตัวของสะพานที่เกิดจากตำแหน่งของรถตามแนวขวางได้ดี โดยรถบรรทุกที่มีน้ำหนักมากและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำจะให้ผลการพิจารณาน้ำหนักที่มีแนวโน้มที่ดีกว่ารถบรรทุกที่มีน้ำหนักเบาและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง โดยค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าสูงขึ้นตามระดับความขรุขระของพื้นผิวสะพาน ในส่วนของปัจจัยทางด้านรูปแบบจุดรองรับของสะพานกับจำนวนเพลลาที่เพิ่มขึ้นพบว่ารูปแบบของฐานรองรับของสะพานนั้นมีผลต่อการพิจารณาน้ำหนักอย่างมีนัยสำคัญ โดยสะพานแบบช่วงเดียวที่มีจุดรองรับแบบธรรมดาจะให้ผลการพิจารณาน้ำหนักที่ดีกว่าสะพานแบบต่อเนื่อง ทั้งนี้ยังพบว่ากรณีรถบรรทุกแบบ 2 เพลลาเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวที่พื้นผิวไม่มีความขรุขระจะให้ผลการคำนวณน้ำหนักรวมที่มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 5% แต่ทั้งนี้การทดสอบนี้ยังไม่ได้รับการสนับสนุนจากการทดสอบจริงในภาคสนาม [20]

Zhu and Law (2004) ได้ทำการศึกษาการหาแรงขณะเคลื่อนที่บนสะพานด้วยการทดสอบจากแบบจำลองโดยใช้สัญญาณการสั่นไหวจากโมเมนต์ตัดของสะพาน โดยวิธีที่นำมาศึกษานั้นประกอบด้วย 2 วิธี วิธีแรกใช้พื้นฐานจากการวิเคราะห์แบบจำลองทางพลศาสตร์โดยตรง (exact solution) ซึ่งจะหาแรงในลักษณะแยกเป็นเพลลา (axle load) และอีกวิธีใช้พื้นฐานทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM solution) ซึ่งจะหาแรงได้ในรูปแบบของแรงในล้อ (wheel load) ซึ่งเป็นอิสระต่อกัน โดยทั้งสองวิธีได้ทำการแก้ปัญหาด้วยวิธียกกำลังสองน้อยที่สุดประกอบกับเทคนิค Regularization จากผลการทดสอบพบว่าทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกันนักสำหรับการเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน โดยวิธี exact solution ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าสำหรับการเคลื่อนที่ในตำแหน่งที่เยื้องจากศูนย์กลางสะพาน เนื่องจากวิธี FEM solution จะแปรปรวนไว้มากต่อตำแหน่งของจุดวัดสัญญาณ แต่

ทั้งนี้ยังขึ้นกับจำนวนและรูปแบบตำแหน่งของการติดตั้งจุดวัดสัญญาณความเครียดที่ห้องสะพานอีกด้วย ส่วนจำนวนโหนดการสั้นไหวของสะพานมีผลน้อยต่อการหาแรง แต่การใช้จำนวนโหนดที่มากย่อมให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้จำนวนโหนดน้อย และยังพบว่าการหาแรงในลักษณะแบบเป็นเพลทำให้ความคลาดเคลื่อนที่ต่ำกว่าการหาแรงในลักษณะแยกข้อซึ่งกันและกัน ซึ่งผลการทดสอบโดยรวมแล้วยังพบว่ามีความคลาดเคลื่อนที่สูง และการอ้างอิงผลด้วยการใช้ตัวคูณปฏิสัมพันธ์ (correlation factor) ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ [21]

ภาณุ พุ่งสุข (2005) ได้นำวิธีไดนามิคโปรแกรมมิ่ง และเทคนิคการคำนวณซ้ำไปใช้ในการคำนวณกับผลการทดสอบภาคสนามที่สะพานข้ามคลองบางน้อย โดยได้มีการคิดค้นอุปกรณ์ติดตั้งมาตรวัดความเครียดแบบใหม่ เพื่อแก้ปัญหาการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดแบบเดิม (ติดที่ผิวคอนกรีตโดยตรง) ที่ไม่สะดวกในการใช้งาน การให้ค่าที่คลาดเคลื่อนเมื่อเกิดรอยแตกร้าวในคอนกรีต (crack) หรือการมีฟองอากาศคงค้างจากการไล่ฟองอากาศไม่หมดในการติดตั้ง เป็นต้น โดยนำค่าความเครียดในหน้าตัดสะพานเดียวกันมาทำการเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก โดยคำนึงถึงผลของความไม่เท่ากันของหน้าตัดสะพาน จากผลการทดสอบด้วยรถสิบล้อในภาคสนามทั้งหมด 51 การทดสอบ ได้ผลค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักที่เพลหน้า เพลหลัง และน้ำหนักรวมโดยไม่คิดผลของความขรุขระที่ผิวจราจรจะได้ไม่เกิน $\pm 50\%$, $\pm 10\%$ และ $\pm 6\%$ ตามลำดับ และเมื่อคิดผลของการกระแทกโดยการทดสอบที่ช่องจราจรซ้ายพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมไม่เกิน $\pm 10\%$ [22]

O'Brien et al. (2006) ได้เสนอวิธีการคำนวณเส้นอิทธิพล (influence line) จากการวัดผลการตอบสนองโดยตรง โดยได้ทำการอธิบายวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการแปลงผลการตอบสนองที่วัดได้จากแรงที่มากระทำไปเป็นเส้นอิทธิพลจากแรงที่มากระทำ ด้วยวิธีการหาค่าต่ำที่สุด (minimize) ของผลต่างกำลังสองระหว่างผลการตอบสนองที่ตรวจวัดได้จริงกับผลการตอบสนองที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งได้แสดงผลการคำนวณจากการทดสอบ 2 สะพานที่ใช้รถที่ทราบค่าน้ำหนักคนละชนิดกันมาทดสอบ ด้วยวิธีการสร้างเส้นอิทธิพลที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการทดสอบนั้นให้ผลทดสอบที่น่าพอใจ แต่ยังไม่สามารถเปรียบเทียบกันได้อย่างเด่นชัดเพราะสะพานและรถที่ใช้เป็นคนละประเภท และไม่มีการแสดงเปรียบเทียบผลการทดสอบกับวิธีการสร้างเส้นอิทธิพลแบบอื่นๆ รวมทั้งความถูกต้องจากการนำเส้นอิทธิพลนี้ไปใช้ในการหาน้ำหนักรถบรรทุก [23]

पालพิพัฒน์ แสงชูวงศ์ (2007) ได้ใช้วิธีการของเส้นอิทธิพลในการคำนวณน้ำหนักรถบรรทุกโดยปราศจากอุปกรณ์การตรวจจับเพลลา โดยข้อมูลรถต่างๆ เช่น ระยะห่างระหว่างเพลลา ความเร็ว

รถบรรทุก และค่าน้ำหนักเพลา จะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีการหาค่าต่ำที่สุด (minimize) ของผลต่างกำลังสองระหว่างแรงโมเมนต์ดัดที่ตรวจวัดกับแรงโมเมนต์ดัดที่ได้จากการคำนวณจากฟังก์ชันเส้นอิทธิพล โดยจากผลการทดสอบกับแบบจำลองสมมติในคอมพิวเตอร์พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนในการหาค่าน้ำหนักรวมของรถไม่เกิน $\pm 15\%$ สำหรับกรณีที่ไม่คิดความขรุขระของสะพาน ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่มากกว่าวิธีการแบบใช้อุปกรณ์ตรวจจับเพลาประมาณ 3% และเมื่อคิดความขรุขระของสะพานพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวม 30-40% โดยประมาณ ในส่วนการคำนวณที่บันทึกข้อมูลจากภาคสนามนั้นพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมระยะห่างระหว่างเพลา และความเร็วของรถบรรทุกมีค่า $\pm 15\%$, $\pm 20\%$ และ $\pm 10\%$ ตามลำดับ โดยวิธีการดังกล่าวจะให้ผลที่ดีก็ต่อเมื่อค่าอัตราส่วนระยะห่างระหว่างเพลา (axle spacing ratio, S/L) มีค่าประมาณ 0.4 ถึง 0.6 เพราะค่าดังกล่าวจะทำให้เห็นความชัดเจนของโมเมนต์ดัดของเพลาหน้าและเพลาหลังที่ดีที่สุด และนอกจากนั้นความเร็วรถที่วิ่งผ่านไม่ควรเกิน 15 เมตรต่อวินาที หรือ 54 กิโลเมตรต่อชั่วโมง [24]

กิตติ จิวโพธิ์เจริญ (2008) ได้เสนอเทคนิควิธีการหาค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุดจากฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function) มาใช้พิจารณาน้ำหนักรถบรรทุกพร้อมกับการหาค่าตำแหน่งรถแบบปราศจากข้อมูลตำแหน่งรถ โดยตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาในฟังก์ชันจุดประสงค์คือ ความเร็วรถบรรทุก น้ำหนักของแต่ละเพลา และระยะห่างระหว่างเพลา ทำให้ฟังก์ชันจุดประสงค์มีความซับซ้อนน้อย ส่งผลให้ใช้เวลาในการคำนวณในแต่ละรอบไม่เกิน 10 วินาที ซึ่งจากการนำเทคนิคดังกล่าวไปใช้วิเคราะห์จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบภาคสนามทั้งหมด 112 กรณี พบว่าประสิทธิภาพของเทคนิคดังกล่าวสามารถใช้วิเคราะห์ข้อมูลได้ทั้งหมดทุกกรณีโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 15% [25]

Wall, Christenson, McDonnell and Jamalipour (2009) ได้ทำการศึกษาพิจารณาหาค่าน้ำหนักของรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่ผ่านสะพาน โดยใช้วิธีเบต้า (Ojio and Yamada, 2002) ซึ่งวิธีนี้ใช้พื้นที่สัญญาณความเครียด (strain signal area) ในการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกรวม (gross vehicle weight, GVW) สามารถคำนวณหา GVW ที่ไม่ทราบค่า ได้จากการเปรียบเทียบค่าจากรถบรรทุกที่ทราบค่า ($GVW_u = (A_u/A_k) \times GVW_k$) ซึ่งวิธีนี้มีสมมติฐานว่าสะพานเป็น simply support beam, ผลตอบสนองของสะพานเป็นรูปสามเหลี่ยม และทำการเปรียบเทียบจากรถบรรทุก 5 เพลา ความถูกต้องของระบบการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกขึ้นกับประเภทรถที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ดังนั้นหากต้องการให้วิธีนี้คำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกได้แม่นยำมากขึ้น ควรทำการ

เปรียบเทียบรถบรรทุกทุกประเภทที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการเปรียบเทียบเป็นเวลานาน [26]

ดร.ธีระชัย ดีสมสุข และ รศ.ดร.ทศพล ปิ่นแก้ว (2010) ได้ศึกษาประเมินผลการหาค่าน้ำหนักรถบรรทุกในขณะที่เคลื่อนที่ผ่านสะพานทดสอบ (bridge weigh-in-motion, BWIM) ซึ่งการวัดโมเมนต์ตัดของสะพานภายใต้การเคลื่อนที่ของรถบรรทุกจะนำมาจำลองแบบเชิงตัวเลข (numerically simulated) และนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าน้ำหนัก โดยงานวิจัยนี้ศึกษารถบรรทุก 2 เพลา และศึกษาเปรียบเทียบวิธีการหาค่าน้ำหนักรถบรรทุก ระหว่าง วิธีที่ 1 มีสมมติฐานว่าขนาดของแรงแต่ละเพลาที่มีค่าคงที่ และวิธีที่ 2 มีสมมติฐานว่าขนาดของแรงแต่ละเพลาที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา จากการสุ่ม 1000 กรณีจากการทดลอง พบว่าการคำนวณค่าน้ำหนักทั้ง 2 วิธีมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 10\%$ และพบว่าค่าน้ำหนักเพลาแรกจะประมาณค่าได้ต่ำกว่าความเป็นจริง แต่การประมาณค่าน้ำหนักเพลาหลังมีค่ามากกว่าความเป็นจริง แต่อย่างไรก็ตามความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าน้ำหนักรถบรรทุกรวมมีค่าน้อยกว่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าน้ำหนักเพลา และจากการเปลี่ยนตัวแปรในการพิจารณา พบว่าความเร็วรถและระยะห่างระหว่างเพลาที่มีอิทธิพลต่อความคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าน้ำหนัก ซึ่งการประมาณค่าน้ำหนักทั้ง 2 วิธีมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรถเพิ่มขึ้น แม้ว่าระยะห่างระหว่างเพลาไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อรวมผลของระยะห่างระหว่างเพลาที่อยู่ใกล้กันกับรถที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจะสามารถเห็นค่าความคลาดเคลื่อนได้อย่างชัดเจน และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประมาณค่าน้ำหนักรถบรรทุกโดยอยู่บนพื้นฐานของการสุ่มจากแบบจำลองระหว่าง 2 วิธี พบว่าวิธีที่ 2 ให้ค่าการประมาณน้ำหนักที่ดีกว่าวิธีที่ 1 สำหรับกรณีส่วนใหญ่ที่ใช้ในการพิจารณา ถึงแม้ว่าวิธีที่ 2 จะแสดงผลการคำนวณได้ช้ากว่าถึง 4 เท่า แต่วิธีนี้สามารถให้ค่าข้อมูลทางพลวัตของน้ำหนักเพลา ซึ่งมีประโยชน์ทางวิศวกรรมในหลายๆด้าน [27]

Hua Zhao and Nasim Uddin (2010a) ได้ทำการพิจารณาน้ำหนักรถบรรทุกโดยใช้วิธีการของเส้นอิทธิพล ที่คำนวณจากการวัดผลการตอบสนองโดยตรงจากโครงสร้างสะพานทดสอบ (bridge weight in motion, BWIM) ซึ่งพิจารณาโครงสร้างสะพานเป็นคานเดี่ยว ชิ้นส่วนรับน้ำหนักทุกชิ้นมีคุณสมบัติของวัสดุเหมือนกัน และพิจารณาเส้นอิทธิพลของสะพานมีเส้นเดียว และทำการทดสอบด้วยรถบรรทุกแบบกึ่งพ่วง 5 เพลาที่ทราบค่าน้ำหนักแต่ละเพลา ระยะห่างระหว่างเพลา และความเร็วที่ใช้ทดสอบ ทำการทดสอบทั้งหมด 10 ครั้ง เปรียบเทียบผลที่ได้กับอุปกรณ์วัดน้ำหนักแบบเคลื่อนที่ได้แบบแผ่นดัด (bending plate weight in motion, BPWIM) พบว่าค่าน้ำหนักที่ได้จากการทดสอบ

จากโครงสร้างสะพานมีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อพิจารณาแบบเพลลาเดี่ยว พิจารณาแบบกลุ่มเพลลา และพิจารณาแบบน้ำหนักรวมน้อยกว่า 20%, 6% และ 7% ตามลำดับ และยังให้ค่าที่มีความถูกต้องแม่นยำมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับระบบ BPWIM โดยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของน้ำหนักรวมของระบบ BWIM และ BPWIM นั้นมีค่าที่ 0.65% และ 0.92% ตามลำดับ อีกทั้งระบบ BWIM ยังได้เปรียบกว่าในด้านความสามารถในการเคลื่อนย้ายติดตั้ง และราคาค่าใช้จ่าย จากนั้น Hua Zhao and Nasim Uddin (2010b) ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมจากเดิมโดยพิจารณาว่าแต่ละชิ้นส่วนที่รองรับน้ำหนักโครงสร้างสะพานนั้นมีคุณสมบัติของวัสดุที่แตกต่างกัน โดยผลการทดสอบค่าน้ำหนักพบว่าให้ค่าที่มีความถูกต้องและแม่นยำมากกว่าเมื่อเทียบกับสมมติฐานก่อนหน้า แต่ว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ก็ยังไม่ใกล้เคียงกันอยู่ ซึ่งอาจจะมาจากว่าสะพานที่เลือกใช้ในการทดสอบครั้งนี้ทุกชิ้นส่วนที่พิจารณาไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงสรุปได้ว่าหากโครงสร้างรับน้ำหนักในแต่ละชิ้นส่วนของสะพานไม่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญมาก สามารถที่จะใช้สมมติฐานที่ว่าคุณสมบัติวัสดุมีความเหมือนกันทุกชิ้นส่วนได้ เนื่องจากผลที่ได้มีความใกล้เคียงกัน และขั้นตอนที่ใช้ในการคำนวณน้อยกว่า [28, 29]

Zhao et al. (2013) ได้ทำการศึกษาพิจารณาค่าน้ำหนักของรถแต่ละเพลลาในขณะเคลื่อนที่ผ่านสะพาน โดยคำนึงถึงผลของการกระจายแรงของล้อรถบรรทุกตามแนวขวางของสะพาน โดยใช้เทคนิคการคำนวณด้วยเส้นอิทธิพลที่คำนวณมาจากการวัดผลการตอบสนองโดยตรงจากโครงสร้างสะพานทดสอบ และได้นำค่าสัมประสิทธิ์การกระจายแนวขวาง (transverse load distribution factor, Q) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของผลการตอบสนองที่วัดได้ของชิ้นส่วนโครงสร้างหนึ่งต่อผลรวมของผลการตอบสนองที่วัดได้ของทุกโครงสร้างที่ตำแหน่งหน้าตัดเดียวกันมาประกอบการพิจารณา ทั้งนี้จากการศึกษาพบว่าวิธีดังกล่าวให้ผลที่ดีกว่าการวัดแบบ BPWIM และมีข้อเสนอว่าไม่ควรนำผลการวัดค่าการตอบสนองที่มีค่าน้อยกว่า $1/2n$ ของผลรวมค่าการตอบสนอง เมื่อ n เป็นชิ้นส่วนส่วนคานรับน้ำหนักของสะพานมาใช้ในการคำนวณ แต่การทดสอบนี้อาจจะยังไม่เหมาะสมเพราะไม่ได้พิจารณาสภาพการจราจรจริงที่อาจจะมีการวิ่งพร้อมกันในหลายๆ ช่องทางการจราจร [30]

พงศธร อร่ามวัต (2014) ได้ทำการศึกษาการหาน้ำหนักรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่บนสะพานด้วยวิธีการคำนวณจากเส้นอิทธิพล โดยทำการพิจารณาเปรียบเทียบผลการคำนวณน้ำหนักด้วยเส้นอิทธิพล 3 แบบคือ เส้นอิทธิพลจากทฤษฎีแบบสถิต เส้นอิทธิพลจากทฤษฎีแบบพลวัต และเส้นอิทธิพลจากการตรวจวัดโดยตรง ซึ่งอัลกอริทึมในการพิจารณาจะใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด (optimization) ของฟังก์ชันจุดประสงค์ (objective function) ที่เป็นค่าผลการตอบสนองจากการ

คำนวณและค่าผลการตอบสนองที่ได้จากการตรวจวัดโดยตรงที่ถูกปรับค่าด้วยสัมประสิทธิ์ตัวคูณปรับค่าผลการตอบสนอง โดยจากผลการศึกษาพบว่าการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกทุกที่ได้จากเส้นอิทธิพลทั้ง 3 แบบนั้นให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และมีค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมที่พิจารณาได้ในทุกกรณีทดสอบมีค่าไม่เกิน 10% แต่่วิธีการของเส้นอิทธิพลจากการตรวจวัดโดยตรงจะมีข้อได้เปรียบกว่าวิธีอื่นในด้านการแสดงถึงสถานะที่แท้จริงของโครงสร้างสะพาน [31]

Hua Zhao, Nasim Uddin, Eugene J. O'Brien, Xudong Shao, and Ping Zhu (2013) ศึกษาการพิจารณาหาน้ำหนักเพลา โดยการพิจารณาร่วมกับการกระจายน้ำหนักเพลาตามแนวขวางสำหรับระบบ BWIM โดยการปรับปรุงอัลกอริทึมของ Moses ซึ่งในการทดสอบภาคสนามจะสามารถบันทึกข้อมูลสัญญาณความเครียดได้อย่างต่อเนื่อง และมีอัตราความละเอียดในการบันทึกข้อมูลสูง จะสามารถนำมาหาเส้นอิทธิพล (Influence line, IL) สำหรับบรรทุกทุกสอบเทียบที่ทราบค่าน้ำหนักแต่ละเพลา และระยะห่างแต่ละเพลา ขณะวิ่งผ่านสะพานทดสอบได้ การพิจารณาการกระจายน้ำหนักบรรทุกตามแนวขวางในแต่ละคานสะพานเนื่องจากพฤติกรรม 2 มิติของสะพานแบบพื้นคานสะพาน (slab-girder bridge) ทำได้โดยการหาเส้นอิทธิพลของแต่ละคานสะพาน และทำการปรับปรุงอัลกอริทึมของ Moses ในรูปแบบ 2 มิติ โดยพิจารณาการกระจายน้ำหนักตามแนวขวางร่วมด้วยในการระบุน้ำหนักเพลาของรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่ผ่านสะพานทดสอบ จากผลการทดสอบภาคสนามพบว่า ร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของน้ำหนักเพลา กลุ่มของน้ำหนักเพลา และน้ำหนักบรรทุกรวมของรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายมีค่าเท่ากับ 10.33, 1.19 และ 2.44 ตามลำดับ และร้อยละความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของน้ำหนักเพลา กลุ่มของน้ำหนักเพลา และน้ำหนักบรรทุกรวมของรถบรรทุกบนช่องจราจรขวามีค่าเท่ากับ 12.49, 4.46 และ 5.43 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับระบบการชั่งน้ำหนักแบบคงที่ [30]

Karim Helmi, Baidar Bakht and Aftab Mufti (2014) ได้ทำการศึกษาพิจารณาหาค่าน้ำหนักของรถบรรทุกในขณะเคลื่อนที่ผ่านสะพาน ซึ่งสะพานที่ใช้ในการทดสอบเป็นสะพานแบบแผ่นพื้นวางบนคานสะพาน (slab-on-girder bridge) ในประเทศแคนาดา โดยงานวิจัยนี้นำเสนอวิธีในการพิจารณาหาค่าน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด 3 วิธี ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ค่าความถูกต้องสำหรับระบบ BWIM ที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับเพลา โดยวิธีที่ 1 คือวิธีค่าสัมประสิทธิ์ที่ไม่สมส่วนกันของแผนภาพโมเมนต์ดัด (Asymmetry coefficient method) ซึ่งวิธีนี้อยู่บนพื้นฐานของสมมติฐานว่ารูปแบบของน้ำหนักบรรทุกเป็นแรงกระจายเท่ากัน (uniformly distributed load) และใช้ความไม่สมส่วนใน

รูปร่างของแผนภาพโมเมนต์ดัด (bending moments diagram) ในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกรวม (gross vehicle weight , GVW) ซึ่งข้อมูลดิบยังคงมีสิ่งรบกวน (noise) และการแกว่งของข้อมูลเนื่องจากการสั่น (vibrations) ทำให้ยากที่จะหาเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดของรถบรรทุกที่เคลื่อนที่บนสะพานอย่างถูกต้อง ซึ่งจะทำให้วิธีนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงและไม่น่าเชื่อถือ วิธีที่ 2 วิธีวิเคราะห์ติดตั้งอุปกรณ์ 2 ตำแหน่ง (Two-station method) เป็นวิธีที่อยู่บนพื้นฐานของสมมติฐานว่ารูปแบบของน้ำหนักบรรทุกเป็นแรงกระจายเท่ากัน (uniformly distributed load) เช่นเดียวกับวิธีที่ 1 แต่ใช้ผลตอบสนองของคานสะพาน (girder) เนื่องจากการติดตั้งอุปกรณ์ 2 ตำแหน่ง โดยแบ่งหน้าตัดตามแนวขวาง ออกเป็น 3 ส่วน ในการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกรวม (gross vehicle weight , GVW) วิธีนี้ให้ค่าการพิจารณาน้ำหนักที่ดี เมื่อความยาวของรถบรรทุกน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวสะพานที่ทำการทดสอบ และวิธีที่ 3 วิธีเบต้า (beta method) วิธีนี้เสนอโดย Ojio and Yamada (2002) เป็นวิธีที่ใช้พื้นที่สัญญาณความเครียด (strain signal area) ในการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกรวม (gross vehicle weight , GVW) แทนการใช้แผนภาพโมเมนต์ดัด (bending moments diagram) วิธีนี้มีความคลาดเคลื่อนในการหา GVW น้อยกว่า 5% [32]

1.2.2 งานวิจัยที่ศึกษาระบบตรวจจับเพลลาและระบุตำแหน่งรถบรรทุก

Donlagic and Hanc (2003) ได้นำเสนอวิธีการใช้เส้นใยแก้วนำแสง (fiber optic) เป็นอุปกรณ์ในการตรวจจับเพลลาของยานพาหนะโดยทำการติดตั้งเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้น บนผิวทางจราจรในแนวตั้งฉากกับทิศทางจราจร ซึ่งเส้นใยนำแสงเส้นหนึ่งจะเป็นเส้นที่ตอบสนองต่อแรงกระทำจากน้ำหนักเพลลาเนื่องจากสัมผัสกับผิวการจราจรโดยตรง ส่วนอีกเส้นหนึ่งจะเป็นเส้นที่วัดสัญญาณอ้างอิงในสถานะที่ไม่ให้มีการตอบสนองต่อแรงจากน้ำหนักเพลลาโดยการติดตั้งผ่านท่อป้องกันหนึ่ง การทดสอบได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบวัดสัญญาณในสภาพการจราจรจริงเป็นเวลา 1 ปี ซึ่งพบว่าวิธีการดังกล่าวนั้นสามารถนำมาใช้ในการจำแนกประเภทรถได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยที่อุปกรณ์ไม่มีความเสียหายและไม่มีความผิดพลาดของสัญญาณข้อมูลจากการทดสอบระยะยาวแต่อย่างใด แต่วิธีการนี้มีข้อจำกัดในเรื่องของการควบคุมอุณหภูมิของระหว่างเส้นใยแก้วนำแสงทั้งสองเส้น [33]

Chatterjee et al. (2006) ได้เสนอวิธีการพิจารณาหาจำนวนเพลลา และระยะห่างระหว่างเพลลาของรถบรรทุกจากค่าสัญญาณความเครียดที่วัดได้จากการตอบสนองของสะพานจากแรงกระทำของรถบรรทุกที่วิ่งผ่านด้วยการใช้การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform) โดยพิจารณาว่าสัญญาณความเครียดที่วัดได้เป็นสัญญาณที่เกิดจากการรวมกันของสัญญาณเฉพาะในรูปคลื่นเล็กๆ ที่เรียกว่า

“เวฟเลต” ซึ่งการวิเคราะห์ค่าสัญญาณนั้นจะทำการวิเคราะห์ในทุกๆค่าของสัญญาณความถี่ หรือเรียกว่าการแปลงเวฟเลตแบบต่อเนื่อง (Continuous Wavelet Transform) จากผลการทดสอบวิธีดังกล่าวจากจำนวนรถบรรทุกทั้งหมด 21 คันพบว่าวิธีดังกล่าวมีประสิทธิภาพที่สามารถนำมาพิจารณาหาระยะห่างระหว่างเพลลาได้ประมาณร้อยละ 90 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 20 เซนติเมตร โดยข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนสูงเกิดจากความไม่ถูกต้องของตำแหน่งจุดยอดสัญญาณความเครียดที่วัดได้ [34]

Wang H. et al (2014) ได้ทำการศึกษาพิจารณาวิธีการตรวจจับเพลลา คำนวณความเร็วระยะห่างระหว่างเพลลา และทิศทางที่รถบรรทุกเคลื่อนที่จากสัญญาณทางพลศาสตร์ (seismic signal) ที่ได้จากการวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจวัด 2 ชั้น ที่ทำการติดตั้งบริเวณขอบทางของผิวจราจร ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะถูกนำมาพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งกำเนิดสัญญาณกับระยะห่างจากอุปกรณ์ตรวจวัดด้วยวิธีการสหสัมพันธ์ (Cross-Correlation) และพิจารณาลักษณะความชันของสัญญาณเพื่อให้ได้ผลคำตอบสุดท้าย อีกทั้งยังได้ทำการทดสอบภาคสนาม โดยการตรวจวัดยานพาหนะในสภาพการจราจรจริงทั้งหมด 18 กรณี พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถพิจารณาการตรวจจับเพลลาและให้ผลคำตอบของทิศทางเคลื่อนที่ของรถบรรทุกได้ทั้งหมด โดยที่ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะห่างระหว่างเพลลาไม่เกินร้อยละ 20 และค่าความเร็วที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการบันทึกจากกล้องพบว่ามีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 20 [35]

สมพล มาทวิโชติกุล (2016) ได้ศึกษาออกแบบระบบด้านซึ่งนำหน้ารถบรรทุก โดยออกแบบให้ระบบติดตั้งได้โดยไม่ต้องปิดการจราจรด้านบนสะพานและสามารถเคลื่อนย้ายไปติดตั้งที่สะพานอีกแห่งได้ ระบบจำแนกประเภทรถใช้การวิเคราะห์ผลต่างสัมบูรณ์ (absolute difference) ของข้อมูลตำแหน่งล้อที่วัดด้วยอุปกรณ์เลเซอร์ 2 ตำแหน่งที่ติดตั้งข้างทาง เพื่อประมาณค่าความเร็วรถระยะห่างระหว่างเพลลา รถ จำนวนเพลลา และประเภทยานพาหนะ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลร่วมกับข้อมูลความเครียดตอบสนองของสะพานภายใต้หน้ารถบรรทุกคันดังกล่าวที่ติดตั้งได้ทั้งองสะพาน เพื่อประมาณค่าน้ำหนักเพลลาและน้ำหนักรวมของรถ โดยอาศัยการวิเคราะห์ด้วยเมทริกซ์ผกผันเทียม (pseudo inverse matrix) บนวิธีการของการหาค่าต่ำที่สุดของผลต่างกำลังสองระหว่างค่าการตอบสนองของสะพานที่ได้จากการตรวจวัดกับค่าการตอบสนองที่ได้จากการคำนวณจากฟังก์ชันเส้นอิทธิพลของสะพาน (influence line) และได้ทำการทดสอบระบบในภาคสนามด้วยการประยุกต์ใช้กับสะพานข้ามคลองแห่งหนึ่งของกรมทางหลวงชนบท ซึ่งเป็นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ขนาด 3 ช่องจราจร และมีความยาวช่วงสะพาน 20 เมตร เป็นระยะเวลากว่า 15 วัน ผลการศึกษาพบว่า แม้ระบบจะมีข้อจำกัดในการทำงานบางประการ แต่ก็สามารถทำการตรวจซึ่งน้ำหนักบรรทุกทุกแบบอัตโนมัติได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของจำนวนรถบรรทุกทั้งหมด โดยมีความถูกต้องในการจำแนกประเภทยานพาหนะมากกว่าร้อยละ 90 และค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมต่ำกว่าร้อยละ 10 [36]

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า การศึกษาการวิเคราะห์น้ำหนักของรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่ผ่านสะพาน และข้อมูลลักษณะรถบรรทุกนั้นมีการพัฒนาเทคนิควิธีการคำนวณการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคำนวณ และทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในประเทศไทยนั้นแม้จะมีการศึกษามากแล้วก็ตาม แต่ก็ยังไม่มีการศึกษาในกรณีรถบรรทุกวิ่งคู่กันบนสะพานทดสอบ (Multiple Presence) จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่จะทำการศึกษาปรับปรุงหาวิธีการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักที่มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้ง่ายที่สุด โดยจากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าวิธีเบต้า (beta method) เป็นวิธีที่เสนอโดย Ojio and Yamada (2002) เป็นวิธีที่มีความคลาดเคลื่อนในการหา GVW น้อยกว่า 5% ซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีเบต้า (modified beta method) โดยการพิจารณาร่วมกับการพิจารณาการกระจายน้ำหนักตามแนวขวางในแต่ละคานสะพาน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพความถูกต้องของการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุก และเพื่อให้สามารถแก้ปัญหาการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งคู่กัน (Multiple Presence Problem) บนสะพานทดสอบ โดยจะศึกษาผลกระทบเนื่องจากกรณีที่รถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อเทียบกับกรณีรถวิ่งคันเดียว

1.3 วัตถุประสงค์

- 1.) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพความถูกต้องของการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุก สำหรับกรณีรถบรรทุกวิ่งคู่กัน (Multiple Presence Problem) บนสะพานทดสอบ
- 2.) เพื่อทดสอบอัลกอริทึมที่นำเสนอ ด้วยข้อมูลรถบรรทุกที่ทำการบันทึกไว้
- 3.) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพและผลกระทบเนื่องจากกรณีที่รถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อเทียบกับกรณีรถวิ่งคันเดียว

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.) พิจารณาพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานภายใต้น้ำหนักบรรทุกเป็นแบบอิลาสติกเชิงเส้น (linear elastic)

- 2.) พิจารณารถที่วิ่งบนช่วงสะพานทดสอบมีความเร็วคงที่
- 3.) พิจารณาว่าคุณสมบัติของวัสดุ (ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น) มีความเหมือนกันในทุกชิ้นส่วนของโครงสร้างสะพาน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.) ได้อัลกอริทึมต้นแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์หาน้ำหนักรถบรรทุกที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานจริง
- 2.) แก้ปัญหาการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกในกรณีที่มีรถบรรทุกวิ่งคู่กัน (Multiple Presence Problem) บนสะพานทดสอบ
- 3.) ทำให้ทราบถึงค่าน้ำหนักรถบรรทุกจริงในโครงข่ายถนนของประเทศ
- 4.) แก้ปัญหาการตรวจชั่งน้ำหนักรถบรรทุกที่ไม่โปร่งใส และการหลีกเลี่ยงการเข้าตรวจชั่งน้ำหนักของรถบรรทุก
- 5.) ช่วยลดจำนวนทรัพยากรบุคคลในการปฏิบัติหน้าที่ที่ใช้ในการประจำด่านชั่งน้ำหนัก
- 6.) สามารถใช้บันทึกข้อมูลรถบรรทุกที่สัญจรเพื่อหาปริมาณความหนาแน่นรถบรรทุกแต่ละประเภท รวมทั้งน้ำหนักบรรทุกจริง เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ออกแบบ การกำหนดมาตรฐาน รวมทั้งการพิจารณานโยบายต่างๆ ที่เกี่ยวกับรถบรรทุกให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

1.6 การดำเนินงานวิจัย

- 1.) พิจารณาหัวข้อที่จะทำวิทยานิพนธ์
- 2.) ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมา
- 3.) พิจารณาความเป็นไปได้ กำหนดขอบเขต และวัตถุประสงค์ในการทำวิทยานิพนธ์
- 4.) ปรับปรุงวิธีการหาน้ำหนักรถบรรทุก
- 5.) ศึกษาอุปกรณ์วัดความเครียด อุปกรณ์ตรวจจับเพลลา เครื่องมือ และโปรแกรมต่างๆ ที่ต้องใช้ในการติดตั้งได้สะพานเพื่อที่จะใช้ในการทดสอบภาคสนาม
- 6.) ติดตั้งอุปกรณ์ที่สะพานตัวอย่าง และทำการเก็บบันทึกข้อมูลภาคสนามในระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 1 เดือน
- 7.) นำผลที่ได้จากการบันทึกข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ และศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการวิเคราะห์หาน้ำหนักรถบรรทุกในแต่ละวิธี
- 8.) วิเคราะห์ อภิปราย สรุปผล พร้อมนำเสนอข้อเสนอแนะผลข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ

9.) จัดทำวิทยานิพนธ์



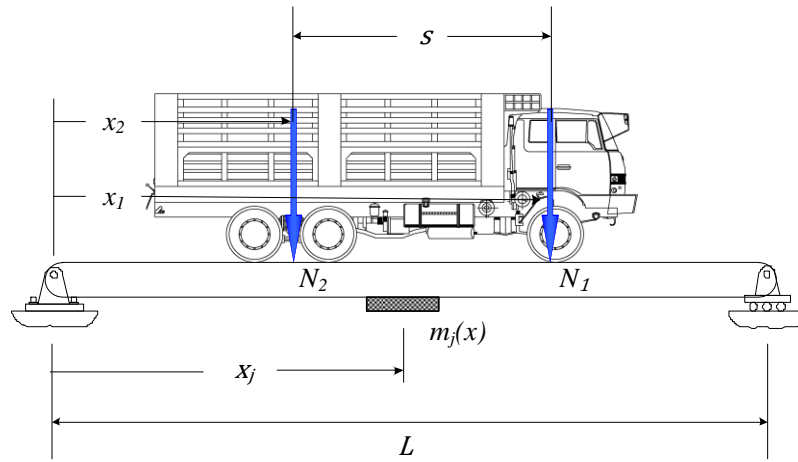
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

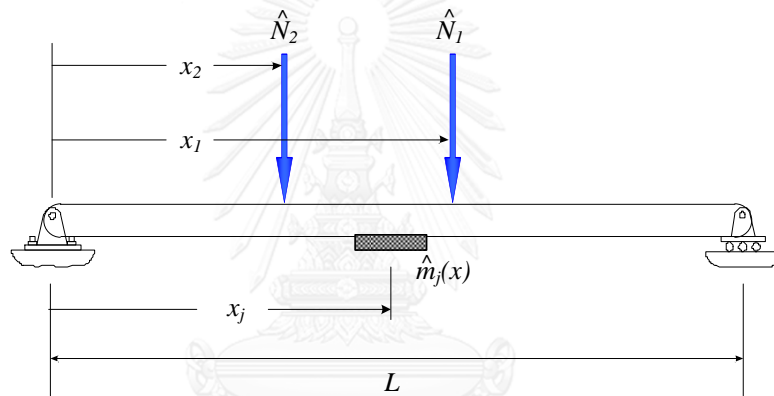
ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาค่าน้ำหนักและการพิจารณาค่าข้อมูลทั่วไปของรถบรรทุก ซึ่งในการพิจารณาค่าน้ำหนัก จะทำการศึกษาวิธีเบต้า (beta method) เป็นวิธีที่เสนอโดย Ojio and Yamada (2002) ได้ใช้พื้นที่สัญญาณความเครียด (strain signal area) ในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกรวม (gross vehicle weight , GVW) แทนการใช้แผนภาพโมเมนต์ดัด (bending moments diagram) วิธีนี้มีความคลาดเคลื่อนในการหา GVW น้อยกว่า 5% โดยต้องมีการประมาณค่าความเร็วของรถที่ถูกต้อง งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาปรับปรุงวิธีเบต้า (modified beta method) โดยการพิจารณาร่วมกับการกระจายน้ำหนักตามแนวขวางในแต่ละคานสะพาน เพื่อคำนวณน้ำหนักบรรทุกในกรณีที่มีรถบรรทุกวิ่งคู่กัน (Multiple Presence) บนสะพานทดสอบ โดยจะศึกษาผลกระทบเนื่องจากกรณีที่มีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อเทียบกับกรณีรถวิ่งคันเดียว

2.1 การพิจารณาผลการตอบสนองของโครงสร้างสะพาน

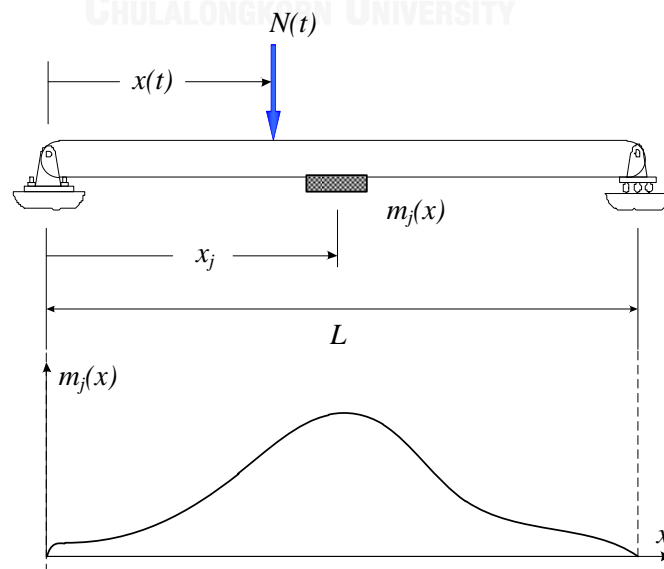
การพิจารณาค่าน้ำหนักแต่ละเพลาทงสถิติของรถบรรทุกด้วยเส้นอิทธิพล (Influence line method) จะทำการหาค่าโมเมนต์ดัดของสะพานจากน้ำหนักบรรทุกจริง ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และทำการคำนวณค่าโมเมนต์ดัดของสะพานจากน้ำหนักรถจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ด้วยเส้นอิทธิพลของโมเมนต์ดัดที่ตำแหน่งหน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งของสะพาน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เพื่อใช้พิจารณาค่าน้ำหนักของรถบรรทุกในท้ายที่สุด



รูปที่ 2.1 การหาค่าโมเมนต์ตัดของสะพานจากน้ำหนักบรรทุกทุกจริง



รูปที่ 2.2 การคำนวณค่าโมเมนต์ตัดของสะพานจากน้ำหนักรถจำลอง



รูปที่ 2.3 เส้นอิทธิพลของโมเมนต์ตัดที่ตำแหน่งหน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งของสะพาน

2.1.1 ค่าผลการตอบสนองของโมเมนต์ดัดที่ได้จากการวัด

ค่าผลการตอบสนองของโมเมนต์ดัดจากการวัดโดยตรง $m_j(x)$ สามารถพิจารณาได้จากผลการตอบสนองของค่าความเครียด $\varepsilon_j(x)$ ที่วัดได้จากอุปกรณ์บริเวณหน้าตัดของสะพานที่ตำแหน่งวัด x_j โดยจะพิจารณาจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด และค่าความเค้นกับโมเมนต์ดัด ดังแสดงในสมการที่ (2.1)

$$\sigma_j(x) = \frac{m_j(x) \cdot c_j}{I} = E\varepsilon_j(x) \quad (2.1)$$

เพราะฉะนั้นเราจะสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าของโมเมนต์ดัดและค่าความเครียดได้ดังสมการที่ (2.2) ซึ่งจะมีการเพิ่มสัมประสิทธิ์ตัวคูณปรับแก้ค่าความเครียดของสะพาน β เข้าไปด้วย (พงศธร อร่ามวัด, 2014, P. 18)

$$m_j(x) = EI \cdot \beta \cdot \frac{\varepsilon_j(x)}{c_j} \quad (2.2)$$

โดยที่

$m_j(x)$	คือ ค่าผลการตอบสนองของโมเมนต์ดัดที่ได้จากการวัดที่หน้าตัด x_j เนื่องจากแรง $N(t)$ กระทำต่อสะพานที่ตำแหน่ง x
E	คือ โมดูลัสยืดหยุ่นของหน้าตัดสะพาน (นิวตัน-ตารางเมตร)
I	คือ ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดสะพาน (เมตร ⁴)
β	คือ ค่าตัวคูณปรับแก้ค่าความเครียดของสะพาน
c_j	คือ ระยะห่างระหว่างผิวล่างของโครงสร้างสะพาน กับแนวแกน สะเทินของหน้าตัดที่ตำแหน่งวัด x_j
$\varepsilon_j(x)$	คือ ค่าผลการตอบสนองของความเครียดที่ได้จากการวัดที่ตำแหน่ง x_j

2.1.2 ค่าผลการตอบสนองของโมเมนต์ดัดที่ได้จากการคำนวณ

ค่าผลการตอบสนองของโมเมนต์ดัดจากการคำนวณ สามารถพิจารณาได้จากเส้นอิทธิพลของโมเมนต์ดัด เมื่อมีแรงกระทำภายนอกซึ่งเป็นน้ำหนักเพลลาของรถบรรทุก \hat{N} มากระทำ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ(2.3)

$$\hat{m}_j(x) = \hat{N} \cdot IL(x) \quad (2.3)$$

โดยที่

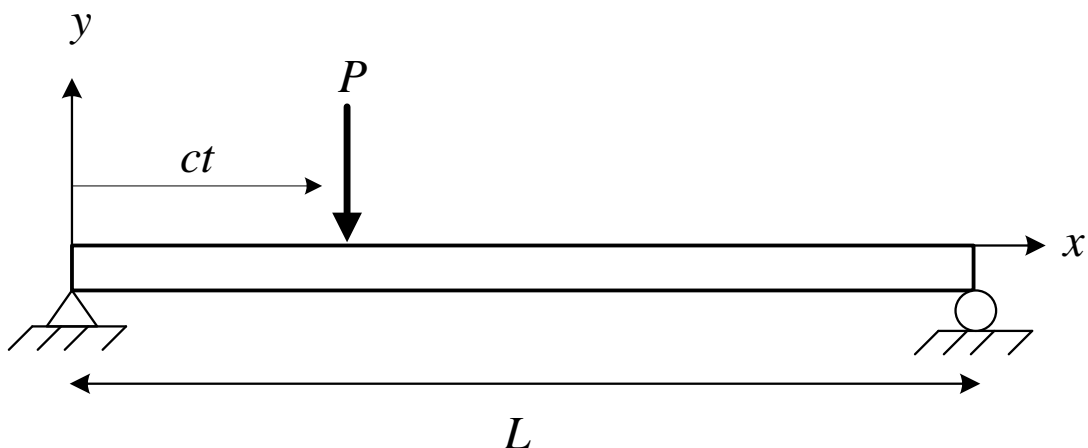
$\hat{m}_j(x)$	คือ ค่าผลการตอบสนองของโมเมนต์ดัดที่ได้จากการคำนวณที่หน้าตัด x_j เมื่อมีแรงกระทำ \hat{N} ที่ตำแหน่ง x
\hat{N}	คือแรงกระทำภายนอกหรือน้ำหนักเพลลาของรถบรรทุก
IL	คือเวกเตอร์เส้นอิทธิพลของโมเมนต์ดัด
x	คือระยะตำแหน่งของแรงกระทำภายนอก \hat{N}

เมื่อแรงกระทำภายนอก \hat{N} ซึ่งก็คือแรงของน้ำหนักเพลลาของรถบรรทุกซึ่งมีมากกว่าหนึ่งเพลลากระทำ เราสามารถพิจารณาค่าผลการตอบสนองของโมเมนต์ดัดที่ p หน้าตัด ซึ่งเกิดจากน้ำหนักเพลลาของรถบรรทุกจำนวน r เพลลาที่ทำการกระทำ ($\hat{N}_1, \hat{N}_2, \dots, \hat{N}_r$) ได้โดยหลักการรวมผล (Superposition method)

$$\begin{Bmatrix} \hat{m}_1(x) \\ \hat{m}_2(x) \\ \vdots \\ \hat{m}_p(x) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \hat{N}_1 \cdot IL_1(x_1) + \hat{N}_2 \cdot IL_1(x_2) + \dots + \hat{N}_r \cdot IL_1(x_r) \\ \hat{N}_1 \cdot IL_2(x_1) + \hat{N}_2 \cdot IL_2(x_2) + \dots + \hat{N}_r \cdot IL_2(x_r) \\ \vdots \\ \hat{N}_1 \cdot IL_p(x_1) + \hat{N}_2 \cdot IL_p(x_2) + \dots + \hat{N}_r \cdot IL_p(x_r) \end{Bmatrix} \quad (2.4)$$

2.2 เส้นอิทธิพลของผลตอบสนองสะพาน

อัลกอริทึมที่นิยมใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุก คือการคำนวณโดยใช้ฟังก์ชันเส้นอิทธิพลโมเมนต์ดัดในการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุก โดยจะพิจารณาแบบจำลองสะพานเป็นคานช่วงเดียว ซึ่งมีจุดรองรับแบบง่ายทั้งสองข้าง และจำลองรถบรรทุกด้วยแรงกดแบบจุดมีขนาดคงที่กระทำที่ตำแหน่งเพลลาที่เคลื่อนที่ไปบนสะพานในรูปที่ 2.4 ซึ่งแสดงน้ำหนักเพลลา (พิจารณาแยกแต่ละเพลลา) เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ การวิเคราะห์โครงสร้างของแบบจำลอง จะทำให้ได้ค่าโมเมนต์ดัดและค่าความเครียดในสะพาน หากกำหนดค่าได้ใกล้เคียงกับน้ำหนักเพลลาแท้จริง ก็จะทำให้ค่าความเครียดของแบบจำลองสะพานเท่ากับค่าที่ตรวจวัดได้จากสะพานจริง



รูปที่ 2.4 แบบจำลองสะพานและรถบรรทุก

เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์หาค่าโมเมนต์ตัดจากแบบจำลอง เมื่อรถบรรทุกเคลื่อนที่ จึงทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าโมเมนต์ตัดในสะพานกับผลของแรงกด จากเพลารถในรูปของเส้นอิทธิพลโมเมนต์ตัด

2.2.1 เส้นอิทธิพลจากทฤษฎีแบบสถิต (Theoretical static influence line)

โดยอาศัยสมดุลของระบบแรงเชิงสถิตของแบบจำลอง ซึ่งมีจุดรองรับเป็นแบบธรรมดา ดังรูปที่ 2.5 สามารถเขียนเส้นอิทธิพลของโมเมนต์ตัดที่หน้าตัด เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งแรง และความยาวช่วงสะพาน ได้ดังนี้

$$IL_j(x_v) = \begin{cases} x_v - \frac{x_v \cdot x_j}{L}, & x_v \leq x_j \\ x_j - \frac{x_v \cdot x_j}{L}, & x_j < x_v \leq L \end{cases} \quad (2.5)$$

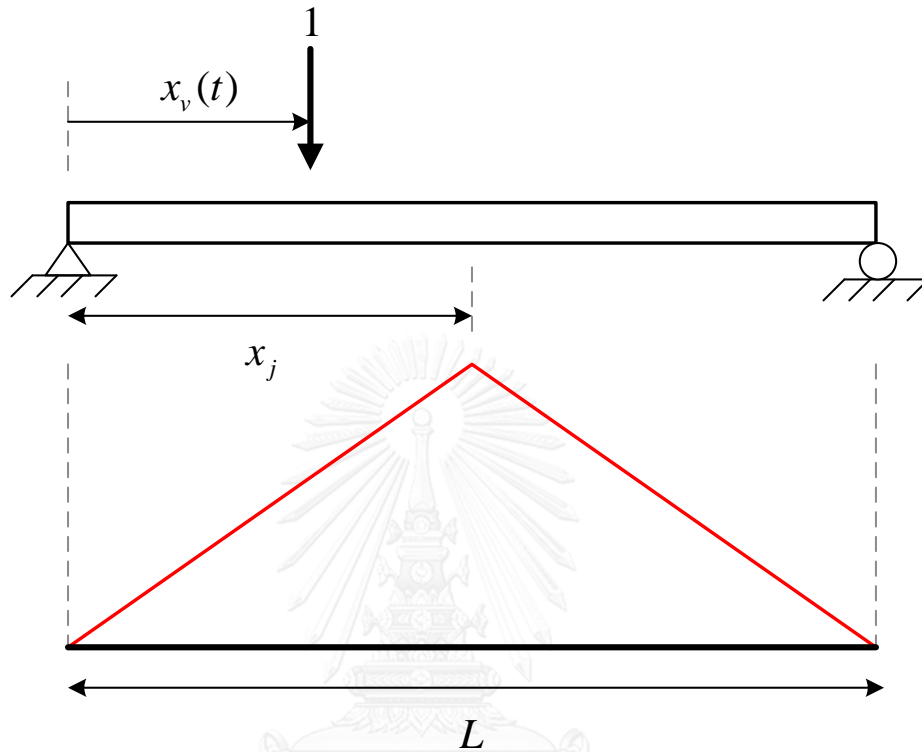
โดยที่

$IL_j(x)$ คือ เส้นอิทธิพลของโมเมนต์ตัดเชิงสถิตของหน้าตัดที่ตำแหน่ง j เนื่องจากน้ำหนักเพลารถบรรทุกที่ตำแหน่ง x ใดๆ

L คือ ความยาวของสะพาน

x_j คือ ระยะของหน้าตัดที่ตำแหน่ง

x_v คือ ระยะของตำแหน่งเพลารถ สำหรับรถบรรทุกสี่ล้อประกอบด้วย x_f, x_m, x_r ตามลำดับ



รูปที่ 2.5 เส้นอิทธิพลของโมเมนต์คัตที่หน้าคัต

2.2.2 เส้นอิทธิพลจากการตรวจวัดโดยตรง (Influence line from direct measurements)

ในงานวิจัยนี้เส้นอิทธิพลของโมเมนต์คัตที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้หลักการตรวจวัดโดยตรง (influence line from direct measurements) โดยที่เส้นอิทธิพลของโมเมนต์คัตสามารถเขียนในฟังก์ชันความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อโครงสร้างกับผลการตอบสนองของสะพานในรูปความเครียดที่ตำแหน่งที่ทำการพิจารณาได้ดังสมการที่ (2.6)

$$[W]_{(K-C_r) \times (K-C_r)} \times \{IL\}_{(K-C_r)} = \{\varepsilon_j\}_{(K-C_r)} \quad (2.6)$$

โดยที่

$\{IL\}$ คือ เวกเตอร์เส้นอิทธิพล

$[W]$ คือ เมทริกซ์ของแรงที่กระทำ ซึ่งในที่นี้คือน้ำหนักเพลาจากรถบรรทุก

- $\{\varepsilon_j\}$ คือ เวกเตอร์ผลตอบสนองของโครงสร้างสะพาน
- K คือ ขนาดของผลการตอบสนองของโครงสร้างสะพานในช่วงที่ถูกแรงกระทำ
- C_r คือ ขนาดข้อมูลของเพลารวมถึงเพลาสสุดท้าย
- r คือ จำนวนเพลารวม

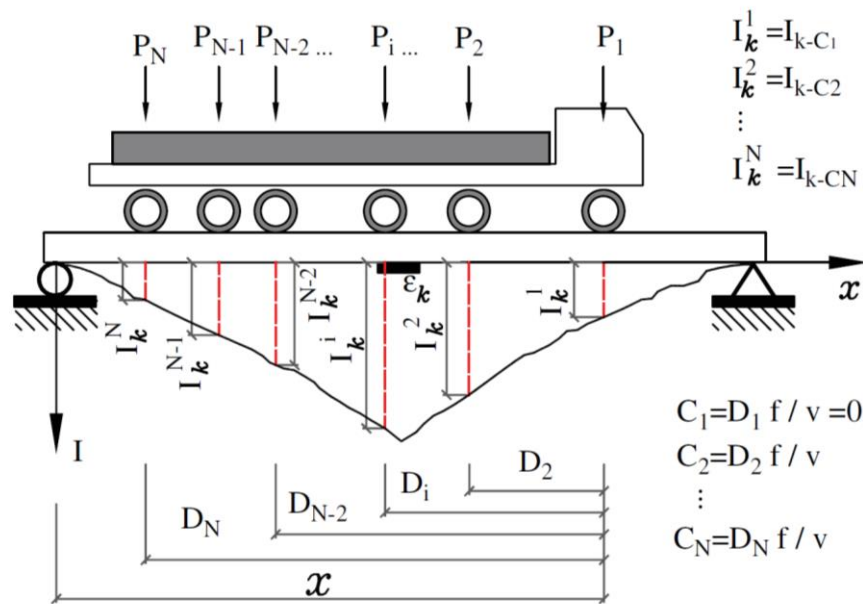
เพราะฉะนั้นหากทำการทดสอบโดยการนำรถบรรทุกที่ทราบค่าน้ำหนักในแต่ละเพลาคเลื่อนที่ไปบนสะพานที่ทดสอบ แล้วทำการวัดค่าการตอบสนองของความเครียดของสะพานที่ตำแหน่งท้องถิ่น ก็สามารถที่จะพิจารณาหาเส้นอิทธิพลของโมเมนต์ตัดจากแรงกระทำของรถบรรทุกได้ดังสมการที่ (2.7)

$$\{IL\}_{(K-C_r)} = [W]_{(K-C_r) \times (K-C_r)}^{-1} \times \{\varepsilon_j\}_{(K-C_r)} \quad (2.7)$$

ซึ่งเส้นอิทธิพลของโมเมนต์ตัดที่พิจารณาได้นี้จะใช้เป็นเส้นอิทธิพลเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าโมเมนต์ตัดในสมการที่ (2.3) เพื่อนำไปหาค่าน้ำหนักรถบรรทุกอื่นๆ ที่ไม่ทราบค่าต่อไป

2.2.2.1 การสร้างเส้นอิทธิพลจากการทดสอบ (Influence Ordinates) (Hua Zhao and Nasim Uddin,2010),(O'Brien, Quilligan and Karoumi,2014)

เส้นอิทธิพล (Influence line, IL) สร้างขึ้นจากการเปรียบเทียบรถบรรทุกที่ทราบค่าน้ำหนักแต่ละเพลารวมบนสะพาน และเก็บข้อมูลค่าความเครียด (strain) จากการทดสอบในสนาม การเปรียบเทียบรถบรรทุก ด้วยรถบรรทุกที่ทราบค่าน้ำหนักแต่ละเพลารวม, $(P_1, P_2, P_3, \dots, P_N)$ วิ่งผ่านบนสะพานทดสอบในแต่ละช่วงเวลา k จะได้ผลตอบสนองของแรง (Load effect) ตามหลักทฤษฎีที่ได้จากการเปรียบเทียบรถบรรทุกดังนี้



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างพิกัดเส้นอิทธิพลของรถบรรทุก N เพลลาที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ที่ช่วงเวลา k

$$M_k^T = \sum_{i=1}^g M_k^i = \sum_{i=1}^g E_i Z_i \varepsilon_{ik}^T = \sum_{i=1}^g B_i \varepsilon_{ik}^T$$

$$M_k^T = \sum_{i=1}^N P_i \{IL\}_{(k-C_i)} \tag{2.8}$$

โดยที่

- B_i คือ คุณสมบัติของสะพานทดสอบ มีค่าเท่ากับ $E_i Z_i (i = 1, \dots, g)$ โดยที่ E_i และ Z_i คือ Young's modulus และ section modulus ของแต่ละคานสะพาน
- N คือ จำนวนเพลลา
- $\{IL\}_{(k-C_i)}$ คือ พิกัดเส้นอิทธิพล (Influence Ordinate) ของเพลลาดำแหน่งที่ i ที่ช่วงเวลา k
- C_i คือ จำนวนข้อมูลขึ้นกับค่า D_i , (D_i คือ ระยะระหว่างเพลลาแรกถึงเพลลาที่ i), ($C_1 = 0$)

$$C_i = \frac{D_i f}{v} \tag{2.9}$$

โดยที่

- f คือ ความถี่ข้อมูลของระบบที่ได้มา
 ν คือ ความเร็วรถบรรทุก โดยมีสมมติฐานว่าความเร็วรถมีค่าคงที่

ผลตอบสนองของสะพานตามทฤษฎี (ความเครียดตามทฤษฎี, ε_k^T) จากการเปรียบเทียบรถบรรทุกแต่ละช่วงเวลา k โดยมีสมมติฐานว่าค่า EZ มีค่าเท่ากันในแต่ละคานสะพาน (girder)

$$M_k^T = EZ\varepsilon_k^T = \sum_{i=1}^N P_i \{IL\}_{(k-C_i)} \quad (2.10)$$

โดยที่

- E คือ โมดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity)
 Z คือ โมดูลัสหน้าตัด (section modulus)

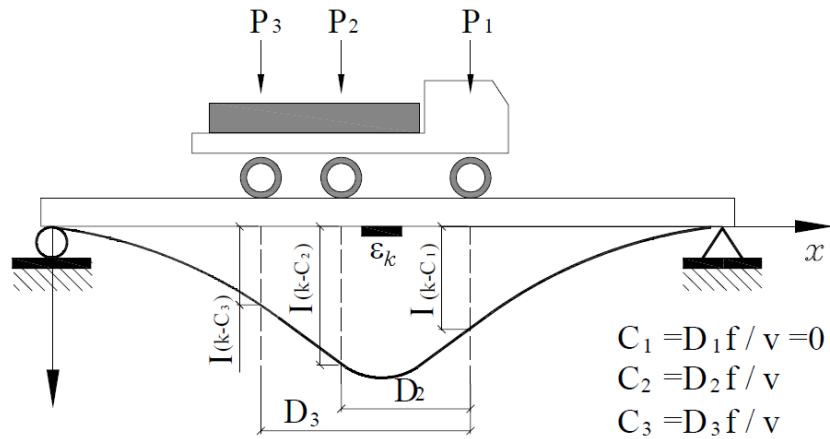
$$\varepsilon_k^T = \frac{1}{EZ} \sum_{i=1}^N P_i \{IL\}_{(k-C_i)} \quad (2.11)$$

อ้างอิงถึงวิธีผลต่างกำลังสองน้อยสุด (least square method) ความผิดพลาดของฟังก์ชัน (error function) ระหว่างผลตอบสนองสะพานจากการวัดกับผลตอบสนองสะพานจากทฤษฎีสามารถหาได้จาก

$$E = \sum_{k=1}^K (\varepsilon_k^M - \varepsilon_k^T)^2 \quad (2.12)$$

โดยที่

- K คือ จำนวนข้อมูลความเครียด
 ε_k^M คือ ผลตอบสนองของสะพานจากการวัด แต่ละช่วงเวลา k



รูปที่ 2.7 อธิบายรายละเอียดด้วยรถบรรทุก 3 เพลา

ในกรณีรถบรรทุก 3 เพลา ผลตอบสนองของสะพานตามทฤษฎี (strain) แต่ละช่วงเวลา k สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\varepsilon_k^T = \frac{1}{EZ} \left[\left(P_1 I_{(k-C_1)} + P_2 I_{(k-C_2)} + P_3 I_{(k-C_3)} \right) \right] \quad (2.13)$$

$$k = 1, \dots, K$$

จากข้อมูลความเครียดทั้งหมด K ข้อมูล ฟังก์ชันความผิดพลาดสามารถเขียนได้ดังนี้

$$E = (\varepsilon_1^M - \varepsilon_1^T)^2 + \dots + (\varepsilon_R^M - \varepsilon_R^T)^2 + \dots + (\varepsilon_{R+C_2}^M - \varepsilon_{R+C_2}^T)^2 + \dots + (\varepsilon_{R+C_3}^M - \varepsilon_{R+C_3}^T)^2 + \dots + (\varepsilon_K^M - \varepsilon_K^T)^2 \quad (2.14)$$

จากฟังก์ชันความผิดพลาดดังสมการ (2.14) สมการมีความสัมพันธ์กับ IL_R ($R=1, \dots, K-C_3$) จะใช้แคลคูลัสเชิงอนุพันธ์ (Differential calculus) ในการหาค่า E ที่เหมาะสมกับชุดของพิกัดเส้นอิทธิพล (influence ordinates, IL_R) ค่าน้อยสุดของ E หาได้จากอนุพันธ์ย่อย (Partial derivatives) มีค่าเท่ากับศูนย์

$$\frac{\partial E}{\partial IL_R} = 0 \quad ; \quad (R=1, \dots, K-C_3) \quad (2.15)$$

สำหรับรถบรรทุก 3 เพลา ค่าอนุพันธ์ย่อยของ E ที่เหมาะสมสำหรับพิกัดเส้นอิทธิพลที่ตำแหน่ง R สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial IL_R} = & 2 \left[\varepsilon_R^M - (P_1 IL_R + P_2 IL_{R-C_2} + P_3 IL_{R-C_3}) \right] (-P_1) + \\ & 2 \left[\varepsilon_{R+C_2}^M - (P_1 IL_{R+C_2} + P_2 IL_R + P_3 IL_{R(C_3-C_2)}) \right] (-P_2) + \\ & 2 \left[\varepsilon_{R+C_3}^M - (P_1 IL_{R+C_3} + P_2 IL_{R+(C_3-C_2)} + P_3 IL_R) \right] (-P_3) \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$\text{เมื่อ } C_3 < R < (K - C_3)$$

รวมผลทั้งหมด $K - C_3$ สมการ จากช่วงเวลา $R=1, \dots, K - C_3$ สามารถเขียนสมการในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$[W]_{(K-C_3) \times (K-C_3)} \times \{IL\}_{(K-C_3) \times 1} = \{\varepsilon\}_{(K-C_3) \times 1} \quad (2.17)$$

โดยที่

$[W]$ คือ เมทริกซ์สมมาตรที่มีเลขศูนย์จำนวนมาก ที่ขึ้นกับค่าน้ำหนักเพลา รถบรรทุก

$\{IL\}$ คือ เวกเตอร์พิกัดเส้นอิทธิพล

$\{\varepsilon\}$ คือ เวกเตอร์ที่ขึ้นกับน้ำหนักแต่ละเพลา รถบรรทุก วัดจากผลตอบสนองของแรง, strain

$$[W]_{(K-C_3) \times (K-C_3)} = \begin{bmatrix} \Sigma P_1^2 & 0 & 0 & \dots & P_1 P_1 & 0 & \dots & P_1 P_2 & 0 & \dots & P_1 P_1 & 0 & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \Sigma P_1^2 & 0 & 0 & \dots & P_2 P_1 & 0 & \dots & P_2 P_2 & 0 & \dots & P_2 P_1 & 0 & \dots & \dots & \dots \\ P_1 P_2 & 0 & \dots & \Sigma P_1^2 & 0 & 0 & \dots & P_2 P_1 & 0 & \dots & P_2 P_2 & 0 & \dots & P_2 P_1 & 0 & \dots \\ \dots & P_1 P_2 & 0 & \dots & \Sigma P_1^2 & 0 & 0 & \dots & P_2 P_1 & 0 & \dots & P_2 P_2 & 0 & \dots & P_2 P_1 & 0 & \dots \\ P_2 P_3 & 0 & \dots & P_2 P_2 & 0 & \dots & \Sigma P_1^2 & 0 & 0 & \dots & P_2 P_1 & 0 & \dots & P_2 P_2 & 0 & \dots & P_2 P_1 & 0 \\ \dots & P_2 P_3 & 0 & \dots & P_2 P_2 & 0 & \dots & \Sigma P_1^2 & 0 & 0 & \dots & P_2 P_1 & 0 & \dots & P_2 P_2 & 0 & \dots & P_2 P_1 \\ P_2 P_3 & 0 & \dots & P_2 P_3 & 0 & \dots & P_2 P_2 & 0 & \dots & \Sigma P_1^2 & 0 & 0 & \dots & P_2 P_1 & 0 & \dots & P_2 P_2 & 0 \\ P_2 P_3 & 0 & \dots & P_2 P_3 & 0 & \dots & P_2 P_2 & 0 & \dots & \Sigma P_1^2 & 0 & 0 & \dots & P_2 P_1 & 0 & \dots & P_2 P_2 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & P_1 P_3 & 0 & \dots & P_2 P_3 & 0 & \dots & P_1 P_2 & 0 & \dots & \Sigma P_1^2 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & P_1 P_3 & 0 & \dots & P_2 P_3 & 0 & \dots & P_1 P_2 & 0 & \dots & \Sigma P_1^2 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & P_1 P_3 & 0 & \dots & P_2 P_3 & 0 & \dots & P_1 P_2 & 0 & \dots & \Sigma P_1^2 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & P_1 P_3 & 0 & \dots & P_2 P_3 & 0 & \dots & P_1 P_2 & 0 & \dots & \Sigma P_1^2 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

จากเมทริกซ์ $[W]$ จะเห็นได้ว่าเส้นทแยงมุมหลักมีค่าเท่ากับผลรวมกำลังสองของน้ำหนักเพลลา สำหรับการปรับเทียบบรรทัดทุก 3 เพลลา เส้นทแยงมุมหลักมีค่าเท่ากับ

$$W_{i,i} = \sum_{i=1}^3 P_i^2 = P_1^2 + P_2^2 + P_3^2 \quad i=1, \dots, K-C_3 \quad (2.19)$$

เมทริกซ์สามเหลี่ยมบน คือ

$$W_{i,i+(C_3-C_2)} = P_2 P_3 \quad ; \quad i+(C_3-C_2) \leq K-C_3$$

$$W_{i,i+(C_2-C_1)} = P_1 P_2 \quad ; \quad i+C_2 \leq K-C_3$$

$$W_{i,i+(C_3-C_1)} = P_1 P_3 \quad ; \quad i+C_3 \leq K-C_3$$

และตำแหน่งอื่นในเมทริกซ์มีค่าเป็นศูนย์

$$\{\mathcal{E}\}_{(K-C_3) \times 1} = EZ \begin{Bmatrix} P_1 \mathcal{E}_1^M + P_2 \mathcal{E}_{1+C_2}^M + P_3 \mathcal{E}_{1+C_3}^M \\ P_1 \mathcal{E}_2^M + P_2 \mathcal{E}_{2+C_2}^M + P_3 \mathcal{E}_{2+C_3}^M \\ P_1 \mathcal{E}_3^M + P_2 \mathcal{E}_{3+C_2}^M + P_3 \mathcal{E}_{3+C_3}^M \end{Bmatrix} \quad (2.20)$$

พิกัดเส้นอิทธิพล สามารถคำนวณได้จากการปรับเทียบบรรทัดที่วิ่งผ่านสะพาน

$$\{IL\}_{(K-C_3) \times 1} = [W]_{(K-C_3) \times (K-C_3)}^{-1} \times \{\mathcal{E}\}_{(K-C_3) \times 1} \quad (2.21)$$

สมการข้างต้นเป็นสมการสำหรับบรรทัดทุก 3 เพลลา สำหรับบรรทัดที่มีจำนวนเพลลาต่างออกไป สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$[W]_{(K-C_N) \times (K-C_N)} \times \{IL\}_{(K-C_N) \times 1} = \{\mathcal{E}\}_{(K-C_N) \times 1} \quad (2.22)$$

$$\{IL\}_{(K-C_N) \times 1} = [W]_{(K-C_N) \times (K-C_N)}^{-1} \times \{\mathcal{E}\}_{(K-C_N) \times 1} \quad (2.23)$$

โดยที่ $\{\varepsilon\}$ ในสมการ (2.23) มีค่าเวกเตอร์ความเครียดที่ตำแหน่งแถว R มีค่าเท่ากับ

$$\varepsilon_R = EZ(P_1\varepsilon_R^M + P_2\varepsilon_{R+C_2}^M + P_3\varepsilon_{R+C_3}^M + \dots + P_N\varepsilon_{R+C_N}^M); R = 1, \dots, K - C_3 \quad (2.24)$$

2.3 การพิจารณาน้ำหนักของรถบรรทุกด้วยเส้นอิทธิพล

2.3.1 การหาค่าผลตอบสนองของสะพานจากการวัดและจากทฤษฎี

วิธีการหาน้ำหนักทางสถิติของรถบรรทุก (P_1, P_2, \dots, P_N) ด้วยวิธีการของเส้นอิทธิพล จะทำการพิจารณาจากฟังก์ชันจุดประสงค์ (objective function) โดยการพิจารณาการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชัน หรือวิธีการหาค่าเหมาะสม (optimization) ของฟังก์ชันจุดประสงค์นั่นเอง ซึ่งฟังก์ชันจุดประสงค์จะเป็นฟังก์ชันของค่าผลตอบสนองของสะพานที่วัดได้กับค่าผลตอบสนองของสะพานที่ได้จากการคำนวณ โดยที่เวกเตอร์ของผลตอบสนองของสะพานที่วัดได้ คือ

$$\begin{aligned} M_k^M &= \sum_{i=1}^g M_k^i = \sum_{i=1}^g B_i \varepsilon_{ik}^M \\ &= B_1 \varepsilon_{1k}^M + B_2 \varepsilon_{2k}^M + \dots + B_g \varepsilon_{gk}^M \end{aligned} \quad (2.25)$$

โดยที่

M_k^M คือ ค่าโมเมนต์ตัดรวมที่ได้จากการวัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงสะพานทดสอบ

M_k^i คือ ค่าโมเมนต์ตัดที่ได้จากการวัดของคานสะพานที่ i

B_i คือ คุณสมบัติของสะพานทดสอบ มีค่าเท่ากับ $E_i Z_i (i = 1, \dots, g)$ โดยที่ E_i และ Z_i คือ Young's modulus และ section modulus ของแต่ละคานสะพาน

ε_k^M คือ ผลรวมของค่าความเครียดที่ได้จากการวัดของทุกคานสะพานทดสอบที่ช่วงเวลา k

จากรูปที่ 2.6 สามารถเขียนค่าประมาณโมเมนต์ตัดได้ดังนี้

$$\begin{aligned} M_k^T &= EZ \sum_{i=1}^g \varepsilon_{ik}^T = EZ \varepsilon_k^T \\ &= P_1 I_k + P_2 I_{(k-C_2)} + \dots + P_3 I_{(k-C_N)} \end{aligned}$$

$$= P_1 I_k^1 + P_2 I_k^2 + \dots + P_N I_k^N \quad (2.26)$$

จะสามารถหาผลตอบสนองของสะพานตามทฤษฎีได้ดังนี้

$$\varepsilon_k^T = (P_1 I_k^1 + P_2 I_k^2 + \dots + P_N I_k^N) \quad (2.27)$$

$$\{\varepsilon_k^T\}_{K \times 1} = [IL]_{K \times N} \{P\}_{N \times 1} \quad (2.28)$$

โดยที่

M_k^T คือ ค่าประมาณโมเมนต์ดัดที่ตำแหน่งที่ติดตั้งเซนเซอร์ตรวจวัด

I_k^i คือ พิกัดเส้นอิทธิพลของโมเมนต์ดัดสำหรับเพลลา i ที่ช่วงเวลา k

ε_k^T คือ ค่าผลตอบสนองของสะพานตามทฤษฎี

$[IL]$ คือ เมทริกซ์ของพิกัดเส้นอิทธิพล

$\{P\}$ คือ เวกเตอร์ของน้ำหนักเพลลา

จากสมการ (2.28) สำหรับช่วงเวลา $k = 1, \dots, K$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1^T \\ \varepsilon_2^T \\ \varepsilon_3^T \\ \vdots \\ \varepsilon_K^T \end{Bmatrix}_{K \times 1} = \begin{bmatrix} I_1^1 & I_1^2 & \dots & \dots & I_1^N \\ I_2^1 & I_2^2 & \dots & \dots & I_2^N \\ I_3^1 & I_3^2 & \dots & \dots & I_3^N \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & & \vdots \\ I_K^1 & I_K^2 & & & I_K^N \end{bmatrix}_{K \times N} \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_N \end{Bmatrix}_{N \times 1} \quad (2.29)$$

ให้ฟังก์ชันความผิดพลาด E คือผลต่างกำลังสองระหว่างค่าความเครียดตามทฤษฎีและค่าความเครียดที่ได้จากการวัด จะทำการพิจารณาจากฟังก์ชันความผิดพลาด โดยการพิจารณาการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชัน

$$E = \sum_{k=1}^K (\varepsilon_k^T - \varepsilon_k^M)^2 \quad (2.30)$$

ฟังก์ชันความผิดพลาดสามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$E = \left\{ \left\{ \varepsilon^M \right\} - \left\{ \varepsilon^T \right\} \right\}^T \left\{ \left\{ \varepsilon^M \right\} - \left\{ \varepsilon^T \right\} \right\} \quad (2.31)$$

เมื่อผลการวัดมีความผิดพลาด (error) เราจะสามารถหาคำตอบได้ โดยใช้วิธีผลต่างกำลังสองน้อยสุด (least squares)

2.3.2 การประมาณค่าน้ำหนักเพลลาของรถบรรทุกโดยใช้วิธีผลต่างกำลังสองน้อยสุด (Least Squares) และ เมทริกซ์ผกผันเทียม (Pseudo inverse matrix)

สามารถหาคำตอบสมการ (2.30) ได้ดังนี้

$$\left\| \varepsilon_k^T - \varepsilon_k^M \right\|^2 = \left\| AP - \varepsilon_k^M \right\|^2 = 0 \quad (2.32)$$

โดยที่

A คือ พิกัดเส้นอิทธิพล

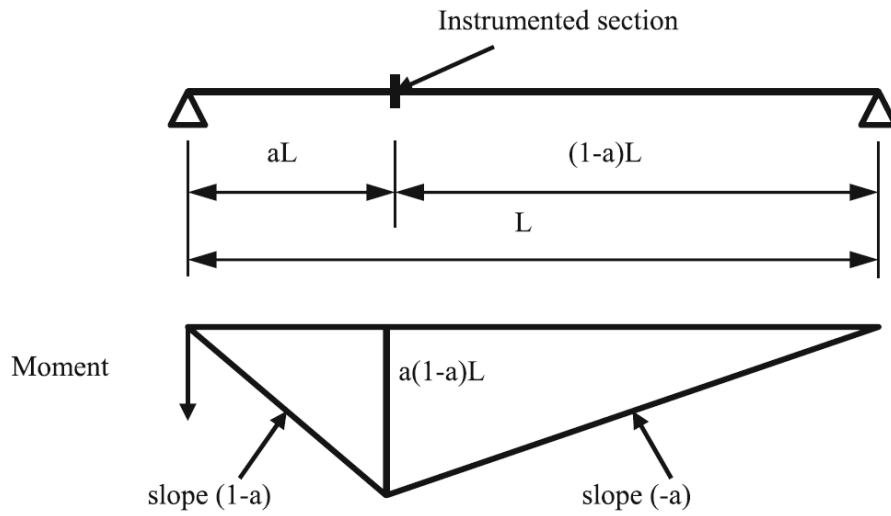
P คือ น้ำหนักเพลลาบรรทุก

$$\begin{aligned} \{P\} &= [A^\dagger] \{\varepsilon_k^M\} = \left[(A^T A)^{-1} A^T \right] \{\varepsilon_k^M\} \\ \{P\} &= \left[[IL]^T [IL] \right]^{-1} [IL]^T \{\varepsilon^M\} \end{aligned} \quad (2.33)$$

เมื่อรวมผลของน้ำหนักเพลลาทั้งหมดจะได้ค่าน้ำหนักบรรทุกรวม

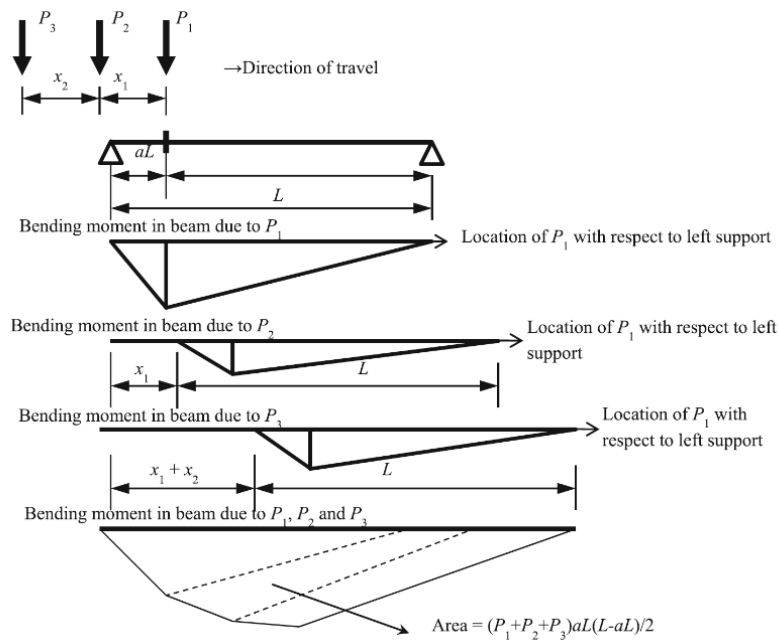
2.4 วิธีเบต้า (Beta method)

การพิจารณาค่าน้ำหนักวิธีนี้ถูกเสนอโดย Ojio and Yamada (2002) มีสมมติฐานว่าสะพานเป็น simply support beam และมีเส้นอิทธิพลเป็นรูปสามเหลี่ยม สามารถอธิบายได้ตามรูป



รูปที่ 2.8 เส้นอิทธิพลของโมเมนต์ตัดที่ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์

$$\begin{aligned}
 \text{Area under IL} = \text{Area}_{IL} &= \frac{1}{2}(a)(1-a)L \times aL + \frac{1}{2}(a)(1-a)L \times (1-a)L \\
 &= \frac{1}{2}a^2L^2(1-a) + \frac{1}{2}a(1-a)^2L^2 \\
 &= \frac{1}{2}aL^2(1-a)
 \end{aligned}$$



รูปที่ 2.9 แผนภาพโมเมนต์ตัดเนื่องจากรถบรรทุก 3 เพลาริ่งผ่านสะพาน

เส้นอิทธิพลสำหรับแต่ละแรง P เป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีโมเมนต์สูงสุดเท่ากับ $PaL(L-aL)/L$ เมื่อ P คือน้ำหนักของเพลลา , aL คือระยะของตำแหน่งอ้างอิงจากจุดรองรับฝั่งซ้าย , L คือความยาวสะพานที่พิจารณา

เส้นอิทธิพลโมเมนต์ตัดเนื่องจากแรง P_2 และ P_3 จะออฟเซต (offset) จากจุดรองรับฝั่งซ้ายมาเท่ากับ x_1 และ $(x_1 + x_2)$ ตามลำดับ โดยยังคงมีความยาว L เท่าเดิม และสามารถหาพื้นที่ใต้กราฟเส้นอิทธิพลโมเมนต์ตัดเนื่องจากแรง 3 แรงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Area = (P_1 + P_2 + P_3) \frac{aL(L-aL)}{2} = GVW \frac{aL(L-aL)}{2} \quad (2.34)$$

พื้นที่ใต้กราฟสามารถหาได้จากการอินทิเกรต (numerical integration) และสามารถหา GVW ได้จากสมการ

$$GVW = \frac{2A_{moment}}{aL(L-aL)} \quad (2.35)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับความเครียด มีค่าเท่ากับ

$$\varepsilon = \frac{M}{IE} \quad y = CM \quad (2.36)$$

ถ้าใช้พื้นที่ความเครียดแทนพื้นที่โมเมนต์ตัดได้ สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$GVW = C \frac{2A_{strain}}{aL(L-aL)} \quad (2.37)$$

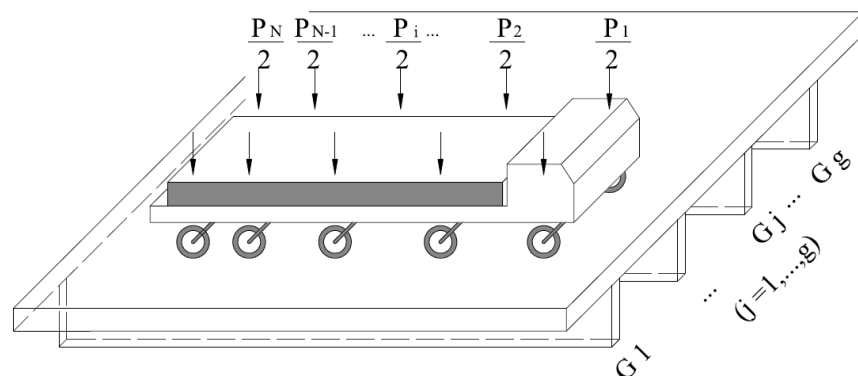
จากการทดสอบ ค่าความเครียดจะบันทึกในรูปของเวลา จะต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของระยะทาง สามารถทำได้โดยคูณด้วยความเร็วรถบรรทุก สามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$GVW = C_v \frac{2A_{strain}}{aL(L-aL)} = \beta A \quad (2.38)$$

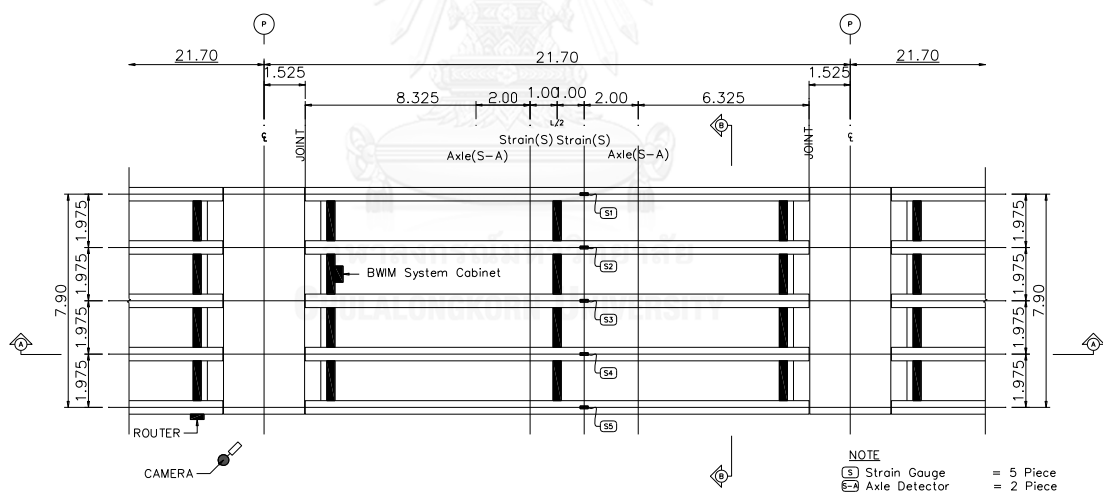
$$\beta = \frac{GVW}{A_{strain}} \quad (2.39)$$

2.5 ตัวคูณปรับแก้การกระจายน้ำหนักตามขวาง (Transverse Load Distribution Factor)

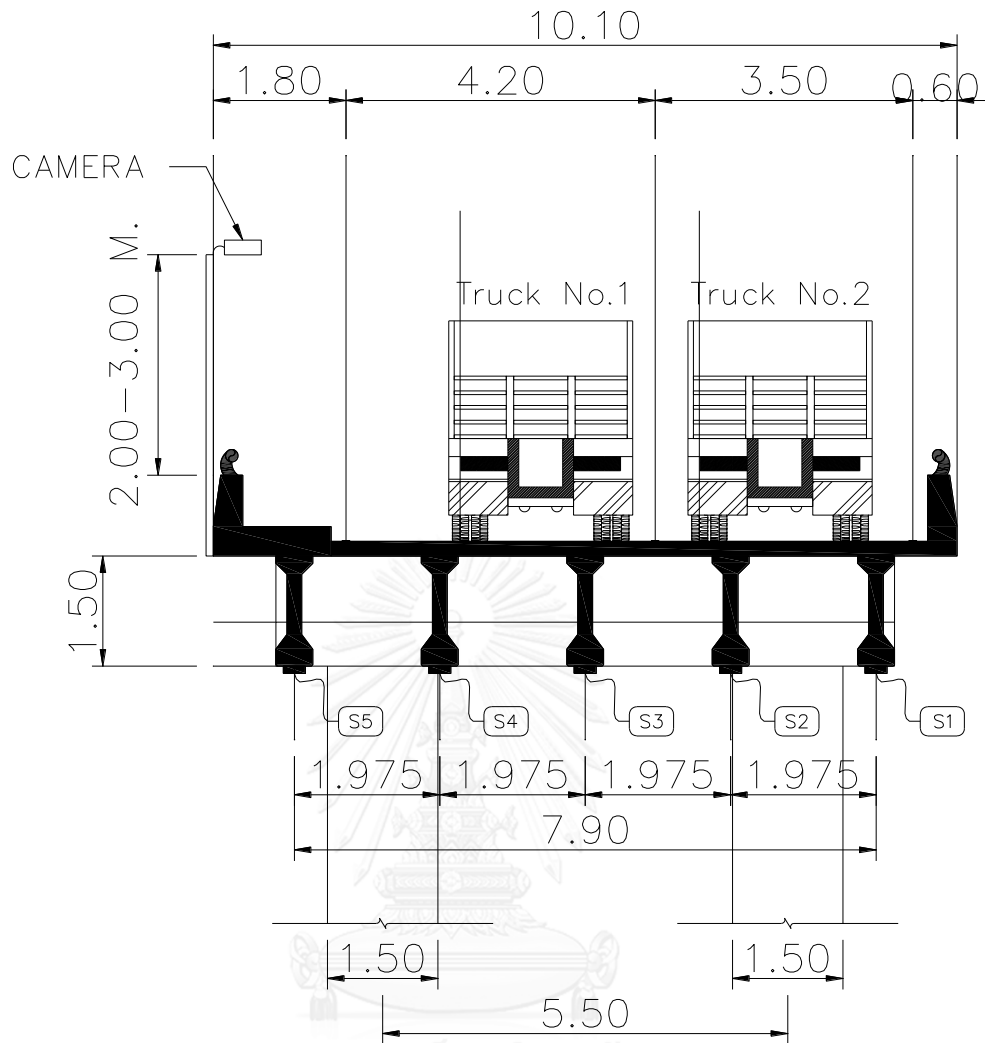
รูปที่ 2.10 แสดงรถบรรทุกทดสอบเทียบวิ่งผ่านสะพานทดสอบ เพื่อสร้างโครงสร้างสะพานเลียนแบบ เพื่อนำมาพิจารณาการกระจายน้ำหนักตามแนวขวางในแต่ละคานสะพาน (I-girder) โดยใช้ค่าสัญญาณความเครียดจริงที่วัดได้ตามการกระจายน้ำหนักในแต่ละคานสะพาน



รูปที่ 2.10 รถบรรทุกทดสอบเทียบขณะวิ่งผ่านสะพานทดสอบ



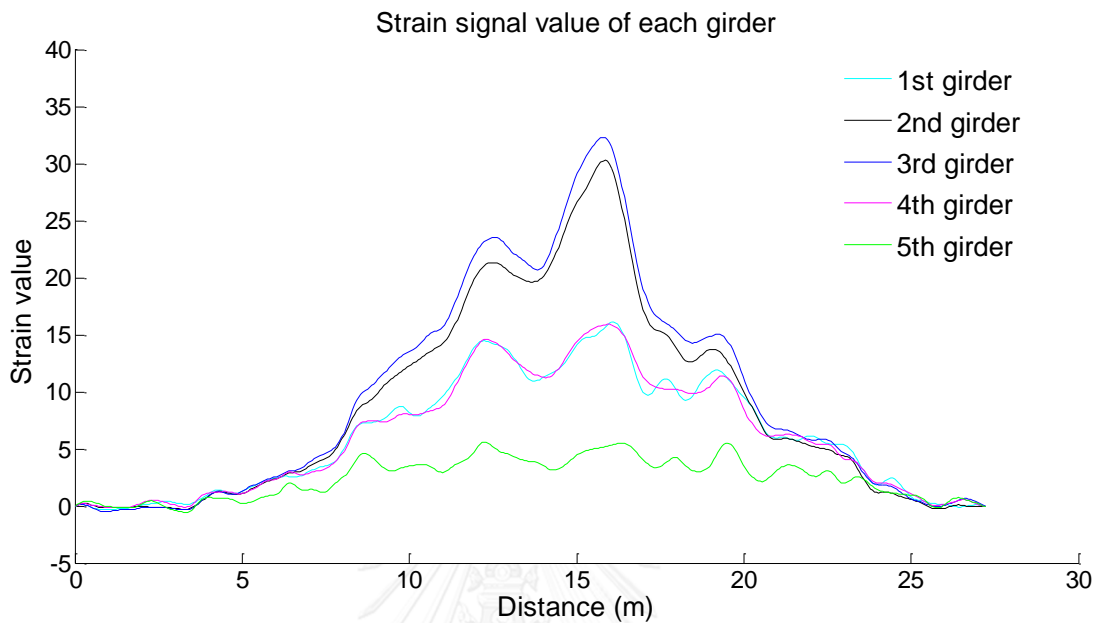
รูปที่ 2.11 ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด



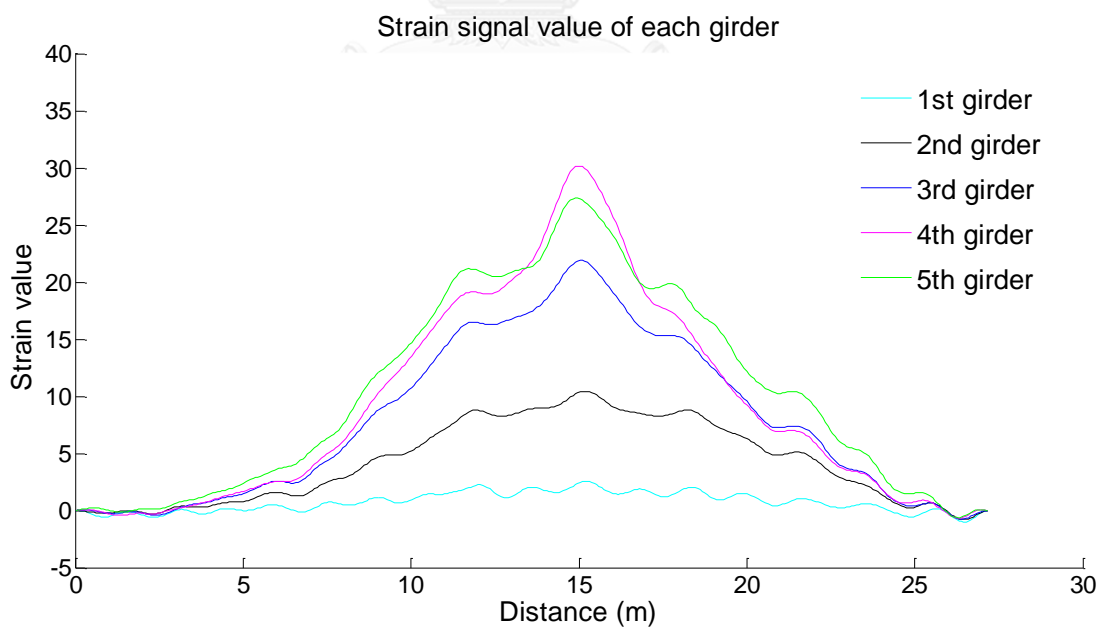
รูปที่ 2.12 ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด

การวัดค่าสัญญาณความเครียด (Strain Signal) โดยใช้อุปกรณ์มาตรวัดความเครียดในงานวิจัยนี้ สามารถบันทึกข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องในขณะที่รถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบ ตั้งแต่เพลารแรกของรถบรรทุกวิ่งเข้าสะพานจนถึงเพลาสุดท้ายวิ่งออกจากสะพานทดสอบ ซึ่งจะมีข้อมูลทั้งหมด K ข้อมูล (จากข้อมูลที่ตำแหน่งเวลาที่ 1 ถึง K) ข้อมูลสัญญาณความเครียดที่วัดได้ในแต่ละตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด สามารถแสดงเป็นกราฟสัญญาณความเครียดในแต่ละคานสะพานและนำมาคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียดได้ เช่น พื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณความเครียดที่ตำแหน่งคานสะพาน j^{th} ที่เวลา k (ข้อมูลค่าสัญญาณความเครียดที่บันทึกได้คือ $\varepsilon_{j,k}$, $k = 1, \dots, K$) และพื้นที่ใต้กราฟของค่าสัญญาณความเครียดที่ตำแหน่งคานสะพานอื่น ๆ ที่ตำแหน่งเวลา k อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดบันทึกข้อมูล จำนวนคานสะพาน N คานสะพาน ได้

เป็น $\varepsilon_{1,k}, \varepsilon_{2,k}, \dots, \varepsilon_{j-1,k}, \varepsilon_{j+1,k}, \dots, \varepsilon_{g,k}$. โดยตัวอย่างของกราฟค่าสัญญาณความเครียดในแต่ละคานสะพาน ที่เวลา k สามารถแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างกราฟค่าสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกในช่องจราจรซ้าย



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างกราฟค่าสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกในช่องจราจรขวา

ค่าตัวคูณปรับแก้การกระจายน้ำหนักตามแนวขวางสำหรับตำแหน่งคานสะพานที่ j^{th} ของข้อมูลเวลา K สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.40)

$$Q_j = \frac{\text{Area}(\varepsilon_{j,k})}{\sum_{j=1}^N \text{Area}(\varepsilon_{j,k})} \quad (j=1, \dots, N) \quad (2.40)$$

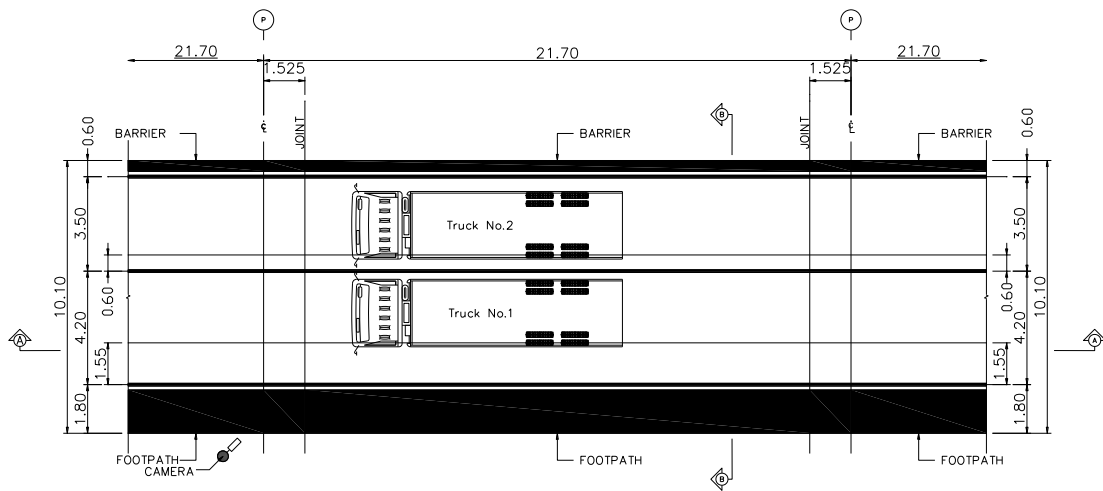
จากข้อมูลการบันทึกการวัดผลตอบสนองของสะพาน โดยใช้รถบรรทุกสอบเทียบวิ่งผ่าน สะพานทดสอบในช่องการจราจรซ้ายและขวา สมการที่ (2.40) สามารถใช้พื้นที่ใต้กราฟของค่า สัญญาณความเครียดในแต่ละคานสะพานในการคำนวณค่าตัวคูณปรับแก้การกระจายน้ำหนักตาม แนวขวาง Q_1, Q_2, \dots, Q_g สำหรับทุกคานสะพาน N

2.6 วิธีปรับปรุงวิธีเบต้า (Modified Beta Method)

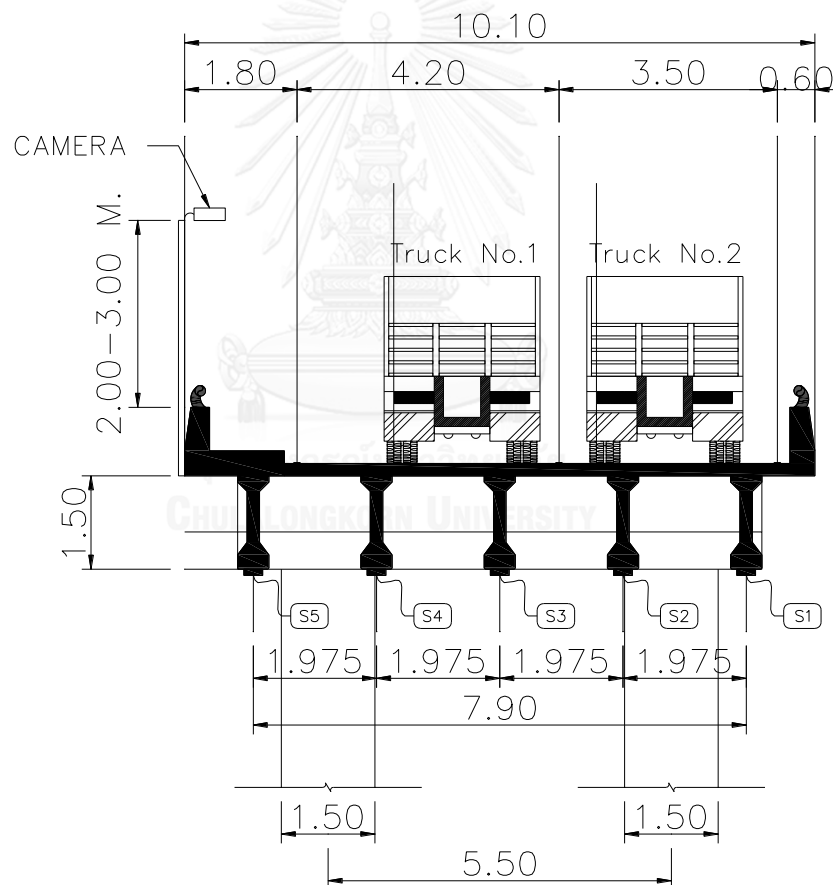
จากการศึกษาวิธีเบต้าในหัวข้อข้างต้นที่กล่าวมา ทำให้ทราบว่าวิธีเบต้าไม่สามารถนำมาใช้กับ กรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานคู่กัน (Multiple Presence) โดยตรงได้ เนื่องจากวิธีเบต้าใช้พื้นที่ใต้ กราฟรวมของโมเมนต์ในการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกรวม ซึ่งจะทำให้ยากในการที่จะหาน้ำหนัก ในแต่ละเพลลาของรถบรรทุกเดี่ยววิ่งผ่านสะพานและหาน้ำหนักรถบรรทุกในแต่ละคันเมื่อรถบรรทุกวิ่ง คู่กันบนสะพานทดสอบ จึงทำให้เป็นข้อจำกัดของวิธีเบต้า ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษารูปแบบวิธีเบ ต้าโดยการเพิ่มการพิจารณาผลกระทบของการกระจายน้ำหนักตามแนวขวางในแต่ละคานสะพานใน ขณะที่รถวิ่งผ่านสะพานทดสอบ

2.6.1 คำนิยามของปัญหากรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน (Multiple Presence Problem Events)

กรณีรถบรรทุกวิ่งคู่กันบนสะพานทดสอบ เป็นเหตุการณ์ที่เป็นปัญหาที่ทำให้ความถูกต้องของ การคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกลดลง โดยอ้างอิงจากอัลกอริธึมดั้งเดิม (Moses, 1979) และวิธีเบต้า ที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งทั้ง 2 วิธีข้างต้นใช้ผลรวมของค่าสัญญาณความเครียดเนื่องจากรถบรรทุกทุก คันที่วิ่งผ่านสะพานทดสอบ ในการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุก ซึ่งจะไม่เป็นปัญหาหากรถบรรทุกวิ่ง ตามกันบนช่องการจราจรเดียวกันบนสะพานทดสอบ แต่จะเป็นปัญหาเมื่อรถบรรทุก 2 คันวิ่งในช่อง จราจรข้าง ๆ กัน พร้อมกัน ดังรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 เหตุการณ์รถบรรทุก 2 คัน วิ่งคู่กันบนสะพานทดสอบ



รูปที่ 2.16 เหตุการณ์รถบรรทุก 2 คัน วิ่งคู่กันบนสะพานทดสอบ และตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์
ตรวจวัดความเครียด

2.6.2 สมการกรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน (Multiple Presence Equations)

สมการที่ใช้แก้ปัญหารถบรรทุกวิ่งคู่กันบนสะพานทดสอบ จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกแต่ละคันกับพื้นที่ใต้กราฟของค่าสัญญาณความเครียดในแต่ละคานสะพาน โดยพิจารณาร่วมกับการกระจายน้ำหนักตามแนวขวาง สามารถเขียนอยู่ในรูปแบบสมการทั่วไปได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Q_{Lane_1,j} w_{Lane_1} &= \beta_{Lane_1} v_{Lane_1} A_{\varepsilon_{Lane_1,j}} \\
 Q_{Lane_2,j} w_{Lane_2} &= \beta_{Lane_2} v_{Lane_2} A_{\varepsilon_{Lane_2,j}} \\
 &\vdots \\
 Q_{Lane_i,j} w_{Lane_i} &= \beta_{Lane_i} v_{Lane_i} A_{\varepsilon_{Lane_i,j}}
 \end{aligned} \tag{2.41}$$

เมื่อ

$Q_{Lane_i,j}$ คือตัวคูณปรับแก้การกระจายน้ำหนักตามแนวขวางของช่องจราจร i ที่ตำแหน่งคานสะพาน j โดยที่ $j = 1, 2, \dots, N$

w_{Lane_i} คือน้ำหนักบรรทุกของช่องจราจร i

β_{Lane_i} คือค่าคงที่จากวิธีเบต้าของช่องจราจร i

v_{Lane_i} คือความเร็วรถบรรทุกของช่องจราจร i

$A_{\varepsilon_{Lane_i,j}}$ คือพื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียดของช่องจราจร i ที่ตำแหน่งคานสะพาน j โดยที่ $j = 1, 2, \dots, N$

สามารถเขียนสมการพื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียดได้ดังนี้

$$A_{\varepsilon_j} = A_{\varepsilon_{Lane_1,j}} + A_{\varepsilon_{Lane_2,j}} + \dots + A_{\varepsilon_{Lane_i,j}} = \frac{Q_{Lane_1,j}}{\beta_{Lane_1} v_{Lane_1}} w_{Lane_1} + \frac{Q_{Lane_2,j}}{\beta_{Lane_2} v_{Lane_2}} w_{Lane_2} + \dots + \frac{Q_{Lane_i,j}}{\beta_{Lane_i} v_{Lane_i}} w_{Lane_i} \tag{2.42}$$

และสามารถเขียนสมการพื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียดเนื่องจาก N คานสะพาน ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 A_{\varepsilon_1} &= \frac{Q_{Lane_1,1}}{\beta_{Lane_1} v_{Lane_1}} w_{Lane_1} + \frac{Q_{Lane_2,1}}{\beta_{Lane_2} v_{Lane_2}} w_{Lane_2} + \cdots + \frac{Q_{Lane_i,1}}{\beta_{Lane_i} v_{Lane_i}} w_{Lane_i} \\
 A_{\varepsilon_2} &= \frac{Q_{Lane_1,2}}{\beta_{Lane_1} v_{Lane_1}} w_{Lane_1} + \frac{Q_{Lane_2,2}}{\beta_{Lane_2} v_{Lane_2}} w_{Lane_2} + \cdots + \frac{Q_{Lane_i,2}}{\beta_{Lane_i} v_{Lane_i}} w_{Lane_i} \\
 &\vdots \\
 A_{\varepsilon_j} &= \frac{Q_{Lane_1,j}}{\beta_{Lane_1} v_{Lane_1}} w_{Lane_1} + \frac{Q_{Lane_2,j}}{\beta_{Lane_2} v_{Lane_2}} w_{Lane_2} + \cdots + \frac{Q_{Lane_i,j}}{\beta_{Lane_i} v_{Lane_i}} w_{Lane_i} \quad (2.43)
 \end{aligned}$$

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการเมทริกซ์ทั่วไปได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} A_{\varepsilon_1} \\ A_{\varepsilon_2} \\ \vdots \\ A_{\varepsilon_g} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Q_{Lane_1,1}}{\beta_{Lane_1} v_{Lane_1}} & \frac{Q_{Lane_2,1}}{\beta_{Lane_2} v_{Lane_2}} & \cdots & \frac{Q_{Lane_i,1}}{\beta_{Lane_i} v_{Lane_i}} \\ \frac{Q_{Lane_1,2}}{\beta_{Lane_1} v_{Lane_1}} & \frac{Q_{Lane_2,2}}{\beta_{Lane_2} v_{Lane_2}} & \cdots & \frac{Q_{Lane_i,2}}{\beta_{Lane_i} v_{Lane_i}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{Q_{Lane_1,g}}{\beta_{Lane_1} v_{Lane_1}} & \frac{Q_{Lane_2,g}}{\beta_{Lane_2} v_{Lane_2}} & \cdots & \frac{Q_{Lane_i,g}}{\beta_{Lane_i} v_{Lane_i}} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} w_{Lane_1} \\ w_{Lane_2} \\ \vdots \\ w_{Lane_i} \end{Bmatrix} \quad (2.44)$$

รูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16 แสดงเหตุการณ์ที่รถบรรทุก 2 คันวิ่งผ่านสะพานทดสอบบนช่องจราจรข้างกัน พร้อมกัน ในการระบุน้ำหนักรถบรรทุกแต่ละคัน จะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกแต่ละคันกับพื้นที่ใต้กราฟของค่าสัญญาณความเครียดในแต่ละคานสะพาน โดยพิจารณาร่วมกับการกระจายน้ำหนักตามแนวขวาง สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Q_{L,j} w_L &= \beta_L v_L A_{\varepsilon_{L,j}} \\
 Q_{R,j} w_R &= \beta_R v_R A_{\varepsilon_{R,j}}
 \end{aligned} \quad (2.45)$$

เมื่อ

$Q_{L,i}$ คือตัวคูณประกอบปรับแก้ตามการกระจายน้ำหนักของช่องการจราจรซ้าย ในตำแหน่ง i

$Q_{R,i}$ คือตัวคูณประกอบปรับแก้ตามการกระจายน้ำหนักของช่องการจราจรขวา ในตำแหน่ง i

w_L คือน้ำหนักรถบรรทุกรวมในช่องการจราจรซ้าย

w_R คือน้ำหนักรถบรรทุกรวมในช่องการจราจรขวา

β_L คือค่าคงที่จากวิธีเบต้าของช่องการจราจรซ้าย

β_R คือค่าคงที่จากวิธีเบต้าของช่องการจราจรขวา

v_L คือความเร็วรถบรรทุกในช่องการจราจรซ้าย

v_R คือความเร็วรถบรรทุกในช่องการจราจรขวา

$A_{\varepsilon_{L,i}}$ คือพื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียดของช่องการจราจรซ้ายในตำแหน่งที่ i

$A_{\varepsilon_{R,i}}$ คือพื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียดของช่องการจราจรขวาในตำแหน่งที่ i

สามารถเขียนสมการพื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียดได้ดังนี้

$$A_{\varepsilon_j} = A_{\varepsilon_{L,j}} + A_{\varepsilon_{R,j}} = \frac{Q_{L,j}}{\beta_L v_L} w_L + \frac{Q_{R,j}}{\beta_R v_R} w_R \quad (2.46)$$

และสามารถเขียนสมการพื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียดเนื่องจาก g คานสะพาน ได้

ดังนี้

$$A_{\varepsilon_1} = \frac{Q_{L,1}}{\beta_L v_L} w_L + \frac{Q_{R,1}}{\beta_R v_R} w_R$$

$$A_{\varepsilon_2} = \frac{Q_{L,2}}{\beta_L v_L} w_L + \frac{Q_{R,2}}{\beta_R v_R} w_R$$

⋮

$$A_{\varepsilon_g} = \frac{Q_{L,g}}{\beta_L v_L} w_L + \frac{Q_{R,g}}{\beta_R v_R} w_R$$

สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{Bmatrix} A_{\varepsilon_1} \\ A_{\varepsilon_2} \\ \vdots \\ A_{\varepsilon_g} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Q_{L,1}}{\beta_L v_L} & \frac{Q_{R,1}}{\beta_R v_R} \\ \frac{Q_{L,2}}{\beta_L v_L} & \frac{Q_{R,2}}{\beta_R v_R} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{Q_{L,g}}{\beta_L v_L} & \frac{Q_{R,g}}{\beta_R v_R} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} w_L \\ w_R \end{Bmatrix} \quad (2.47)$$

2.6.3 วิธีผลต่างกำลังสองน้อยสุด (Least Squares) และ เมทริกซ์ผกผันเทียม (Pseudo Inverse Matrix)

ในการแก้ปัญหาสมการเชิงเส้นที่มีเงื่อนไขมากกว่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่า หรือ ที่เรียกว่า Over determined system วิธีการหนึ่งที่ยอมรับใช้ในการแก้ปัญหา เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของคำตอบของสมการ ก็คือการหาค่าผลต่างกำลังสองน้อยสุด (least square error) ซึ่งวิธีดังกล่าวนี้เป็นการพิจารณา คำตอบที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด ทำให้คำตอบที่ได้จากวิธีดังกล่าวเป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยวิธีการพิจารณาด้วยวิธี least square error นั้นสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

กำหนดให้สมการเชิงเส้นอยู่ในรูปแบบดังนี้

$$Ax = b \quad (2.48)$$

โดยที่ A คือ เมทริกซ์ขนาด $m \times n$ โดยมีจำนวนสมการมากกว่าจำนวนตัวแปรที่ต้องการทราบค่า ($m > n$)

ขนาดของ $\|Ax - b\|$ สามารถที่จะมองให้เหมือนกับขนาดของความผิดพลาด (error) ที่แสดงจากการพิจารณาค่า x เหมือนกับการประมาณค่าของระบบเชิงเส้น $Ax = b$ ถ้าระบบการวัดไม่มีความผิดพลาด (error) และ x เป็นคำตอบที่ถูกต้อง จะได้ค่า error เป็น 0

$$\|Ax - b\| = \|0\| = 0 \quad (2.49)$$

เมื่อผลการวัดมีความผิดพลาด (error) เราจะสามารถหาคำตอบได้ โดยใช้วิธีผลต่างกำลังสองน้อยสุด (least squares) แสดงได้ดังนี้

$$\|Ax - b\|^2 \quad (2.50)$$

และวิธีการหาคำตอบ ต้องทำให้เป็นระบบเมทริกซ์จัตุรัสขนาด $n \times n$ โดย

$$A^T A x = A^T b \quad (2.51)$$

เมื่อคอลัมน์ของเมทริกซ์ A เป็นอิสระเชิงเส้นกัน สามารถย้ายข้างและอินเวอร์ส (inverse) A และทำให้สามารถหาค่า x ที่เป็นคำตอบเดียวได้โดย

$$x = (A^T A)^{-1} A^T b \quad (2.52)$$

จากคุณสมบัติของเมทริกซ์ เมื่อ A เป็น full column rank นั่นคือ $\text{rank}(A) = m \geq n$ ทำให้ $A^T A$ ไม่ใช่เมทริกซ์เอกฐาน ดังนั้น A^\dagger เป็น left inverse ของ A นั่นก็คือ $A^\dagger A = I_n$ โดยสามารถแสดงรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$A^\dagger = (A^T A)^{-1} A^T \quad (2.53)$$

เพราะฉะนั้นสามารถเขียนสมการหาค่าน้ำหนักบรรทุกในสมการที่ (2.47) ได้ว่า

$$\begin{Bmatrix} w_L \\ w_R \end{Bmatrix} = \left(\begin{bmatrix} \vdots & \vdots \\ \frac{Q_{L,j}}{\beta_L v_L} & \frac{Q_{R,j}}{\beta_R v_R} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \vdots & \vdots \\ \frac{Q_{L,j}}{\beta_L v_L} & \frac{Q_{R,j}}{\beta_R v_R} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix} \right)^{-1} \times \begin{bmatrix} \vdots & \vdots \\ \frac{Q_{L,j}}{\beta_L v_L} & \frac{Q_{R,j}}{\beta_R v_R} \\ \vdots & \vdots \end{bmatrix}^T \times \begin{Bmatrix} A_{\varepsilon_1} \\ A_{\varepsilon_2} \\ \vdots \\ A_{\varepsilon_s} \end{Bmatrix} \quad (2.54)$$

บทที่ 3

การทดสอบภาคสนาม

จากการวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการพิจารณาค่าน้ำหนักบรรทุกด้วยวิธีการต่างๆ หลายวิธี โดยเฉพาะวิธีเบต้า (beta method) เป็นวิธีที่ถูกเสนอโดย Ojio and Yamada (2002) ได้ใช้พื้นที่สัญญาณความเครียด (strain signal area) ในการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกรวม (gross vehicle weight , GVW) แทนการใช้แผนภาพโมเมนต์ดัด (bending moments diagram) วิธีนี้มีความคลาดเคลื่อนในการหา GVW น้อยกว่า 5% ซึ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเพียงพอ งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงวิธีเบต้า (modified beta method) โดยการพิจารณาร่วมกับการพิจารณาการกระจายน้ำหนักตามแนวขวางในแต่ละคานสะพาน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพความถูกต้องของการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุก และเพื่อให้สามารถแก้ปัญหาการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกในกรณีที่มีรถบรรทุกวิ่งคู่กัน (Multiple Presence Problem) บนสะพานทดสอบ โดยจะศึกษาผลกระทบเนื่องจากกรณีที่มีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อเทียบกับกรณีรถวิ่งคันเดียว ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบภาคสนามในการจราจรจริง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดและสอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด

3.1 ข้อมูลทั่วไปของสะพานที่ใช้ในการทดสอบ

สะพานที่มีการก่อสร้างใช้งานในประเทศไทยนั้น มีด้วยกันหลายรูปแบบ เช่น สะพานโครงสร้างคอนกรีตหล่อในที่ สะพานโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ สะพานโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง สะพานโครงสร้างเหล็ก เป็นต้น ซึ่งโดยส่วนใหญ่พบว่าสะพานโครงสร้างพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงสำเร็จรูปจะเป็นรูปแบบสะพานที่ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง เพราะฉะนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกโครงสร้างสะพานประเภทคาน-พื้น รูปตัวไอ มาใช้ในการทดสอบ โดยหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาคัดเลือกสะพานทดสอบมีดังต่อไปนี้

1. ความยาวช่วง (span length) ความยาวช่วงสะพานควรจะมีขนาดที่เหมาะสม โดยควรที่จะคำนึงถึงรถบรรทุกประเภทกึ่งพ่วง หรือรถพ่วงที่มีความยาวตั้งแต่เพลหน้าสุดถึงเพลหลังสุดที่มีความยาวมาก ให้สามารถวิ่งอยู่บนช่วงสะพานทดสอบได้เต็มคันระหว่างการเก็บข้อมูล

2. สภาพความสมบูรณ์ของสะพาน กล่าวคือสภาพโครงสร้างโดยรวมไม่มีการชำรุดเสียหายหรือทรุดโทรมจนเกินไป เช่น สภาพของโครงสร้างไม่มีรอยแตกกว้างขนาดใหญ่ของคอนกรีต สภาพ

พื้นผิวของการจราจรอยู่ในความสมบูรณ์และสภาพจากรองรับสะพานมีความสมบูรณ์ไม่มีสภาพการชำรุดเสียหายที่รุนแรง เป็นต้น ซึ่งสภาพดังกล่าวสามารถพิจารณาได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า

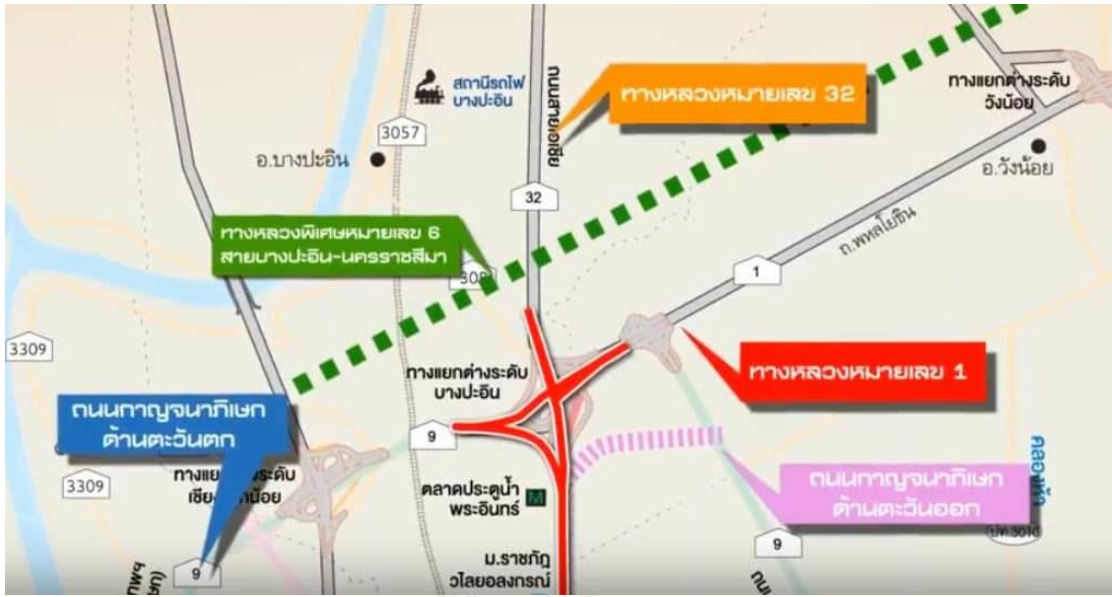
3. ประเภทของโครงสร้างสะพาน ควรเป็นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่โครงสร้างเป็นระบบแผ่นพื้น (slab type) หรือคานคอนกรีตอัดแรง (beam girder) โดยที่โครงสร้างที่ไม่ควรนำมาทำการทดสอบ คือ สะพานคานคอนกรีตรูปกล่องกลวง (Precast Segmental Box Girder) เนื่องจากการวัดสัญญาณของโครงสร้างประเภทดังกล่าวมีความยุ่งยากซับซ้อน

4. สภาพการจราจร ควรคัดเลือกสะพานที่มีสภาพการจราจรไม่ติดขัด เป็นเส้นทางที่มีปริมาณการใช้งานของรถประเภทรถบรรทุกสิบล้อ รถกึ่งพ่วง และรถพ่วงในปริมาณที่มาก และมีสภาพการเดินรถที่มีความต่อเนื่องทั้งก่อนขึ้นสะพานและลงสะพาน กล่าวคือไม่มีสัญญาณไฟจราจร เครื่องกั้นกีดขวางที่ทำให้ยานพาหนะที่สัญจรเกิดการชะลอหรือหยุดรถ เช่น ทางรถไฟ ที่อยู่ในระยะใกล้กับสะพานที่ทำการทดสอบ

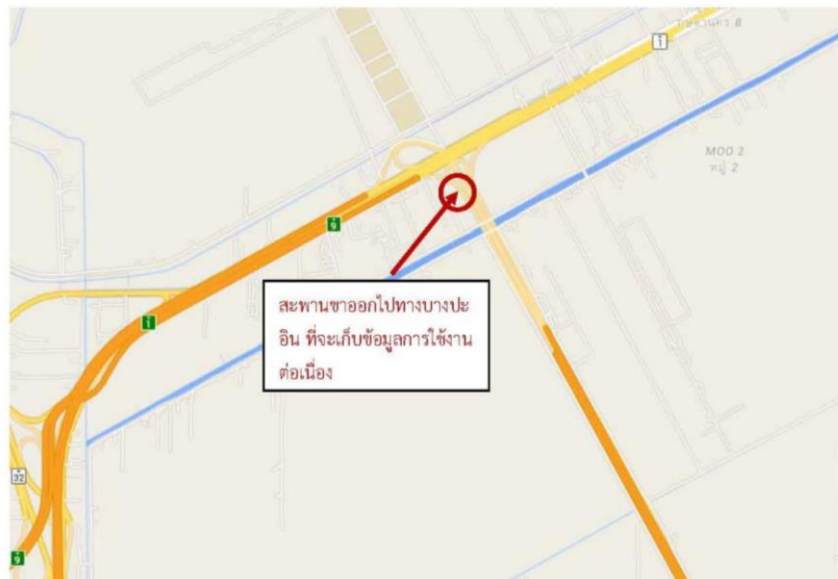
5. ความสามารถในการเข้าพื้นที่ทำงาน กล่าวคือสภาพแวดล้อมมีความเหมาะสมสามารถเข้าติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ความสูงของสะพานจากระดับพื้นดินไม่สูงมากเกินไปจนเป็นอุปสรรคในการทำงานและผลทางด้านความปลอดภัย แสงสว่างโดยรอบตลอดเส้นทางการจราจร พื้นที่ด้านล่างสะพานควรเป็นพื้นที่โล่งและไม่มีน้ำท่วมขังจนเป็นอุปสรรค เป็นต้น

6. ความลาดชัน และการเอียงของโครงสร้างสะพาน (skew) กล่าวคือสะพานไม่ควรมีความลาดชันมากเกินไปจนเป็นอุปสรรคในการสัญจรของยานพาหนะที่ทำให้เกิดผลกระทบในการใช้ความเร็ว และแนวของโครงสร้างสะพานไม่มีการเอียงทำมุมจากทิศทางจราจรมากเกินไป

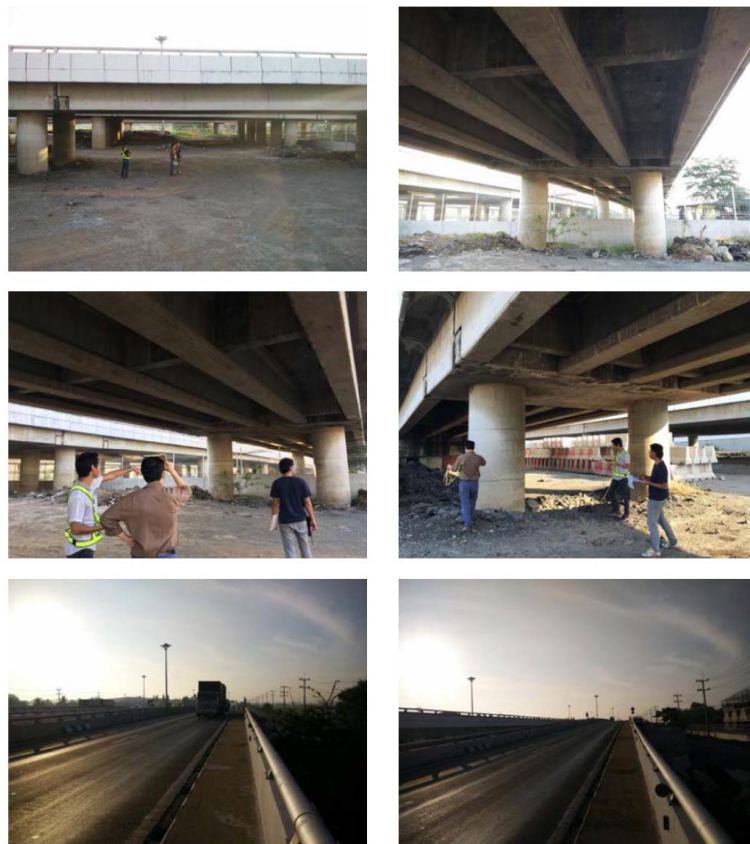
ซึ่งจากการพิจารณาเกณฑ์การคัดเลือกต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมานั้น สะพานที่มีความเหมาะสมเพื่อใช้ติดตั้งอุปกรณ์และเลือกนำมาทำการทดสอบภาคสนาม คือ สะพานแยกทางหลวงหมายเลข 1 (บางปะอิน) – คลองระพีพัฒน์ (ต่อเขตแขวงฯ – ปทุมธานี) กม. 0+000 ขาออกไปทางอยุธยา โดยตำแหน่งของสะพานแสดงดังรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 และภาพถ่ายโดยรวมของสะพานแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 ตำแหน่งของสะพานที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งของสะพานที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายสะพานโดยรวม

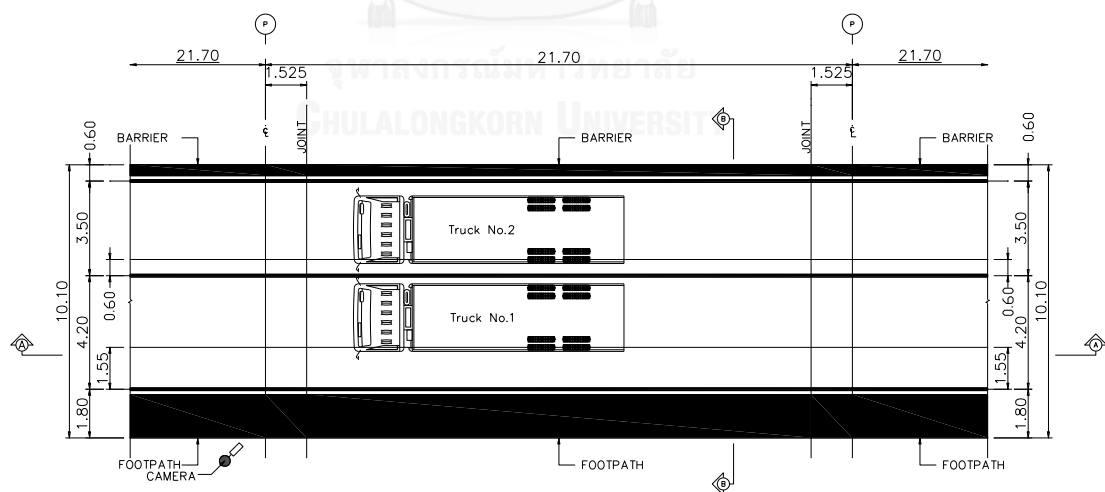
สะพานแยกทางหลวงหมายเลข 1 (บางปะอิน) – คลองระพีพัฒน์ (ต่อเขตแขวงฯ – ปทุมธานี)
กม. 0+000 ขาออกไปทางอยุธยา

- ที่ตั้ง : ทางหลวงพิเศษหมายเลข 9 กม. 0+000 ขาออกไปทางอยุธยา
- ทิศทางการจราจร : 1 ทิศทาง
- ช่องจราจร : ทิศทางละ 2 ช่องจราจร มีทางเท้าสำหรับเดิน
- ขนาด : ความกว้างรวม 10.10 เมตร ความยาวช่วงสะพาน 21.70 เมตร
- ความชัน : ลาดลงเล็กน้อย
- ประเภทโครงสร้าง : ประเภทสะพานแบบคาน – พื้น รูปตัว I (I-girder deck bridge)
- พื้นที่เข้าทำงาน : สามารถเข้าทำงานได้
- ปริมาณจราจร : หนาแน่นมาก ปริมาณรถบรรทุกทุกหนัก 5,000 คันต่อวัน

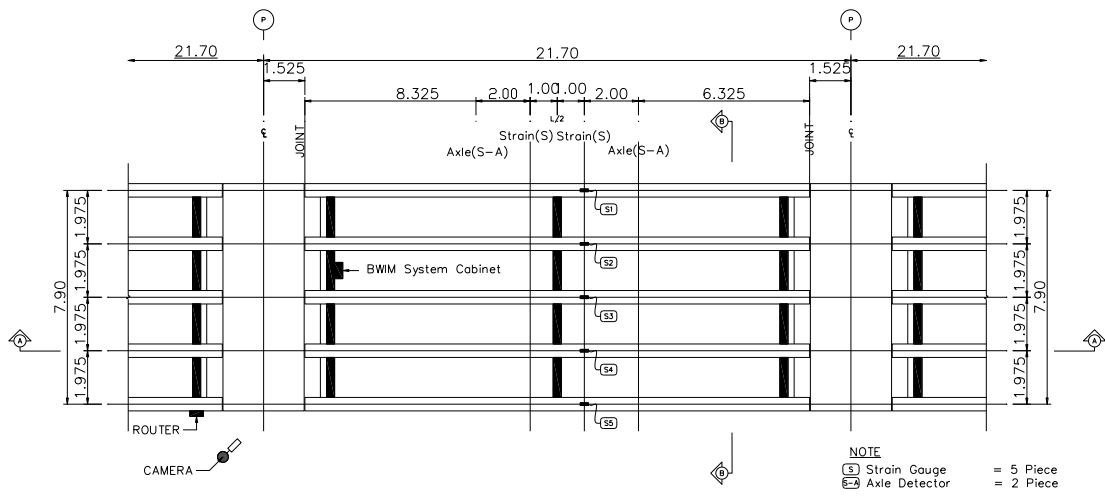
สะพานแยกทางหลวงหมายเลข 1 (บางปะอิน) – คลองระพีพัฒน์ (ต่อเขตแขวงฯ – ปทุมธานี) กม.0+000 ขาออกไปทางอยุธยา เป็นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2 ช่องจราจร (1 ทิศทางจราจร) โดยช่วงสะพานที่ทำการติดตั้งระบบ B-WIM มีความยาวช่วงประมาณ 21.70 เมตร รูปแบบโครงสร้างใช้ระบบ I-girder deck bridge มีความลาดเอียงทางลงเล็กน้อย และสามารถเข้าทำงานติดตั้งระบบได้ และมีปริมาณรถบรรทุกหนักต่อวันค่อนข้างมาก ประมาณ 5,000 คันต่อวัน

3.2 อุปกรณ์ทดสอบภาคสนาม

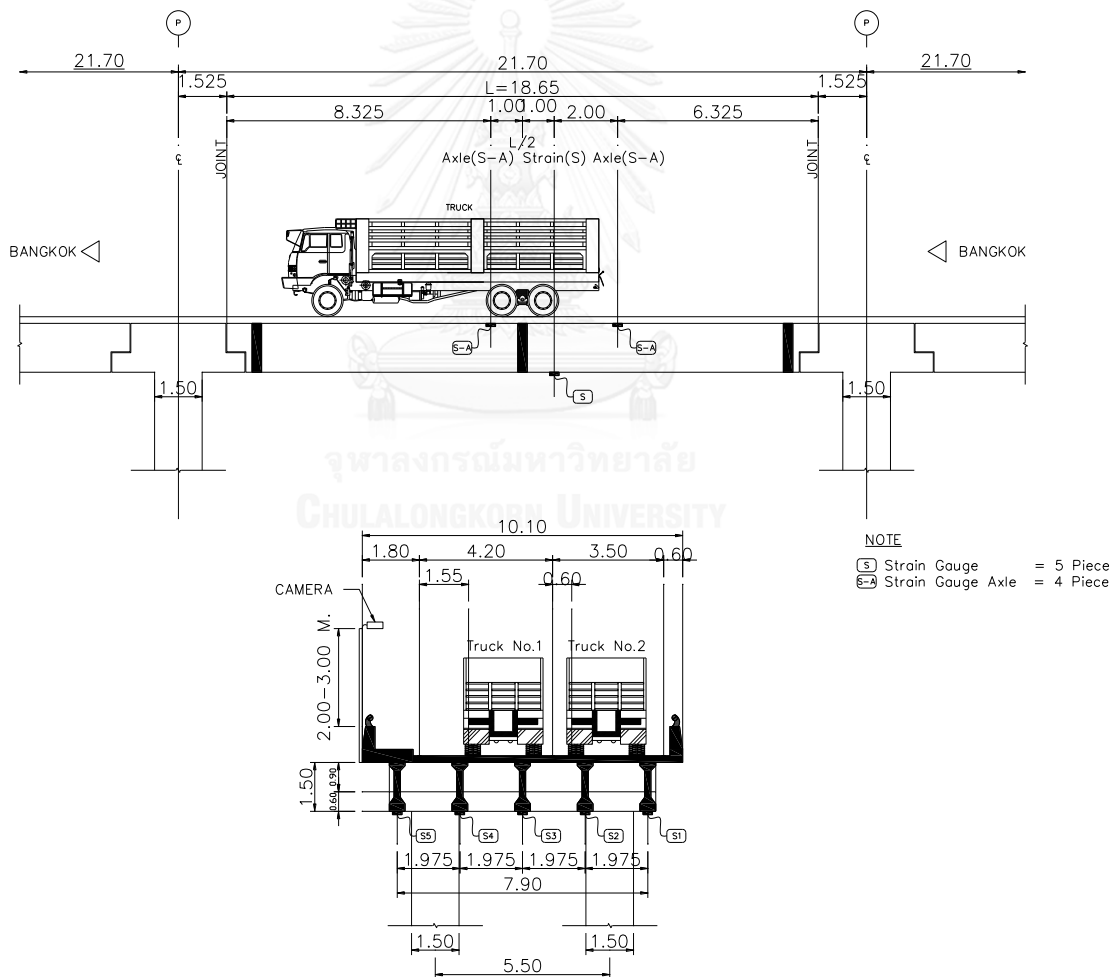
การตรวจวัดข้อมูลต่อเนื่อง ได้พิจารณารูปแบบสะพานจากการวัดขนาดและระยะจริงที่หน้างาน และนำมาวิเคราะห์โครงสร้างเพื่อกำหนดวิธีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อให้ได้ค่าข้อมูลที่มีความถูกต้อง ได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเครียด (Strain Gage) ทำการติดตั้งบริเวณใต้ท้องคาน I-Girder ทั้ง 5 ตัว ที่ตำแหน่งหน้าตัดประมาณ $L/2$ ไปเป็นระยะ 1 เมตร เพื่อให้ห่างจาก Stiffener ซึ่งมีผลต่อพฤติกรรมตรงกลางช่วงสะพาน ส่วนอุปกรณ์ตรวจจับเพลลา (Axle Detector) จะติดตั้งที่ขอบทางเท้าของสะพาน จำนวน 2 ตำแหน่ง ที่ระยะห่างจากตรงกลางช่วงสะพาน -3 เมตร และ +3 เมตร เพื่อทำการตรวจจับเพลลาของรถบรรทุกที่วิ่งผ่านบนสะพาน และติดตั้งกล้องถ่ายภาพความละเอียดสูงไว้ที่เสาไฟส่องสว่าง เพื่อเก็บรูปถ่ายรถบรรทุกที่ทำการตรวจวัด โดยมีผังการติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.4 - รูปที่ 3.6



รูปที่ 3.4 ผังการติดตั้งอุปกรณ์ระบบ B-WIM : แพลนสะพาน



รูปที่ 3.5 ผังการติดตั้งอุปกรณ์ระบบ B-WIM : แพลนการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ 3.6 ผังการติดตั้งอุปกรณ์ระบบ B-WIM : รูปตัดแสดงการวางตัวของรถบรรทุก

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล

1. มาตรวัดน้ำหนัก (Weight sensor)

มาตรวัดน้ำหนักในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้มาตรวัดความเครียด (Strain gage) ยี่ห้อ TML รุ่น PL-90-11-1L ที่มีระยะ gauge length 50 มิลลิเมตร ทำการติดตั้งเข้ากับสะพานในตำแหน่งที่ต้องการตรวจวัดและใช้เทปกาวปิดทับเพิ่ม เพื่อป้องกันความชื้นเนื่องจากฝนหรือปัจจัยอื่นๆ และอุปกรณ์วัดความเครียดสามารถเป็นชุดอุปกรณ์แบบที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ โดยมาตรวัดความเครียดและการติดตั้งแสดงดังรูปที่ 3.7

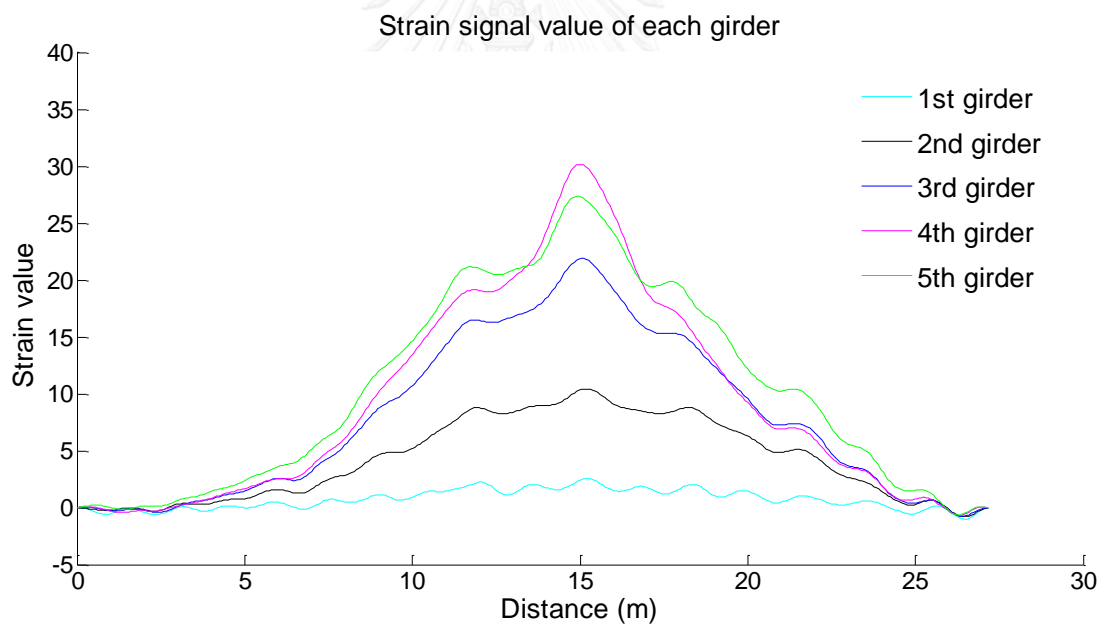


รูปที่ 3.7 มาตรวัดน้ำหนักและการติดตั้ง

มาตรวัดความเครียดใช้หลักการของความต้านทานไฟฟ้า มีคุณสมบัติเปลี่ยนค่าตามการยืดและหด ให้มีความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยจากผลของการเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้างกล่าว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความต่างศักย์ไฟฟ้าในวงจรบริดจ์ (bridge) ซึ่งวงจรบริดจ์จะส่งสัญญาณนอก

(analog signal) ผ่านสายแลน RJ-45 (LAN RJ-45) ไปยังดาต้าลอจเจอร์ (Data Logger) เพื่อทำการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

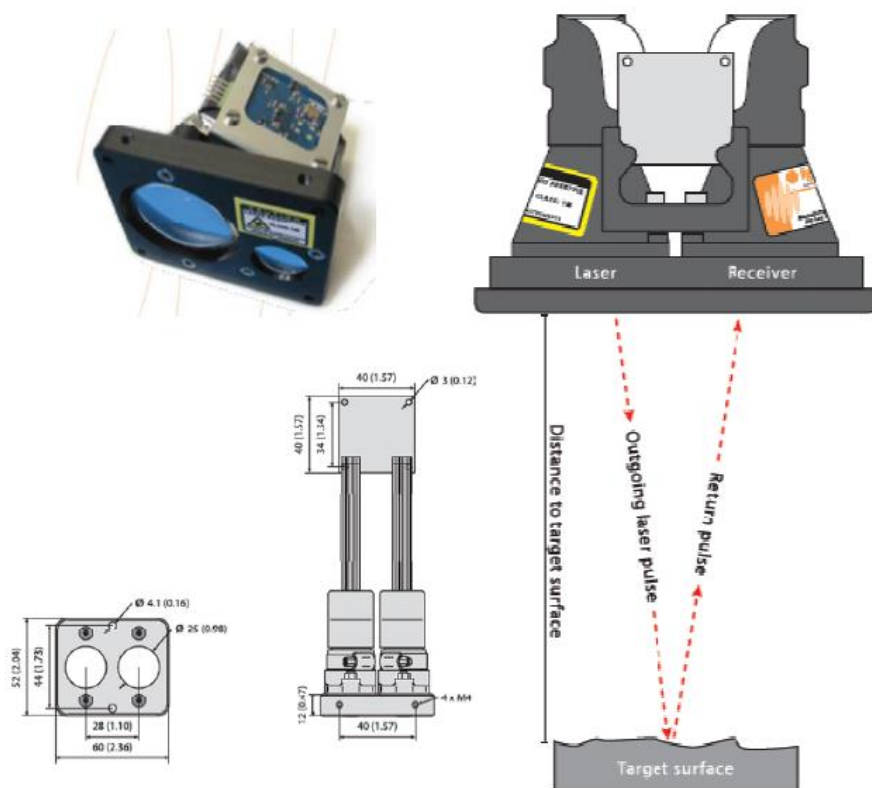
การแสดงผลค่าสัญญาณความเครียด จะแสดงในหน่วยไมโครสเตรน (micro strain, $\mu\epsilon$) โดยเมื่ออุปกรณ์ทำงานร่วมกับ data logger จะมีความสามารถในการอ่านค่าสัญญาณเท่ากับ 0-1,000 $\mu\epsilon$ ที่ความถี่ในการเก็บสัญญาณไม่เกิน 500 รอบต่อวินาที โดยที่สัญญาณความเครียดที่ตรวจวัดได้ จะมีคลื่นสัญญาณรบกวน (noise) ที่มีลักษณะสัญญาณที่ไม่คงที่ตลอดเวลา แม้ว่าจะอยู่ในสภาวะที่ไม่มีแรงจากภายนอกมากกระทำ ซึ่งถือเป็นค่าความคลาดเคลื่อนโดยธรรมชาติของตัวอุปกรณ์และจากสภาวะแวดล้อมภายนอก โดยค่าสูงสุดและต่ำสุดของสภาพสัญญาณความเครียดไม่ควรจะมีค่ามากกว่า $\pm 2 \mu\epsilon$ และสภาพสัญญาณไม่ควรจะมีการแกว่งที่สูงคือมีการเปลี่ยนค่าไปมาอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาในช่วงเวลาห่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งการแสดงผลลักษณะสัญญาณดังกล่าวนี้ เกิดจากการชำรุดเสียหายของมาตรวัดความเครียด โดยลักษณะสัญญาณที่ปกติสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8



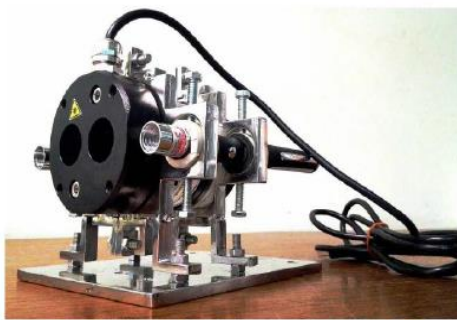
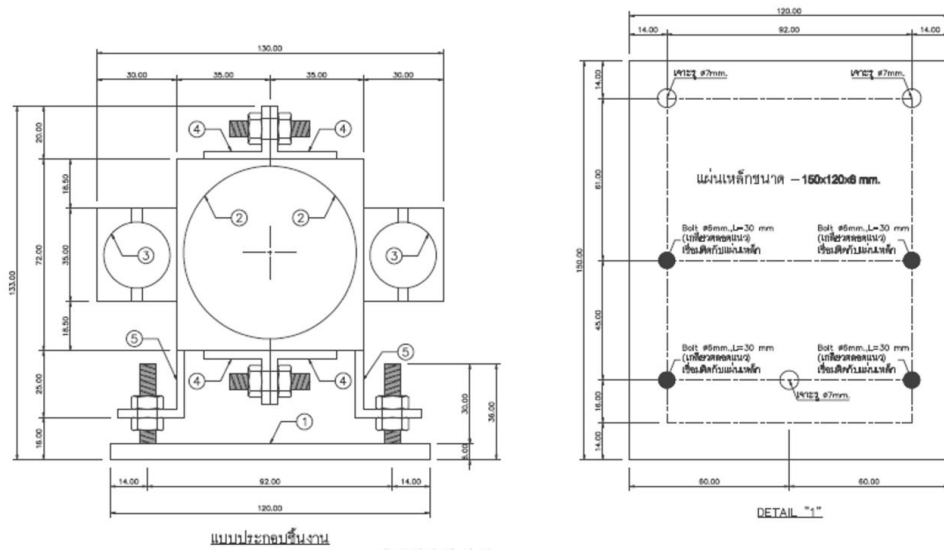
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างสัญญาณค่าความเครียด

2. ระบบตรวจจับเพลารถ (Axle Detector)

อุปกรณ์ Laser Distance สามารถบอกตำแหน่งและระยะของรถบรรทุกที่วิ่งผ่าน เพื่อนำไปจำแนกช่องจราจรที่รถวิ่งได้ ได้ทำการทดสอบโดยใช้อุปกรณ์ SF03 Laser Rangefinder ของบริษัท Lightware Optoelectronic สามารถบอกระยะและตำแหน่งขณะรถวิ่งผ่านได้ โดยใช้หลักการสะท้อนของเลเซอร์ ดังรูปที่ 3.9 และรูปที่ 3.10 ตัวอุปกรณ์จะติดตั้งไว้ในกล่องที่ใช้สำหรับงานกลางแจ้ง ทำการติดตั้งอุปกรณ์บริเวณทางเท้า จำนวน 2 ตำแหน่ง ตรงช่วงกลางสะพาน มีระยะห่างกัน 6 เมตร เมื่อรถวิ่งผ่านจุดตัดสัญญาณขาเข้าและขาออก จะได้สัญญาณเพลารถที่วิ่งผ่าน ซึ่งข้อมูลการตัดเพลานี้จะนำไปคำนวณความเร็วของรถที่ต้องการพิจารณา โดยข้อมูลจะระบุตำแหน่งของเพลารถขณะอยู่บนสะพานได้ โดยสามารถระบุตำแหน่งของวัตถุที่วิ่งผ่านด้วยความเร็วสูงได้แม่นยำ ในระดับความคลาดเคลื่อน 5% โดยสามารถใช้ความถี่ได้ถึง 1,000 Hz ซึ่งจะทำให้ผลการตรวจวัดตำแหน่งแม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้จับเพลารถในภาคสนามได้โดยเขียนโปรแกรมในการควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมดในการทำงานร่วมกัน

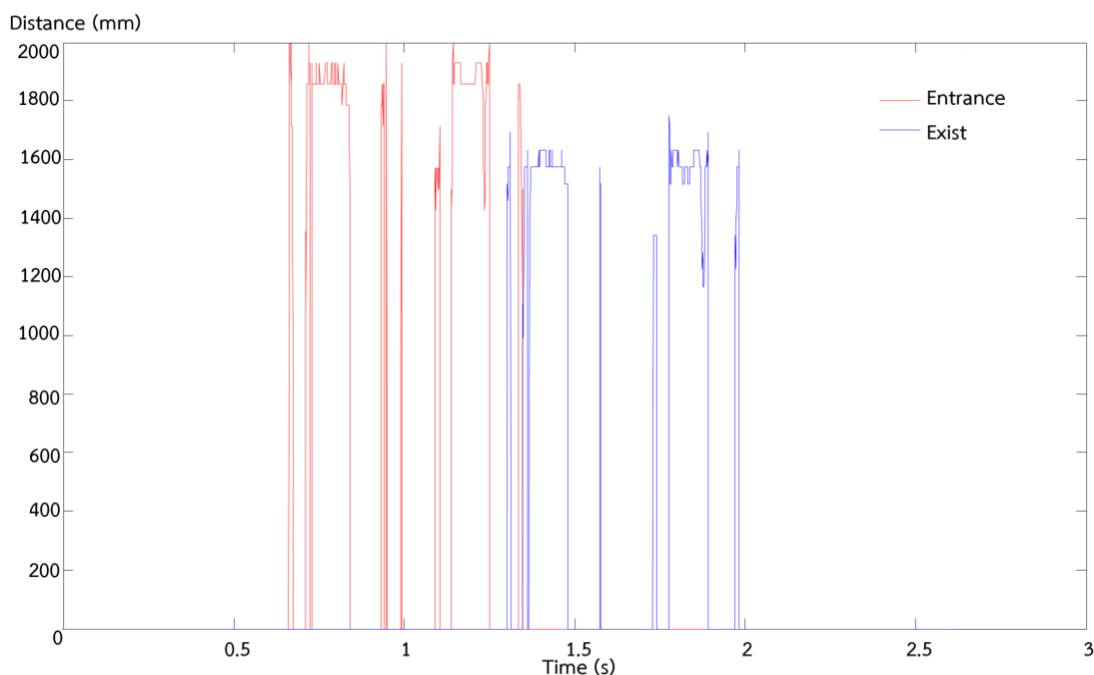


รูปที่ 3.9 ระบบตรวจจับเพลารถ (Axle Detector) : อุปกรณ์ SF03 Laser Rangefinder



รูปที่ 3.10 ระบบตรวจจับเพลารถ (Axle Detector) และการติดตั้งที่สะพาน

การแสดงผลค่าสัญญาณของอุปกรณ์ตรวจจับเพลลา จะแสดงในหน่วยมิลลิเมตร โดยเมื่ออุปกรณ์ทำงานร่วมกับ data logger จะมีระยะเวลาการอ่านค่าสัญญาณในช่วง 0.15-30 เมตร ความละเอียดระดับ 0.15 เมตร ที่ความถี่ในการเก็บสัญญาณเท่ากับ 1,000 รอบต่อวินาที ซึ่งลักษณะสัญญาณจะมีลักษณะคล้ายกับกราฟแท่งรูปเทียน ที่เป็นการเก็บสัญญาณที่ระยะต่างๆ ที่เซนเซอร์ทำการตรวจจับได้เมื่อมีวัตถุมาขวางกั้น โดยลักษณะสัญญาณที่ปกติสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างสัญญาณการตรวจจับเพลลา

3. ระบบกล้องบันทึกภาพ (Camera)

บันทึกภาพของรถที่วิ่งผ่านสะพาน เพื่อใช้ในการประเมินพฤติกรรมของสะพาน แยกประเภทรถ และใช้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ตรวจวัดมาได้ โดยใช้กล้องยี่ห้อ Mobotix M15 ซึ่งเป็นกล้องถ่ายภาพความละเอียดสูงจากเยอรมัน สามารถถ่ายได้ทั้งกลางวันและกลางคืน โดยทำการติดตั้งไว้กับเสาไฟส่องสว่างข้างสะพานดังรูปที่ 3.12 และตัวอย่างรูปถ่ายที่ได้จากวิดีโอทั้งกลางวันและกลางคืนดังรูปที่ 3.13



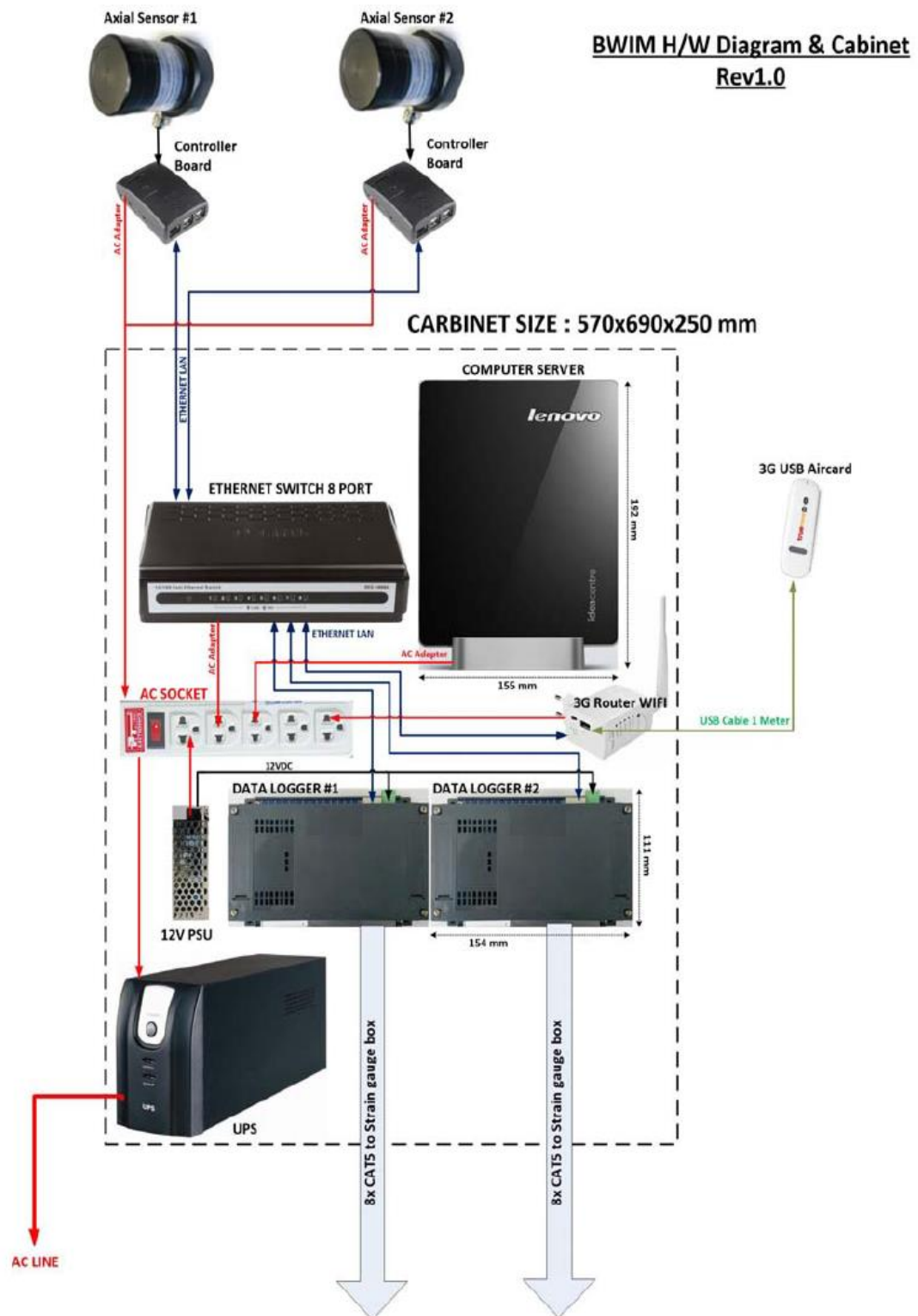
รูปที่ 3.12 ระบบบันทึกภาพ : กล้อง Mobotix M15 และการติดตั้ง



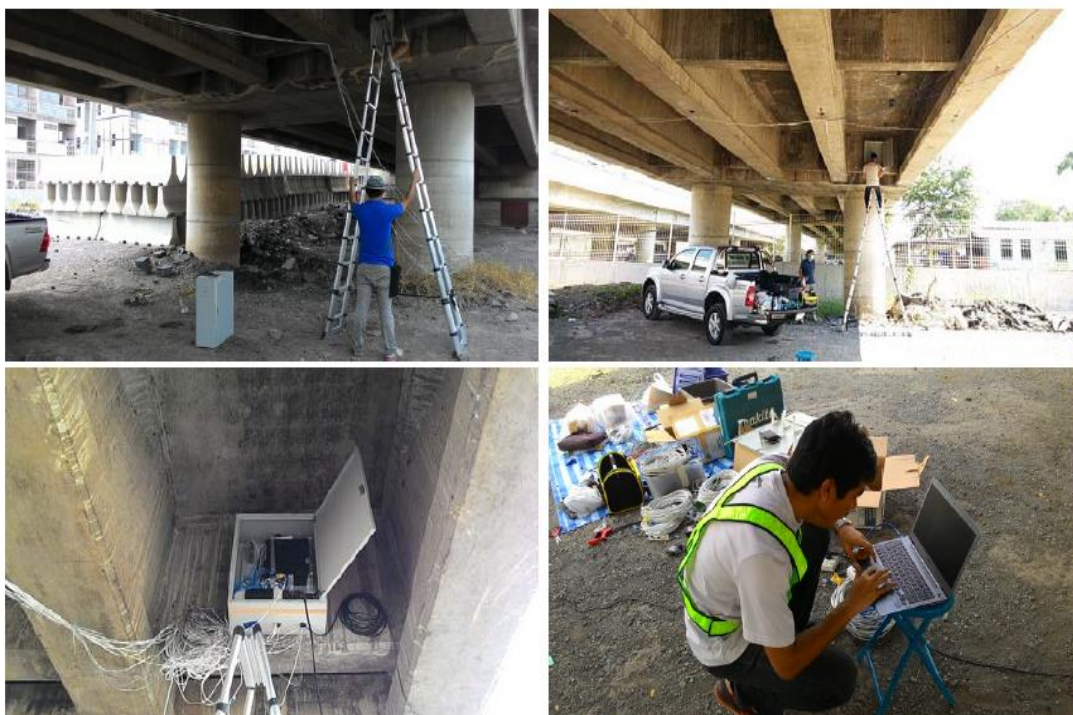
รูปที่ 3.13 ตัวอย่างรูปถ่ายรถบรรทุกจากระบบบันทึกภาพ : กล้อง Mobotix M15

4. ระบบควบคุมการเก็บข้อมูล (System and Road Side Cabinet)

ระบบควบคุมการเก็บข้อมูลต่อเนื่องของสะพาน ได้ทำการเชื่อมต่อบริษัทมาตรวัดน้ำหนัก ระบบตรวจจับเพลารถ ระบบบันทึกภาพ รวมไว้ด้วยกันที่ระบบการเก็บข้อมูลทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วย ระบบเก็บข้อมูล (Data Logger) คอมพิวเตอร์ประมวลผล (Processor) ระบบจ่ายไฟฟ้า (Power Supply) และระบบ Internet โดยอุปกรณ์ทั้งหมดจะติดตั้งไว้ในตู้ (Road Side Cabinet) ซึ่งเป็นตู้เหล็กที่ใช้ติดตั้งนอกสถานที่ มีความแข็งแรงทนทาน สามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง โดยติดตั้งไว้ที่ใต้สะพานที่คาน Stiffener ใกล้จุดรองรับ ซึ่งระบบจะทำการควบคุมจากภายนอกผ่านระบบ Internet ทั้งหมด โดยข้อมูลจากอุปกรณ์ต่างๆ จะส่งผ่านมายังสายแลน (Cable Unshield Twist Pair) เข้ากับกล่องเก็บข้อมูล (Data Logger) และทำการประมวลผลทั้งหมดผ่านคอมพิวเตอร์ และถ่ายโอนข้อมูลการทดสอบที่ได้ไปสู่หน่วยความจำภายนอก และระบบได้ต่อกับ Router และ Internet Air Card เพื่อใช้ในการควบคุมระบบการเก็บข้อมูลทั้งหมดจากภายนอก (Remote Control) ผ่านสัญญาณ Internet 3G ดังรูปที่ 3.14 และรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.14 แผนผังการทำงานของระบบตรวจวัดข้อมูลต่อเนื่อง



รูปที่ 3.15 การติดตั้งควบคุมระบบตรวจวัดข้อมูลต่อเนื่อง

การเก็บข้อมูลต่อเนื่องจะเก็บข้อมูลตลอดเวลา ซึ่งมีรูปแบบการเก็บข้อมูลเป็นข้อมูลช่วงละ 1 วินาทีต่อ 1 ไฟล์ และจะทำการรวมข้อมูลเป็นรถบรรทุก 1 คัน โดยใช้ Algorithm ในการคำนวณข้อมูลรถบรรทุก ซึ่งใช้ข้อมูลค่าความเครียดและข้อมูลเพลารถที่วิ่งผ่านบนสะพาน และทำการบันทึกภาพทุก 1 วินาที ซึ่งระบบสามารถบันทึกข้อมูลรถบรรทุก 1 คันพร้อมไฟล์รูปภาพได้ จากนั้นระบบจะนำไปคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น น้ำหนักรถบรรทุก ระยะห่างเพลลา ประเภทรถ ช่องจราจรที่วิ่ง และความเร็วของรถบนสะพานต่อไป

3.3 ขั้นตอนการทดสอบภาคสนาม

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบภาคสนามแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การทดสอบเก็บข้อมูลรถที่ใช้ในการสอบเทียบ (Calibration) เพื่อเป็นข้อมูลของรถที่ทราบค่าที่จะใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของการอัลกอริทึม และการทดสอบเก็บข้อมูลระยะยาว เพื่อนำผลไปวิเคราะห์ข้อมูลรถบรรทุกในสภาพการจราจรปกติต่อไป

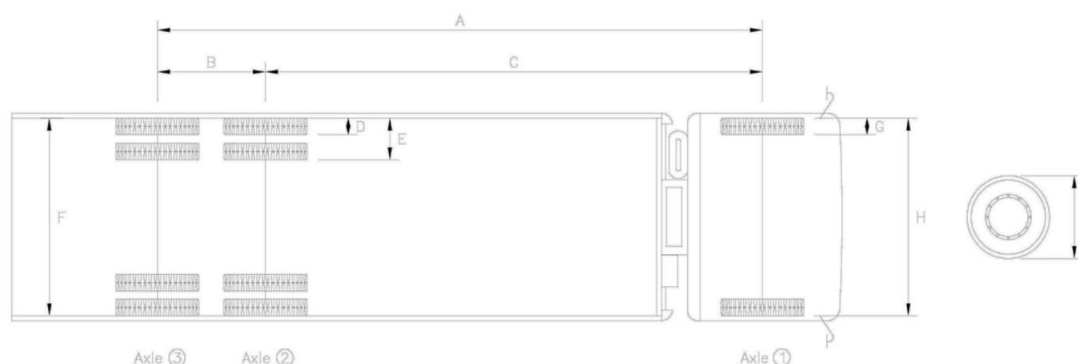
3.3.1 การทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลรถที่ใช้ในการสอบเทียบอัลกอริทึม

ในระบบการตรวจชั่งน้ำหนักและการตรวจสอบความถูกต้องในการวิเคราะห์ของระบบ BWIM จะต้องทำการสอบเทียบ (Calibration) กับรถบรรทุกที่ทราบค่าน้ำหนักในแต่ละเพลลา และ ระยะห่างระหว่างเพลลาของรถบรรทุก ซึ่งวิธีการสอบเทียบนั้นจะทำการสอบเทียบกับรถบรรทุกที่อยู่ใน สภาพการจราจรจริง หรือการนำรถบรรทุกมาวิ่งทดสอบก็ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการสอบเทียบ รถบรรทุกโดยการนำรถบรรทุกมาวิ่งทดสอบ

การทดสอบ Calibration ใช้รถบรรทุก 10 ล้อ 3 เพลลา ที่ทราบน้ำหนัก และข้อมูลระยะต่างๆ จำนวน 1 คัน ดังรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17 ทำการทดสอบโดยให้รถบรรทุกวิ่งด้วยความเร็วปกติผ่าน สะพานทดสอบจำนวน 10 รอบ โดยไม่ปิดหรือรบกวนการจราจรปกติ



รูปที่ 3.16 รถบรรทุก 10 ล้อ ที่นำมาทำการทดสอบสอบเทียบ



Tested Truck Properties

Truck Dimension (m)		Weight (Tons)	
A	5.55		Average
B	1.3	Axle 1	5.315
C	4.25	Axle 2	8.728
D	0.2	Axle 3	8.728
E	0.53	Total	22.77
F	2.38		
G	0.2		
H	2.15		
I	1		

รูปที่ 3.17 รายละเอียดรถบรรทุกสอบเทียบ

3.3.2 การทดสอบเก็บข้อมูลต่อเนื่องเพื่อนำไปวิเคราะห์

สำหรับการทดสอบเก็บข้อมูลต่อเนื่องเพื่อนำไปวิเคราะห์ จะทำการติดตั้งระบบการตรวจซึ่งน้ำหนัก เพื่อทำการบันทึกข้อมูลที่เกิดขึ้นจากสภาพการจราจรจริงอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาประมาณ 1 เดือน ทั้งนี้เพื่อเป็นการทดสอบเสถียรภาพของอุปกรณ์ในการเปิดใช้งานต่อเนื่องเป็นเวลานาน พร้อมพิจารณาปัญหาและผลกระทบต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นทั้งในด้านผลการตอบสนอง และสัญญาณที่ตรวจวัด และปัญหาที่อาจเกิดจากตัวอุปกรณ์จากการเปิดใช้งานอุปกรณ์เป็นเวลานาน นอกจากนี้ข้อมูลที่บันทึกได้เป็นข้อมูลสภาพการจราจรของรถบรรทุกจริงในสายทางที่ทำการทดสอบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

บทที่ 4

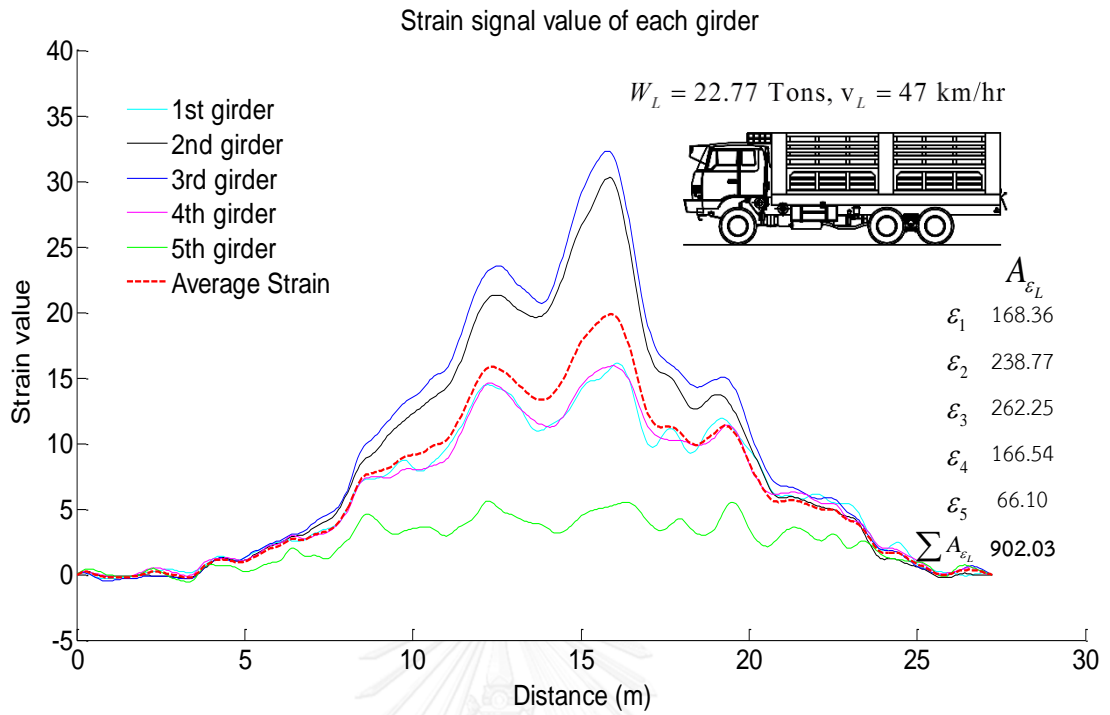
ผลการศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาจากหลักการและทฤษฎีต่างๆ ที่นำมาใช้ในการพิจารณาหาค่าน้ำหนักของรถบรรทุก ทั้งแบบรถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบคันเดียวและวิ่งผ่านสะพานคู่กัน (Multiple Presence) โดยการพิจารณาหาค่าน้ำหนัก ด้วยการปรับปรุงวิธีเบต้า (beta method) ตามวิธีที่เสนอโดย Ojio and Yamada (2002) ซึ่งใช้พื้นที่สัญญาณความเครียด (strain signal area) ในการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกรวม (gross vehicle weight , GVW) งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงวิธีเบต้า (modified beta method) โดยการพิจารณาร่วมกับการพิจารณาการกระจายน้ำหนักตามแนวขวางในแต่ละคานสะพาน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพความถูกต้องของการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุก และเพื่อให้สามารถแก้ปัญหาการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งคู่กัน (Multiple Presence Problem) บนสะพานทดสอบ โดยจะศึกษาผลกระทบเนื่องจากกรณีที่รถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อเทียบกับกรณีรถวิ่งคันเดียว

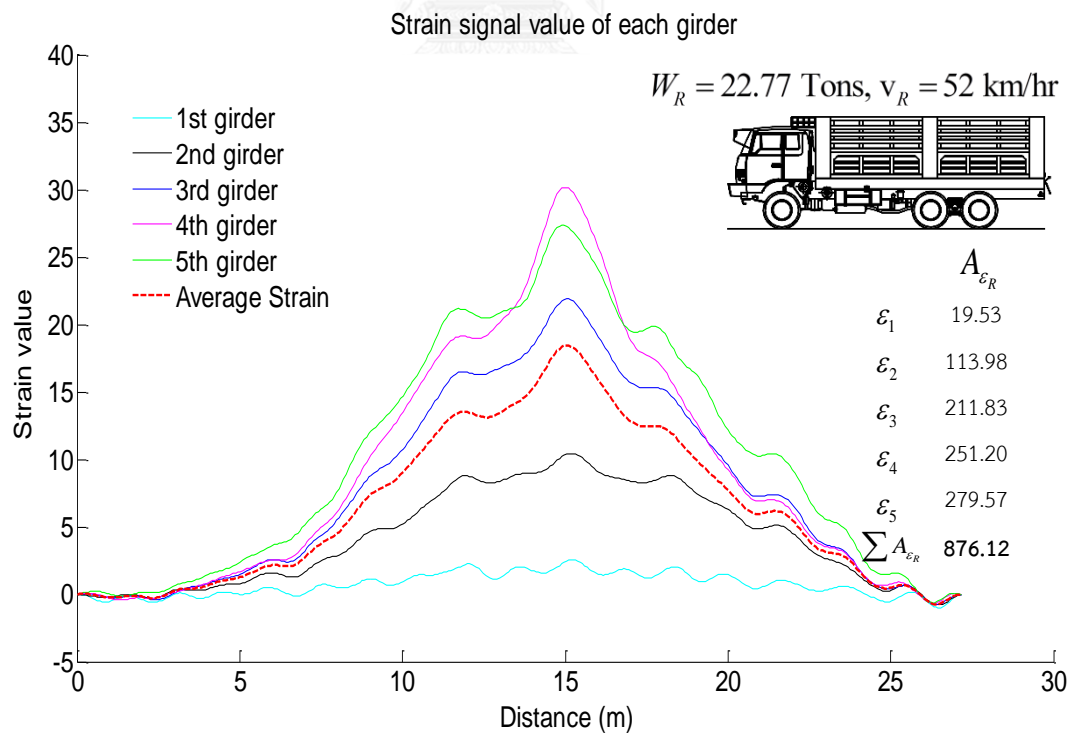
4.1 ค่าคงที่ และตัวอย่างการคำนวณ

การพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกในงานวิจัยนี้ใช้วิธีเบต้าพิจารณาร่วมกับการกระจายน้ำหนักตามแนวขวางในแต่ละคานสะพาน ซึ่งค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณ ได้จากการคำนวณโดยใช้ข้อมูลจากรถบรรทุกสอบเทียบ โดยมีรถบรรทุกสอบเทียบ 2 กรณีคือรถบรรทุก 10 ล้อ น้ำหนักรวม 22.77 ตัน วิ่งบนช่องจราจรซ้ายด้วยความเร็ว 46.61 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และรถบรรทุก 10 ล้อ น้ำหนักรวม 22.77 ตัน วิ่งบนช่องจราจรขวาด้วยความเร็ว 52.02 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบรถบรรทุกคือชุดข้อมูลของค่าสัญญาณความเครียดในแต่ละคานสะพาน (สะพานที่ใช้ในการทดสอบมีคานสะพาน 5 คานสะพาน) แสดงกราฟสัญญาณความเครียดให้เห็นดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 โดยจะนำค่าสัญญาณความเครียดที่ตรวจวัดได้ในแต่ละคานสะพานมาหาค่าเฉลี่ย และหาพื้นที่ใต้กราฟ เพื่อนำไปหาค่าคงที่เบต้าดังสมการที่ (4.1) แสดงค่าดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่นำมาใช้ในการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกรวมต่อไป

$$\beta = \frac{GVW}{A_c} \quad (4.1)$$



รูปที่ 4.1 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกสอบเทียบบนช่องจราจรซ้าย



รูปที่ 4.2 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกสอบเทียบบนช่องจราจรขวา

ตารางที่ 4.1 ค่าคงที่เบต้า

ค่าคงที่เบต้า (β)		
	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา
พื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียดเฉลี่ย (A_ε)	180.41	175.22
ค่าคงที่เบต้า (β)	126.22	129.95

ค่าตัวคูณปรับแก้ตามการพิจารณาการกระจายน้ำหนักตามแนวขวาง นำมาพิจารณาร่วมด้วย เนื่องจาก 2 เหตุผลคือ เพื่อให้การใช้ข้อมูลสัญญาณความเครียดในการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกได้พิจารณาตามพฤติกรรมของการกระจายน้ำหนักตามจริงของรถบรรทุกเมื่อรถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบ และเพื่อให้สามารถแก้ปัญหาการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกกรณีรถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานคู่กันได้ ซึ่งจากข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบรถบรรทุกสามารถนำมาหาพื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียดของแต่ละคานสะพานได้ และนำค่าพื้นที่สัญญาณความเครียดในแต่ละคานสะพานไปหาการกระจายน้ำหนักตามแนวขวางตามสมการที่ (4.2) ค่าตัวคูณปรับแก้การกระจายน้ำหนักตามแนวขวางแสดงดังตารางที่ 4.2

$$Q_j = \frac{\text{Area}(\varepsilon_j)}{\sum_{j=1}^g \text{Area}(\varepsilon_j)} \quad (j = 1, \dots, g) \quad (4.2)$$

เมื่อ g คือ จำนวนคานสะพาน

ตารางที่ 4.2 ค่าตัวคูณปรับแก้การกระจายน้ำหนักตามแนวขวางในแต่ละคานสะพาน

ตัวคูณปรับแก้การกระจายน้ำหนักตามแนวขวาง (Q)		
คานที่	ช่องจราจรซ้าย (Q_L)	ช่องจราจรขวา (Q_R)
1	0.19	0.02
2	0.26	0.13
3	0.29	0.24
4	0.18	0.29
5	0.07	0.32

ในการแก้ปัญหาการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกกรณีรถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานคู่กัน ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีเบต้า พิจารณาร่วมกับการกระจายน้ำหนักตามแนวขวาง สามารถเขียนในรูปสมการเมทริกซ์ได้ดังสมการที่ (4.3)

$$\begin{Bmatrix} A_{\varepsilon_1} \\ A_{\varepsilon_2} \\ \vdots \\ A_{\varepsilon_g} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Q_{L,1}}{\beta_L v_L} & \frac{Q_{R,1}}{\beta_R v_R} \\ \frac{Q_{L,2}}{\beta_L v_L} & \frac{Q_{R,2}}{\beta_R v_R} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{Q_{L,g}}{\beta_L v_L} & \frac{Q_{R,g}}{\beta_R v_R} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} w_L \\ w_R \end{Bmatrix} \equiv \bar{Q} \begin{Bmatrix} w_L \\ w_R \end{Bmatrix} \quad (4.3)$$

จากผลการสอบเทียบรถบรรทุกทุกข้างต้น สามารถประมาณค่า \bar{Q} ได้ดังสมการที่ (4.4)

$$\bar{Q} = \begin{bmatrix} 0.00148 & 0.00017 \\ 0.00210 & 0.00100 \\ 0.00230 & 0.00186 \\ 0.00146 & 0.00221 \\ 0.00058 & 0.00246 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

4.2 ทดสอบผลการคำนวณน้ำหนักบรรทุกรถบรรทุกสอบเทียบ

ในหัวข้อนี้จะทดสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมที่นำเสนอ โดยการคำนวณน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกสอบเทียบ 10 กรณี เพื่อประเมินความถูกต้องของอัลกอริทึมตามมาตรฐาน COST323

ตารางที่ 4.3 ผลการคำนวณน้ำหนักบรรทุกรถบรรทุกสอบเทียบ

Case No.	Lane	Velocity (km/hr)	GVW (kg)	Error of Estimated Weight (%)	Remark
Tested Truck			22,770		
1	Right	42.4	27,870.91	22.40	MP
2	Left	56.0	23,401.58	2.77	MP
3	Left	51.5	22,715.65	-0.24	
4	Left	46.9	22,770.00	0.00	
5	Left	50.7	21,435.24	-5.86	
6	Left	47.9	22,572.04	-0.87	
7	Left	61.4	23,909.87	5.01	
8	Right	52.7	22,770.00	0.00	
9	Left	52.5	22,444.82	-1.43	
10	Left	39.0	21,426.47	-5.90	

จากผลการทดสอบสอบเทียบ 10 กรณี พบว่ามีกรณีที่ 1 มีรถบรรทุกหนักแทรกอีกช่องจราจร ทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อนเป็นอย่างมาก จึงไม่นำกรณีนี้มาประเมินผลความถูกต้อง และในกรณีอื่นแม้จะมีรถยนต์เบาแทรกอีกช่องจราจรดังในกรณีที่ 2 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักบรรทุกรวมเท่ากับ 2.77% ซึ่งเพิ่มจากกรณีปกติไม่มาก (รถยนต์เล็กน้ำหนักประมาณ 1 ตัน) สรุปค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดโดยไม่รวมกรณีที่มีปัญหาเนื่องจากสภาพจราจรมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง -0.24 ถึง -5.90% ที่ความเร็วรถบรรทุกปกติระหว่าง 39-61 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของ COST 323 “Weigh-in-motion of Road Vehicle” – EUROPEAN WIM Specification แสดงระดับความถูกต้องของระบบ B-WIM ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 เกณฑ์มาตรฐานของ COST 323 “Weigh-in-motion of Road Vehicle” – EUROPEAN WIM Specification

Criteria (type of measurement)	Domain of use	Accuracy Classes: Confidence interval width δ (%)						
		A (5)	B+ (7)	B (10)	C (15)	D+(20)	D (25)	E
1. Gross weight	Gross weight > 3.5 t	5	7	10	15	20	25	> 25
Axle load:	Axle load > 1 t							
2. group of axles		7	10	13	18	23	28	> 28
3. single axle		8	11	15	20	25	30	> 30
4. axle of a group		10	14	20	25	30	35	> 35

ระบบ B-WIM ที่ใช้กับสะพานแห่งนี้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักบรรทุกรวมที่ร้อยละ 5.9 ที่ 95 เพอร์เซนต์ไทล์ (percentile) สามารถประเมินระดับความถูกต้องตามมาตรฐาน COST 323 อยู่ในเกณฑ์ระดับ B+(7) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากระบบ B-WIM ของสะพานแห่งนี้ อยู่ในระดับความถูกต้องสูง มีความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักบรรทุกรวมในระดับไม่เกิน 7% ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

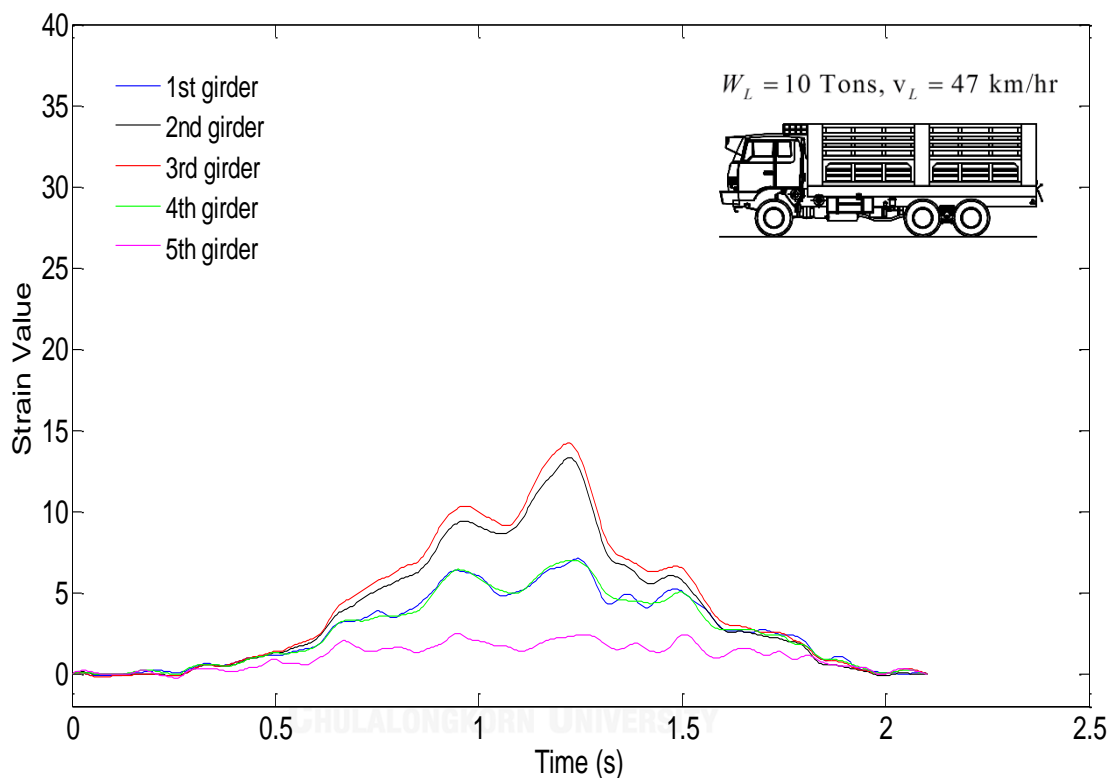
4.3 ทดสอบอัลกอริทึมด้วยข้อมูลรถบรรทุกสอบเทียบ

การทดสอบประสิทธิภาพอัลกอริทึมการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกกรณีรถบรรทุกวิ่งคู่กันบนสะพาน จะทดสอบโดยการนำข้อมูลรถบรรทุกที่ได้ทำการสอบเทียบมาปรับข้อมูลให้มีความหลากหลายทั้งในเรื่องน้ำหนัก และความเร็ว โดยการปรับข้อมูลสัญญาณความเครียดตามสัดส่วนที่ต้องการ แล้วนำข้อมูลสัญญาณความเครียดมาพิจารณาน้ำหนักบรรทุกและตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

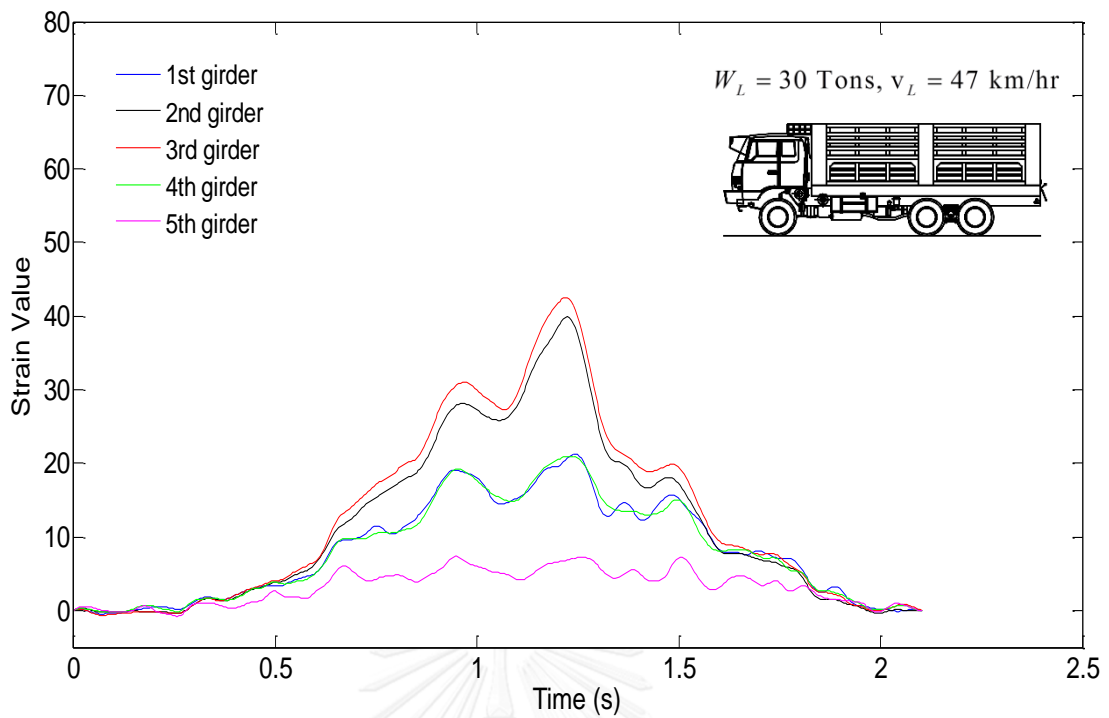
4.3.1 ผลกระทบเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก

การวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากความหลากหลายของน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกที่วิ่งคู่กัน จะทำการทดสอบโดยการสร้างสัญญาณความเครียดเทียมโดยสมมติให้ผลตอบสนองของสะพานเป็นแบบเชิงเส้นและการสั่นไหวของสะพานยังคงรูปแบบเดิม แม้รถบรรทุกจะเปลี่ยนน้ำหนักหรือความเร็ว โดยใช้ข้อมูลจากชุดค่าสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกที่ใช้ในการสอบเทียบที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด จะได้ชุดค่าสัญญาณความเครียดตามที่ต้องการ คือชุดค่าสัญญาณความเครียดที่มีน้ำหนักบรรทุกตั้งแต่ 10 ถึง 50 ตัน แสดงกราฟตัวอย่างการสร้างสัญญาณความเครียด

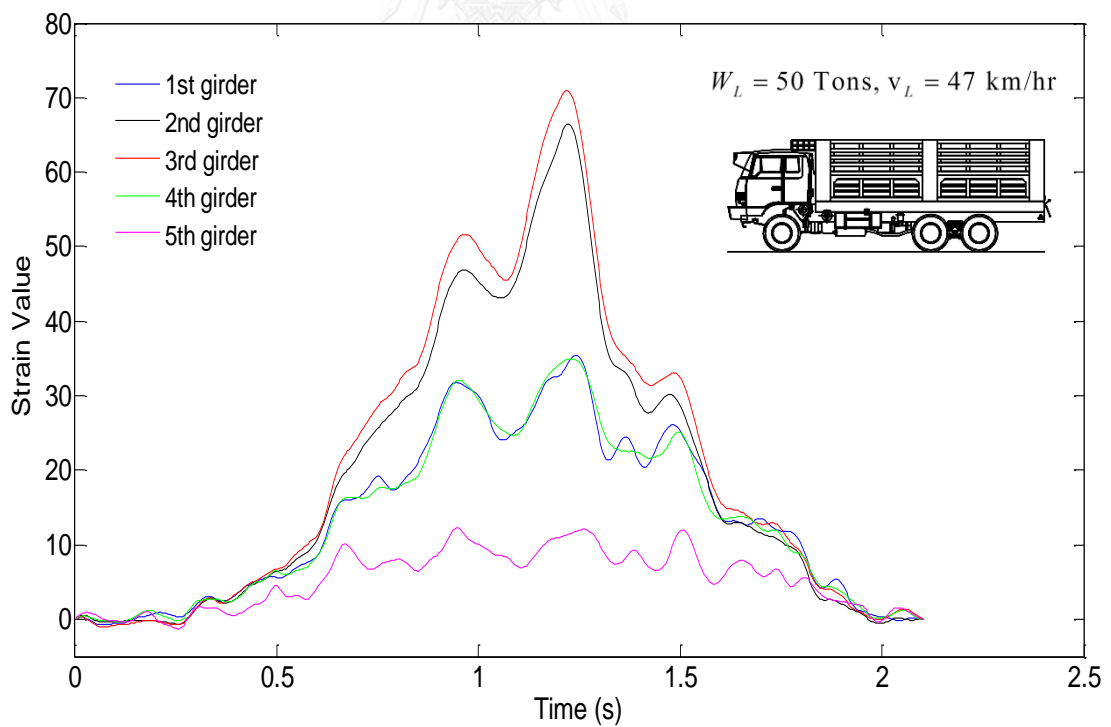
ให้เห็นดังรูปที่ 4.3 ถึงรูปที่ 4.10 แล้วนำค่าสัญญาณความเครียดดังกล่าวมาสร้างเป็นชุดข้อมูล เนื่องจากรถวิ่งบนสะพานคู่กันบนเงื่อนไขน้ำหนักที่แตกต่างกัน แสดงกราฟตัวอย่างการสร้างสัญญาณความเครียดให้เห็นดังรูปที่ 4.15 ถึงรูปที่ 4.18 ซึ่งเมื่อนำมาคำนวณกลับหาน้ำหนักบรรทุก เพื่อพิจารณาถึงความถูกต้องในการประมาณการค่าน้ำหนักของรถบรรทุกในกรณีที่วิ่งบนสะพานคู่กัน และสามารถนำค่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความคลาดเคลื่อนในการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20 (ตารางข้อมูลแสดงไว้ในภาคผนวก)



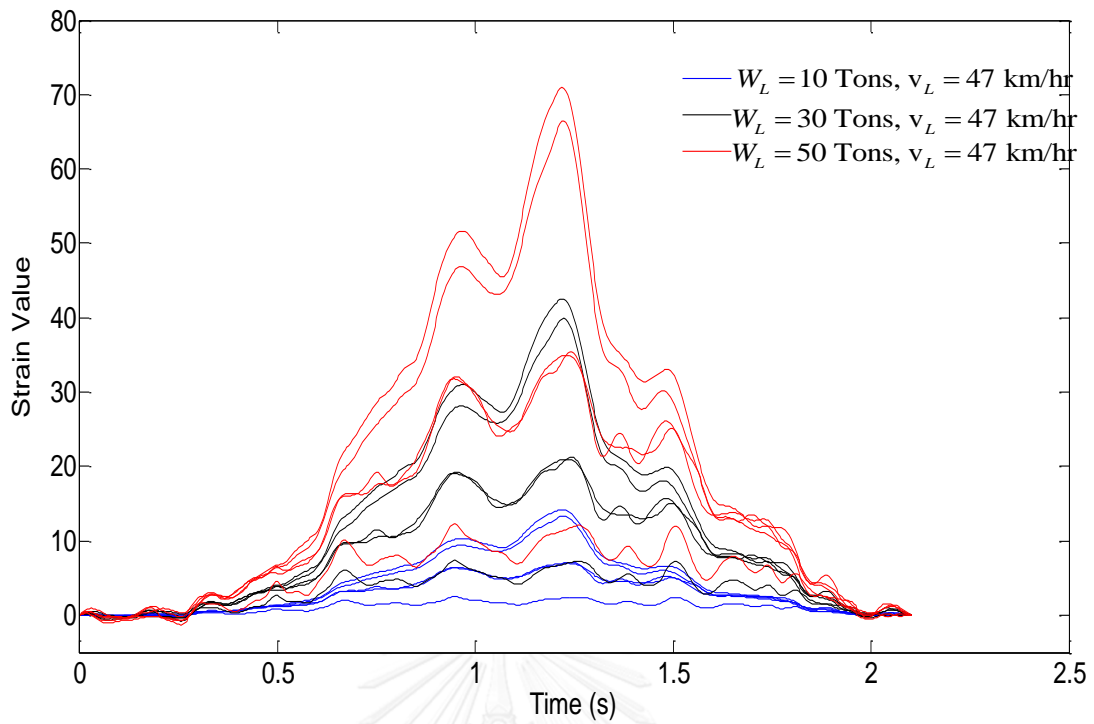
รูปที่ 4.3 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายหนัก 10 ตัน



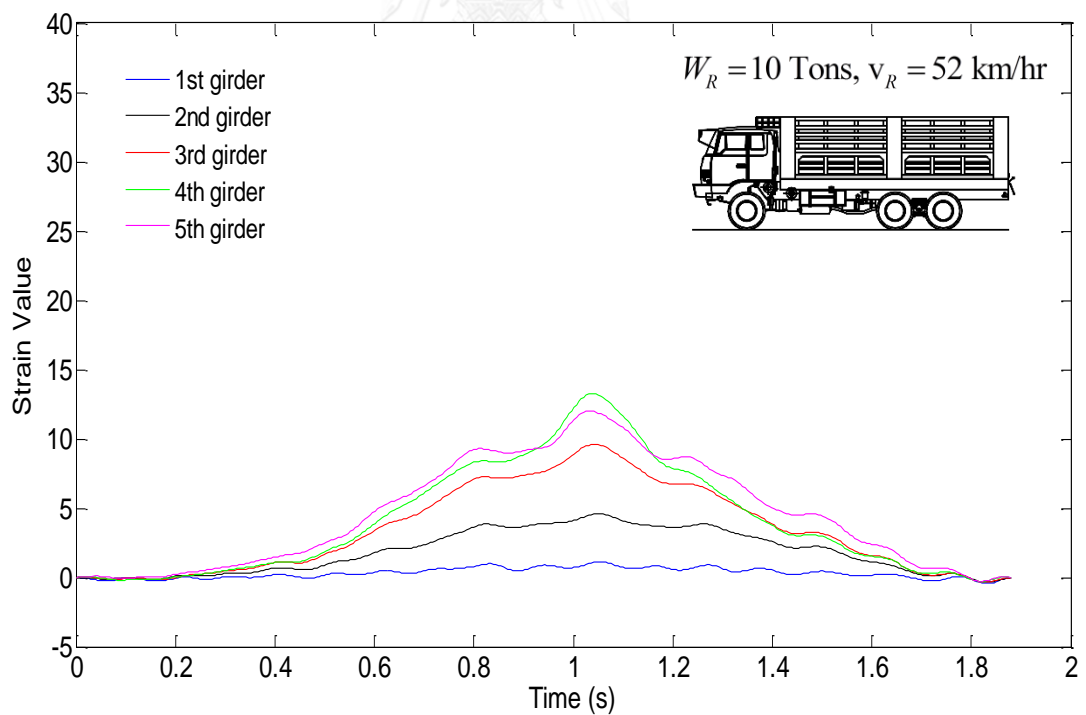
รูปที่ 4.4 สัญญาณความเค้นจรดบรรทุกทุกช่องจากรถซายหนัก 30 ตัน



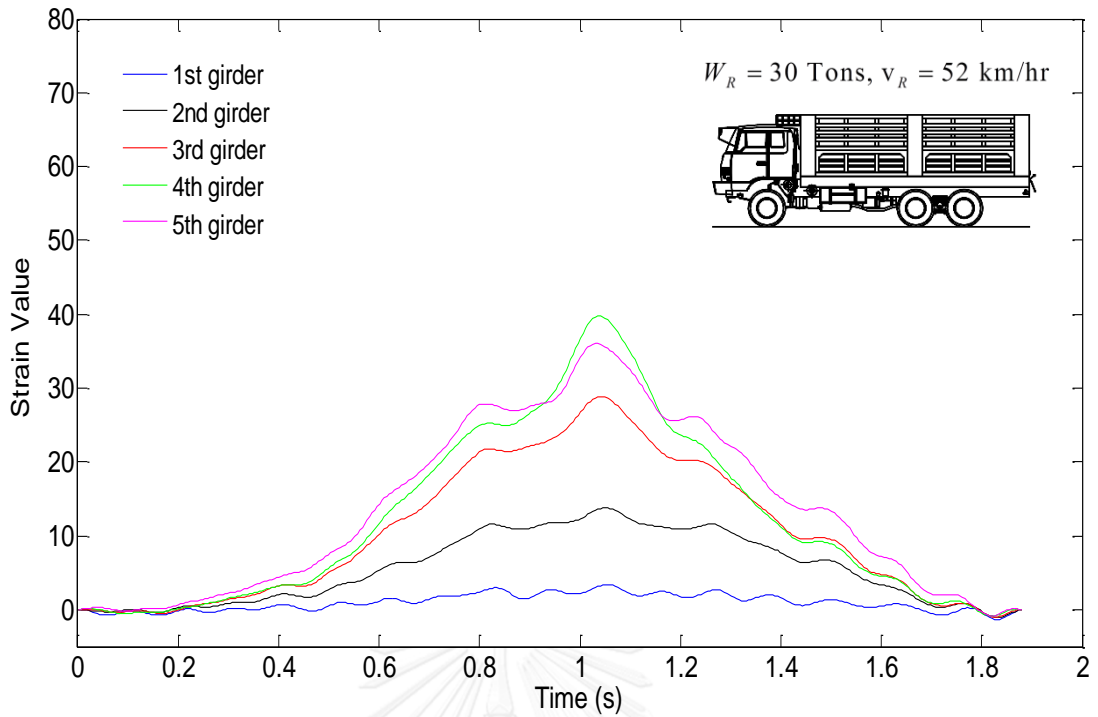
รูปที่ 4.5 สัญญาณความเค้นจรดบรรทุกทุกช่องจากรถซายหนัก 50 ตัน



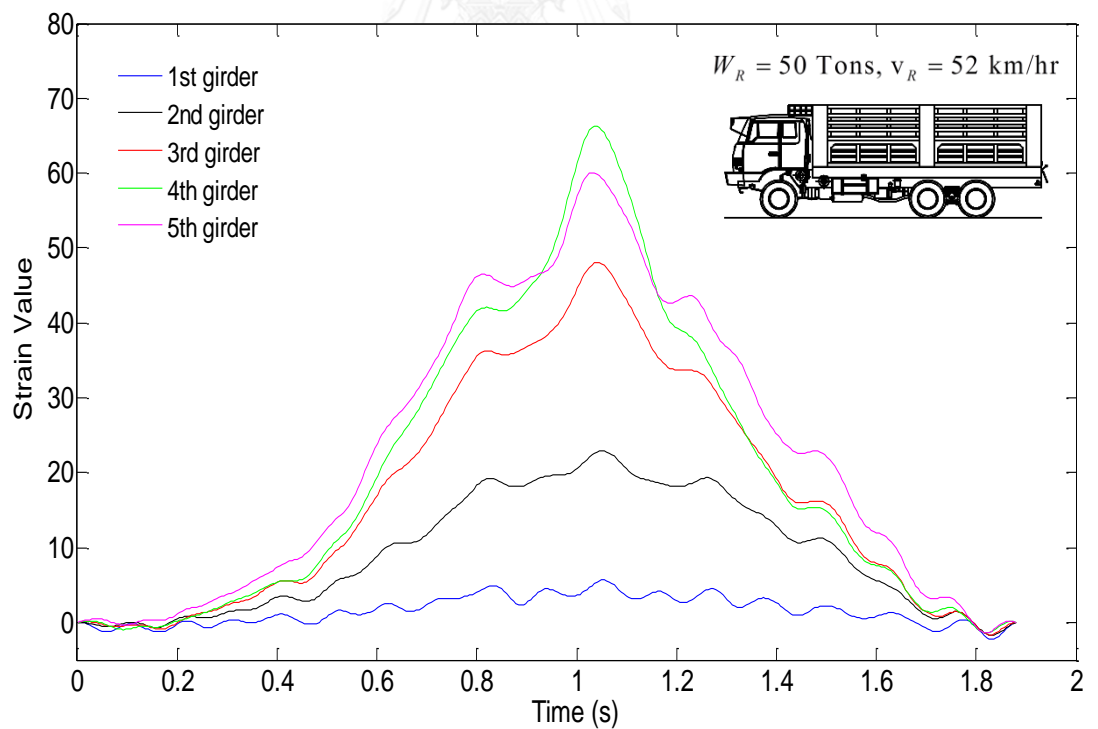
รูปที่ 4.6 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกทุกช่องจราจรซ้ายหนัก 10 30 และ 50 ตัน



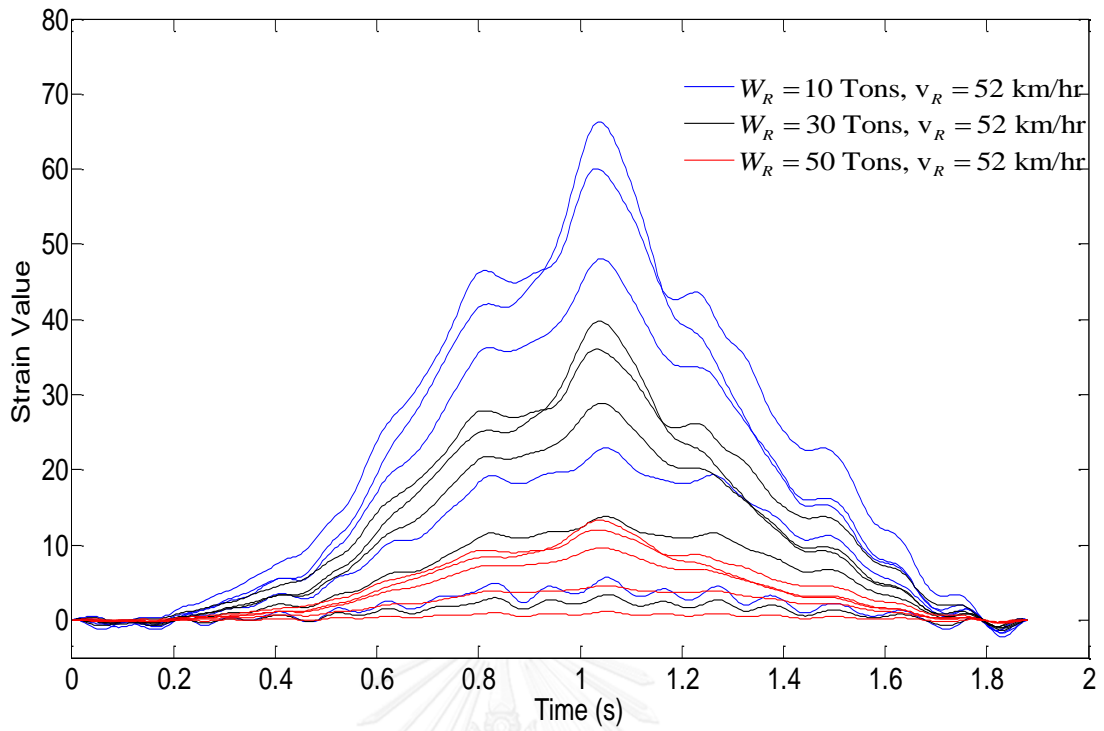
รูปที่ 4.7 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกทุกช่องจราจรขวาหนัก 10 ตัน



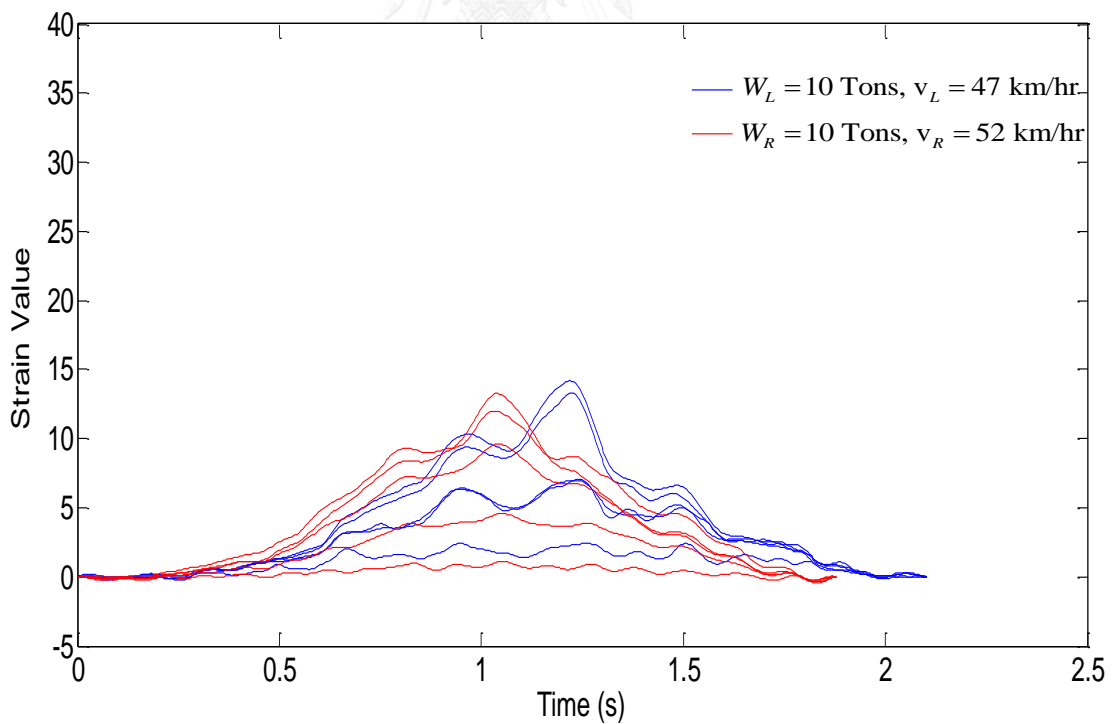
รูปที่ 4.8 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาหนัก 30 ตัน



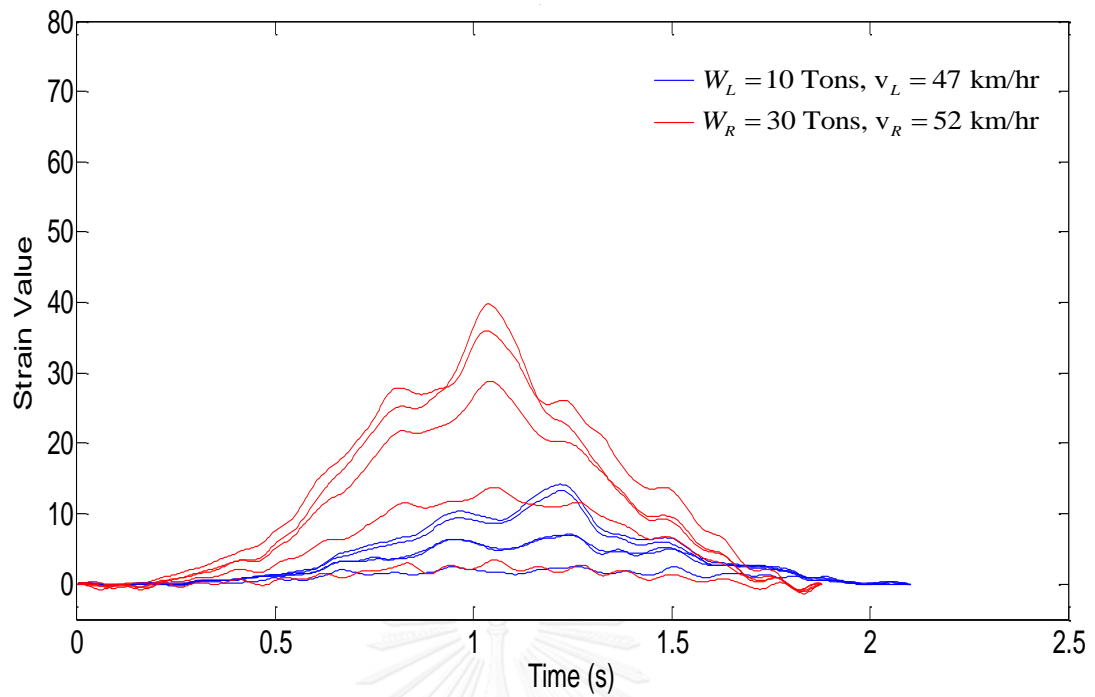
รูปที่ 4.9 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาหนัก 50 ตัน



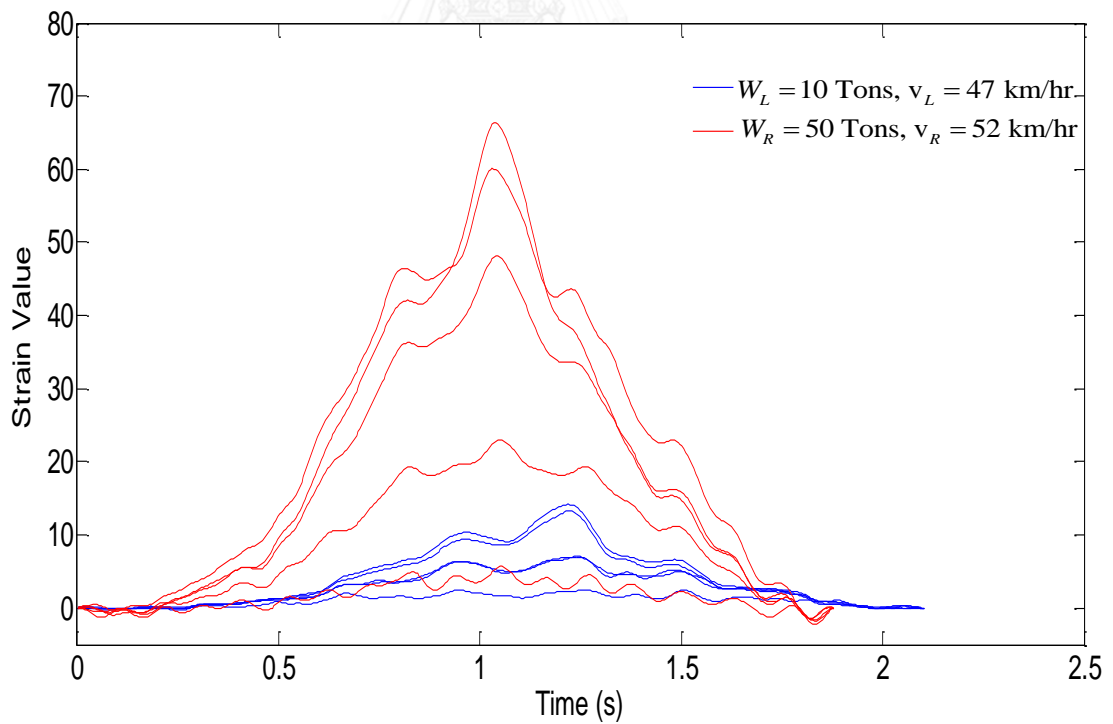
รูปที่ 4.10 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาหนัก 10 30 และ 50 ตัน



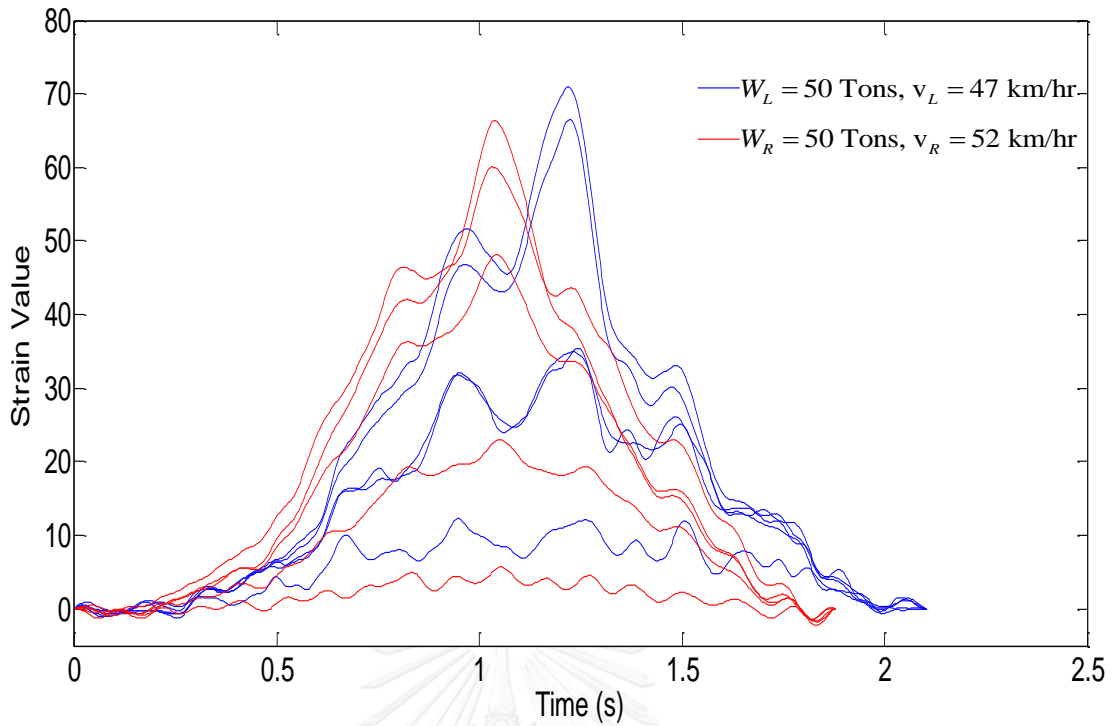
รูปที่ 4.11 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวาหนัก 10 ตัน



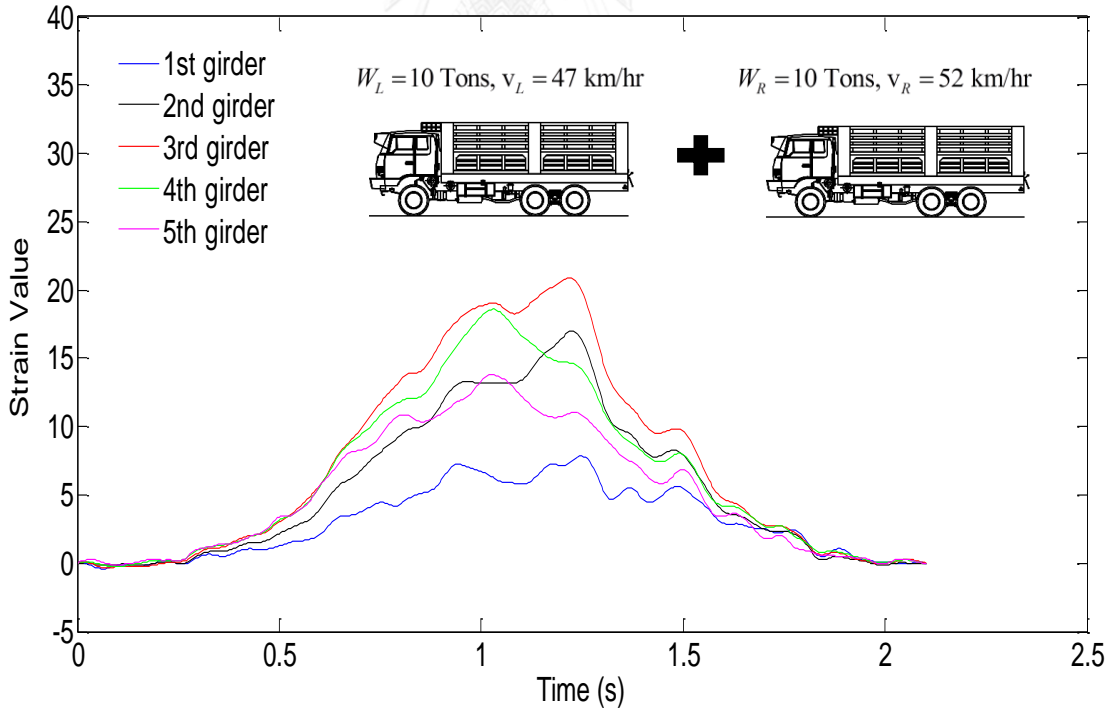
รูปที่ 4.12 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวาหนัก 10 และ 30 ตัน ตามลำดับ



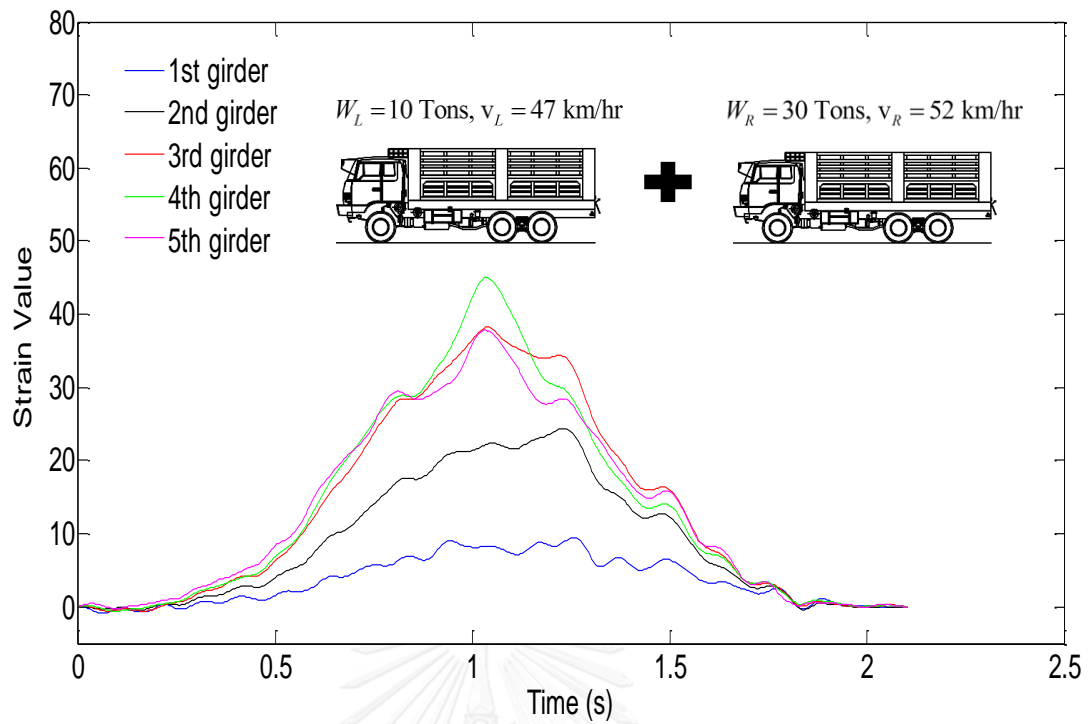
รูปที่ 4.13 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายหนัก 10 ตัน และ 50 ตัน ตามลำดับ



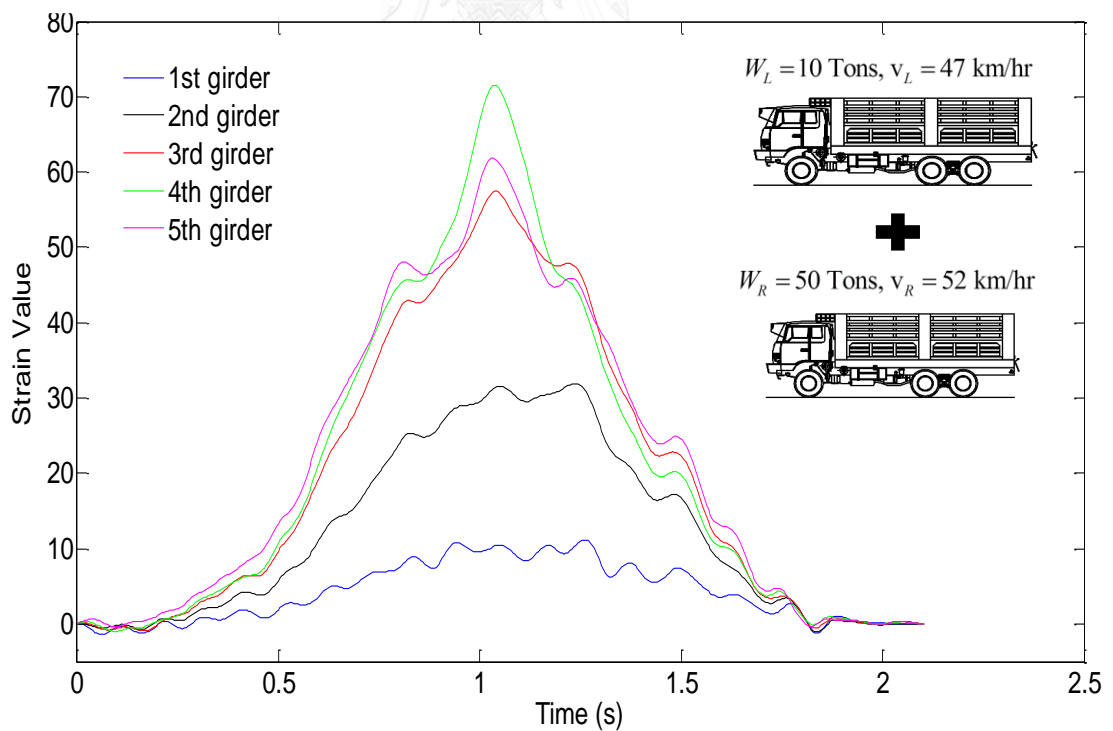
รูปที่ 4.14 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายหนัก 50 ตัน



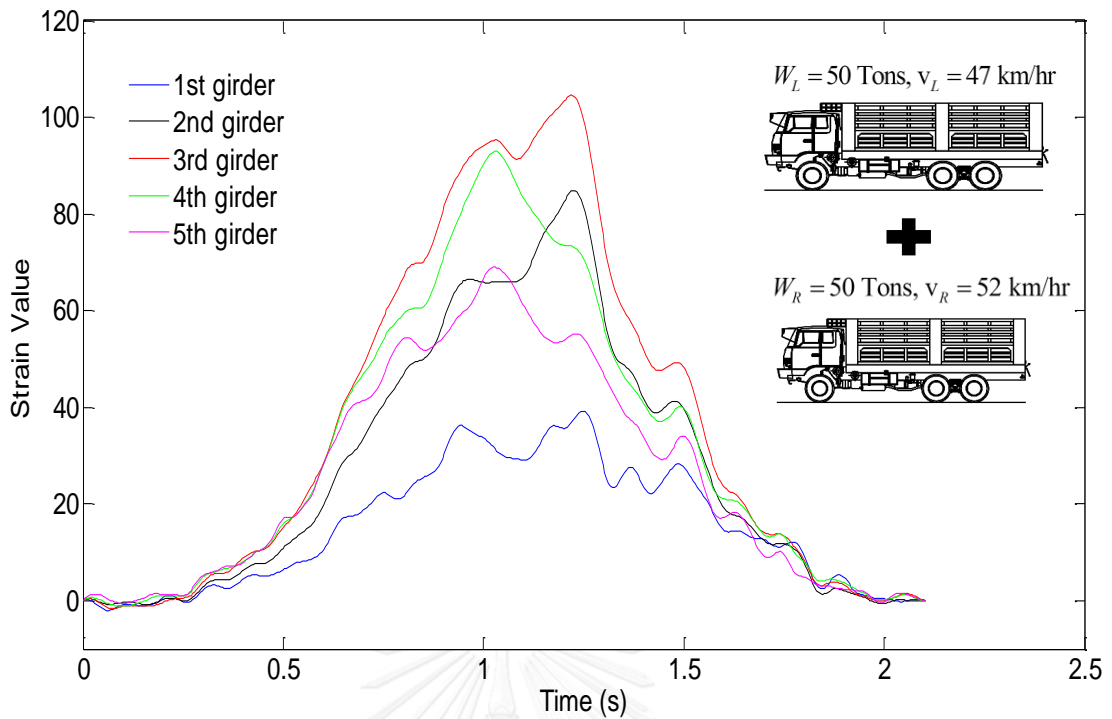
รูปที่ 4.15 สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence



รูปที่ 4.16 สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence

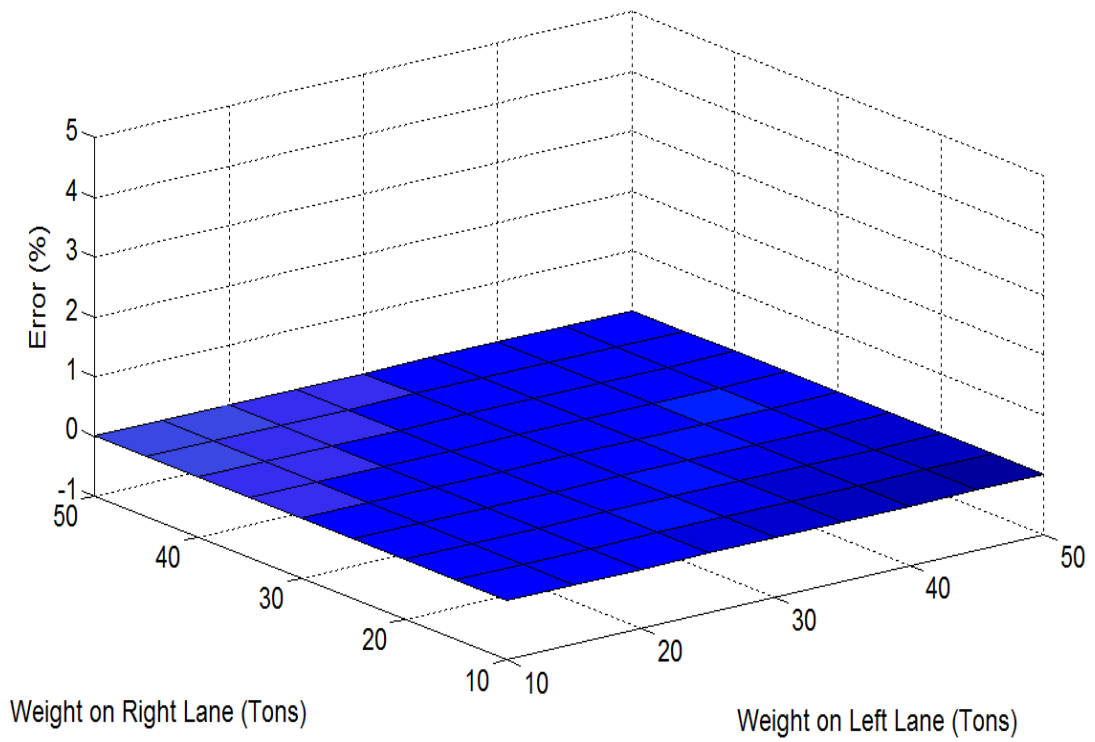


รูปที่ 4.17 สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence

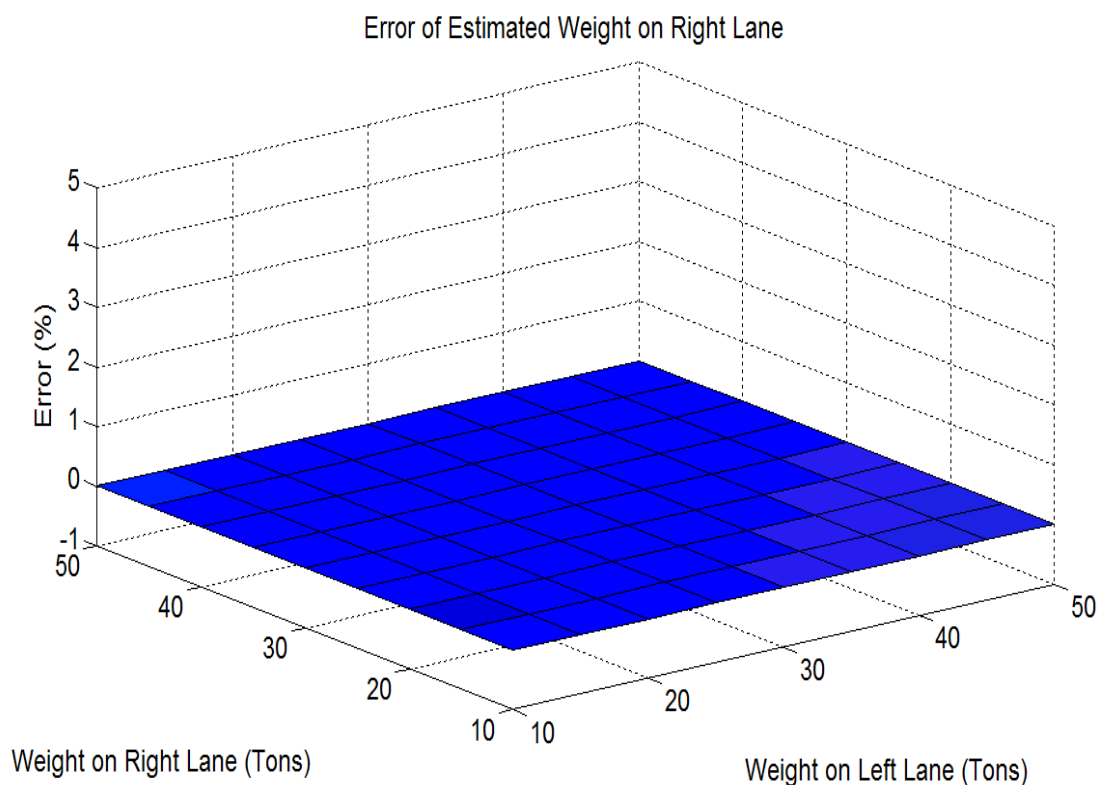


รูปที่ 4.18 สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence

Error of Estimated Weight on Left Lane



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความคลาดเคลื่อนการหาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย

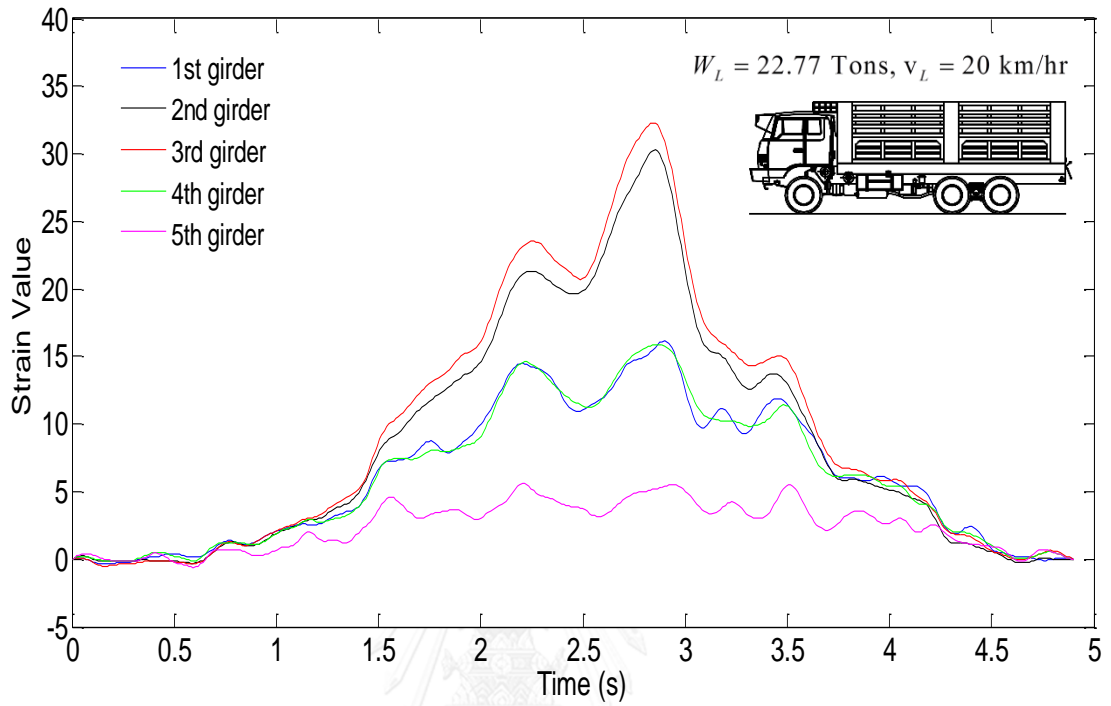


รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความคลาดเคลื่อนการหาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรขวา

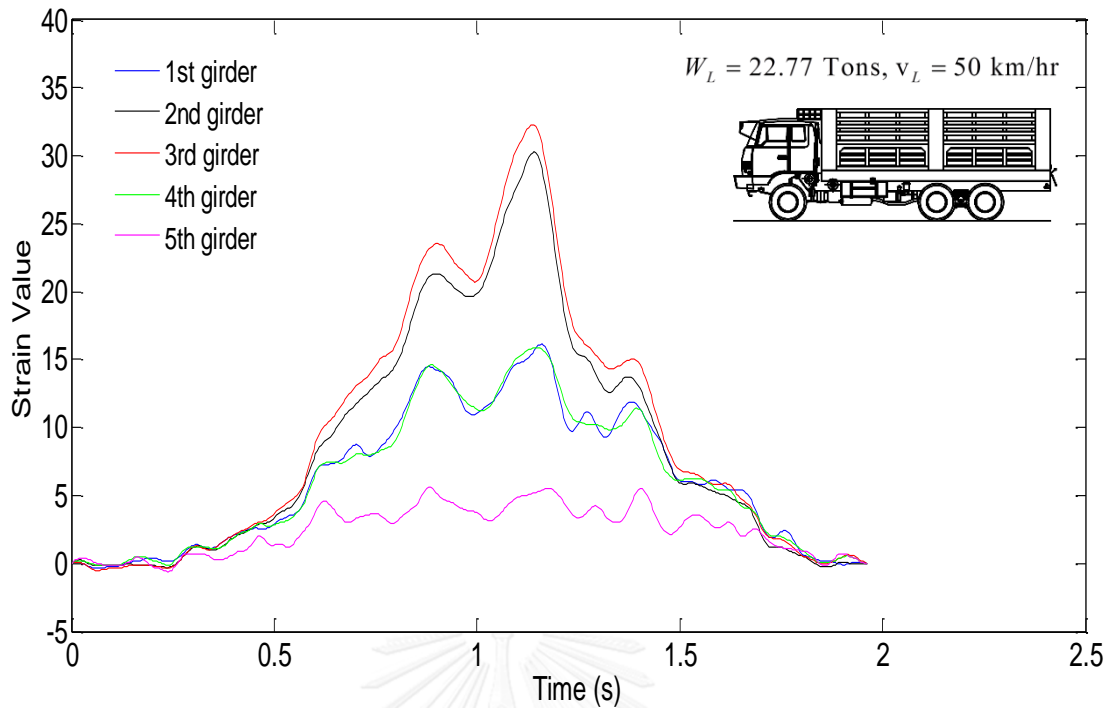
4.3.2 ผลกระทบเนื่องจากความเร็วของรถบรรทุก

การวิเคราะห์ผลกระทบเนื่องจากความหลากหลายของความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งคู่กัน จะทำการทดสอบโดยการสร้างสัญญาณความเครียดเทียมด้วยวิธีเทียบสัดส่วนเส้นตรง โดยใช้ข้อมูลจากชุดค่าสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกที่ใช้ในการสอบเทียบที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด จะได้ชุดค่าสัญญาณความเครียดตามที่ต้องการ คือชุดค่าสัญญาณความเครียดที่มีความเร็วของรถบรรทุกตั้งแต่ 10 ถึง 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงกราฟตัวอย่างการสร้างสัญญาณความเครียดให้เห็นดังรูปที่ 4.21 ถึงรูปที่ 4.28 แล้วนำค่าสัญญาณความเครียดดังกล่าวมาสร้างเป็นชุดข้อมูลเนื่องจากรถวิ่งบนสะพานคู่กันบนเงื่อนไขความเร็วที่แตกต่างกันดังตัวอย่างในรูปที่ 4.32 ถึงรูปที่ 4.34 แล้วนำค่าสัญญาณความเครียดดังกล่าวมาคำนวณกลับหาน้ำหนักบรรทุก เพื่อพิจารณาผลกระทบเนื่องจากความเร็วรถบรรทุกที่นำมาทำการทดสอบ และความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของรถบรรทุกกับผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 และแสดง

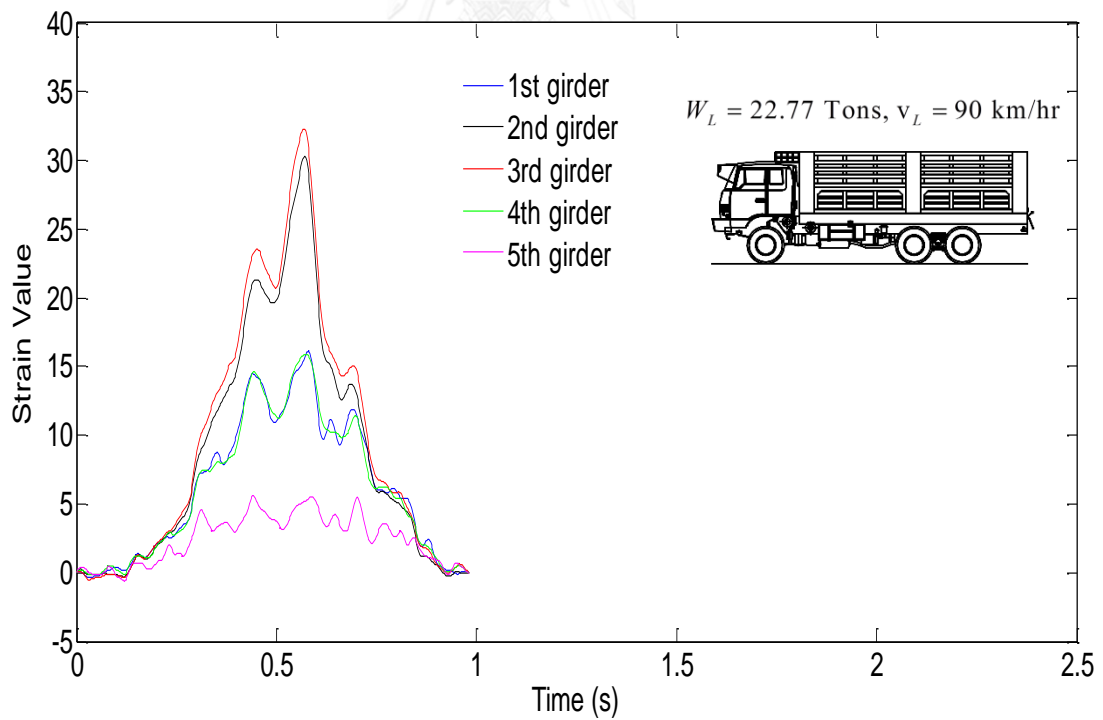
ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของรถบรรทุกกับความคลาดเคลื่อนในการพิจารณาหาหน้าหนักบรรทุก แสดงได้ดังตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8



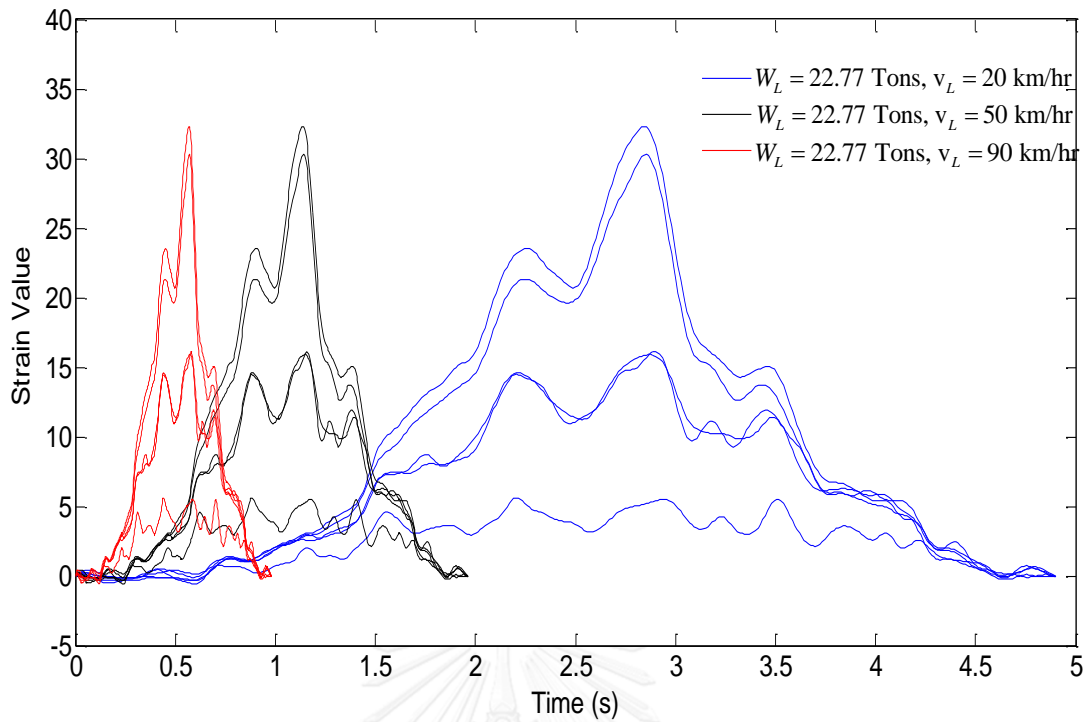
รูปที่ 4.21 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกของจราจรซ้ายวิ่งด้วยความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



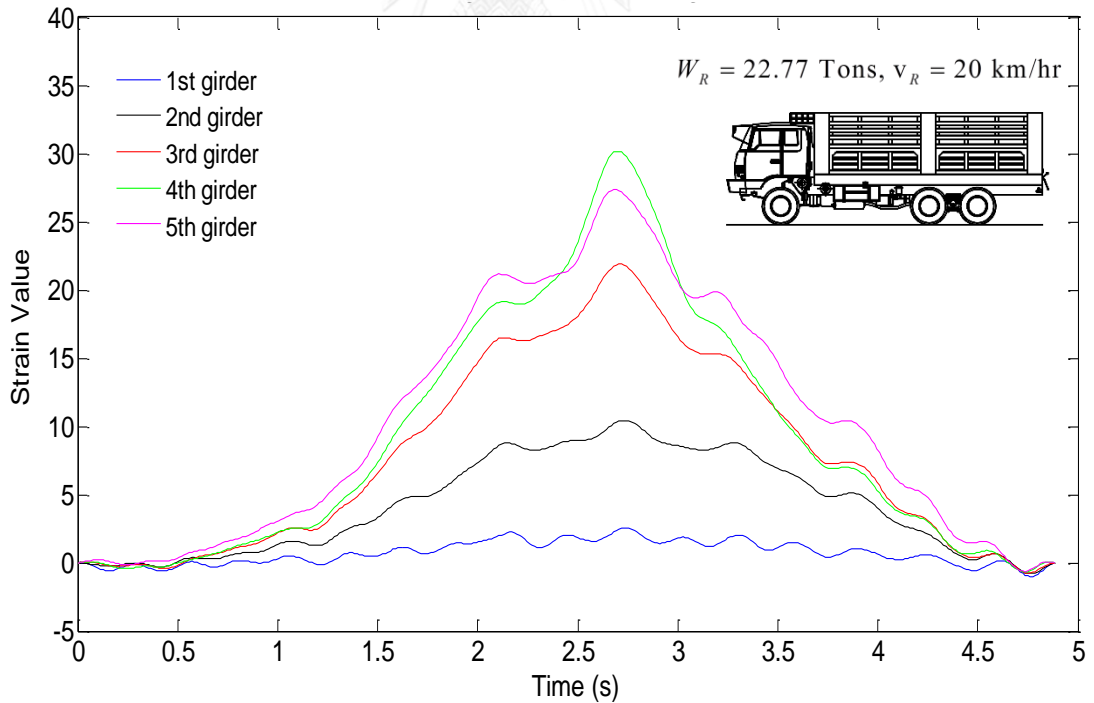
รูปที่ 4.22 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกของจากรางซ้ายวิ่งด้วยความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



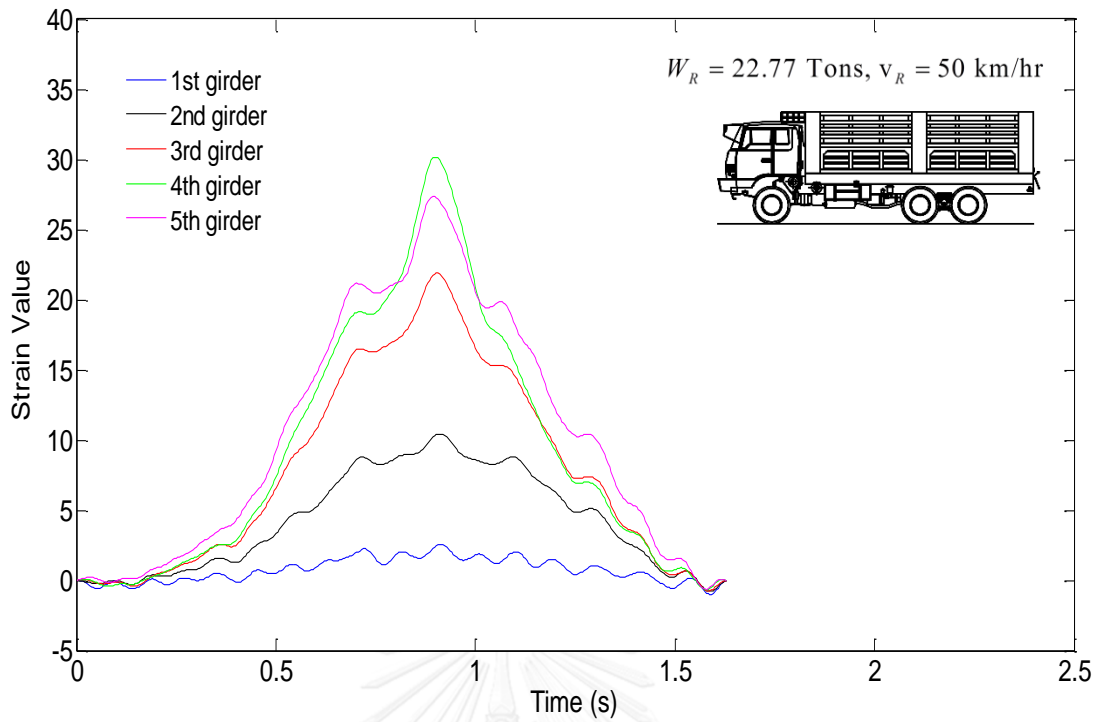
รูปที่ 4.23 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกของจากรางซ้ายวิ่งด้วยความเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



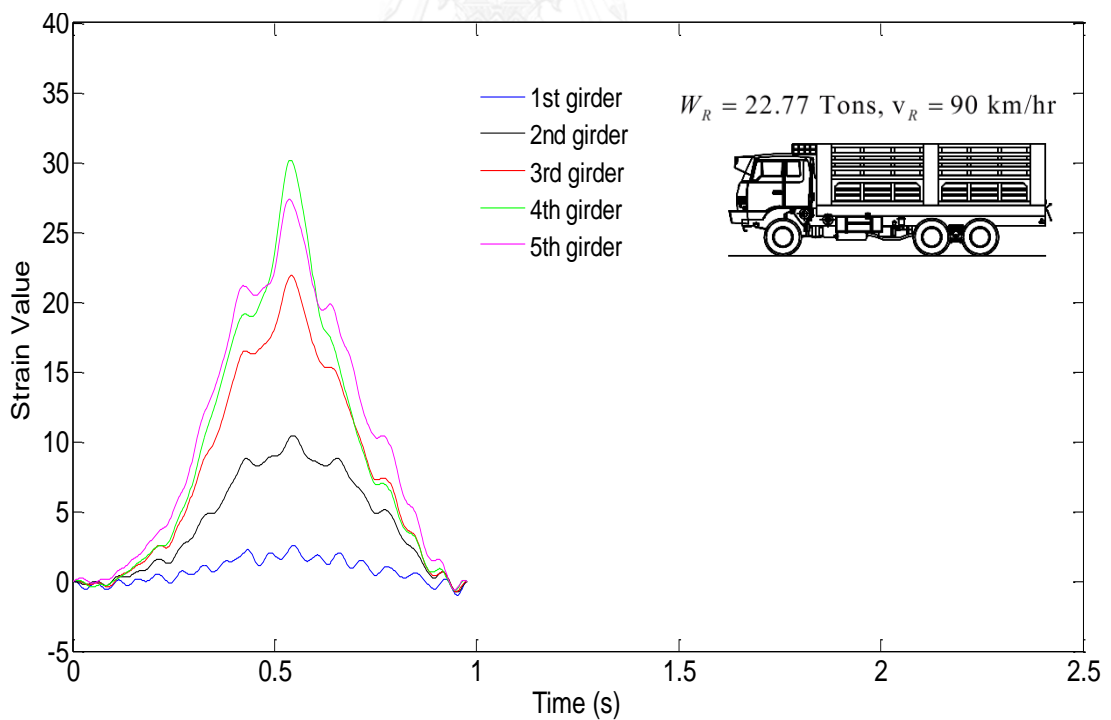
รูปที่ 4.24 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายวิ่งด้วยความเร็ว 20 50 และ 90 km/hr



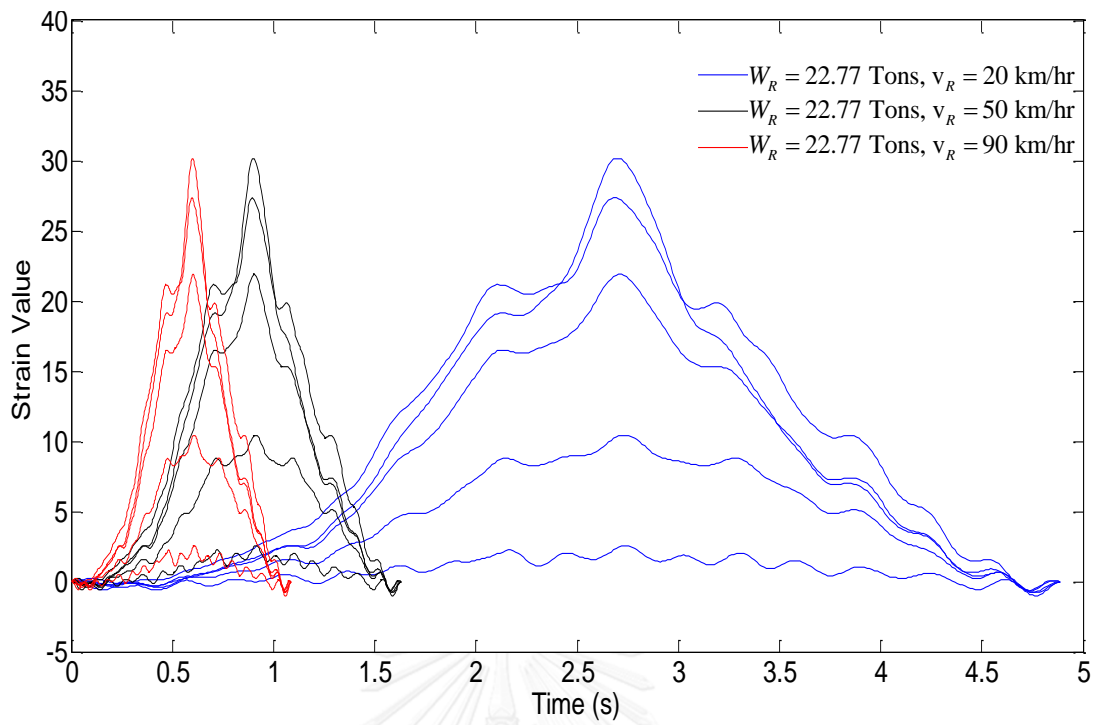
รูปที่ 4.25 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาวิ่งด้วยความเร็ว 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



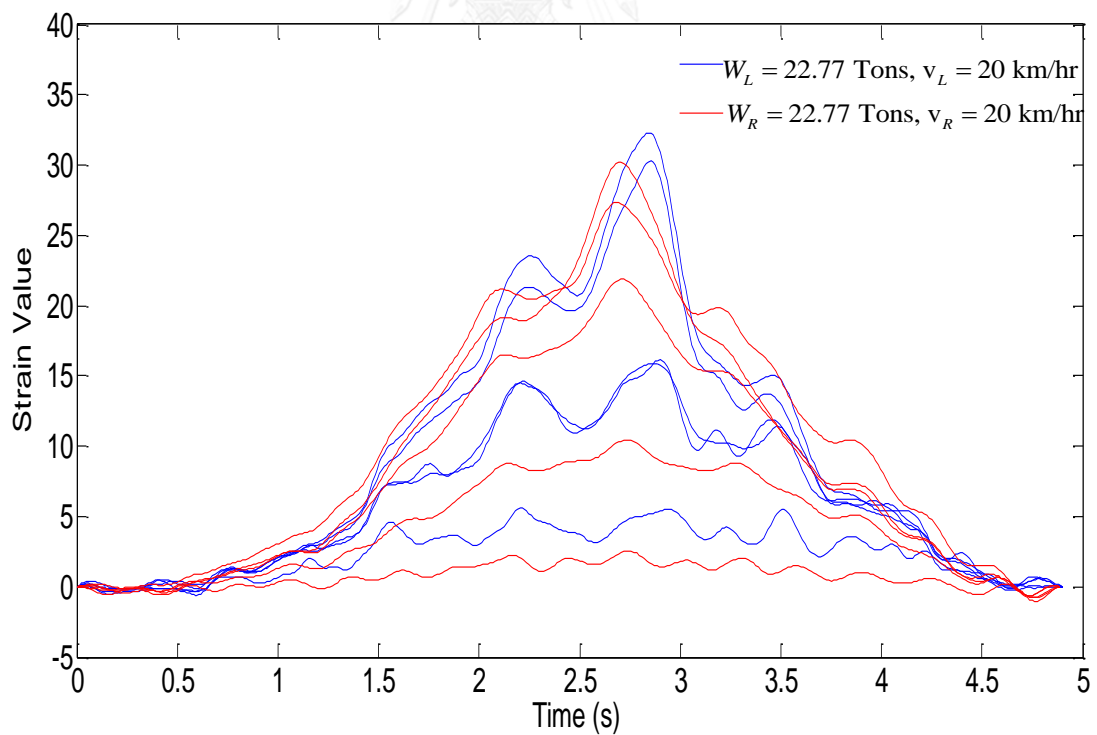
รูปที่ 4.26 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกของจราจรขาวิ่งด้วยความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



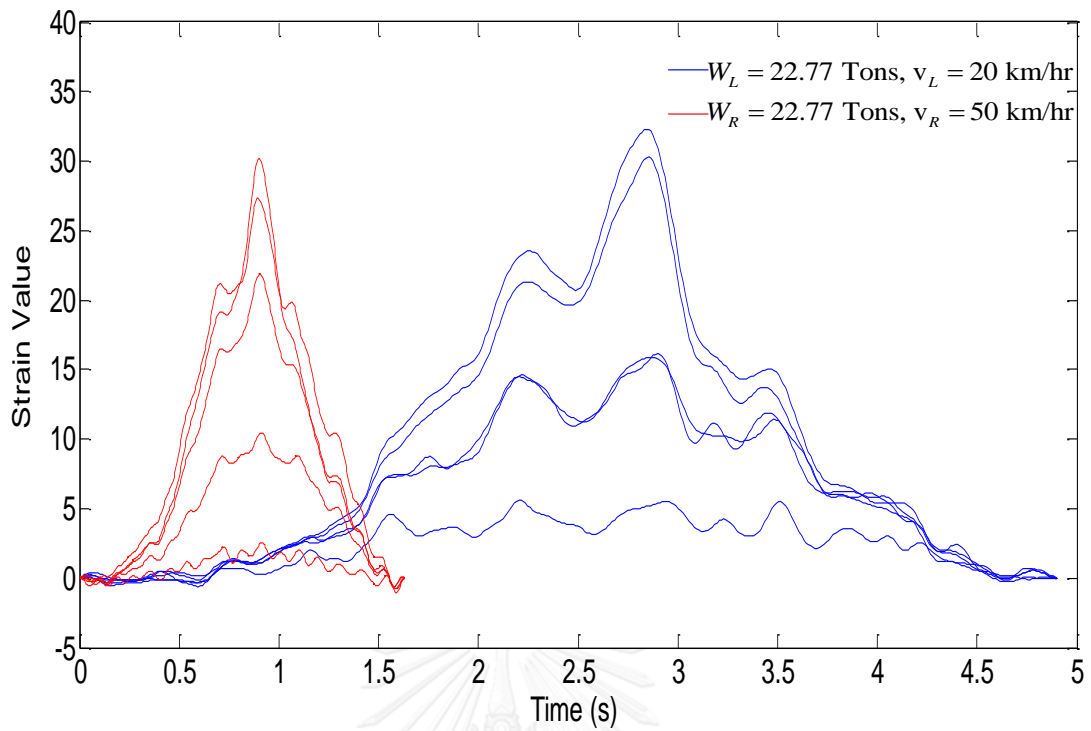
รูปที่ 4.27 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกของจราจรขาวิ่งด้วยความเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



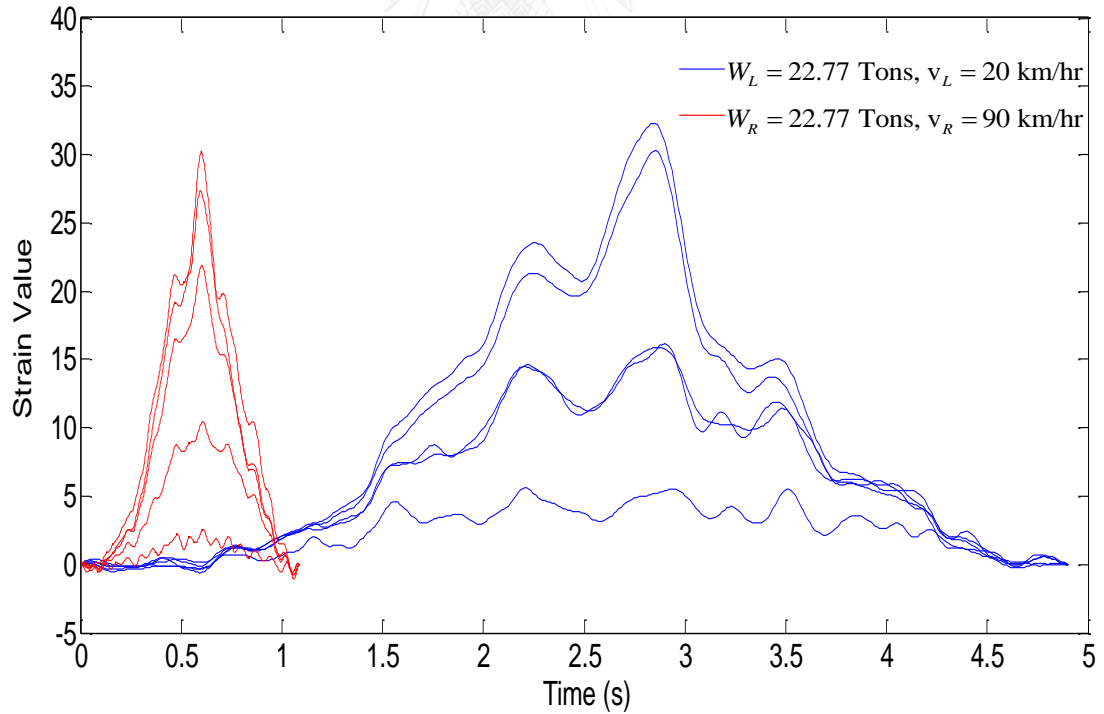
รูปที่ 4.28 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาวิ่งด้วยความเร็ว 20 50 และ 90 km/hr



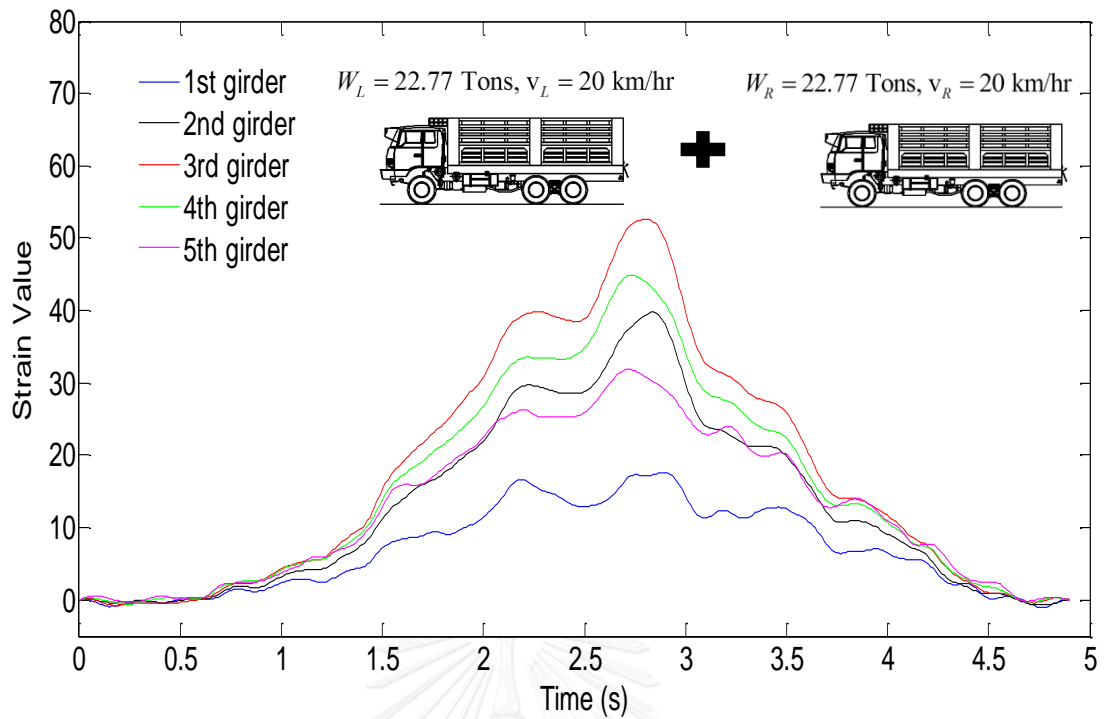
รูปที่ 4.29 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย และขวาวิ่งด้วยความเร็ว 20 km/hr



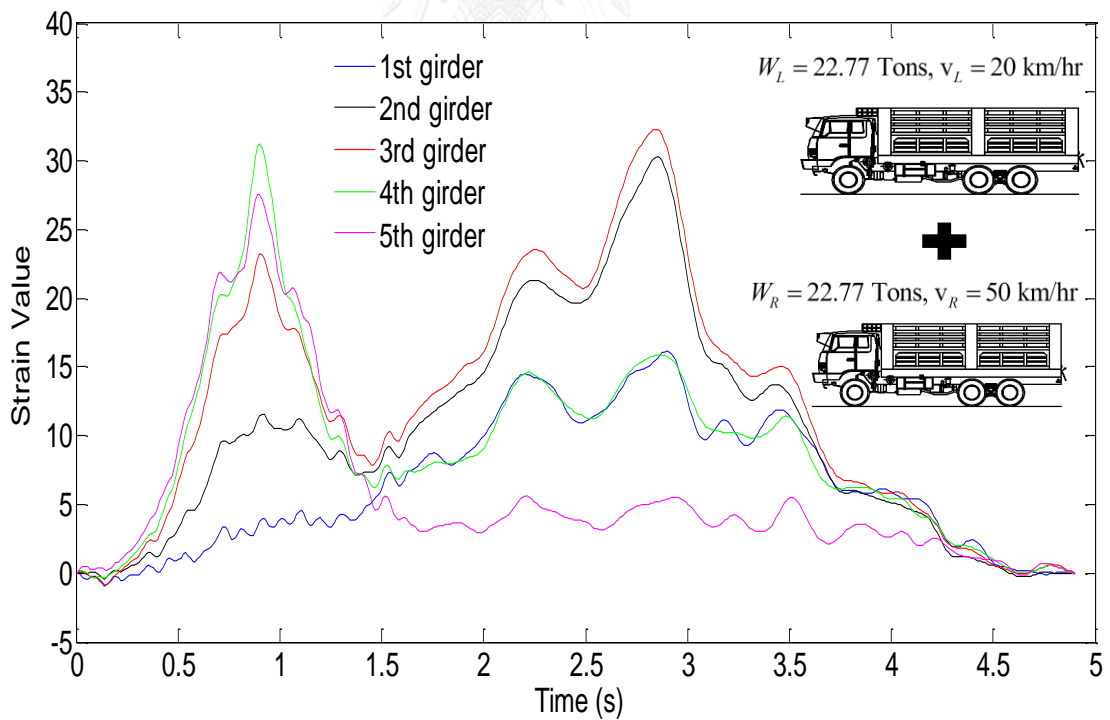
รูปที่ 4.30 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวาวิ่งด้วยความเร็ว 20 และ 50 km/hr



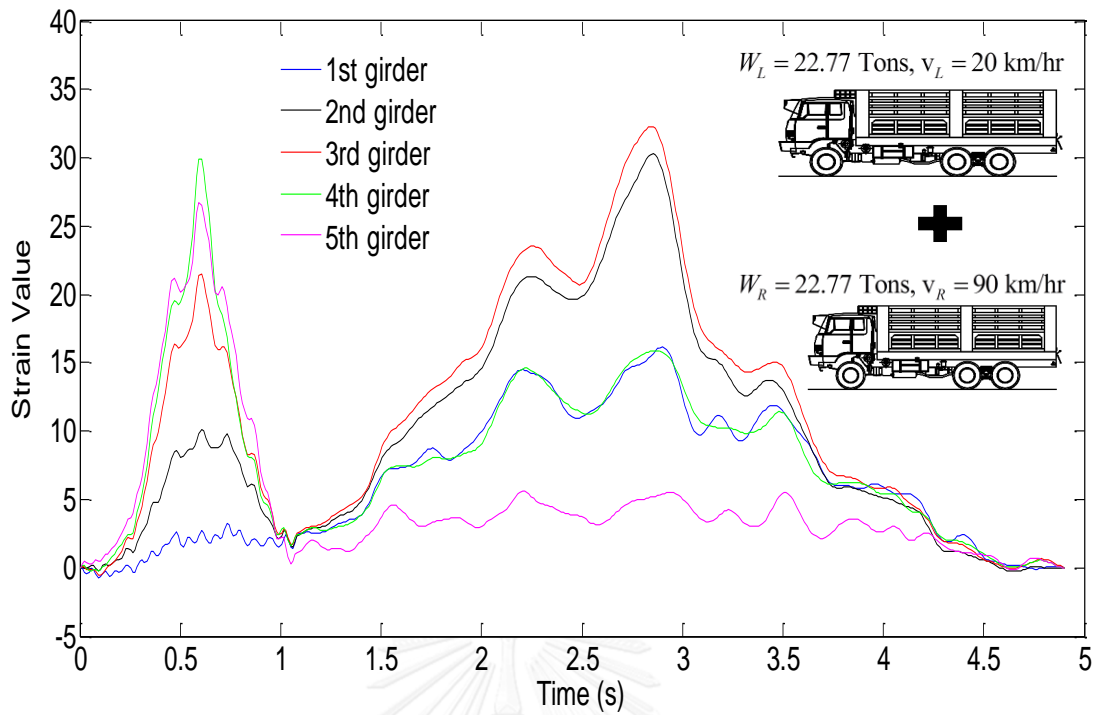
รูปที่ 4.31 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวาวิ่งด้วยความเร็ว 20 และ 90 km/hr



รูปที่ 4.32 สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence



รูปที่ 4.33 สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence



รูปที่ 4.34 สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence

ตารางที่ 4.5 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย เนื่องจากความเร็วต่างกัน

ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย											
		รถบรรทุกช่องจราจรซ้าย									
	ความเร็ว (km/hr)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
รถบรรทุกช่องจราจรขวา	100	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770
	90	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770
	80	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770
	70	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,771
	60	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,771	22,771
	50	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,771	22,770
	40	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,771	22,771	22,770	22,770
	30	22,770	22,770	22,770	22,770	22,771	22,771	22,770	22,770	22,770	22,771
	20	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,771	22,770	22,769	22,775
	10	22,770	22,770	22,770	22,769	22,773	22,767	22,787	22,765	22,749	22,819

ตารางที่ 4.6 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกช่องจราจรขวา เนื่องจากความเร็วต่างกัน

ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกช่องจราจรขวา											
		รถบรรทุกช่องจราจรซ้าย									
	ความเร็ว (km/hr)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
รถบรรทุกช่องจราจรขวา	100	22,772	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770
	90	22,769	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770
	80	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770
	70	22,768	22,770	22,769	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770
	60	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770
	50	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770
	40	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770
	30	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770
	20	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,768	22,768
	10	22,770	22,770	22,770	22,770	22,770	22,768	22,770	22,772	22,767	22,770

ตารางที่ 4.7 ผลกระทบการหาค่าน้ำหนักบรรทุกรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย เนื่องจากความเร็วต่างกัน

ผลกระทบการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกช่องจราจรซ้าย											
		ความคลาดเคลื่อนของค่าน้ำหนักรถในช่องจราจรซ้าย (w_L) (%)									
	ความเร็ว (km/hr)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
รถบรรทุกช่องจราจรขวา	100	0.00025	0.00025	0.00017	0.00016	0.00004	0.00007	0.00067	0.00056	0.00012	0.00009
	90	0.00052	0.00033	0.00008	0.00007	0.00015	0.00018	0.00031	0.00060	0.00009	0.00155
	80	0.00017	0.00024	0.00003	0.00004	0.00005	0.00005	0.00124	0.00009	0.00122	0.00170
	70	0.00060	0.00037	0.00069	0.00007	0.00002	0.00162	0.00009	0.00140	0.00184	0.00251
	60	0.00019	0.00008	0.00004	0.00018	0.00079	0.00009	0.00128	0.00223	0.00224	0.00233
	50	0.00025	0.00016	0.00007	0.00056	0.00009	0.00152	0.00197	0.00302	0.00031	0.00151
	40	0.00024	0.00004	0.00005	0.00009	0.00170	0.00224	0.00351	0.00151	0.00181	0.00106
	30	0.00008	0.00018	0.00009	0.00223	0.00233	0.00151	0.00160	0.00197	0.00366	0.00135
	20	0.00004	0.00009	0.00071	0.00151	0.00106	0.00366	0.00204	0.00261	0.02161	0.01225
	10	0.00009	0.00151	0.00059	0.00261	0.01225	0.01487	0.07582	0.02144	0.09361	0.21738

ตารางที่ 4.8 ผลกระทบการหาค่าน้ำหนักบรรทุกทุกช่องจราจรขา เนื่องจากความเร็วต่างกัน

ผลกระทบการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกช่องจราจรขา											
		ความคลาดเคลื่อนของค่าน้ำหนักบรรทุกในช่องจราจรขา (w_R) (%)									
	ความเร็ว (km/hr)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
รถบรรทุกช่องจราจรขา	100	0.00874	0.00064	0.00084	0.00027	0.00029	0.00002	0.00034	0.00015	0.00021	0.00006
	90	0.00334	0.00161	0.00086	0.00047	0.00042	0.00103	0.00015	0.00025	0.00006	0.00151
	80	0.00149	0.00190	0.00082	0.00029	0.00015	0.00014	0.00150	0.00006	0.00148	0.00139
	70	0.00843	0.00108	0.00325	0.00007	0.00055	0.00194	0.00006	0.00144	0.00155	0.00147
	60	0.00181	0.00086	0.00029	0.00103	0.00165	0.00006	0.00148	0.00165	0.00117	0.00088
	50	0.00064	0.00027	0.00002	0.00015	0.00006	0.00123	0.00137	0.00172	0.00078	0.00120
	40	0.00190	0.00029	0.00014	0.00006	0.00139	0.00117	0.00151	0.00120	0.00121	0.00081
	30	0.00086	0.00103	0.00006	0.00165	0.00088	0.00120	0.00148	0.00171	0.00109	0.00146
	20	0.00029	0.00006	0.00026	0.00120	0.00081	0.00109	0.00118	0.00125	0.01011	0.00823
	10	0.00006	0.00120	0.00017	0.00125	0.00823	0.00144	0.00835	0.01428	0.00005	0.01179

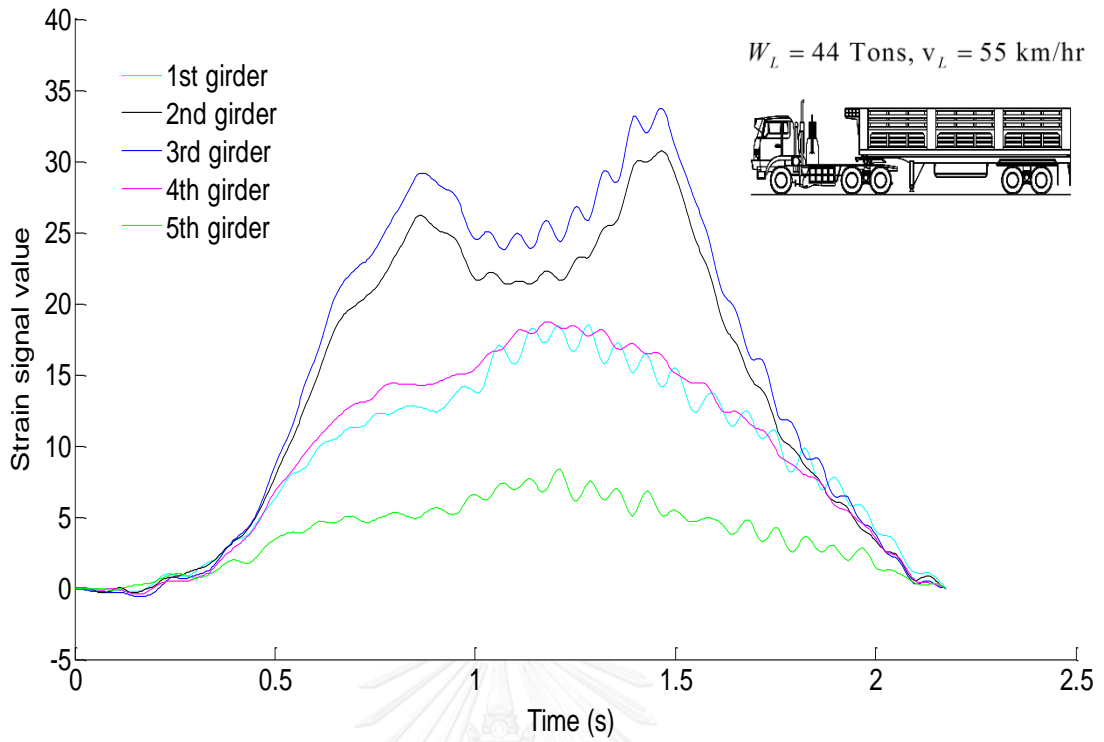
จากรูปที่ 4.19 และรูปที่ 4.20 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความคลาดเคลื่อนในการพิจารณาน้ำหนักบรรทุก พบว่าการทดสอบอัลกอริทึมโดยให้น้ำหนักบรรทุกเป็นตัวแปรที่มีความหลากหลาย มีค่าความคลาดเคลื่อนของการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย และบนช่องจราจรขวาไม่เกิน 0.1%

จากตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรถบรรทุกกับความคลาดเคลื่อนในการพิจารณาน้ำหนักบรรทุก พบว่าการทดสอบอัลกอริทึมโดยให้ความเร็วรถบรรทุกเป็นตัวแปรที่มีความหลากหลาย มีค่าความคลาดเคลื่อนของการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย และบนช่องจราจรขวาไม่เกิน 0.5% จึงพอที่จะสรุปได้ว่าสมการที่ (4.3) ซึ่งใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกในกรณีที่มีรถจำนวนสองคันวิ่งข้ามสะพานคู่กัน สามารถให้ค่าน้ำหนักที่ถูกต้องได้ หากมีการสอบเทียบสะพานด้วยรถบรรทุกที่ใกล้เคียงและเหมาะสมกับกรณี

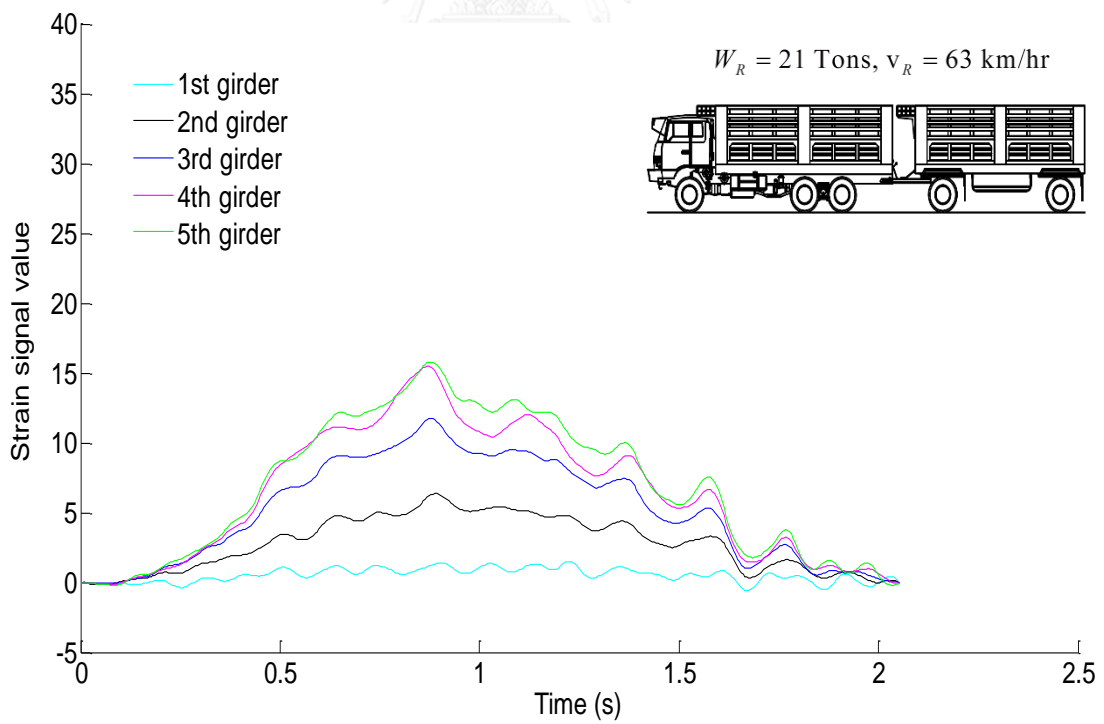
4.4 ทดสอบอัลกอริทึมด้วยข้อมูลรถบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพานทดสอบจริง

การทดสอบอัลกอริทึมโดยการใช้อุปกรณ์ทดสอบของรถบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพานทดสอบ โดยการสุ่มเลือกรถบรรทุกที่วิ่งบนสะพานทดสอบ โดยรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายคือรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อหนัก 44 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 55 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และรถบรรทุกที่วิ่งบนช่องจราจรขวาคือ

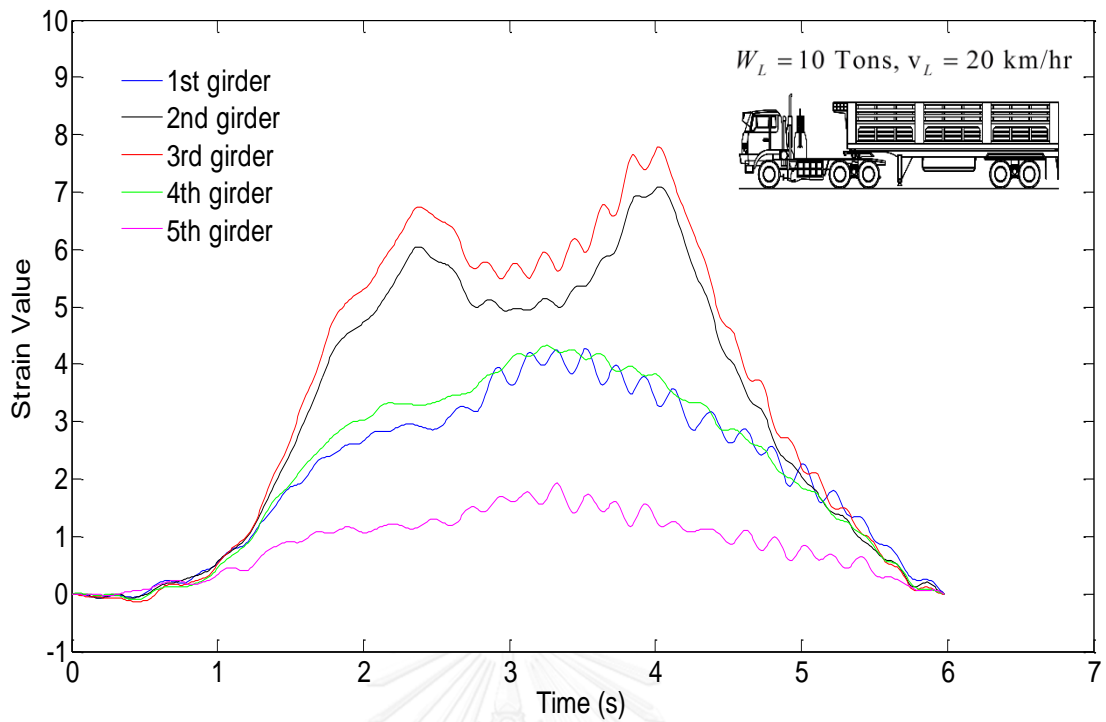
รถบรรทุกพ่วง 18 ล้อ หน้า 21 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 63 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงกราฟสัญญาณความเครียดดังรูปที่ 4.35 และรูปที่ 4.36 แล้วนำสัญญาณความเครียดดังกล่าวมาจำลองสร้างให้ข้อมูลมีความหลากหลายทั้งน้ำหนัก และความเร็ว เพื่อศึกษาผลกระทบเนื่องจากความแตกต่างของน้ำหนักและความเร็วของรถบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพานคู่กัน ทำการทดสอบโดยการสร้างสัญญาณความเครียดเทียมด้วยวิธีเทียบสัดส่วนเส้นตรง โดยใช้ข้อมูลจากชุดค่าสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดที่ติดตั้งใต้สะพานทดสอบ จะได้ชุดค่าสัญญาณความเครียดตามที่ต้องการ คือชุดค่าสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกที่มีน้ำหนักเท่ากับ 10 ถึง 50 ตัน และมีความเร็วตั้งแต่ 10 ถึง 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงกราฟตัวอย่างการสร้างสัญญาณความเครียดดังรูปที่ 4.37 - รูปที่ 4.40 แล้วนำค่าสัญญาณความเครียดดังกล่าวมาสร้างจำลองเหตุการณ์กรณีรถบรรทุกวิ่งคู่กันบนสะพาน แสดงกราฟตัวอย่างการสร้างสัญญาณความเครียดดังรูปที่ 4.44 รูปที่ 4.45 และรูปที่ 4.46 และคำนวณกลับหาน้ำหนักบรรทุก เพื่อศึกษาพฤติกรรมผลกระทบเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก และความเร็วรถบรรทุกที่มีต่ออัลกอริทึมการคำนวณ สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างของน้ำหนักบรรทุก ความต่างของความเร็วรถบรรทุก และค่าความคลาดเคลื่อนของผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายได้ดังรูปที่ 4.47 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างของน้ำหนักบรรทุก ความต่างของความเร็วรถบรรทุก และค่าความคลาดเคลื่อนของผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรขวาได้ดังรูปที่ 4.48



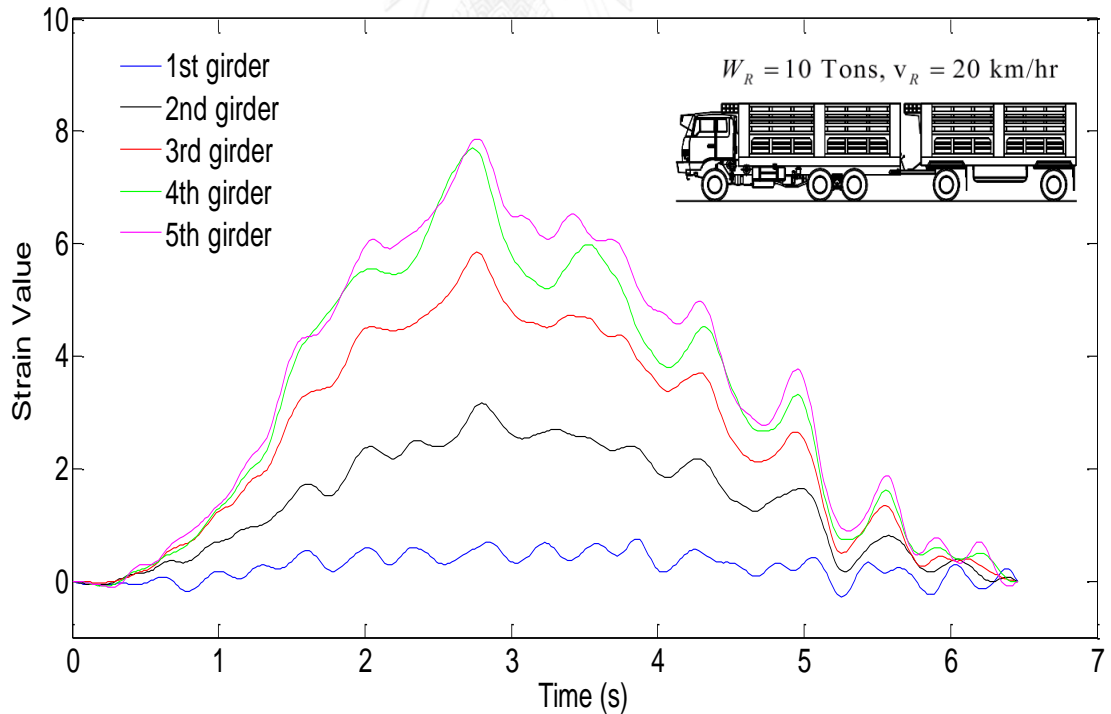
รูปที่ 4.35 สัญญาณความเค้นรถบรรทุกทุกกิ่งฟุ้ง 18 ล้อบนช่องจราจรซ้าย



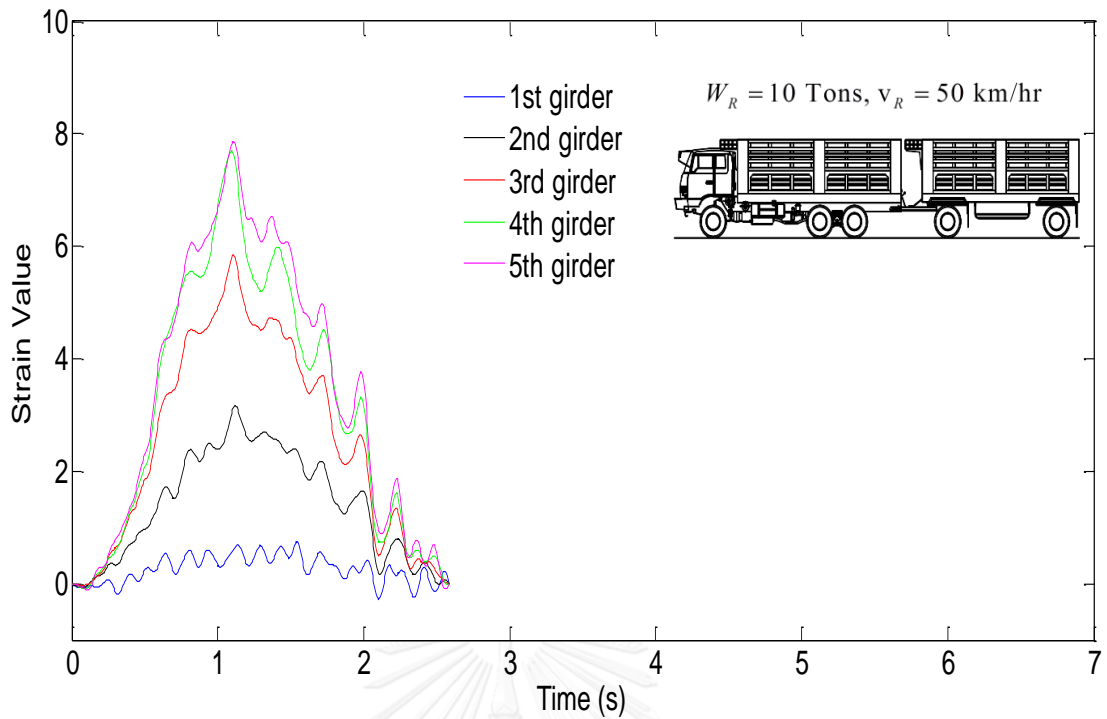
รูปที่ 4.36 สัญญาณความเค้นรถบรรทุกทุกฟุ้ง 18 ล้อบนช่องจราจรขวา



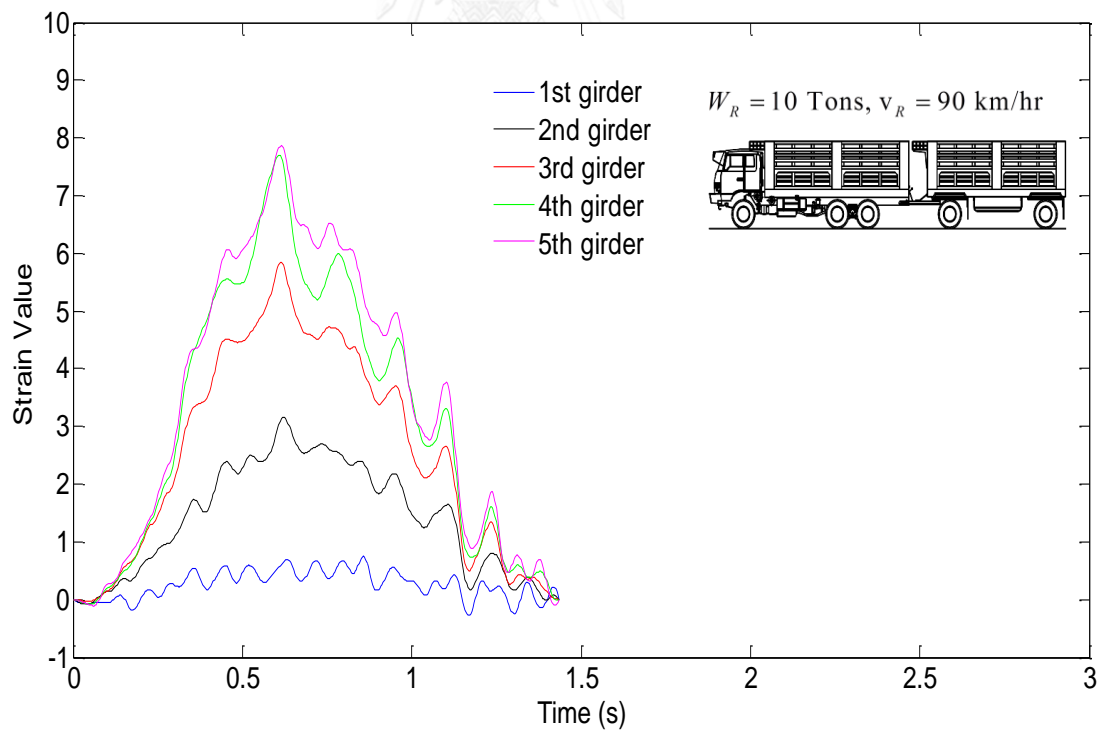
รูปที่ 4.37 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายหนัก 10 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 20 km/hr



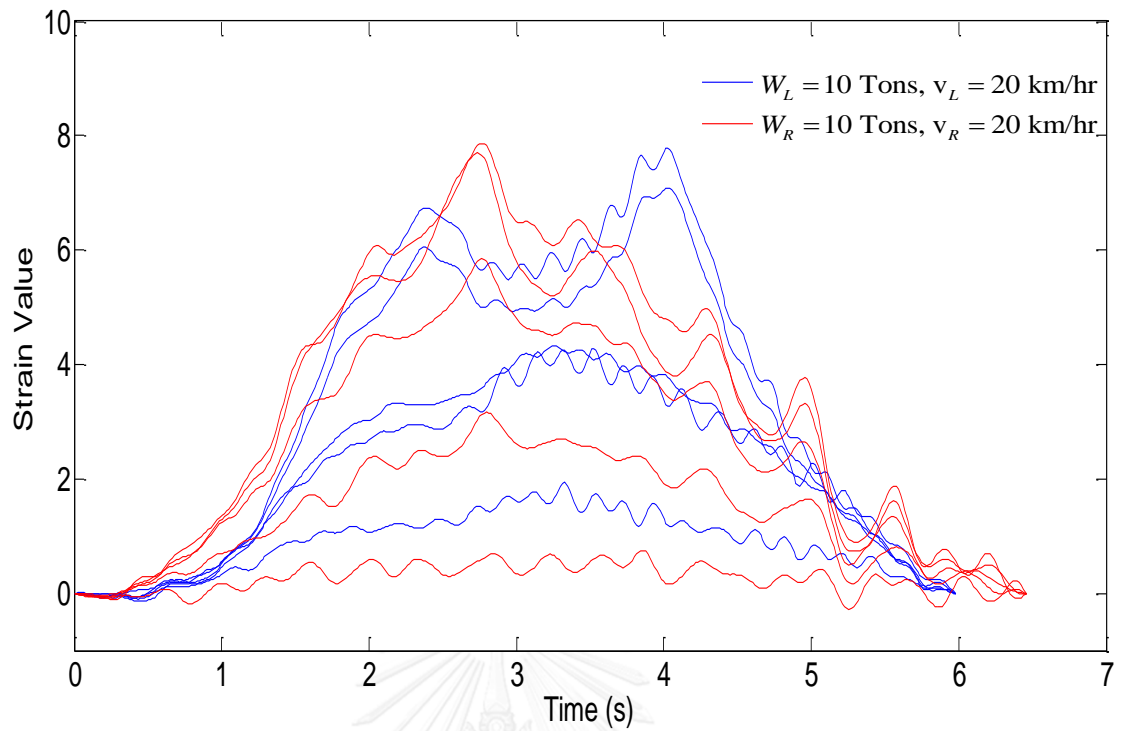
รูปที่ 4.38 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวาหนัก 10 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 20 km/hr



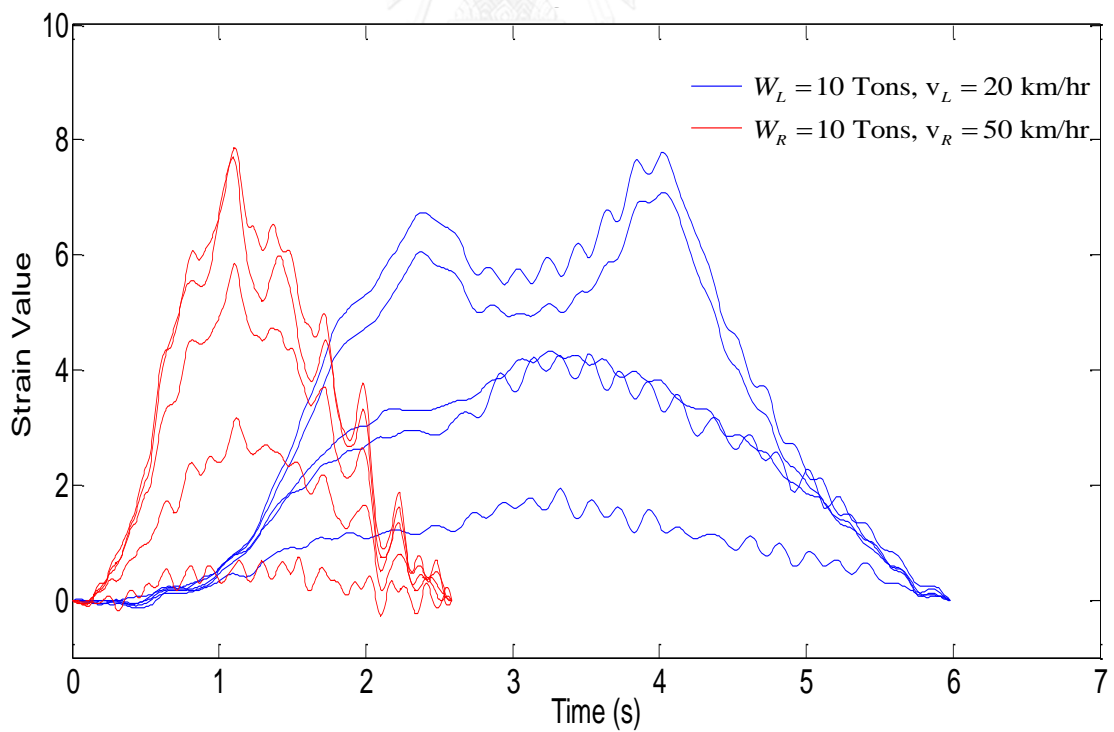
รูปที่ 4.39 สัญญาณความเค้นรถบรรทุกช่องจราจรขาหน้า 10 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 50 km/hr



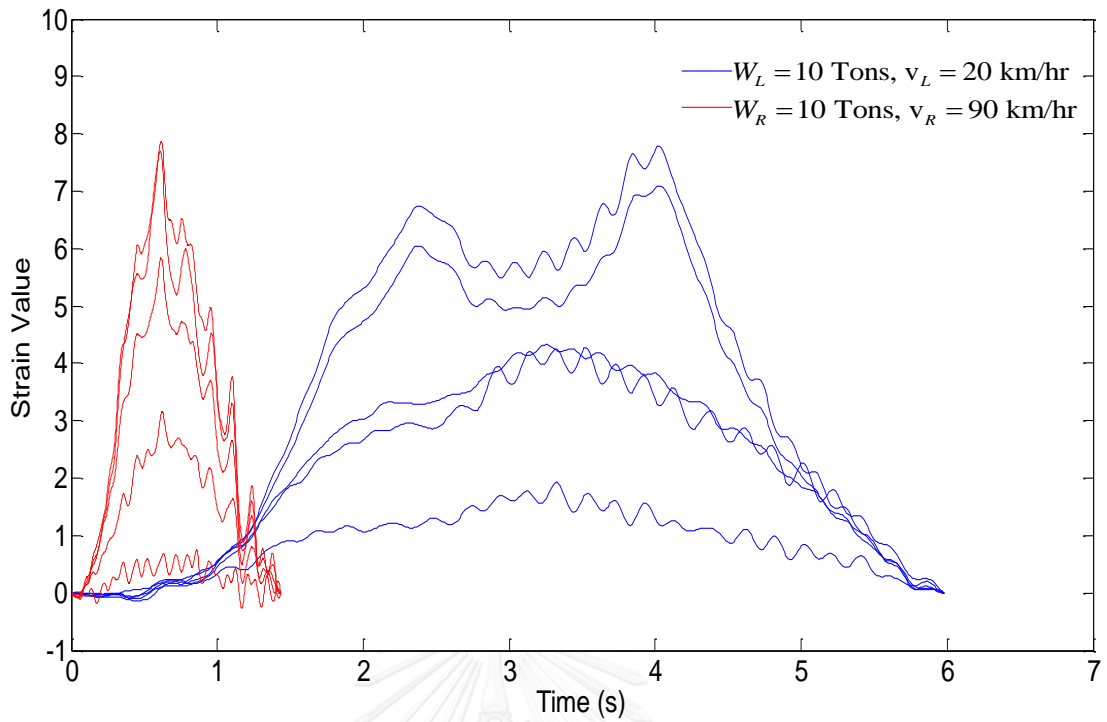
รูปที่ 4.40 สัญญาณความเค้นรถบรรทุกช่องจราจรขาหน้า 10 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 90 km/hr



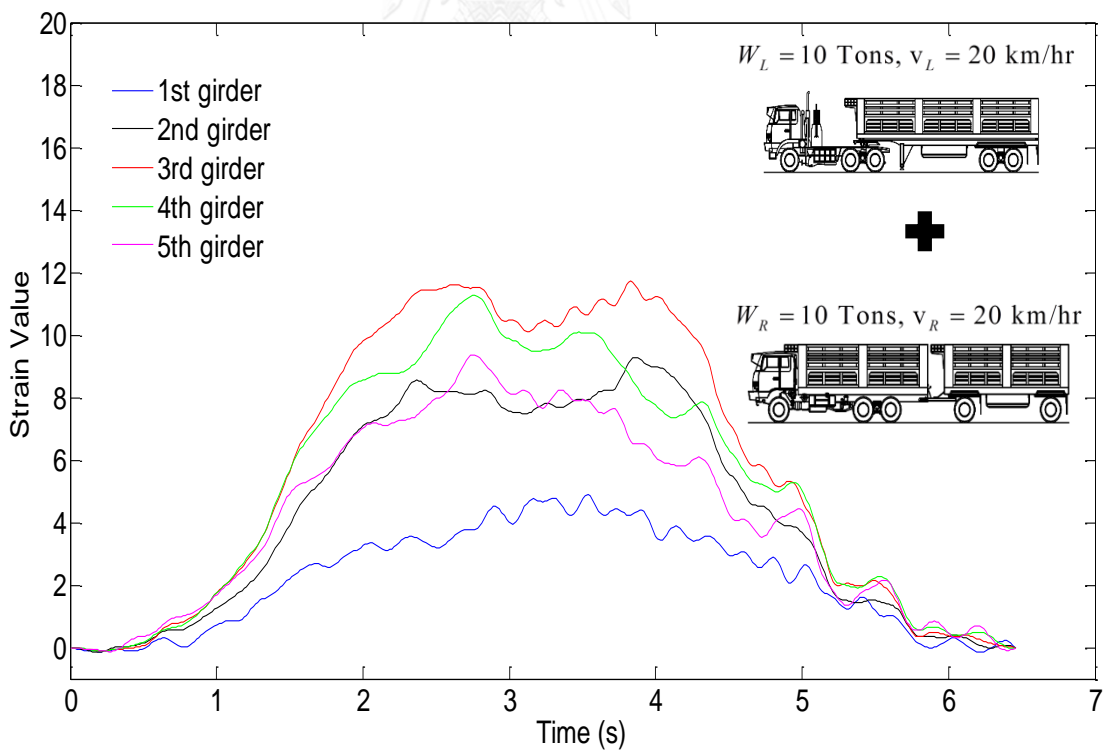
รูปที่ 4.41 สัญญาณความเค้นตรงตลอดช่วงจากรถซ้ายและช่วงจากรถขวา



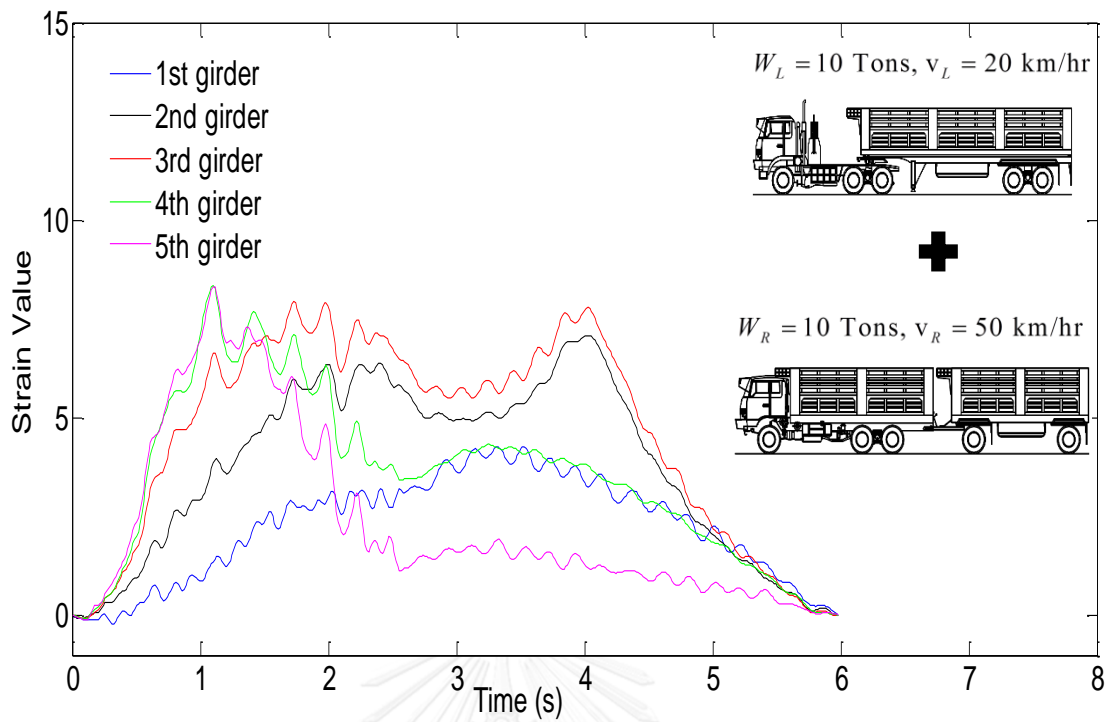
รูปที่ 4.42 สัญญาณความเค้นตรงตลอดช่วงจากรถซ้ายและช่วงจากรถขวา



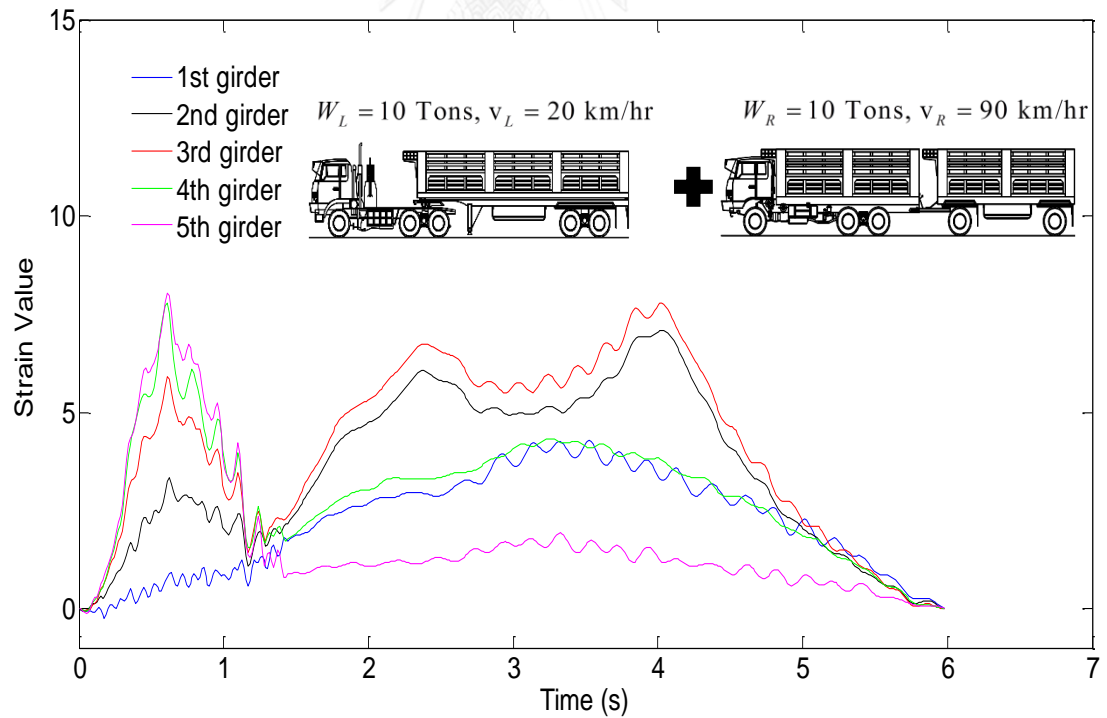
รูปที่ 4.43 สัญญาณความเค้นครีดยกบรรทุกทุกช่องจราจรซ้ายและช่องจราจรซ้ายขวา



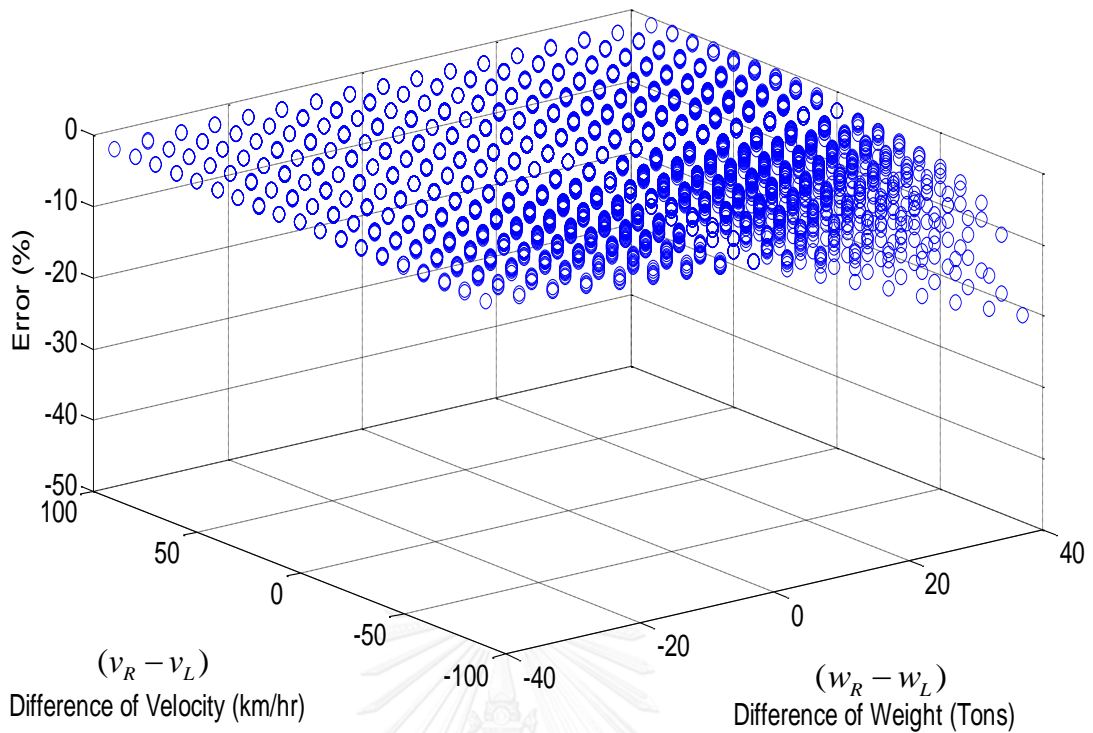
รูปที่ 4.44 สัญญาณความเค้นครีดยกเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence



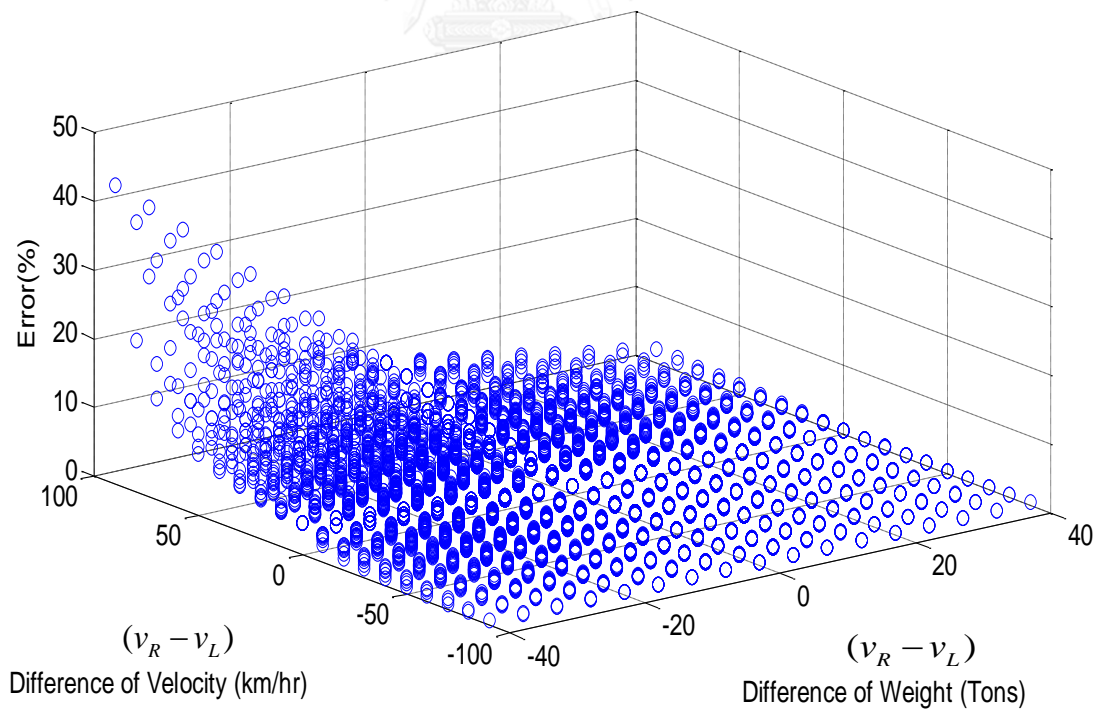
รูปที่ 4.45 สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence



รูปที่ 4.46 สัญญาณความเครียดเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence



รูปที่ 4.47 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก และความเร็วรถบรรทุก กับความคลาดเคลื่อนการหาน้ำหนักบรรทุก



รูปที่ 4.48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก และความเร็วรถบรรทุก กับความคลาดเคลื่อนในการหาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรขวา

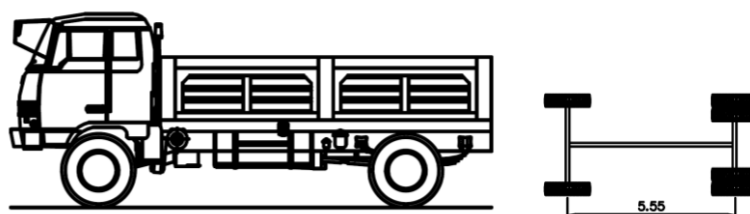
จากรูปที่ 4.47 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความต่างของน้ำหนักบรรทุก ความต่างของความเร็วรถบรรทุก และค่าความคลาดเคลื่อนของผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกบนช่องการจราจรซ้าย พบว่าความคลาดเคลื่อนของผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายมีค่าน้อยกว่าน้ำหนักของรถบรรทุกช่องการจราจรขวาเป็นอย่างมาก และเมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายวิ่งด้วยความเร็วสูงกว่ารถบรรทุกช่องการจราจรขวา มากๆ และรูปที่ 4.48 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความต่างของน้ำหนักบรรทุก ความต่างของความเร็วรถบรรทุก และค่าความคลาดเคลื่อนของผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกบนช่องการจราจรขวา พบว่าความคลาดเคลื่อนของผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายมีค่ามากกว่าน้ำหนักของรถบรรทุกช่องการจราจรขวามากๆ และเมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายวิ่งด้วยความเร็วน้อยกว่ารถบรรทุกช่องการจราจรขวา เป็นอย่างมาก

4.5 การพิจารณาค่าน้ำหนักของรถบรรทุก ในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบเดี่ยว

การพิจารณาค่าน้ำหนักของรถบรรทุก ในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบคันเดียว จะเลือกพิจารณารถบรรทุกที่มีตัวแปรแตกต่างกัน คือจะประกอบไปด้วยรถบรรทุกที่วิ่งบนช่องจราจรซ้าย 72 กรณี และช่องจราจรขวา 16 กรณี ทั้งหมด 10 ประเภทรถบรรทุก (รถ 6 ล้อ, รถ 10 ล้อ, รถ กึ่งพ่วง 18 ล้อ, รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ, รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ, รถกึ่งพ่วง 24 ล้อ, รถพ่วง 18 ล้อ, รถพ่วง 20 ล้อ, รถพ่วง 22 ล้อ, รถพ่วง 24 ล้อ) ที่บรรทุกน้ำหนักต่างกัน และวิ่งด้วยความเร็วที่ต่างกัน

4.5.1 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย

4.5.1.1 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 6 ล้อ

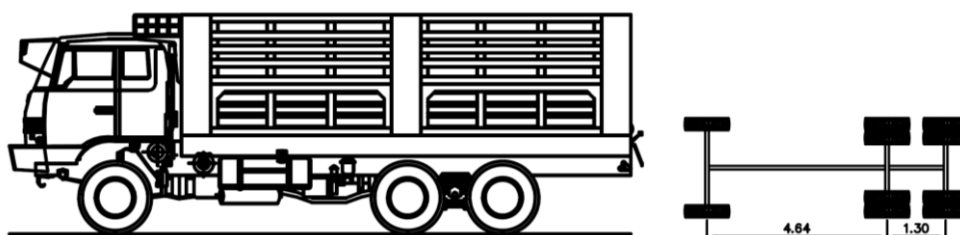


รูปที่ 4.49 รายละเอียดรถบรรทุก 6 ล้อ

ตารางที่ 4.9 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 6 ล้อ

กรณีที่	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)
1	รถ 6 ล้อ	33.59	2.61	13,108
2		40.20	2.34	11,635
3		49.64	1.89	10,412
4		57.66	1.66	11,132
5		67.30	1.41	13,678
6		71.53	1.29	8,842
7		79.97	1.18	8,988
8		81.52	1.16	9,071
9		87.35	1.07	8,534

4.5.1.2 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 10 ล้อ



รูปที่ 4.50 รายละเอียดรถบรรทุก 10 ล้อ

ตารางที่ 4.10 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 10 ล้อ

กรณีที่	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)
10	รถ 10 ล้อ	23.54	4.01	18,503
11		28.19	3.30	25,373
12		35.74	2.70	23,171
13		38.96	2.39	23,190
14		44.89	2.05	20,649
15		49.94	1.94	23,889
16		55.01	1.73	23,752
17		56.53	1.71	23,429
18		65.46	1.48	16,592

19		68.46	1.42	14,221
20		71.48	1.37	16,352
21		77.08	1.28	13,306
22		86.16	1.09	24,296

4.5.1.3 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ



รูปที่ 4.51 รายละเอียดรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ

ตารางที่ 4.11 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ

กรณีที่	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)
23	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ	33.62	3.62	41,697
24		39.37	2.70	43,344
25		43.71	2.55	51,592
26		47.92	2.41	40,603
27		55.00	2.18	43,324
28		57.74	2.06	36,790
29		63.49	1.89	38,100
30		67.48	1.62	17,575
31		70.78	1.73	42,668

4.5.1.4 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 20 ล้อ



รูปที่ 4.52 รายละเอียดรถบรรทุกกึ่งพ่วง 20 ล้อ

ตารางที่ 4.12 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 20 ล้อ

กรณีที่	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุก รวม (กิโลกรัม)
32	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	40.88	2.60	30,061
33		45.13	2.89	28,798
34		63.66	1.68	30,530

4.5.1.5 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ



รูปที่ 4.53 รายละเอียดรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ

ตารางที่ 4.13 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ

กรณีที่	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)
35	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ	31.02	4.10	56,129
36		51.84	2.46	50,607
37		58.19	2.15	49,475
38		62.93	2.02	38,519
39		66.45	1.92	41,293
40		72.46	1.77	28,468
41		76.48	1.70	40,738

4.5.1.6 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 24 ล้อ



รูปที่ 4.54 รายละเอียดรถบรรทุกกึ่งพ่วง 24 ล้อ

ตารางที่ 4.14 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 24 ล้อ

กรณีที่	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)
42	รถกึ่งพ่วง 24 ล้อ	31.18	4.15	59,996
43		38.89	3.29	60,489
44		48.24	2.45	39,462
45		55.66	2.28	42,552
46		60.38	2.10	41,052
47		65.18	1.94	47,135
48		70.13	1.81	41,405
49		71.87	1.75	47,693

4.5.1.7 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 18 ล้อ

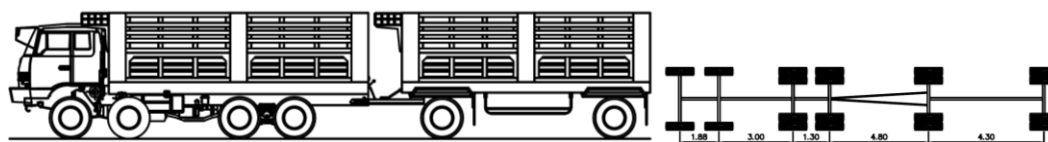


รูปที่ 4.55 รายละเอียดรถบรรทุกพ่วง 18 ล้อ

ตารางที่ 4.15 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 18 ล้อ

กรณีที่	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)
50	รถพ่วง 18 ล้อ	39.17	3.49	37,602
51		49.92	2.51	36,613
52		57.23	2.20	46,893

4.5.1.8 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 20 ล้อ



รูปที่ 4.56 รายละเอียดรถบรรทุกพ่วง 20 ล้อ

ตารางที่ 4.16 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 20 ล้อ

กรณีที่	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)
53	รถพ่วง 20 ล้อ	44.45	2.80	51,862
54		53.88	2.35	51,505
55		58.71	2.14	19,590
56		64.42	2.05	39,283
57		73.21	1.78	21,593

4.5.1.9 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ



รูปที่ 4.57 รายละเอียดรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ

ตารางที่ 4.17 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ

กรณีที่	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)
58	รถพ่วง 22 ล้อ	30.78	4.20	42,957
59		35.29	3.67	49,635
60		43.20	2.92	21,155
61		48.01	2.59	49,421
62		55.34	2.30	20,524
63		56.69	2.29	48,050
64		65.08	2.00	48,710
65		69.16	1.85	20,781
66		90.04	1.43	23,502

4.5.1.10 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 24 ล้อ



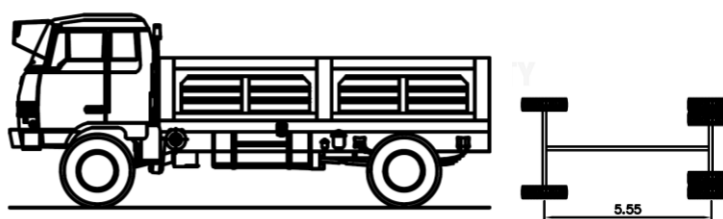
รูปที่ 4.58 รายละเอียดรถบรรทุกพ่วง 24 ล้อ

ตารางที่ 4.18 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกพ่วง 24 ล้อ

กรณี	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)
67	รถพ่วง 24 ล้อ	27.77	4.56	44,404
68		37.23	3.48	49,846
69		45.62	2.87	52,812
70		47.10	2.58	46,565
71		60.30	2.21	47,261
72		61.97	2.07	47,592

4.5.2 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรขวา

4.5.2.1 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 6 ล้อ

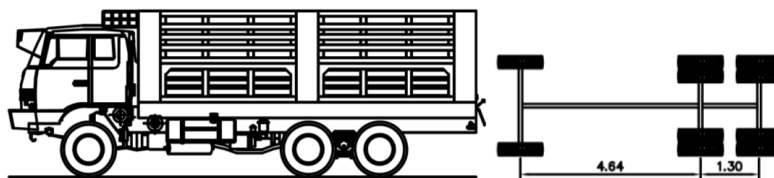


รูปที่ 4.59 รายละเอียดรถบรรทุก 6 ล้อ

ตารางที่ 4.19 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 6 ล้อ

กรณี	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)
73	รถ 6 ล้อ	65.58	1.44	12,337
74		73.38	1.20	12,878
75		85.31	1.11	12,687

4.5.2.2 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 10 ล้อ



รูปที่ 4.60 รายละเอียดรถบรรทุก 10 ล้อ

ตารางที่ 4.20 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุก 10 ล้อ

กรณี	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)
76	รถ 10 ล้อ	60.91	1.58	17,968
77		78.53	1.24	19,539
78		89.91	1.05	13,987

4.5.2.3 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ



รูปที่ 4.61 รายละเอียดรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ

ตารางที่ 4.21 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ

กรณี	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)
79	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ	58.73	2.14	51,789
80		66.31	1.91	37,232
81		69.26	1.50	16,392
82		89.77	1.41	22,890

4.5.2.4 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 20 ล้อ

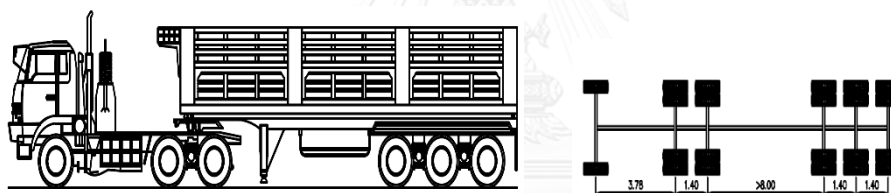


รูปที่ 4.62 รายละเอียดรถบรรทุกกึ่งพ่วง 20 ล้อ

ตารางที่ 4.22 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 20 ล้อ

กรณีที่	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุก รวม (กิโลกรัม)
83	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	62.93	2.05	20,085
84		75.30	1.40	17,948

4.5.2.5 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ



รูปที่ 4.63 รายละเอียดรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ

ตารางที่ 4.23 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ

กรณีที่	ประเภทรถบรรทุก	ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)	เวลา (วินาที)	น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)
85	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ	65.15	1.96	20,966
86		69.31	1.85	24,932
87		74.83	1.71	23,556
88		78.98	1.62	23,269

4.6 การพิจารณาหาค่าน้ำหนักของรถบรรทุก ในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบคู่กัน (Multiple Presence Events)

การพิจารณาหาค่าน้ำหนักของรถบรรทุก ในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบคู่กัน (Multiple Presence Events) จะทำได้โดยการสร้างสัญญาณความเครียดเทียมจากสัญญาณความเครียดรถบรรทุกเดี่ยวที่วิ่งผ่านสะพาน โดยการนำสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกเดี่ยวที่วิ่งผ่านสะพานทดสอบซึ่งจะประกอบไปด้วยรถบรรทุกที่มีประเภท ความเร็ว น้ำหนัก และช่องจราจรที่แตกต่างกัน มาทำการรวมกันแบบวางซ้อนทับกัน (linear superposition) ในลักษณะการวิ่งผ่านสะพานทดสอบแบบคู่กัน โดยจากการสุ่มเลือกกรณีรถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบเดี่ยวบนช่องจราจรซ้าย 72 กรณี และกรณีรถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบเดี่ยวบนช่องจราจรขวา 16 กรณี จะสามารถสร้างสัญญาณความเครียดในกรณีรถวิ่งบนสะพานคู่กัน (Multiple Presence) ได้ทั้งหมด 1152 กรณี การพิจารณาหาค่าน้ำหนักของรถบรรทุก ในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบคู่กัน สามารถทำได้โดยการใช้วิธีปรับปรุงวิธีเบต้าที่เสนอไปในบทที่ 2 ซึ่งเป็นวิธีที่นำวิธีเบต้าเดิม ร่วมกับการพิจารณาผลกระทบของการกระจายน้ำหนักตามแนวขวางในแต่ละคานสะพาน ประสิทธิภาพของการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุก และผลกระทบเนื่องจากกรณีรถวิ่งบนสะพานคู่กัน จะแสดงให้เห็นในหัวข้อนี้

4.6.1 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกกรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน

4.6.1.1 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกกรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ

ตารางที่ 4.24 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)	
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน			
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา
รถ 6 ล้อ	รถ 6 ล้อ	34	66	13,108	12,337	13,553	11,439	3.39	-7.28
			73		12,878	13,754	11,552	4.93	-10.30
			85		12,687	14,091	10,516	7.50	-17.12
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	12,204	18,930	-6.90	5.35
			79		19,539	14,178	17,393	8.16	-10.98
			90		13,987	13,545	12,773	3.33	-8.68
	รถกึ่งพวง 18 ล้อ		59		51,789	11,678	53,391	-10.91	3.09
			66		37,232	14,877	34,408	13.49	-7.59
			69		16,392	14,344	14,247	9.43	-13.08
			90		22,890	13,443	21,881	2.55	-4.41
	รถกึ่งพวง 20 ล้อ		63		20,085	13,312	19,556	1.55	-2.63
			75		17,948	14,755	14,941	12.56	-16.76
	รถกึ่งพวง 22 ล้อ		65		20,966	14,407	18,860	9.91	-10.05
			69		24,932	13,359	24,278	1.91	-2.62
			75		23,556	14,268	21,363	8.85	-9.31
			79		23,269	14,323	20,859	9.27	-10.35
ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								7.17	-7.67

ตารางที่ 4.25 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 6 ล้อ	รถ 6 ล้อ	40	66	11,635	12,337	11,340	13,150	-2.54	6.59			
			73		12,878	11,581	13,472	-0.47	4.62			
			85		12,687	11,984	12,743	2.99	0.44			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	9,731	20,514	-16.37	14.17			
			79		19,539	12,088	19,450	3.89	-0.45			
			90		13,987	11,333	15,136	-2.60	8.22			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	9,095	54,921	-21.83	6.05			
			66		37,232	12,923	36,146	11.07	-2.92			
			69		16,392	12,286	16,065	5.60	-1.99			
			90		22,890	11,208	24,250	-3.68	5.94			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	11,047	21,210	-5.05	5.60			
			75		17,948	12,779	16,909	9.83	-5.79			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	12,364	20,563	6.27	-1.92			
			69		24,932	11,107	26,091	-4.54	4.65			
			75		23,556	12,196	23,322	4.82	-0.99			
			79		23,269	12,261	22,928	5.38	-1.46			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								6.68	4.49		

ตารางที่ 4.26 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 6 ล้อ	รถ 6 ล้อ	50	66	10,412	12,337	11,136	11,321	6.95	-8.24			
			73		12,878	11,434	11,423	9.82	-11.30			
			85		12,687	11,931	10,362	14.59	-18.33			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	9,149	18,815	-12.13	4.71			
			79		19,539	12,060	17,258	15.83	-11.67			
			90		13,987	11,126	12,626	6.86	-9.73			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	8,361	53,293	-19.70	2.90			
			66		37,232	13,088	34,298	25.71	-7.88			
			69		16,392	12,304	14,132	18.18	-13.79			
			90		22,890	10,972	21,745	5.38	-5.00			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	10,776	19,451	3.50	-3.16			
			75		17,948	12,913	14,808	24.03	-17.50			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	12,395	18,751	19.05	-10.56			
			69		24,932	10,848	24,158	4.19	-3.10			
			75		23,556	12,193	21,232	17.11	-9.86			
			79		23,269	12,273	20,723	17.88	-10.94			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								13.81	9.29		

ตารางที่ 4.27 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 6 ล้อ	รถ 6 ล้อ	58	66	11,132	12,337	11,262	12,348	1.17	0.08			
			73		12,878	11,608	12,574	4.28	-2.36			
			85		12,687	12,186	11,698	9.47	-7.80			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	8,953	19,771	-19.57	10.03			
			79		19,539	12,336	18,490	10.82	-5.37			
			90		13,987	11,252	14,037	1.08	0.36			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	8,041	54,213	-27.76	4.68			
			66		37,232	13,533	35,336	21.58	-5.09			
			69		16,392	12,619	15,219	13.37	-7.16			
			90		22,890	11,072	23,155	-0.53	1.16			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	10,847	20,436	-2.56	1.75			
			75		17,948	13,327	15,988	19.73	-10.92			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	12,727	19,771	14.33	-5.70			
			69		24,932	10,926	25,249	-1.85	1.27			
			75		23,556	12,489	22,410	12.19	-4.86			
					79	23,269	12,583	21,962	13.04	-5.62		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								10.83	4.64		

ตารางที่ 4.28 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 6 ล้อ	รถ 6 ล้อ	67	66	13,678	12,337	14,452	11,585	5.66	-6.10			
			73		12,878	14,858	11,709	8.63	-9.08			
			85		12,687	15,530	10,692	13.54	-15.73			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	11,746	19,065	-14.12	6.11			
			79		19,539	15,707	17,565	14.84	-10.10			
			90		13,987	14,441	12,981	5.58	-7.19			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	10,692	53,521	-21.83	3.35			
			66		37,232	17,100	34,556	25.02	-7.19			
			69		16,392	16,033	14,402	17.22	-12.14			
			90		22,890	14,230	22,077	4.04	-3.55			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	13,967	19,695	2.11	-1.94			
			75		17,948	16,863	15,101	23.29	-15.87			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	16,160	19,005	18.15	-9.36			
			69		24,932	14,057	24,434	2.77	-2.00			
			75		23,556	15,884	21,529	16.13	-8.60			
					79	23,269	15,993	21,035	16.92	-9.60		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								13.11	7.99		

ตารางที่ 4.29 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 6 ล้อ	รถ 6 ล้อ	72	8,842	66	12,337	9,536	11,735	7.85	-4.88			
				73	12,878	9,966	11,880	12.71	-7.75			
				85	12,687	10,682	10,889	20.81	-14.17			
	รถ 10 ล้อ			61	17,968	6,663	19,204	-24.64	6.88			
				79	19,539	10,869	17,744	22.92	-9.18			
				90	13,987	9,524	13,184	7.71	-5.74			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ			59	51,789	5,542	53,656	-37.31	3.60			
				66	37,232	12,356	34,707	39.75	-6.78			
				69	16,392	11,221	14,560	26.91	-11.18			
				90	22,890	9,301	22,282	5.19	-2.66			
				รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	63	20,085	9,023	19,839	2.05	-1.22		
					75	17,948	12,096	15,280	36.81	-14.87		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ			65	20,966	11,355	19,153	28.43	-8.65			
				69	24,932	9,121	24,591	3.16	-1.37			
				75	23,556	11,059	21,700	25.08	-7.88			
				79	23,269	11,176	21,215	26.40	-8.82			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								20.48	-5.92		

ตารางที่ 4.30 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 6 ล้อ	รถ 6 ล้อ	80	8,988	66	12,337	9,596	11,910	6.76	-3.47			
				73	12,878	10,071	12,078	12.04	-6.21			
				85	12,687	10,878	11,115	21.03	-12.40			
	รถ 10 ล้อ			61	17,968	6,382	19,366	-29.00	7.78			
				79	19,539	11,080	17,955	23.26	-8.11			
				90	13,987	9,584	13,425	6.63	-4.01			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ			59	51,789	5,130	53,811	-42.93	3.91			
				66	37,232	12,745	34,883	41.79	-6.31			
				69	16,392	11,477	14,744	27.68	-10.05			
				90	22,890	9,333	22,521	3.84	-1.61			
				รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	63	20,085	9,020	20,007	0.35	-0.39		
					75	17,948	12,457	15,480	38.59	-13.75		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ			65	20,966	11,627	19,326	29.36	-7.82			
				69	24,932	9,130	24,775	1.57	-0.63			
				75	23,556	11,296	21,900	25.67	-7.03			
				79	23,269	11,428	21,425	27.14	-7.92			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								21.10	6.34		

ตารางที่ 4.31 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 6 ล้อ	รถ 6 ล้อ	82	9,071	66	12,337	9,307	12,300	2.61	-0.31			
				73	12,878	9,791	12,513	7.94	-2.84			
				85	12,687	10,616	11,626	17.04	-8.36			
	รถ 10 ล้อ			61	17,968	6,030	19,727	-33.52	9.79			
				79	19,539	10,820	18,420	19.28	-5.73			
				90	13,987	9,296	13,959	2.48	-0.20			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ			59	51,789	4,754	54,160	-47.59	4.58			
				66	37,232	12,517	35,276	37.99	-5.25			
				69	16,392	11,224	15,155	23.74	-7.55			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ			90	22,890	9,040	23,054	-0.34	0.72			
				63	20,085	8,719	20,380	-3.88	1.47			
				75	17,948	12,224	15,927	34.76	-11.26			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ			65	20,966	11,377	19,713	25.43	-5.98			
				69	24,932	8,832	25,186	-2.63	1.02			
				75	23,556	11,039	22,343	21.70	-5.15			
					79	23,269	11,175	21,894	23.20	-5.91		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								19.01	4.76		

ตารางที่ 4.32 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 6 ล้อ	รถ 6 ล้อ	87	8,534	66	12,337	9,004	12,096	5.52	-1.96			
				73	12,878	9,527	12,285	11.64	-4.60			
				85	12,687	10,405	11,369	21.94	-10.39			
	รถ 10 ล้อ			61	17,968	5,496	19,538	-35.60	8.74			
				79	19,539	10,630	18,177	24.56	-6.97			
				90	13,987	8,989	13,681	5.34	-2.18			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ			59	51,789	4,127	53,978	-51.64	4.23			
				66	37,232	12,448	35,070	45.87	-5.81			
				69	16,392	11,062	14,940	29.63	-8.86			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ			90	22,890	8,717	22,776	2.15	-0.50			
				63	20,085	8,378	20,185	-1.83	0.49			
				75	17,948	12,130	15,694	42.15	-12.56			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ			65	20,966	11,226	19,511	31.55	-6.94			
				69	24,932	8,498	24,971	-0.42	0.16			
				75	23,556	10,864	22,111	27.31	-6.13			
					79	23,269	11,007	21,649	28.99	-6.96		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								22.88	5.47		

4.6.1.2 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกกรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกบนช่อง การจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ

ตารางที่ 4.33 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก
10 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อ	24	66	18,503	12,337	21,884	552	18.27	-95.52			
			73		12,878	22,025	-625	19.04	-104.85			
			85		12,687	22,261	-3,647	20.31	-128.75			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	20,942	8,812	13.18	-50.96			
			79		19,539	22,322	4,362	20.64	-77.67			
			90		13,987	21,880	-2,138	18.25	-115.28			
	รถกึ่งพวง 18 ล้อ		59		51,789	20,570	43,638	11.17	-15.74			
			66		37,232	22,811	23,407	23.28	-37.13			
			69		16,392	22,438	2,759	21.27	-83.17			
	รถกึ่งพวง 20 ล้อ		90		22,890	21,807	7,002	17.86	-69.41			
			63		20,085	21,713	9,120	17.35	-54.59			
			75		17,948	22,727	2,443	22.83	-86.39			
	รถกึ่งพวง 22 ล้อ		65		20,966	22,484	8,047	21.51	-61.62			
			69		24,932	21,748	12,777	17.54	-48.75			
			75		23,556	22,385	8,946	20.98	-62.02			
					79	23,269	22,423	7,754	21.19	-66.68		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								19.04	-72.41		

ตารางที่ 4.34 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อ	28	66	25,373	12,337	25,842	11,146	1.85	-9.66			
			73		12,878	26,011	11,230	2.52	-12.80			
			85		12,687	26,292	10,136	3.62	-20.11			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	24,718	18,646	-2.58	3.77			
			79		19,539	26,367	17,055	3.92	-12.71			
			90		13,987	25,837	12,404	1.83	-11.32			
	รถกึ่งพวง 18 ล้อ		59		51,789	24,268	53,120	-4.35	2.57			
			66		37,232	26,950	34,126	6.22	-8.34			
			69		16,392	26,504	13,959	4.46	-14.84			
			90		22,890	25,748	21,532	1.48	-5.93			
	รถกึ่งพวง 20 ล้อ		63		20,085	25,634	19,296	1.03	-3.93			
			75		17,948	26,851	14,611	5.82	-18.60			
			65		20,966	26,561	18,575	4.68	-11.40			
	รถกึ่งพวง 22 ล้อ		69		24,932	25,678	23,975	1.20	-3.84			
			75		23,556	26,441	21,039	4.21	-10.68			
			79		23,269	26,486	20,520	4.39	-11.81			
			ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								3.38	10.15

ตารางที่ 4.35 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อ	36	66	23,171	12,337	22,862	13,255	-1.33	7.44			
			73		12,878	23,077	13,591	-0.40	5.54			
			85		12,687	23,435	12,882	1.14	1.53			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	21,434	20,610	-7.50	14.70			
			79		19,539	23,528	19,577	1.54	0.20			
			90		13,987	22,856	15,282	-1.36	9.26			
	รถกึ่งพวง 18 ล้อ		59		51,789	20,866	55,016	-9.94	6.23			
			66		37,232	24,270	36,254	4.74	-2.63			
			69		16,392	23,704	16,179	2.30	-1.30			
			90		22,890	22,745	24,400	-1.84	6.60			
	รถกึ่งพวง 20 ล้อ		63		20,085	22,601	21,313	-2.46	6.12			
			75		17,948	24,142	17,031	4.19	-5.11			
			65		20,966	23,774	20,668	2.60	-1.42			
	รถกึ่งพวง 22 ล้อ		69		24,932	22,655	26,202	-2.22	5.09			
			75		23,556	23,623	23,442	1.95	-0.48			
			79		23,269	23,681	23,056	2.20	-0.91			
			ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								2.98	4.66

ตารางที่ 4.36 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกข่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ข่องจราจรซ้าย	ข่องจราจรขวา	ข่องจราจรซ้าย	ข่องจราจรขวา	ข่องจราจรซ้าย	ข่องจราจรขวา	ข่องจราจรซ้าย	ข่องจราจรขวา	ข่องจราจรซ้าย	ข่องจราจรขวา			
รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อ	39	66	23,190	12,337	22,665	13,660	-2.26	10.72			
			73		12,878	22,899	14,043	-1.26	9.05			
			85		12,687	23,289	13,408	0.42	5.68			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	21,108	20,986	-8.98	16.80			
			79		19,539	23,391	20,062	0.86	2.68			
			90		13,987	22,658	15,839	-2.30	13.24			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	20,489	55,379	-11.65	6.93			
			66		37,232	24,199	36,664	4.35	-1.53			
			69		16,392	23,582	16,607	1.69	1.31			
			90		22,890	22,537	24,957	-2.82	9.03			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	22,381	21,702	-3.49	8.05		
					75	17,948	24,060	17,496	3.75	-2.52		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	23,658	21,072	2.02	0.50			
			69		24,932	22,439	26,632	-3.24	6.82			
			75		23,556	23,495	23,905	1.31	1.48			
					79	23,269	23,557	23,544	1.58	1.18		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								3.25	6.10		

ตารางที่ 4.37 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกข่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ข่องจราจรซ้าย	ข่องจราจรขวา	ข่องจราจรซ้าย	ข่องจราจรขวา	ข่องจราจรซ้าย	ข่องจราจรขวา	ข่องจราจรซ้าย	ข่องจราจรขวา	ข่องจราจรซ้าย	ข่องจราจรขวา			
รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อ	45	66	20,649	12,337	20,104	13,548	-2.64	9.81			
			73		12,878	20,373	13,919	-1.33	8.08			
			85		12,687	20,822	13,260	0.84	4.51			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	18,310	20,882	-11.33	16.22			
			79		19,539	20,940	19,929	1.41	2.00			
			90		13,987	20,096	15,690	-2.68	12.18			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	17,599	55,286	-14.77	6.75			
			66		37,232	21,871	36,551	5.92	-1.83			
			69		16,392	21,160	16,490	2.48	0.60			
			90		22,890	19,955	24,806	-3.36	8.37			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	19,776	21,596	-4.23	7.52		
					75	17,948	21,711	17,367	5.15	-3.24		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	21,248	20,960	2.90	-0.03			
			69		24,932	19,843	26,514	-3.90	6.34			
			75		23,556	21,059	23,778	1.99	0.94			
					79	23,269	21,131	23,410	2.34	0.61		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								4.20	5.56		

ตารางที่ 4.38 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน		ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
				ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา					
รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อ	50	66	23,889	12,337	23,541	13,117	-1.46	6.32			
			73		12,878	23,841	13,436	-0.20	4.33			
			85		12,687	24,340	12,698	1.89	0.09			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	21,545	20,481	-9.81	13.99			
			79		19,539	24,471	19,413	2.44	-0.65			
			90		13,987	23,532	15,098	-1.49	7.95			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	20,752	54,902	-13.13	6.01			
			66		37,232	25,507	36,115	6.77	-3.00			
			69		16,392	24,716	16,034	3.46	-2.18			
			90		22,890	23,376	24,214	-2.15	5.79			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	23,181	21,175	-2.96	5.43		
					75	17,948	25,329	16,873	6.03	-5.99		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	24,810	20,536	3.85	-2.05			
			69		24,932	23,251	26,058	-2.67	4.52			
			75		23,556	24,604	23,286	2.99	-1.15			
					79	23,269	24,684	22,890	3.33	-1.63		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								4.04	4.44		

ตารางที่ 4.39 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน		ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
				ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา					
รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อ	55	66	23,752	12,337	23,729	12,570	-0.10	1.89			
			73		12,878	24,060	12,824	1.29	-0.42			
			85		12,687	24,609	11,987	3.61	-5.52			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	21,530	19,974	-9.35	11.16			
			79		19,539	24,754	18,757	4.22	-4.00			
			90		13,987	23,720	14,347	-0.14	2.58			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	20,658	54,411	-13.03	5.06			
			66		37,232	25,896	35,559	9.03	-4.50			
			69		16,392	25,024	15,456	5.35	-5.71			
			90		22,890	23,548	23,465	-0.86	2.51			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	23,333	20,649	-1.76	2.81		
					75	17,948	25,699	16,245	8.20	-9.49		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	25,127	19,991	5.79	-4.65			
			69		24,932	23,409	25,481	-1.44	2.20			
			75		23,556	24,900	22,661	4.83	-3.80			
					79	23,269	24,989	22,231	5.21	-4.46		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								4.64	4.42		

ตารางที่ 4.40 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อ	57	66	23,429	12,337	21,869	14,840	-6.66	20.29			
			73		12,878	22,208	15,362	-5.21	19.29			
			85		12,687	22,774	14,940	-2.79	17.75			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	19,606	22,084	-16.32	22.91			
			79		19,539	22,922	21,473	-2.16	9.90			
			90		13,987	21,858	17,452	-6.70	24.77			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	18,715	56,440	-20.12	8.98			
			66		37,232	24,101	37,848	2.87	1.65			
			69		16,392	23,200	17,849	-0.98	8.89			
			90		22,890	21,683	26,561	-7.45	16.04			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	21,466	22,823	-8.38	13.63		
					75	17,948	23,893	18,849	1.98	5.02		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	23,310	22,241	-0.51	6.08			
			69		24,932	21,546	27,875	-8.04	11.80			
			75		23,556	23,073	25,250	-1.52	7.19			
			79		23,269	23,164	24,962	-1.13	7.28			
			ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								5.80	12.59

ตารางที่ 4.41 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อ	65	66	16,592	12,337	16,758	12,323	1.00	-0.11			
			73		12,878	17,151	12,548	3.37	-2.56			
			85		12,687	17,805	11,669	7.31	-8.03			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	14,125	19,762	-14.87	9.98			
			79		19,539	17,977	18,463	8.35	-5.51			
			90		13,987	16,746	14,009	0.92	0.16			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	13,099	54,194	-21.06	4.64			
			66		37,232	19,332	35,315	16.51	-5.15			
			69		16,392	18,294	15,195	10.25	-7.30			
			90		22,890	16,542	23,132	-0.31	1.06			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	16,285	20,416	-1.86	1.65		
					75	17,948	19,103	15,961	15.13	-11.07		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	18,417	19,751	11.00	-5.80			
			69		24,932	16,372	25,227	-1.33	1.18			
			75		23,556	18,150	22,385	9.38	-4.97			
			79		23,269	18,254	21,939	10.01	-5.71			
			ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								8.29	4.68

ตารางที่ 4.42 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อ	68	66	14,221	12,337	15,417	11,088	8.41	-10.13			
			73		12,878	15,828	11,156	11.29	-13.37			
			85		12,687	16,514	10,045	16.12	-20.82			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	12,668	18,602	-10.92	3.53			
			79		19,539	16,692	16,970	17.37	-13.15			
			90		13,987	15,406	12,298	8.33	-12.07			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	11,596	53,075	-18.46	2.48			
			66		37,232	18,117	34,051	27.40	-8.54			
			69		16,392	17,031	13,875	19.76	-15.36			
			90		22,890	15,193	21,412	6.83	-6.46			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	14,926	19,217	4.96	-4.32		
					75	17,948	17,868	14,533	25.65	-19.03		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	17,159	18,509	20.66	-11.72			
			69		24,932	15,023	23,905	5.64	-4.12			
			75		23,556	16,875	20,961	18.66	-11.01			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								14.99	10.52		

ตารางที่ 4.43 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อ	71	66	16,352	12,337	16,257	12,655	-0.58	2.58			
			73		12,878	16,687	12,909	2.05	0.24			
			85		12,687	17,404	12,088	6.43	-4.73			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	13,385	20,058	-18.14	11.63			
			79		19,539	17,589	18,846	7.57	-3.55			
			90		13,987	16,245	14,445	-0.66	3.27			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	12,266	54,479	-24.99	5.19			
			66		37,232	19,074	35,636	16.64	-4.29			
			69		16,392	17,940	15,531	9.71	-5.25			
			90		22,890	16,022	23,541	-2.02	2.84			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	15,743	20,722	-3.72	3.17		
					75	17,948	18,815	16,336	15.06	-8.98		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	18,074	20,066	10.53	-4.29			
			69		24,932	15,841	25,562	-3.13	2.53			
			75		23,556	17,779	22,750	8.73	-3.42			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								8.71	4.38		

ตารางที่ 4.44 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)					
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน							
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา				
รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อ	77	13,306		12,337	13,580	12,248	2.06	-0.73				
					12,878	14,044	12,451	5.55	-3.31				
					12,687	14,814	11,555	11.34	-8.92				
	รถ 10 ล้อ				61	17,968	10,483	19,679	-21.21	9.52			
					79	19,539	15,017	18,359	12.86	-6.04			
					90	13,987	13,567	13,889	1.96	-0.70			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ				59	51,789	9,276	54,113	-30.28	4.49			
					66	37,232	16,617	35,223	24.89	-5.40			
					69	16,392	15,395	15,099	15.70	-7.89			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ				90	22,890	13,327	22,984	0.16	0.41			
					63	20,085	13,026	20,330	-2.10	1.22			
					75	17,948	16,338	15,868	22.79	-11.59			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ				65	20,966	15,540	19,661	16.79	-6.23			
					69	24,932	13,132	25,130	-1.30	0.80			
					75	23,556	15,221	22,285	14.39	-5.40			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								12.42	4.93			

ตารางที่ 4.45 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)					
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน							
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา				
รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อ	86	24,296		12,337	24,082	12,751	-0.88	3.35				
					12,878	24,597	13,019	1.24	1.09				
					12,687	25,463	12,222	4.80	-3.67				
	รถ 10 ล้อ				61	17,968	20,621	20,147	-15.12	12.13			
					79	19,539	25,684	18,962	5.71	-2.95			
					90	13,987	24,068	14,579	-0.94	4.23			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ				59	51,789	19,272	54,565	-20.68	5.36			
					66	37,232	27,477	35,733	13.09	-4.03			
					69	16,392	26,110	15,632	7.47	-4.64			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ				90	22,890	23,800	23,673	-2.04	3.42			
					63	20,085	23,462	20,814	-3.43	3.63			
					75	17,948	27,166	16,446	11.81	-8.37			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ				65	20,966	26,272	20,162	8.13	-3.84			
					69	24,932	23,581	25,664	-2.94	2.94			
					75	23,556	25,916	22,859	6.67	-2.96			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								7.01	4.39			

4.6.1.3 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกกรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกบนช่อง การจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ

ตารางที่ 4.46 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ	รถ 6 ล้อ	34	66	41,697	12,337	45,523	3,041	9.18	-75.35			
			73		12,878	45,725	2,160	9.66	-83.23			
			85		12,687	46,061	-411	10.47	-103.24			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	44,177	11,125	5.95	-38.09			
			79		19,539	46,149	7,343	10.68	-62.42			
			90		13,987	45,517	1,276	9.16	-90.87			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	43,645	45,871	4.67	-11.43			
			66		37,232	46,847	25,924	12.35	-30.37			
			69		16,392	46,314	5,388	11.07	-67.13			
			90		22,890	45,412	10,411	8.91	-54.52			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	45,278	11,508	8.59	-42.70		
					75	17,948	46,727	5,301	12.06	-70.47		
	65				20,966	46,380	10,520	11.23	-49.83			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		69		24,932	45,328	15,404	8.71	-38.22			
			75		23,556	46,239	11,785	10.89	-49.97			
			79		23,269	46,293	10,752	11.02	-53.79			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								9.66	57.60		

ตารางที่ 4.47 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ	รถ 6 ล้อ	39	66	43,344	12,337	44,262	10,592	2.12	-14.14			
			73		12,878	44,498	10,609	2.66	-17.62			
			85		12,687	44,893	9,413	3.57	-25.81			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	42,687	18,137	-1.52	0.94			
			79		19,539	44,995	16,385	3.81	-16.14			
			90		13,987	44,255	11,628	2.10	-16.86			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59	51,789	42,064	52,628	-2.95	1.62		
					66	37,232	45,813	33,558	5.70	-9.87		
					69	16,392	45,189	13,363	4.26	-18.48		
					90	22,890	44,133	20,746	1.82	-9.37		
					รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	63	20,085	43,975	18,755	1.46	-6.62
							75	17,948	45,672	13,972	5.37	-22.15
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65	20,966	45,266	18,020	4.43	-14.05		
					69	24,932	44,034	23,385	1.59	-6.21		
					75	23,556	45,101	20,401	4.05	-13.39		
					79	23,269	45,164	19,846	4.20	-14.71		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								3.23	13.00		

ตารางที่ 4.48 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ	รถ 6 ล้อ	44	66	51,592	12,337	52,173	11,430	1.13	-7.36			
			73		12,878	52,435	11,546	1.63	-10.34			
			85		12,687	52,874	10,505	2.48	-17.20			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	50,423	18,916	-2.27	5.27			
			79		19,539	52,987	17,387	2.70	-11.01			
			90		13,987	52,165	12,771	1.11	-8.69			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59	51,789	49,732	53,381	-3.61	3.07		
					66	37,232	53,896	34,404	4.46	-7.60		
					69	16,392	53,203	14,246	3.12	-13.09		
					90	22,890	52,030	21,888	0.85	-4.38		
					รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	63	20,085	51,856	19,557	0.51	-2.63
							75	17,948	53,739	14,933	4.16	-16.80
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65	20,966	53,287	18,853	3.28	-10.08		
					69	24,932	51,920	24,272	0.64	-2.64		
					75	23,556	53,105	21,356	2.93	-9.34		
					79	23,269	53,175	20,853	3.07	-10.38		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								2.37	8.74		

ตารางที่ 4.49 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทั้งฝั่ง 18 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ	รถ 6 ล้อ	48	66	40,603	12,337	40,248	13,155	-0.88	6.63			
			73		12,878	40,535	13,478	-0.17	4.66			
			85		12,687	41,014	12,747	1.01	0.47			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	38,335	20,513	-5.59	14.17			
			79		19,539	41,140	19,456	1.32	-0.42			
			90		13,987	40,239	15,148	-0.90	8.31			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59	51,789	37,571	54,930	-7.47	6.06		
					66	37,232	42,135	36,153	3.77	-2.90		
					69	16,392	41,375	16,073	1.90	-1.94		
					90	22,890	40,090	24,262	-1.26	5.99		
					รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	63	20,085	39,899	21,216	-1.73	5.63	
						75	17,948	41,963	16,917	3.35	-5.75	
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65	20,966	41,468	20,571	2.13	-1.89		
					69	24,932	39,970	26,099	-1.56	4.68		
					75	23,556	41,268	23,329	1.64	-0.96		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								2.28	4.49		

ตารางที่ 4.50 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทั้งฝั่ง 18 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ	รถ 6 ล้อ	55	66	43,324	12,337	43,353	12,496	0.07	1.28			
			73		12,878	43,683	12,737	0.83	-1.09			
			85		12,687	44,234	11,887	2.10	-6.31			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	41,149	19,909	-5.02	10.80			
			79		19,539	44,377	18,663	2.43	-4.49			
			90		13,987	43,344	14,236	0.04	1.78			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59	51,789	40,282	54,335	-7.02	4.92		
					66	37,232	45,520	35,482	5.07	-4.70		
					69	16,392	44,648	15,371	3.06	-6.23		
					90	22,890	43,172	23,347	-0.35	2.00		
					รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	63	20,085	42,953	20,580	-0.86	2.46	
						75	17,948	45,322	16,157	4.61	-9.98	
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65	20,966	44,755	19,911	3.30	-5.03		
					69	24,932	43,035	25,398	-0.67	1.87		
					75	23,556	44,525	22,573	2.77	-4.17		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								2.57	4.50		

ตารางที่ 4.51 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทุกฝั่ง
ฟ่วง 18 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งฟ่วง 18 ล้อ	รถ 6 ล้อ	58	36,790	36,790	12,337	35,857	13,883	-2.53	12.53			
					12,878	36,204	14,293	-1.59	10.99			
					12,687	36,781	13,696	-0.02	7.95			
	รถ 10 ล้อ				61	17,968	33,549	21,193	-8.81	17.95		
					79	19,539	36,933	20,329	0.39	4.04		
					90	13,987	35,847	16,147	-2.56	15.45		
	รถกึ่งฟ่วง 18 ล้อ				รถกึ่งฟ่วง 18 ล้อ	59	51,789	32,629	55,590	-11.31	7.34	
						66	37,232	38,131	36,889	3.64	-0.92	
						69	16,392	37,216	16,843	1.16	2.75	
						90	22,890	35,667	25,262	-3.05	10.36	
						63	20,085	35,435	21,917	-3.68	9.12	
						75	17,948	37,925	17,752	3.09	-1.09	
	รถกึ่งฟ่วง 20 ล้อ				รถกึ่งฟ่วง 20 ล้อ	65	20,966	37,329	21,293	1.47	1.56	
						69	24,932	35,523	26,868	-3.44	7.76	
						75	23,556	37,087	24,160	0.81	2.56	
						79	23,269	37,179	23,813	1.06	2.34	
						ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)						

ตารางที่ 4.52 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทุกฝั่ง
ฟ่วง 18 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งฟ่วง 18 ล้อ	รถ 6 ล้อ	63	38,100	38,100	12,337	37,073	13,886	-2.69	12.55			
					12,878	37,454	14,296	-1.69	11.01			
					12,687	38,090	13,700	-0.03	7.98			
	รถ 10 ล้อ				61	17,968	34,531	21,199	-9.37	17.98		
					79	19,539	38,256	20,331	0.41	4.05		
					90	13,987	37,061	16,146	-2.73	15.44		
	รถกึ่งฟ่วง 18 ล้อ				รถกึ่งฟ่วง 18 ล้อ	59	51,789	33,523	55,589	-12.01	7.34	
						66	37,232	39,568	36,889	3.85	-0.92	
						69	16,392	38,568	16,843	1.23	2.75	
						90	22,890	36,864	25,263	-3.24	10.37	
						63	20,085	36,612	21,911	-3.90	9.09	
						75	17,948	39,347	17,754	3.27	-1.08	
	รถกึ่งฟ่วง 20 ล้อ				รถกึ่งฟ่วง 20 ล้อ	65	20,966	38,682	21,298	1.53	1.58	
						69	24,932	36,705	26,869	-3.66	7.77	
						75	23,556	38,425	24,162	0.85	2.57	
						79	23,269	38,528	23,815	1.12	2.35	
						ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)						

ตารางที่ 4.53 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทั้งฝั่ง 18 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ	รถ 6 ล้อ	67	66	17,575	12,337	18,236	11,717	3.76	-5.03			
			73		12,878	18,641	11,870	6.07	-7.83			
			85		12,687	19,316	10,881	9.91	-14.24			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	15,540	19,181	-11.58	6.75			
			79		19,539	19,493	17,737	10.91	-9.22			
			90		13,987	18,223	13,177	3.69	-5.79			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59	51,789	14,466	53,651	-17.69	3.60		
					66	37,232	20,893	34,702	18.88	-6.80		
					69	16,392	19,824	14,557	12.79	-11.19		
					90	22,890	18,013	22,301	2.49	-2.57		
					รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	63	20,085	17,749	19,834	0.99	-1.25
							75	17,948	20,652	15,265	17.51	-14.95
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65	20,966	19,950	19,148	13.51	-8.67		
					69	24,932	17,841	24,586	1.52	-1.39		
					75	23,556	19,671	21,694	11.93	-7.90		
					79	23,269	19,781	21,205	12.55	-8.87		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								9.74	7.25		

ตารางที่ 4.54 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทั้งฝั่ง 18 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ	รถ 6 ล้อ	71	66	42,668	12,337	44,126	10,819	3.42	-12.31			
			73		12,878	44,550	10,863	4.41	-15.65			
			85		12,687	45,259	9,709	6.07	-23.48			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	41,294	18,347	-3.22	2.11			
			79		19,539	45,444	16,657	6.51	-14.75			
			90		13,987	44,112	11,938	3.39	-14.65			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59	51,789	40,170	52,843	-5.85	2.04		
					66	37,232	46,908	33,790	9.94	-9.25		
					69	16,392	45,792	13,602	7.32	-17.02		
					90	22,890	43,893	21,057	2.87	-8.01		
					รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	63	20,085	43,611	18,969	2.21	-5.56
							75	17,948	46,660	14,232	9.36	-20.71
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65	20,966	45,919	18,252	7.62	-12.94		
					69	24,932	43,708	23,633	2.44	-5.21		
					75	23,556	45,633	20,660	6.95	-12.29		
					79	23,269	45,747	20,119	7.22	-13.54		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								5.55	11.84		

4.6.1.4 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกกรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกบนช่อง การจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 20 ล้อ

ตารางที่ 4.55 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 20 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	รถ 6 ล้อ	41	66	30,061	12,337	32,972	6,592	9.68	-46.57			
			73		12,878	33,218	6,136	10.50	-52.35			
			85		12,687	33,626	4,212	11.86	-66.80			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	31,337	14,425	4.24	-19.72			
			79		19,539	33,733	11,599	12.22	-40.63			
			90		13,987	32,965	6,152	9.66	-56.02			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	30,689	49,051	2.09	-5.29			
			66		37,232	34,582	29,518	15.04	-20.72			
			69		16,392	33,934	9,143	12.88	-44.22			
			90		22,890	32,837	15,284	9.23	-33.23			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	32,674	14,920	8.69	-25.72		
					75	17,948	34,436	9,380	14.55	-47.74		
	65				20,966	34,014	14,052	13.15	-32.98			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		69		24,932	32,735	19,162	8.90	-23.14			
			75		23,556	33,842	15,841	12.58	-32.75			
			79		23,269	33,908	15,033	12.80	-35.39			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								10.50	36.45		

ตารางที่ 4.56 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทุกฝั่ง
ฟ่วง 20 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งฟ่วง 20 ล้อ	รถ 6 ล้อ	45	66	28,798	12,337	30,345	9,676	5.37	-21.57			
			73		12,878	30,616	9,584	6.31	-25.58			
			85		12,687	31,067	8,222	7.88	-35.19			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	28,540	17,287	-0.90	-3.79			
			79		19,539	31,186	15,290	8.29	-21.75			
			90		13,987	30,337	10,374	5.34	-25.83			
	รถกึ่งฟ่วง 18 ล้อ		59		51,789	27,825	51,809	-3.38	0.04			
			66		37,232	32,122	32,634	11.54	-12.35			
			69		16,392	31,407	12,397	9.06	-24.37			
			90		22,890	30,196	19,497	4.86	-14.82			
	รถกึ่งฟ่วง 20 ล้อ		63		20,085	30,016	17,877	4.23	-10.99			
			75		17,948	31,961	12,920	10.98	-28.01			
	รถกึ่งฟ่วง 22 ล้อ		65		20,966	31,495	17,113	9.37	-18.38			
			69		24,932	30,084	22,421	4.47	-10.07			
			75		23,556	31,306	19,357	8.71	-17.82			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								6.85	18.13		

ตารางที่ 4.57 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทุกฝั่ง
ฟ่วง 20 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งฟ่วง 20 ล้อ	รถ 6 ล้อ	64	66	30,530	12,337	29,594	13,761	-3.07	11.54			
			73		12,878	29,976	14,158	-1.82	9.94			
			85		12,687	30,612	13,538	0.27	6.70			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	27,050	21,081	-11.40	17.32			
			79		19,539	30,780	20,186	0.82	3.31			
			90		13,987	29,583	15,985	-3.10	14.29			
	รถกึ่งฟ่วง 18 ล้อ		59		51,789	26,039	55,481	-14.71	7.13			
			66		37,232	32,102	36,767	5.15	-1.25			
			69		16,392	31,091	16,718	1.84	1.99			
			90		22,890	29,383	25,106	-3.76	9.68			
	รถกึ่งฟ่วง 20 ล้อ		63		20,085	29,136	21,795	-4.57	8.51			
			75		17,948	31,874	17,613	4.40	-1.87			
	รถกึ่งฟ่วง 22 ล้อ		65		20,966	31,211	21,178	2.23	1.01			
			69		24,932	29,224	26,745	-4.28	7.27			
			75		23,556	30,948	24,027	1.37	2.00			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								4.03	6.60		

4.6.1.5 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกกรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกบนช่อง การจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ

ตารางที่ 4.58 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	31	66	56,129	12,337	57,671	8,388	2.75	-32.01			
			73		12,878	57,858	8,144	3.08	-36.76			
			85		12,687	58,168	6,547	3.63	-48.40			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	56,430	16,092	0.54	-10.44			
			79		19,539	58,249	13,748	3.78	-29.64			
			90		13,987	57,666	8,611	2.74	-38.44			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	55,939	50,660	-0.34	-2.18			
			66		37,232	58,893	31,333	4.92	-15.85			
			69		16,392	58,401	11,038	4.05	-32.66			
			90		22,890	57,569	17,737	2.57	-22.51			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	57,445	16,641	2.34	-17.15		
					75	17,948	58,782	11,442	4.73	-36.25		
	65				20,966	58,462	15,835	4.16	-24.47			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		69		24,932	57,491	21,060	2.43	-15.53			
			75		23,556	58,332	17,889	3.92	-24.06			
			79		23,269	58,382	17,194	4.01	-26.11			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								3.12	25.78		

ตารางที่ 4.59 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	52	66	50,607	12,337	52,215	9,945	3.18	-19.39			
			73		12,878	52,526	9,888	3.79	-23.22			
			85		12,687	53,044	8,573	4.82	-32.43			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	50,143	17,536	-0.92	-2.40			
			79		19,539	53,181	15,615	5.09	-20.08			
			90		13,987	52,206	10,750	3.16	-23.14			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	49,320	52,053	-2.54	0.51			
			66		37,232	54,256	32,909	7.21	-11.61			
			69		16,392	53,435	12,685	5.59	-22.61			
			90		22,890	52,044	19,875	2.84	-13.17			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	51,836	18,139	2.43	-9.69		
					75	17,948	54,072	13,231	6.85	-26.28		
	65				20,966	53,537	17,382	5.79	-17.10			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		69		24,932	51,915	22,706	2.58	-8.93			
			75		23,556	53,319	19,667	5.36	-16.51			
			79		23,269	53,402	19,071	5.52	-18.04			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								4.23	16.57		

ตารางที่ 4.60 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	58	66	49,475	12,337	49,760	12,127	0.58	-1.70			
			73		12,878	50,109	12,328	1.28	-4.27			
			85		12,687	50,691	11,412	2.46	-10.06			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	47,433	19,564	-4.13	8.88			
			79		19,539	50,844	18,227	2.77	-6.72			
			90		13,987	49,750	13,740	0.55	-1.77			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	46,510	54,006	-5.99	4.28			
			66		37,232	52,051	35,114	5.21	-5.69			
			69		16,392	51,129	14,988	3.34	-8.56			
			90		22,890	49,568	22,858	0.19	-0.14			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	49,335	20,231	-0.28	0.73		
					75	17,948	51,844	15,736	4.79	-12.33		
	65				20,966	51,243	19,548	3.57	-6.76			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		69		24,932	49,423	25,012	-0.11	0.32			
			75		23,556	50,999	22,156	3.08	-5.94			
			79		23,269	51,092	21,698	3.27	-6.75			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								2.60	5.31		

ตารางที่ 4.61 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทั้งฝั่ง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	63	66	38,519	12,337	38,565	12,478	0.12	1.14			
			73		12,878	38,942	12,718	1.10	-1.24			
			85		12,687	39,573	11,866	2.74	-6.48			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	36,047	19,888	-6.42	10.68			
			79		19,539	39,737	18,642	3.16	-4.59			
			90		13,987	38,553	14,211	0.09	1.60			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	35,051	54,326	-9.00	4.90			
			66		37,232	41,044	35,464	6.55	-4.75			
			69		16,392	40,046	15,353	3.97	-6.34			
			90		22,890	38,358	23,325	-0.42	1.90			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	38,113	20,557	-1.05	2.35			
			75		17,948	40,818	16,136	5.97	-10.10			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	40,168	19,892	4.28	-5.12			
			69		24,932	38,200	25,378	-0.83	1.79			
			75		23,556	39,905	22,552	3.60	-4.26			
						79		23,269	40,006	22,116	3.86	-4.95
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								3.32	4.51		

ตารางที่ 4.62 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทั้งฝั่ง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	66	66	41,293	12,337	41,039	12,857	-0.61	4.21			
			73		12,878	41,438	13,142	0.35	2.05			
			85		12,687	42,103	12,360	1.96	-2.58			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	38,379	20,241	-7.06	12.65			
			79		19,539	42,276	19,097	2.38	-2.26			
			90		13,987	41,027	14,731	-0.64	5.32			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	37,329	54,667	-9.60	5.56			
			66		37,232	43,656	35,848	5.72	-3.72			
			69		16,392	42,603	15,754	3.17	-3.89			
			90		22,890	40,820	23,846	-1.14	4.18			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	40,562	20,923	-1.77	4.17			
			75		17,948	43,418	16,571	5.15	-7.67			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	42,729	20,275	3.48	-3.30			
			69		24,932	40,654	25,780	-1.55	3.40			
			75		23,556	42,454	22,985	2.81	-2.43			
						79		23,269	42,561	22,572	3.07	-2.99
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								3.16	4.40		

ตารางที่ 4.63 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	72	28,468	12,337	27,850	13,248	-2.17	7.38				
				12,878	28,285	13,581	-0.64	5.46				
				12,687	29,009	12,868	1.90	1.42				
	รถ 10 ล้อ			17,968	24,945	20,611	-12.38	14.71				
				19,539	29,200	19,569	2.57	0.15				
				13,987	27,837	15,275	-2.22	9.21				
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ			51,789	23,806	55,022	-16.38	6.24				
				37,232	30,708	36,250	7.87	-2.64				
				16,392	29,555	16,170	3.82	-1.36				
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ			22,890	27,610	24,392	-3.01	6.56				
				63	20,085	27,331	-3.99	6.07				
				75	17,948	30,445	17,022	6.94	-5.16			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ			65	20,966	29,694	20,669	4.31	-1.42			
				69	24,932	27,431	26,204	-3.64	5.10			
				75	23,556	29,393	23,435	3.25	-0.51			
					79	23,269	29,509	23,048	3.66	-0.95		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								4.92	4.65		

ตารางที่ 4.64 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	76	40,738	12,337	40,885	12,377	0.36	0.32				
				12,878	41,344	12,607	1.49	-2.10				
				12,687	42,110	11,737	3.37	-7.49				
	รถ 10 ล้อ			17,968	37,823	19,796	-7.15	10.18				
				19,539	42,309	18,523	3.86	-5.20				
				13,987	40,870	14,072	0.33	0.61				
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ			51,789	36,615	54,236	-10.12	4.72				
				37,232	43,899	35,361	7.76	-5.03				
				16,392	42,686	15,248	4.78	-6.98				
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ			22,890	40,634	23,188	-0.25	1.30				
				63	20,085	40,335	-0.99	1.87				
				75	17,948	43,624	16,021	7.08	-10.74			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ			65	20,966	42,829	19,797	5.13	-5.58			
				69	24,932	40,440	25,275	-0.73	1.38			
				75	23,556	42,513	22,441	4.36	-4.73			
					79	23,269	42,638	21,996	4.66	-5.47		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								3.90	4.61		

4.6.1.6 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกกรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกบนช่อง
การจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 24 ล้อ

ตารางที่ 4.65 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่ง
พ่วง 24 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 24 ล้อ	รถ 6 ล้อ	31	66	59,996	12,337	58,814	15,701	-1.97	27.26			
			73		12,878	59,001	16,324	-1.66	26.76			
			85		12,687	59,313	16,060	-1.14	26.58			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	57,565	22,884	-4.05	27.36			
			79		19,539	59,394	22,502	-1.00	15.17			
			90		13,987	58,808	18,632	-1.98	33.21			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	57,072	57,205	-4.87	10.46			
			66		37,232	60,042	38,724	0.08	4.01			
			69		16,392	59,548	18,757	-0.75	14.43			
			90		22,890	58,711	27,741	-2.14	21.19			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	58,586	23,657	-2.35	17.78		
					75	17,948	59,930	19,837	-0.11	10.52		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	59,609	23,095	-0.64	10.15			
			69		24,932	58,633	28,785	-2.27	15.45			
			75		23,556	59,478	26,230	-0.86	11.35			
					79	23,269	59,528	25,998	-0.78	11.73		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								1.67	17.71		

ตารางที่ 4.66 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 24 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 24 ล้อ	รถ 6 ล้อ	39	66	60,489	12,337	59,786	14,045	-1.16	13.84			
			73		12,878	60,019	14,473	-0.78	12.39			
			85		12,687	60,408	13,907	-0.13	9.61			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	58,229	21,346	-3.74	18.80			
			79		19,539	60,510	20,523	0.04	5.03			
			90		13,987	59,778	16,364	-1.17	17.00			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	57,614	55,723	-4.75	7.60			
			66		37,232	61,317	37,051	1.37	-0.49			
			69		16,392	60,701	17,012	0.35	3.78			
			90		22,890	59,658	25,480	-1.37	11.32			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	59,502	22,070	-1.63	9.88		
					75	17,948	61,178	17,936	1.14	-0.07		
	65				20,966	60,778	21,451	0.48	2.31			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		69		24,932	59,561	27,036	-1.53	8.44			
			75		23,556	60,614	24,343	0.21	3.34			
			79		23,269	60,676	24,006	0.31	3.17			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								1.26	7.94		

ตารางที่ 4.67 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกกึ่งพ่วง 24 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 24 ล้อ	รถ 6 ล้อ	48	66	39,461	12,337	41,652	8,749	5.55	-29.09			
			73		12,878	41,941	8,547	6.28	-33.63			
			85		12,687	42,424	7,015	7.51	-44.71			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	39,721	16,427	0.66	-8.58			
			79		19,539	42,550	14,180	7.83	-27.43			
			90		13,987	41,643	9,104	5.53	-34.91			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	38,957	50,982	-1.28	-1.56			
			66		37,232	43,552	31,696	10.37	-14.87			
			69		16,392	42,787	11,417	8.43	-30.35			
			90		22,890	41,493	18,227	5.15	-20.37			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	41,301	16,986	4.66	-15.43		
					75	17,948	43,379	11,856	9.93	-33.94		
	65				20,966	42,881	16,192	8.66	-22.77			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		69		24,932	41,372	21,440	4.84	-14.00			
			75		23,556	42,679	18,299	8.15	-22.32			
			79		23,269	42,757	17,627	8.35	-24.24			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								6.45	23.64		

ตารางที่ 4.68 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทุกฝั่ง
พ่วง 24 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 24 ล้อ	รถ 6 ล้อ	56	66	42,552	12,337	44,807	9,158	5.30	-25.77			
			73		12,878	45,141	9,004	6.08	-30.08			
			85		12,687	45,699	7,548	7.39	-40.51			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	42,578	16,807	0.06	-6.46			
			79		19,539	45,844	14,667	7.73	-24.93			
			90		13,987	44,797	9,659	5.27	-30.94			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	41,700	51,344	-2.00	-0.86			
			66		37,232	46,999	32,108	10.45	-13.76			
			69		16,392	46,118	11,847	8.38	-27.73			
			90		22,890	44,624	18,781	4.87	-17.95			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	44,402	17,378	4.35	-13.48			
			75		17,948	46,800	12,324	9.98	-31.34			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	46,226	16,595	8.63	-20.85			
			69		24,932	44,485	21,870	4.54	-12.28			
			75		23,556	45,993	18,764	8.09	-20.34			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								6.34	21.21		

ตารางที่ 4.69 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทุกฝั่ง
พ่วง 24 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 24 ล้อ	รถ 6 ล้อ	60	66	41,052	12,337	42,299	10,822	3.04	-12.28			
			73		12,878	42,660	10,860	3.92	-15.67			
			85		12,687	43,267	9,711	5.40	-23.46			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	39,874	18,355	-2.87	2.15			
			79		19,539	43,422	16,655	5.77	-14.76			
			90		13,987	42,286	11,923	3.01	-14.75			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	38,937	52,826	-5.15	2.00			
			66		37,232	44,679	33,783	8.83	-9.27			
			69		16,392	43,722	13,593	6.50	-17.08			
			90		22,890	42,102	21,037	2.56	-8.10			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	41,866	18,963	1.98	-5.59			
			75		17,948	44,460	14,230	8.30	-20.72			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	43,836	18,245	6.78	-12.98			
			69		24,932	41,948	23,627	2.18	-5.23			
			75		23,556	43,585	20,655	6.17	-12.31			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								4.93	11.87		

ตารางที่ 4.70 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทุกฝั่ง
พ่วง 24 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 24 ล้อ	รถ 6 ล้อ	65	66	47,135	12,337	47,223	12,423	0.19	0.70			
			73		12,878	47,614	12,660	1.02	-1.69			
			85		12,687	48,265	11,792	2.40	-7.06			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	44,619	19,836	-5.34	10.39			
			79		19,539	48,436	18,581	2.76	-4.90			
			90		13,987	47,214	14,153	0.17	1.19			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	43,577	54,283	-7.55	4.82			
			66		37,232	49,789	35,412	5.63	-4.89			
			69		16,392	48,757	15,299	3.44	-6.67			
			90		22,890	47,008	23,261	-0.27	1.62			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	46,749	20,511	-0.82	2.12		
					75	17,948	49,557	16,076	5.14	-10.43		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	48,873	19,849	3.69	-5.33			
			69		24,932	46,845	25,324	-0.61	1.57			
			75		23,556	48,610	22,493	3.13	-4.51			
						79		23,269	48,715	22,053	3.35	-5.23
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								2.84	4.57		

ตารางที่ 4.71 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทุกฝั่ง
พ่วง 24 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 24 ล้อ	รถ 6 ล้อ	70	66	41,405	12,337	41,759	12,113	0.86	-1.81			
			73		12,878	42,181	12,313	1.87	-4.39			
			85		12,687	42,881	11,393	3.57	-10.20			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	38,957	19,549	-5.91	8.80			
			79		19,539	43,066	18,211	4.01	-6.80			
			90		13,987	41,747	13,722	0.83	-1.90			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	37,844	54,003	-8.60	4.28			
			66		37,232	44,523	35,099	7.53	-5.73			
			69		16,392	43,410	14,974	4.84	-8.65			
			90		22,890	41,528	22,841	0.30	-0.21			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	41,255	20,212	-0.36	0.63		
					75	17,948	44,271	15,720	6.92	-12.41		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	43,541	19,539	5.16	-6.81			
			69		24,932	41,352	25,001	-0.13	0.28			
			75		23,556	43,252	22,140	4.46	-6.01			
						79		23,269	43,365	21,682	4.73	-6.82
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								3.76	5.36		

ตารางที่ 4.72 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกทุกฝั่ง
พ่วง 24 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถกึ่งพ่วง 24 ล้อ	รถ 6 ล้อ	72	66	47,693	12,337	49,100	10,904	2.95	-11.62			
			73		12,878	49,532	10,958	3.85	-14.91			
			85		12,687	50,251	9,820	5.36	-22.60			
	รถ 10 ล้อ		61		17,988	46,222	18,429	-3.08	2.57			
			79		19,539	50,439	16,760	5.76	-14.22			
			90		13,987	49,087	12,056	2.92	-13.80			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	45,082	52,918	-5.47	2.18			
			66		37,232	51,925	33,873	8.87	-9.02			
			69		16,392	50,792	13,692	6.50	-16.47			
			90		22,890	48,864	21,176	2.45	-7.49			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	48,577	19,049	1.85	-5.16		
					75	17,948	51,674	14,329	8.35	-20.16		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	50,921	18,335	6.77	-12.55			
			69		24,932	48,675	23,720	2.06	-4.86			
			75		23,556	50,631	20,757	6.16	-11.88			
					79	23,269	50,747	20,222	6.40	-13.09		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								4.93	11.41		

4.6.1.7 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกกรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกบนช่อง
การจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 18 ล้อ

ตารางที่ 4.73 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง
18 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 18 ล้อ	รถ 6 ล้อ	39	66	37,602	12,337	38,814	9,954	3.22	-19.32			
			73		12,878	39,049	9,896	3.85	-23.15			
			85		12,687	39,442	8,586	4.89	-32.33			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	37,248	17,544	-0.94	-2.36			
			79		19,539	39,544	15,624	5.16	-20.04			
			90		13,987	38,807	10,756	3.20	-23.10			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	36,627	52,061	-2.59	0.53			
			66		37,232	40,357	32,915	7.33	-11.59			
			69		16,392	39,736	12,692	5.68	-22.57			
			90		22,890	38,685	19,881	2.88	-13.15			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	38,529	18,145	2.46	-9.66		
					75	17,948	40,217	13,240	6.95	-26.23		
	65				20,966	39,813	17,389	5.88	-17.06			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		69		24,932	38,587	22,713	2.62	-8.90			
			75		23,556	39,648	19,675	5.44	-16.47			
			79		23,269	39,712	19,080	5.61	-18.00			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								4.29	16.53		

ตารางที่ 4.74 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 18 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 18 ล้อ	รถ 6 ล้อ	50	66	36,613	12,337	36,960	11,956	0.95	-3.09			
			73		12,878	37,259	12,138	1.76	-5.75			
			85		12,687	37,759	11,188	3.13	-11.82			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	34,965	19,402	-4.50	7.98			
			79		19,539	37,889	18,022	3.49	-7.77			
			90		13,987	36,951	13,503	0.92	-3.46			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		50		59	51,789	34,172	53,851	-6.67	3.98		
					66	37,232	38,926	34,939	6.32	-6.16		
					69	16,392	38,135	14,806	4.16	-9.67		
					90	22,890	36,795	22,621	0.50	-1.18		
					รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	63	20,085	36,595	20,067	-0.05	-0.09	
						75	17,948	38,748	15,539	5.83	-13.42	
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		50		65	20,966	38,233	19,378	4.42	-7.58		
					69	24,932	36,670	24,829	0.16	-0.41		
					75	23,556	38,023	21,960	3.85	-6.78		
					79	23,269	38,103	21,490	4.07	-7.64		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								3.17	6.05		

ตารางที่ 4.75 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 18 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 18 ล้อ	รถ 6 ล้อ	57	66	46,893	12,337	49,731	8,398	6.05	-31.93			
			73		12,878	50,074	8,157	6.78	-36.66			
			85		12,687	50,647	6,561	8.01	-48.29			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	47,440	16,102	1.17	-10.39			
			79		19,539	50,796	13,761	8.32	-29.57			
			90		13,987	49,721	8,626	6.03	-38.32			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		57		59	51,789	46,534	50,668	-0.76	-2.16		
					66	37,232	51,985	31,343	10.86	-15.82		
					69	16,392	51,078	11,049	8.92	-32.59		
					90	22,890	49,542	17,753	5.65	-22.44		
					รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	63	20,085	49,314	16,651	5.16	-17.10	
						75	17,948	51,780	11,454	10.42	-36.18	
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		57		65	20,966	51,189	15,844	9.16	-24.43		
					69	24,932	49,399	21,071	5.34	-15.49		
					75	23,556	50,950	17,901	8.65	-24.00		
					79	23,269	51,042	17,207	8.85	-26.05		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								6.88	25.71		

4.6.1.8 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกกรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกบนช่อง
การจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 20 ล้อ

ตารางที่ 4.76 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง
20 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 20 ล้อ	รถ 6 ล้อ	44	51,862	66	12,337	55,427	5,845	6.87	-52.62			
				73	12,878	55,694	5,298	7.39	-58.86			
				85	12,687	56,138	3,238	8.25	-74.48			
	รถ 10 ล้อ			61	17,968	53,650	13,726	3.45	-23.61			
				79	19,539	56,255	10,703	8.47	-45.22			
				90	13,987	55,419	5,125	6.86	-63.36			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ			59	51,789	52,944	48,381	2.09	-6.58			
				66	37,232	57,177	28,761	10.25	-22.75			
				69	16,392	56,473	8,352	8.89	-49.05			
				90	22,890	55,280	14,254	6.59	-37.73			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ			63	20,085	55,102	14,201	6.25	-29.29			
				75	17,948	57,018	8,522	9.94	-52.52			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ			65	20,966	56,560	13,308	9.06	-36.53			
				69	24,932	55,169	18,373	6.38	-26.31			
				75	23,556	56,373	14,987	8.70	-36.38			
					79	23,269	56,445	14,131	8.84	-39.27		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								7.39	40.91		

ตารางที่ 4.77 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 20 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 20 ล้อ	รถ 6 ล้อ	54	66	51,505	12,337	54,469	7,948	5.76	-35.58			
			73		12,878	54,792	7,650	6.38	-40.60			
			85		12,687	55,332	5,973	7.43	-52.92			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	52,312	15,682	1.57	-12.72			
			79		19,539	55,473	13,218	7.70	-32.35			
			90		13,987	54,459	8,001	5.74	-42.79			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	51,460	50,263	-0.09	-2.95			
			66		37,232	56,592	30,884	9.88	-17.05			
			69		16,392	55,738	10,569	8.22	-35.52			
			90		22,890	54,292	17,125	5.41	-25.19			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	54,076	16,217	4.99	-19.26			
			75		17,948	56,398	10,935	9.50	-39.08			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	55,842	15,393	8.42	-26.58			
			69		24,932	54,157	20,592	5.15	-17.41			
			75		23,556	55,617	17,384	7.98	-26.20			
			79		23,269	55,703	16,661	8.15	-28.40			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								6.40	28.41		

ตารางที่ 4.78 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 20 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 20 ล้อ	รถ 6 ล้อ	59	66	19,590	12,337	20,686	10,977	5.60	-11.03			
			73		12,878	21,038	11,041	7.40	-14.26			
			85		12,687	21,625	9,915	10.39	-21.85			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	18,339	18,494	-6.38	2.93			
			79		19,539	21,780	16,850	11.18	-13.76			
			90		13,987	20,675	12,165	5.54	-13.02			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	17,409	52,986	-11.13	2.31			
			66		37,232	22,997	33,951	17.40	-8.81			
			69		16,392	22,067	13,775	12.65	-15.97			
			90		22,890	20,492	21,287	4.60	-7.00			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	20,256	19,129	3.40	-4.76			
			75		17,948	22,788	14,415	16.33	-19.69			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	22,182	18,406	13.24	-12.21			
			69		24,932	20,345	23,796	3.86	-4.56			
			75		23,556	21,936	20,844	11.98	-11.51			
			79		23,269	22,030	20,313	12.46	-12.70			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								9.60	11.02		

ตารางที่ 4.79 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 20 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)	
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน			
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา
รถพ่วง 20 ล้อ	รถ 6 ล้อ	64	66	39,283	12,337	40,681	10,725	3.56	-13.07
			73		12,878	41,068	10,759	4.54	-16.46
			85		12,687	41,712	9,585	6.18	-24.45
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	38,106	18,260	-3.00	1.62
			79		19,539	41,881	16,547	6.61	-15.31
			90		13,987	40,670	11,816	3.53	-15.52
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	37,089	52,759	-5.58	1.87
			66		37,232	43,218	33,695	10.02	-9.50
			69		16,392	42,198	13,506	7.42	-17.60
			90		22,890	40,469	20,937	3.02	-8.53
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	40,223	18,878	2.39	-6.01
			75		17,948	42,988	14,125	9.43	-21.30
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	42,324	18,155	7.74	-13.41
			69		24,932	40,308	23,530	2.61	-5.62
			75		23,556	42,053	20,555	7.05	-12.74
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								5.63

ตารางที่ 4.80 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 20 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)	
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน			
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา
รถพ่วง 20 ล้อ	รถ 6 ล้อ	73	66	21,593	12,337	23,692	10,146	9.72	-17.76
			73		12,878	24,131	10,110	11.75	-21.49
			85		12,687	24,865	8,833	15.15	-30.38
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	20,759	17,726	-3.86	-1.35
			79		19,539	25,055	15,851	16.03	-18.87
			90		13,987	23,678	11,015	9.66	-21.25
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	19,601	52,239	-9.22	0.87
			66		37,232	26,574	33,107	23.06	-11.08
			69		16,392	25,416	12,891	17.70	-21.36
			90		22,890	23,452	20,135	8.61	-12.04
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	23,162	18,321	7.27	-8.78
			75		17,948	26,314	13,459	21.86	-25.01
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	25,550	17,582	18.32	-16.14
			69		24,932	23,263	22,919	7.73	-8.08
			75		23,556	25,252	19,893	16.94	-15.55
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								13.40

4.6.1.9 ผลการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกกรณีวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกบนช่อง
การจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ

ตารางที่ 4.81 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง
22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	31	66	42,957	12,337	46,039	4,180	7.18	-66.12			
			73		12,878	46,224	3,437	7.61	-73.31			
			85		12,687	46,532	1,073	8.32	-91.54			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	44,809	12,181	4.31	-32.21			
			79		19,539	46,613	8,711	8.51	-55.42			
			90		13,987	46,034	2,845	7.16	-79.66			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	44,320	46,890	3.17	-9.46			
			66		37,232	47,251	27,080	10.00	-27.27			
			69		16,392	46,763	6,596	8.86	-59.76			
			90		22,890	45,937	11,982	6.94	-47.65			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	45,814	12,606	6.65	-37.24		
					75	17,948	47,141	6,611	9.74	-63.17		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	46,824	11,654	9.00	-44.41			
			69		24,932	45,861	16,614	6.76	-33.36			
			75		23,556	46,694	13,089	8.70	-44.44			
					79	23,269	46,744	12,127	8.82	-47.88		
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								7.61	50.81		

ตารางที่ 4.82 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	35	66	49,635	12,337	50,131	11,365	1.00	-7.88			
			73		12,878	50,342	11,476	1.42	-10.89			
			85		12,687	50,696	10,420	2.14	-17.87			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	48,718	18,858	-1.85	4.95			
			79		19,539	50,788	17,314	2.32	-11.39			
			90		13,987	50,124	12,692	0.98	-9.26			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	48,160	53,324	-2.97	2.96			
			66		37,232	51,521	34,342	3.80	-7.76			
			69		16,392	50,961	14,182	2.67	-13.48			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		90		22,890	50,014	21,812	0.76	-4.71			
			63		20,085	49,874	19,498	0.48	-2.92			
			75		17,948	51,394	14,860	3.54	-17.21			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	51,030	18,791	2.81	-10.37			
			69		24,932	49,926	24,206	0.59	-2.91			
			75		23,556	50,882	21,285	2.51	-9.64			
						79		23,269	50,939	20,779	2.63	-10.70
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								2.03	9.06		

ตารางที่ 4.83 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	43	66	21,155	12,337	20,828	13,168	-1.55	6.74			
			73		12,878	21,087	13,492	-0.32	4.77			
			85		12,687	21,520	12,767	1.72	0.63			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	19,098	20,533	-9.72	14.27			
			79		19,539	21,632	19,472	2.26	-0.34			
			90		13,987	20,820	15,161	-1.58	8.40			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	18,416	54,936	-12.95	6.08			
			66		37,232	22,529	36,164	6.50	-2.87			
			69		16,392	21,845	16,085	3.26	-1.88			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		90		22,890	20,685	24,279	-2.22	6.07			
			63		20,085	20,512	21,229	-3.04	5.69			
			75		17,948	22,375	16,930	5.77	-5.68			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	21,929	20,581	3.66	-1.84			
			69		24,932	20,577	26,110	-2.73	4.73			
			75		23,556	21,748	23,342	2.80	-0.91			
						79		23,269	21,817	22,950	3.13	-1.37
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								3.95	4.52		

ตารางที่ 4.84 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	48	66	49,421	12,337	51,116	9,589	3.43	-22.27			
			73		12,878	51,405	9,488	4.01	-26.32			
			85		12,687	51,884	8,110	4.98	-36.08			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	49,197	17,206	-0.45	-4.24			
			79		19,539	52,011	15,188	5.24	-22.27			
			90		13,987	51,108	10,259	3.41	-26.65			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	48,435	51,734	-2.00	-0.11			
			66		37,232	53,007	32,548	7.26	-12.58			
			69		16,392	52,246	12,308	5.72	-24.91			
			90		22,890	50,958	19,386	3.11	-15.31			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	50,766	17,796	2.72	-11.40			
			75		17,948	52,836	12,821	6.91	-28.57			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	52,340	17,027	5.91	-18.79			
			69		24,932	50,838	22,329	2.87	-10.44			
			75		23,556	52,139	19,261	5.50	-18.23			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								4.32	18.63		

ตารางที่ 4.85 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	55	66	20,524	12,337	20,340	12,814	-0.90	3.86			
			73		12,878	20,672	13,095	0.72	1.69			
			85		12,687	21,226	12,303	3.42	-3.03			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	18,125	20,202	-11.69	12.44			
			79		19,539	21,371	19,047	4.13	-2.52			
			90		13,987	20,330	14,677	-0.94	4.93			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	17,250	54,617	-15.95	5.46			
			66		37,232	22,520	35,806	9.73	-3.83			
			69		16,392	21,643	15,711	5.45	-4.16			
			90		22,890	20,158	23,792	-1.78	3.94			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	19,936	20,889	-2.86	4.00			
			75		17,948	22,322	16,523	8.76	-7.94			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	21,750	20,230	5.98	-3.51			
			69		24,932	20,019	25,736	-2.46	3.23			
			75		23,556	21,519	22,938	4.85	-2.62			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								5.31	4.40		

ตารางที่ 4.86 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	57	48,050	66	12,337	46,277	15,151	-3.69	22.81			
				73	12,878	46,616	15,708	-2.98	21.98			
				85	12,687	47,186	15,343	-1.80	20.93			
	รถ 10 ล้อ			61	17,968	44,004	22,374	-8.42	24.52			
				79	19,539	47,332	21,841	-1.49	11.78			
				90	13,987	46,266	17,869	-3.71	27.76			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ			59	51,789	43,111	56,713	-10.28	9.51			
				66	37,232	48,511	38,164	0.96	2.50			
				69	16,392	47,612	18,172	-0.91	10.86			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ			90	22,890	46,091	26,973	-4.08	17.84			
				63	20,085	45,866	23,124	-4.55	15.13			
				75	17,948	48,306	19,205	0.53	7.00			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ			65	20,966	47,721	22,547	-0.69	7.54			
				69	24,932	45,949	28,202	-4.37	13.12			
				75	23,556	47,485	25,600	-1.18	8.68			
							79	23,269	47,576	25,333	-0.99	8.87
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								3.16	14.43		

ตารางที่ 4.87 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	65	48,710	66	12,337	47,363	14,259	-2.77	15.58			
				73	12,878	47,754	14,718	-1.96	14.29			
				85	12,687	48,402	14,191	-0.63	11.85			
	รถ 10 ล้อ			61	17,968	44,766	21,542	-8.10	19.89			
				79	19,539	48,575	20,786	-0.28	6.38			
				90	13,987	47,350	16,671	-2.79	19.19			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ			59	51,789	43,727	55,931	-10.23	8.00			
				66	37,232	49,924	37,275	2.49	0.11			
				69	16,392	48,893	17,246	0.37	5.21			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ			90	22,890	47,147	25,787	-3.21	12.66			
				63	20,085	46,893	22,280	-3.73	10.93			
				75	17,948	49,692	18,190	2.02	1.34			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ			65	20,966	49,020	21,672	0.63	3.37			
				69	24,932	46,984	27,270	-3.54	9.38			
				75	23,556	48,747	24,595	0.08	4.41			
							79	23,269	48,852	24,272	0.29	4.31
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								2.70	9.18		

ตารางที่ 4.88 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	69	66	20,781	12,337	20,876	12,422	0.46	0.68			
			73		12,878	21,291	12,657	2.45	-1.72			
			85		12,687	21,982	11,793	5.78	-7.05			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	18,113	19,834	-12.84	10.38			
			79		19,539	22,164	18,578	6.66	-4.92			
			90		13,987	20,864	14,142	0.40	1.11			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	17,015	54,277	-18.12	4.81			
			66		37,232	23,601	35,408	13.57	-4.90			
			69		16,392	22,503	15,299	8.29	-6.67			
			90		22,890	20,648	23,260	-0.64	1.62			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	20,379	20,506	-1.94	2.09		
					75	17,948	23,352	16,074	12.37	-10.45		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	22,634	19,843	8.92	-5.36			
			69		24,932	20,475	25,322	-1.47	1.56			
			75		23,556	22,348	22,491	7.54	-4.52			
						79		23,269	22,459	22,052	8.07	-5.23
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								6.84	4.57		

ตารางที่ 4.89 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	90	66	23,502	12,337	23,728	12,331	0.96	-0.05			
			73		12,878	24,272	12,547	3.28	-2.57			
			85		12,687	25,174	11,667	7.11	-8.05			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	20,107	19,757	-14.45	9.95			
			79		19,539	25,409	18,460	8.11	-5.52			
			90		13,987	23,716	14,005	0.91	0.13			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	18,696	54,188	-20.45	4.63			
			66		37,232	27,268	35,307	16.02	-5.17			
			69		16,392	25,840	15,187	9.95	-7.35			
			90		22,890	23,436	23,121	-0.28	1.01			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	23,077	20,410	-1.81	1.62		
					75	17,948	26,956	15,961	14.70	-11.07		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	26,010	19,744	10.67	-5.83			
			69		24,932	23,196	25,219	-1.30	1.15			
			75		23,556	25,644	22,380	9.11	-4.99			
						79		23,269	25,788	21,932	9.72	-5.75
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								8.05	4.68		

4.6.1.10 ผลการพิจารณาหาหน้าหนักบรรทุกกรณีวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกบนช่อง
การจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 24 ล้อ

ตารางที่ 4.90 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง
24 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 24 ล้อ	รถ 6 ล้อ	28	44,404	66	12,337	44,668	11,748	0.59	-4.78			
				73	12,878	44,834	11,900	0.97	-7.60			
				85	12,687	45,113	10,916	1.60	-13.96			
	รถ 10 ล้อ			61	17,968	43,555	19,211	-1.91	6.92			
				79	19,539	45,185	17,765	1.76	-9.08			
				90	13,987	44,663	13,206	0.58	-5.58			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ			59	51,789	43,118	53,665	-2.90	3.62			
				66	37,232	45,762	34,723	3.06	-6.74			
				69	16,392	45,322	14,578	2.07	-11.07			
				90	22,890	44,577	22,314	0.39	-2.52			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ			63	20,085	44,467	19,858	0.14	-1.13			
				75	17,948	45,662	15,297	2.83	-14.77			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ			65	20,966	45,375	19,166	2.19	-8.59			
				69	24,932	44,507	24,606	0.23	-1.31			
				75	23,556	45,260	21,717	1.93	-7.81			
							79	23,269	45,305	21,234	2.03	-8.75
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								1.57	7.14		

ตารางที่ 4.91 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 24 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 24 ล้อ	รถ 6 ล้อ	37	66	49,846	12,337	50,821	10,349	1.96	-16.12			
			73		12,878	51,045	10,339	2.41	-19.72			
			85		12,687	51,417	9,098	3.15	-28.29			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	49,332	17,912	-1.03	-0.31			
			79		19,539	51,515	16,098	3.35	-17.61			
			90		13,987	50,814	11,302	1.94	-19.20			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	48,742	52,414	-2.21	1.21			
			66		37,232	52,287	33,316	4.90	-10.52			
			69		16,392	51,697	13,111	3.71	-20.02			
			90		22,890	50,698	20,425	1.71	-10.77			
			63		20,085	50,549	18,525	1.41	-7.77			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		75		17,948	52,154	13,694	4.63	-23.70			
			65		20,966	51,770	17,782	3.86	-15.19			
			69		24,932	50,605	23,132	1.52	-7.22			
			75		23,556	51,614	20,127	3.55	-14.55			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		79		23,269	51,673	19,557	3.67	-15.95			
			ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)							2.81	14.26	

ตารางที่ 4.92 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 24 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 24 ล้อ	รถ 6 ล้อ	46	66	52,812	12,337	52,429	13,233	-0.73	7.26			
			73		12,878	52,703	13,569	-0.21	5.36			
			85		12,687	53,158	12,853	0.65	1.30			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	50,613	20,582	-4.16	14.55			
			79		19,539	53,279	19,557	0.88	0.09			
			90		13,987	52,421	15,267	-0.74	9.15			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	49,883	54,991	-5.55	6.18			
			66		37,232	54,223	36,236	2.67	-2.68			
			69		16,392	53,501	16,164	1.30	-1.39			
			90		22,890	52,277	24,390	-1.01	6.55			
			63		20,085	52,092	21,300	-1.36	6.05			
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		75		17,948	54,063	17,008	2.37	-5.24			
			65		20,966	53,594	20,648	1.48	-1.52			
			69		24,932	52,164	26,181	-1.23	5.01			
			75		23,556	53,399	23,421	1.11	-0.57			
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		79		23,269	53,472	23,034	1.25	-1.01			
			ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)							1.67	4.62	

ตารางที่ 4.93 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 24 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)	
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน			
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา
รถพ่วง 24 ล้อ	รถ 6 ล้อ	47	66	46,565	12,337	49,850	6,717	7.05	-45.56
			73		12,878	50,133	6,273	7.66	-51.29
			85		12,687	50,604	4,373	8.67	-65.54
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	47,967	14,537	3.01	-19.09
			79		19,539	50,728	11,747	8.94	-39.88
			90		13,987	49,842	6,320	7.04	-54.82
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	47,220	49,159	1.41	-5.08
			66		37,232	51,705	29,643	11.04	-20.38
			69		16,392	50,959	9,273	9.44	-43.43
			90		22,890	49,695	15,450	6.72	-32.50
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	49,506	15,039	6.32	-25.12
			75		17,948	51,537	9,523	10.68	-46.94
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	51,051	14,174	9.63	-32.40
			69		24,932	49,577	19,293	6.47	-22.62
			75		23,556	50,853	15,981	9.21	-32.16
			79		23,269	50,929	15,181	9.37	-34.76
ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								7.67	35.72

ตารางที่ 4.94 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 24 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)	
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน			
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา
รถพ่วง 24 ล้อ	รถ 6 ล้อ	60	66	47,261	12,337	48,296	11,108	2.19	-9.96
			73		12,878	48,657	11,185	2.95	-13.14
			85		12,687	49,262	10,084	4.23	-20.52
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	45,881	18,617	-2.92	3.61
			79		19,539	49,419	17,001	4.56	-12.99
			90		13,987	48,284	12,331	2.16	-11.84
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	44,928	53,092	-4.94	2.52
			66		37,232	50,671	34,078	7.21	-8.47
			69		16,392	49,716	13,905	5.19	-15.17
			90		22,890	48,098	21,445	1.77	-6.31
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63		20,085	47,858	19,247	1.26	-4.17
			75		17,948	50,455	14,563	6.76	-18.86
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	49,833	18,533	5.44	-11.61
			69		24,932	47,947	23,930	1.45	-4.02
			75		23,556	49,581	20,988	4.91	-10.90
			79		23,269	49,678	20,465	5.11	-12.05
ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								3.94	10.38

ตารางที่ 4.95 ผลกระทบกรณี Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกการจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 24 ล้อ

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)				
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน						
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา			
รถพ่วง 24 ล้อ	รถ 6 ล้อ	62	66	47,592	12,337	47,914	12,101	0.68	-1.92			
			73		12,878	48,286	12,302	1.46	-4.48			
			85		12,687	48,905	11,382	2.76	-10.29			
	รถ 10 ล้อ		61		17,968	45,441	19,534	-4.52	8.72			
			79		19,539	49,068	18,198	3.10	-6.86			
			90		13,987	47,902	13,704	0.65	-2.02			
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ		59		51,789	44,453	53,995	-6.60	4.26			
			66		37,232	50,354	35,089	5.80	-5.76			
			69		16,392	49,372	14,964	3.74	-8.71			
			90		22,890	47,709	22,829	0.24	-0.27			
			รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ		63	20,085	47,461	20,208	-0.28	0.61		
					75	17,948	50,133	15,707	5.34	-12.49		
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ		65		20,966	49,493	19,525	3.99	-6.87			
			69		24,932	47,554	24,986	-0.08	0.22			
			75		23,556	49,233	22,128	3.45	-6.06			
			79		23,269	49,332	21,668	3.66	-6.88			
	ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								2.90	5.40		

บทที่ 5

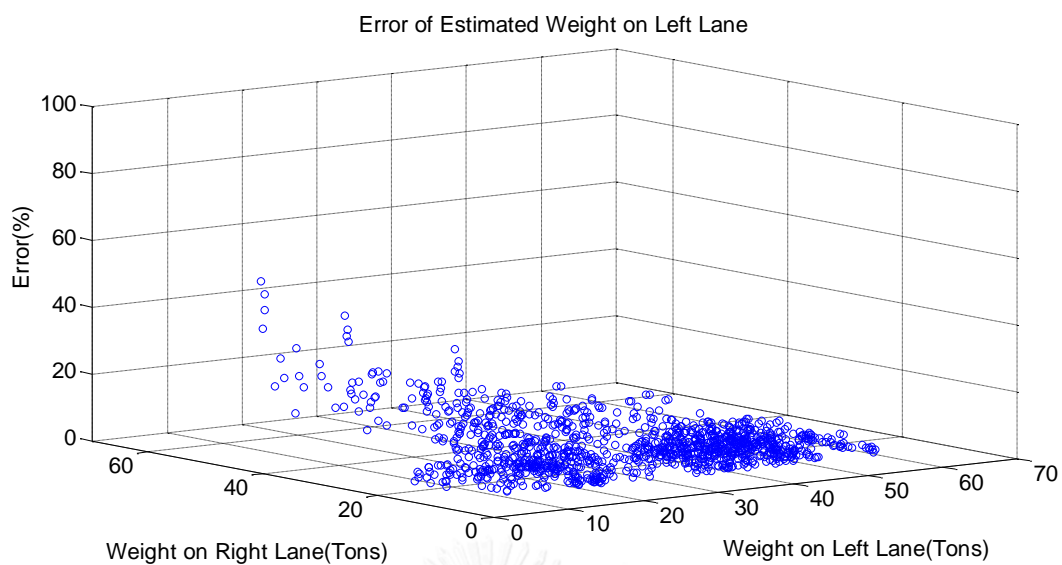
ประสิทธิภาพ และผลกระทบเนื่องจากกรณีรถวิ่งบนสะพานคู่กัน

ผลทดสอบการทำงานของอัลกอริทึมเพื่อแก้ปัญหาการหาค่าน้ำหนักบรรทุกในกรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน ที่ได้ทำการคิดค้นปรับปรุงขึ้นจะถูกนำมาพิจารณาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึม ทั้งในด้านความถูกต้องในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกรวมและศึกษาผลกระทบเนื่องจากกรณีรถวิ่งผ่านสะพานทดสอบคู่กัน พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึม ซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อต่างๆคือ ระดับสัมฤทธิ์ผลและความเร็วในการทำงานของอัลกอริทึม นอกจากนี้ ข้อมูลที่ไม่สามารถคำนวณได้ถูกต้องหรือไม่สามารถวิเคราะห์ได้จะถูกนำมาพิจารณาเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอัลกอริทึมที่ไม่สามารถทำงานได้สัมฤทธิ์ผลดังกล่าว

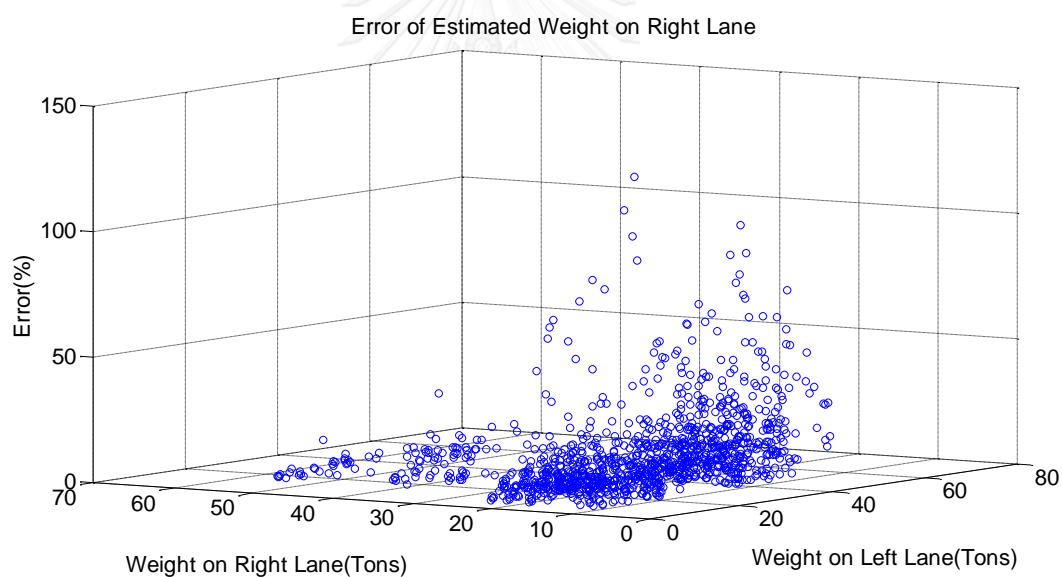
5.1 ประสิทธิภาพการคำนวณน้ำหนักบรรทุกรวม และผลกระทบเนื่องจากกรณีรถวิ่งบนสะพานคู่กัน

จากผลการหาค่าน้ำหนักบรรทุก ในกรณีรถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบคู่กัน ที่แสดงไว้ในบทที่ 4 สามารถนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอ พร้อมทั้งศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากกรณีรถวิ่งผ่านสะพานทดสอบคู่กัน

การพิจารณาประสิทธิภาพการหาค่าน้ำหนักบรรทุก และผลกระทบเนื่องจากกรณีรถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบคู่กัน สามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักบรรทุกกรณีรถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบคู่กันกับกรณีรถบรรทุกวิ่งเดี่ยวบนสะพานทดสอบ ผลการศึกษาพบว่าผลกระทบเนื่องจากกรณีรถวิ่งบนสะพานคู่กัน ของรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายมีค่าน้อยสุด มากสุด และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.02%, 51.64%, และ 6.61% ตามลำดับ และผลกระทบการหาค่าน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรขวามีค่าน้อยสุด มากสุด และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.03%, 128.75%, และ 12.71% ตามลำดับ สามารถแสดงรายละเอียดของผลกระทบการหาค่าน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายและขวาได้ ดังรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 ร้อยละของความคลาดเคลื่อนการหาค่าน้ำหนักบรรทุกทุกบนช่องจราจรซ้าย



รูปที่ 5.2 ร้อยละของความคลาดเคลื่อนการหาค่าน้ำหนักบรรทุกทุกบนช่องจราจรขวา

5.2 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอัลกอริทึม

จากการพิจารณาประสิทธิภาพอัลกอริทึมการหาค่าน้ำหนักบรรทุก และผลกระทบเนื่องจากกรณีรถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบคู่กัน พบว่ามีบางกรณีที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์หาแนวโน้มปัจจัยที่อาจมีผลต่อการหาค่าน้ำหนักบรรทุก

5.2.1 ความถูกต้องของพื้นที่ใต้กราฟของค่าสัญญาณความเครียด

เนื่องจากการหาน้ำหนักบรรทุกในกรณีรถบรรทุกวิ่งคู่กันบนสะพานทดสอบ ได้ใช้พื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียดในการคำนวณ เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของอัลกอริทึมในการใช้พื้นที่ใต้กราฟของค่าสัญญาณความเครียดในการพิจารณาน้ำหนักบรรทุก ทำได้โดยการนำค่าน้ำหนักบรรทุกรวมที่หายได้คูณกับค่าคงที่ดังสมการที่ (5.1) จะได้ค่าพื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียดจากค่าน้ำหนักบรรทุกรวมที่หายได้ นำมาเปรียบเทียบกับพื้นที่สัญญาณความเครียดที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียด เพื่อหาความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียดจากน้ำหนักบรรทุกรวมที่หายได้ แสดงดังสมการที่ (5.2) โดยจะแสดงตารางค่าความคลาดเคลื่อนทั้งหมดไว้ในภาคผนวก และแสดงดังรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4

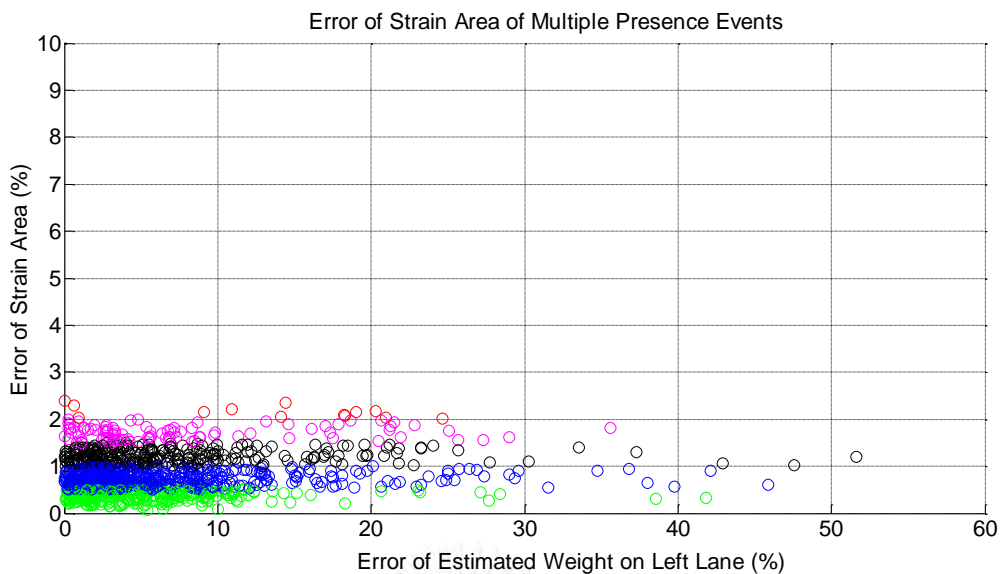
$$\begin{Bmatrix} \hat{A}_{\varepsilon_1} \\ \hat{A}_{\varepsilon_2} \\ \vdots \\ \hat{A}_{\varepsilon_g} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Q_{L,1}}{\beta_L v_L} & \frac{Q_{R,1}}{\beta_R v_R} \\ \frac{Q_{L,2}}{\beta_L v_L} & \frac{Q_{R,2}}{\beta_R v_R} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{Q_{L,g}}{\beta_L v_L} & \frac{Q_{R,g}}{\beta_R v_R} \end{bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \hat{w}_L \\ \hat{w}_R \end{Bmatrix} \quad (5.1)$$

$$A_{\varepsilon} Error = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^5 (\bar{A}_i - \hat{A}_i)^2}}{\sum_{i=1}^5 \bar{A}_i} \times 100 \quad (5.2)$$

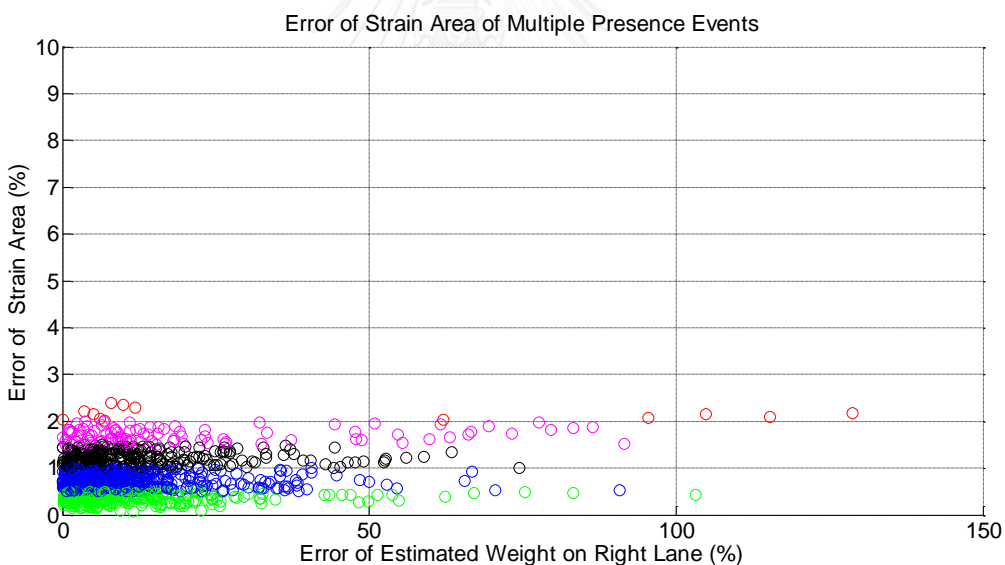
เมื่อ i คือจำนวนคานสะพาน ($i = 1, 2, \dots, 5$)

\bar{A}_i คือพื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียดจากค่าสัญญาณความเครียดที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดที่ติดตั้งได้สะพานทดสอบ ที่ตำแหน่งคานสะพาน i

\hat{A}_i คือพื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียดซึ่งสังเคราะห์จากน้ำหนักบรรทุกที่หายได้ ที่ตำแหน่งคานสะพาน i



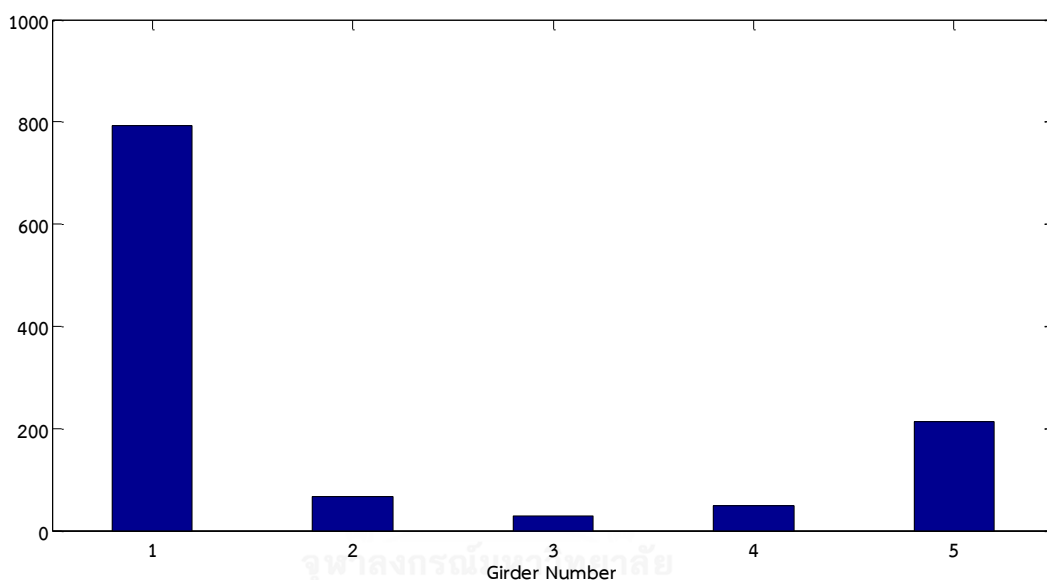
รูปที่ 5.3 ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียดจากน้ำหนักบรรทุกรวมบนช่องจราจรซ้ายที่หายไป



รูปที่ 5.4 ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียดจากน้ำหนักบรรทุกรวมบนช่องจราจรขวาที่หายไป

จากรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนของการพิจารณา น้ำหนักบรรทุก กับความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียดจากน้ำหนักบรรทุกรวมที่หายไป พบว่าความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียดจากน้ำหนักบรรทุกรวมบนช่องจราจรซ้าย และช่องจราจรขวาที่หายไป มีค่าไม่เกิน 2.5% ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความคลาดเคลื่อนของ น้ำหนักบรรทุกที่มีสูงถึง 100% อีกทั้งจากการรวบรวมข้อมูลค่าความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณ

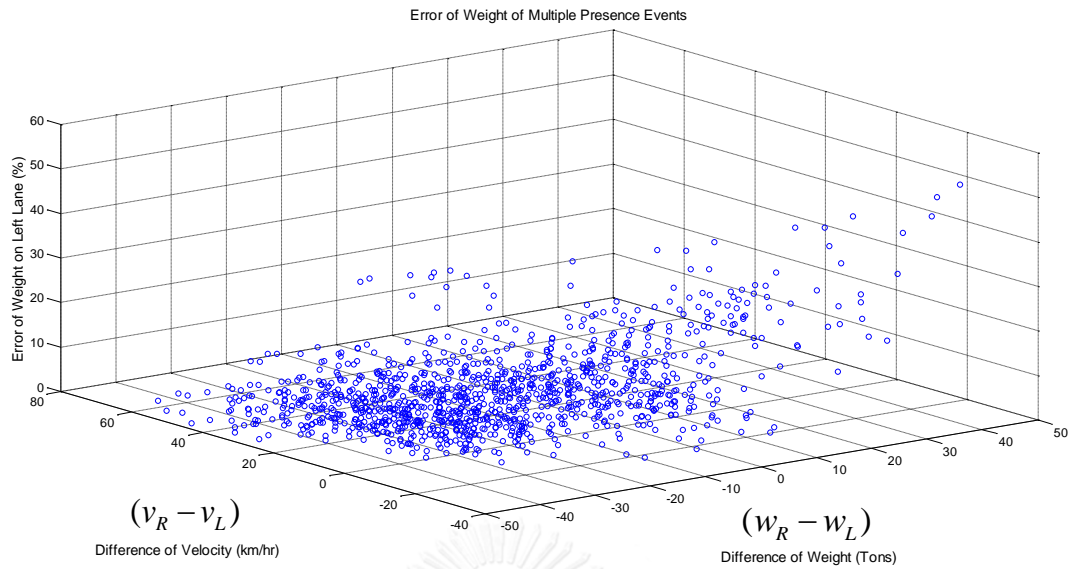
ความเครียดทั้งหมด พบว่าช่องสัญญาณความเครียดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียดมากที่สุด เป็นช่องสัญญาณความเครียดที่ 1 (แสดงดังรูปที่ 5.5 และแสดงไว้ในภาคผนวก) ซึ่งเป็นช่องสัญญาณความเครียดที่อยู่ริมถนนฝั่งซ้าย (ตามแผนผังการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดในบทที่ 3) เป็นช่องสัญญาณความเครียดที่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาหาน้ำหนักบรรทุกน้อยสุด (ดูได้จากค่าตัวคูณประกอบการกระจายน้ำหนักตามแนวขวาง) ดังนั้นจึงพอจะสรุปได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักบรรทุกที่ได้ค่อนข้างสูงนั้น ไม่ได้เกิดจากปัญหาเชิงตัวเลข (Numerical error) ของการทำอินเวอร์ส (inverse) ของระบบสมการตามอัลกอริทึมที่นำเสนอแต่อย่างใด



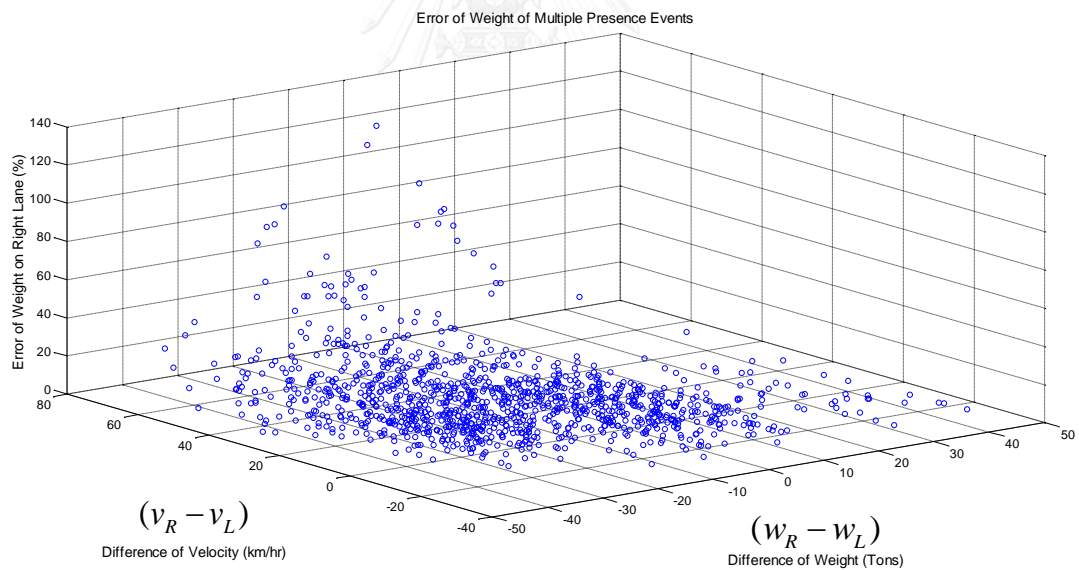
รูปที่ 5.5 ความถี่ของช่องสัญญาณความเครียดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด

5.2.2 ผลเนื่องจากความแตกต่างของข้อมูลรถบรรทุกที่พิจารณา

เนื่องจากรถบรรทุกที่นำมาพิจารณาเป็นข้อมูลที่มีความแตกต่างกัน ทั้งในเรื่องประเภทน้ำหนัก และความเร็ว เพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อการหาค่าน้ำหนักบรรทุกเมื่อวิ่งข้ามสะพานคู่กันหรือไม่ สามารถทำได้โดยการหาค่าความแตกต่างของข้อมูลแต่ละชุด นำมาพิจารณาร่วมกับค่าความคลาดเคลื่อนของการศึกษาหาน้ำหนักบรรทุก โดยปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลคือน้ำหนักและความเร็วของชุดข้อมูลในแต่ละชุดข้อมูลที่นำมาพิจารณา แสดงให้เห็นดังรูปที่ 5.6 และรูปที่ 5.7 และแสดงค่าทั้งหมดไว้ในภาคผนวก



รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างของน้ำหนัก และความเร็วของรถที่วิ่งข้ามสะพานคู่กัน
ต่อความคลาดเคลื่อนของค่าน้ำหนักในช่องจราจรซ้าย



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างของน้ำหนัก และความเร็วของรถที่วิ่งข้ามสะพาน
คู่กันต่อความคลาดเคลื่อนของค่าน้ำหนักในช่องจราจรขวา

จากรูปที่ 5.6 อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความต่างของข้อมูลกับผลกระทบเนื่องจากกรณีเหตุการณ์รถบรรทุกวิ่งคู่กันของรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย ทำให้สรุปได้ว่าผลกระทบเนื่องจากกรณีรถวิ่งบนสะพานคู่กันของรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อค่าน้ำหนักบรรทุกของ

รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายมีค่าน้อยกว่ารถบรรทุกบนช่องจราจรขวาเป็นอย่างมาก และเมื่อความเร็วรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายวิ่งด้วยความเร็วสูงกว่ารถบรรทุกบนช่องจราจรขวาเป็นอย่างมาก และจากรูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างของข้อมูลกับผลกระทบเนื่องจากกรณีวิ่งคู่กันของรถบรรทุกบนช่องจราจรขวา สรุปได้ว่าผลกระทบเนื่องจากกรณีวิ่งคู่กันของรถบรรทุกบนช่องจราจรขวาจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อค่าน้ำหนักบรรทุกของรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายมีค่ามากกว่ารถบรรทุกบนช่องจราจรขวาเป็นอย่างมาก และเมื่อความเร็วรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายวิ่งด้วยความเร็วต่ำกว่ารถบรรทุกบนช่องจราจรขวาเป็นอย่างมาก ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวมีลักษณะตรงกับพฤติกรรมในการทดสอบการทำงานของอัลกอริทึมซึ่งพิจารณาในหัวข้อ 4.3

จากข้อมูลดังกล่าวทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าน้ำหนักและความเร็วที่ต่างกันของรถบรรทุกที่วิ่งบนช่องจราจรซ้ายและช่องจราจรขวามีผลทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนในการพิจารณาหาน้ำหนักบรรทุกกรณีวิ่งคู่กัน โดยมีแนวโน้มที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนสูง เมื่อรถบรรทุกคันที่พิจารณามีน้ำหนักเบากว่า และวิ่งเร็วกว่าอีกคันเป็นอย่างมาก

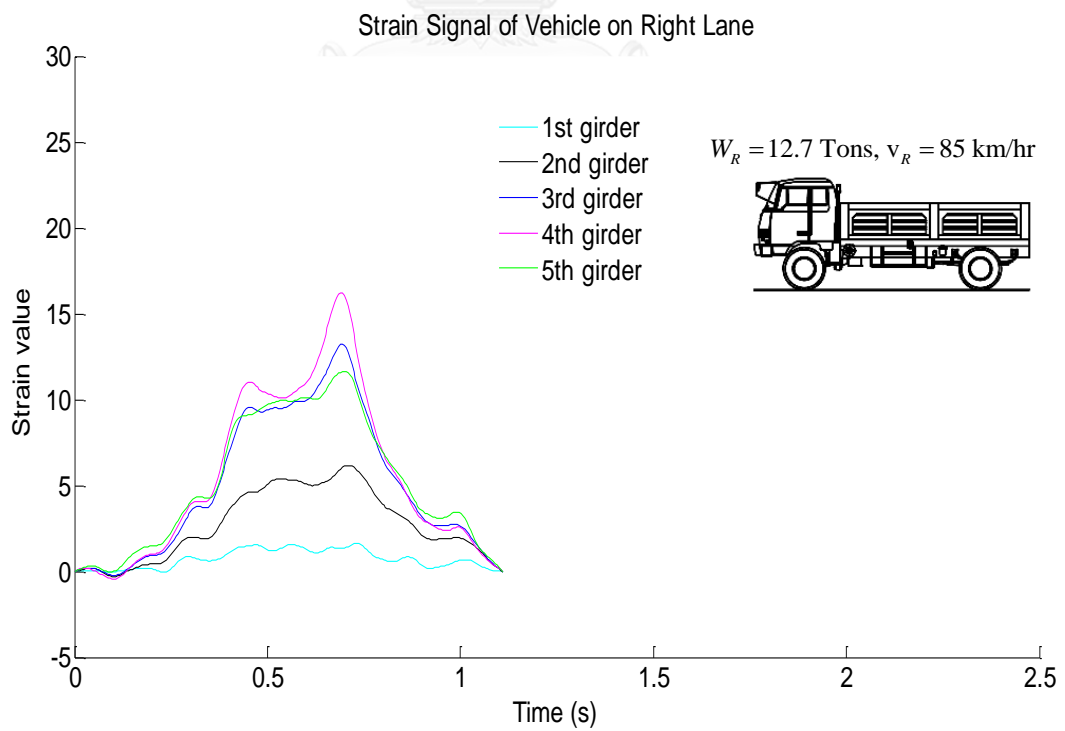
5.3 ชุดข้อมูลกรณีที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูง

จากการหาค่าน้ำหนักของรถบรรทุก ในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานทดสอบ คู่กัน (Multiple Presence Events) ทั้งหมด 1,152 กรณี พบว่ามีกรณีที่มีค่าความคลาดเคลื่อนการคำนวณน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรขวาสูงถึง 128% จึงทำการตรวจสอบหาปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงดังกล่าว

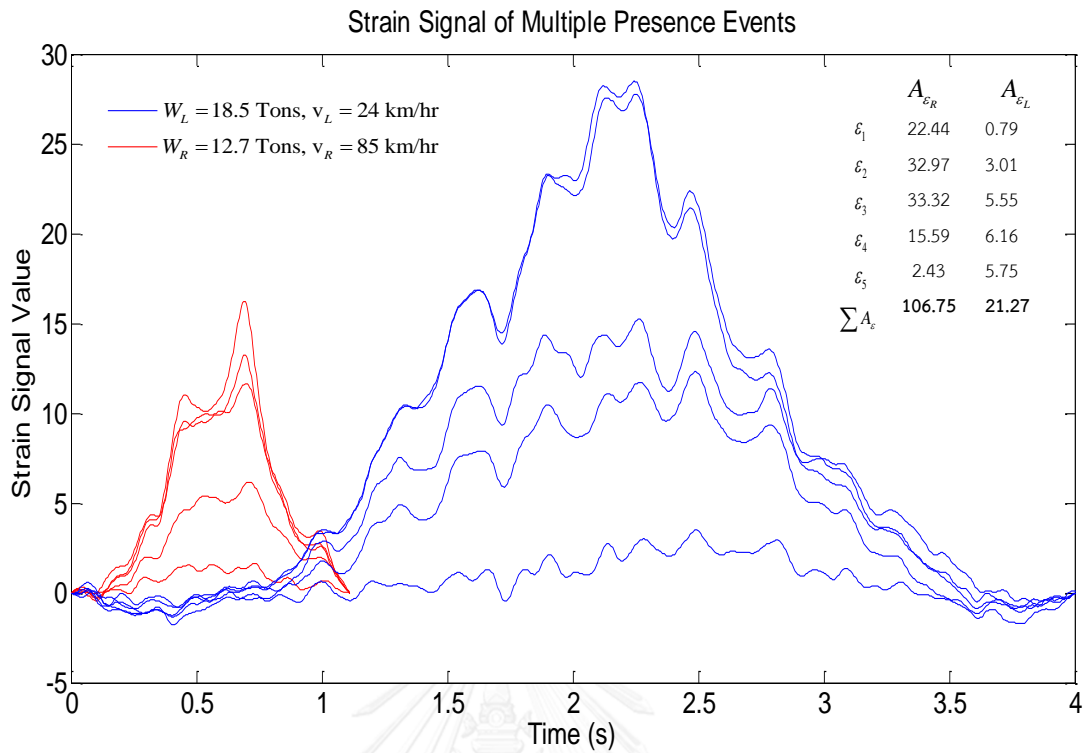
กรณีที่มีความคลาดเคลื่อนสูงคือกรณีที่รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อหนัก 18.5 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง วิ่งคู่กับรถบรรทุก 6 ล้อ บนช่องจราจรขวาหนัก 12.7 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 85 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งแสดงค่าสัญญาณความเครียดดังรูปที่ 5.8 ถึงรูปที่ 5.10 และแสดงสัญญาณความเครียดเนื่องจากกรณีวิ่งผ่านสะพานคู่กันได้ดังรูปที่ 5.11



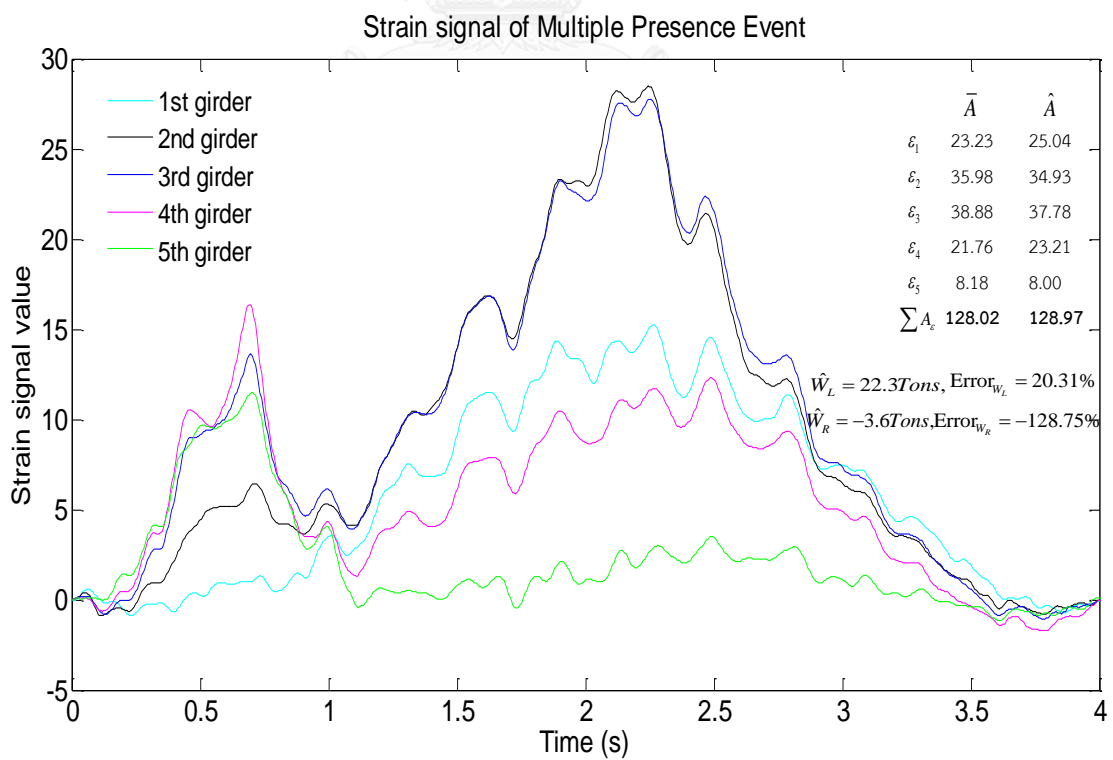
รูปที่ 5.8 สัญญาณความเค้นขึงรถบรรทุกทุกบนช่องจราจรซ้าย



รูปที่ 5.9 สัญญาณความเค้นขึงรถบรรทุกทุกบนช่องจราจรขวา



รูปที่ 5.10 สัญญาณความเครียดของรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายและช่องจราจรขวา



รูปที่ 5.11 สัญญาณความเครียดเนื่องจากกรณีรถวิ่งผ่านสะพานคู่กัน

จากรูปที่ 5.11 แสดงสัญญาณความเครียดเนื่องจากกรณีรถวิ่งผ่านสะพานคู่กัน ซึ่งในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกทุกจะใช้พื้นที่ใต้กราฟของค่าสัญญาณความเครียด โดยค่าน้ำหนักบรรทุกทุกจะสอดคล้องกับพื้นที่ใต้กราฟสัญญาณความเครียด ในกรณีนี้ค่าน้ำหนักบรรทุกทุกบนช่องจราจรซ้ายได้ 22.3 ตัน และค่าน้ำหนักบรรทุกทุกบนช่องจราจรซ้ายได้ติดลบ 3.6 ตัน คิดเป็นความคลาดเคลื่อนในการคำนวณน้ำหนักบรรทุกทุกบนช่องจราจรซ้าย 20.31% และช่องจราจรขวา 128.75% แต่การตรวจสอบพื้นที่สัญญาณความเครียดจากน้ำหนักบรรทุกทุกที่ทายได้ พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียดเพียง 0.74% ดังนั้นความคลาดเคลื่อนที่พบไม่น่าเกิดจากปัญหาการคำนวณเชิงตัวเลขของอัลกอริทึมแต่อย่างใด

เมื่อพิจารณาสังเกตผลการหาค่าน้ำหนักของรถบรรทุกที่มีปัญหาคั่นดังกล่าว พบว่าทุกกรณีของการทดสอบไม่ว่ารถบรรทุกทุกบนช่องจราจรขวาเป็นรถบรรทุกประเภทใด มีค่าน้ำหนัก หรือความเร็วเป็นเท่าใด ค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณน้ำหนักบรรทุกทุกบนช่องจราจรขวาเนื่องจากกรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพานทดสอบล้วนมีค่าสูง ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนน้ำหนักบรรทุกทุกช่องจราจรขวาเฉลี่ยอยู่ที่ -72.41% โดยมีข้อที่น่าสังเกตว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าที่เป็นลบเสมอ ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบเนื่องจากกรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกทุกบนช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อหนัก 18.5 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)	
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน			
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา
รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อ	24	18,503	12,337	21,884	552	18.27	-95.52	
				12,878	22,025	-625	19.04	-104.85	
				12,687	22,261	-3,647	20.31	-128.75	
	รถ 10 ล้อ			17,968	20,942	8,812	13.18	-50.96	
				19,539	22,322	4,362	20.64	-77.67	
				13,987	21,880	-2,138	18.25	-115.28	
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ			59	51,789	20,570	43,638	11.17	-15.74
				66	37,232	22,811	23,407	23.28	-37.13
				69	16,392	22,438	2,759	21.27	-83.17
				90	22,890	21,807	7,002	17.86	-69.41
	รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ			63	20,085	21,713	9,120	17.35	-54.59
				75	17,948	22,727	2,443	22.83	-86.39
				65	20,966	22,484	8,047	21.51	-61.62
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ			69	24,932	21,748	12,777	17.54	-48.75
				75	23,556	22,385	8,946	20.98	-62.02
				79	23,269	22,423	7,754	21.19	-66.68
ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)								19.04	-72.41

จึงทำการพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่ข้อมูลของเหตุการณ์ดังกล่าว อาจมีความไม่สมบูรณ์ โดยวิเคราะห์จากกราฟสัญญาณความเครียดและรูปถ่ายเหตุการณ์ ซึ่งเมื่อพิจารณำบันทึกภาพถ่ายของเหตุการณ์ดังกล่าว แสดงดังรูปที่ 5.12 พบว่ามีรถยนต์จำนวนมากวิ่งข้ามสะพานพร้อมกับรถบรรทุก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพบว่าในช่องจราจรขวามีรถบรรทุกเล็กวิ่งข้ามสะพานในเวลาใกล้เคียงด้วย จึงจะทำการพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่ข้อมูลของเหตุการณ์นี้ อาจมีความไม่สมบูรณ์ โดยการวิเคราะห์จากกราฟสัญญาณความเครียดที่บันทึกได้ ดังจะได้อธิบายในลำดับถัดไป



รูปที่ 5.12 รถบรรทุก 10 ล้อ หนัก 18.5 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

5.3.1 ตรวจสอบสัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย

จากตารางที่ 5.1 ผลกระทบเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence เมื่อรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ หนัก 18.5 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทุกกรณีของการพิจารณำน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรขวามีค่าความคลาดเคลื่อนสูง ดังนั้นในหัวข้อนี้จะศึกษาเปรียบเทียบลักษณะสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายกรณีที่มีปัญหากับกรณีอื่นๆ โดยสุ่มเลือกรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย แล้วทำการสร้างสัญญาณความเครียดเทียมด้วยวิธีเทียบสัดส่วนเส้นตรง ให้ได้ชุดค่าสัญญาณความเครียดที่มีน้ำหนักและความเร็วเท่ากับรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย

กรณีที่มีปัญหา โดยรถบรรทุกห้องจรรยาชัยที่เลือกนำมาศึกษาจะแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือสุ่มเลือกรถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 2 กรณี และสุ่มเลือกรถบรรทุกประเภทอื่น จำนวน 3 กรณี ทั้งหมดรวม 5 กรณี โดยรถบรรทุก 10 ล้อ ห้องจรรยาชัยที่เลือกนำมาศึกษามีดังนี้

กรณีที่ 1 รถบรรทุก 10 ล้อหนัก 23.2 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 36 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงกราฟสัญญาณความเครียดดังรูปที่ 5.16 ถึงรูปที่ 5.18 และแสดงชุดสัญญาณความเครียดจากการสร้างสัญญาณความเครียดเทียมด้วยวิธีเทียบสัดส่วนเส้นตรง ที่มีค่าน้ำหนักและความเร็วเท่ากับรถบรรทุกห้องจรรยาชัยกรณีที่มีปัญหาดังรูปที่ 5.19 และรูปที่ 5.20

กรณีที่ 2 รถบรรทุก 10 ล้อหนัก 24 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงกราฟสัญญาณความเครียดดังรูปที่ 5.21 ถึงรูปที่ 5.23 และแสดงชุดสัญญาณความเครียดจากการสร้างสัญญาณความเครียดเทียมด้วยวิธีเทียบสัดส่วนเส้นตรง ที่มีค่าน้ำหนักและความเร็วเท่ากับรถบรรทุกห้องจรรยาชัยกรณีที่มีปัญหาดังรูปที่ 5.24 และรูปที่ 5.25

กรณีที่ 3 รถบรรทุกกึ่งพวง 18 ล้อหนัก 17.6 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 67 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (แสดงรูปรถบรรทุกดังรูปที่ 5.13) แสดงกราฟสัญญาณความเครียดดังรูปที่ 5.26 และแสดงชุดสัญญาณความเครียดจากการสร้างสัญญาณความเครียดเทียมด้วยวิธีเทียบสัดส่วนเส้นตรง ที่มีค่าน้ำหนักและความเร็วเท่ากับรถบรรทุกห้องจรรยาชัยกรณีที่มีปัญหาดังรูปที่ 5.28

กรณีที่ 4 รถบรรทุกกึ่งพวง 22 ล้อหนัก 40.7 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 76 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (แสดงรูปรถบรรทุกดังรูปที่ 5.14) แสดงกราฟสัญญาณความเครียดดังรูปที่ 5.29 และแสดงชุดสัญญาณความเครียดจากการสร้างสัญญาณความเครียดเทียมด้วยวิธีเทียบสัดส่วนเส้นตรง ที่มีค่าน้ำหนักและความเร็วเท่ากับรถบรรทุกห้องจรรยาชัยกรณีที่มีปัญหาดังรูปที่ 5.31

กรณีที่ 5 รถบรรทุกพวง 24 ล้อหนัก 44.4 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 28 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (แสดงรูปรถบรรทุกดังรูปที่ 5.15) แสดงกราฟสัญญาณความเครียดดังรูปที่ 5.32 และแสดงชุดสัญญาณความเครียดจากการสร้างสัญญาณความเครียดเทียมด้วยวิธีเทียบสัดส่วนเส้นตรง ที่มีค่าน้ำหนักและความเร็วเท่ากับรถบรรทุกห้องจรรยาชัยกรณีที่มีปัญหาดังรูปที่ 5.34



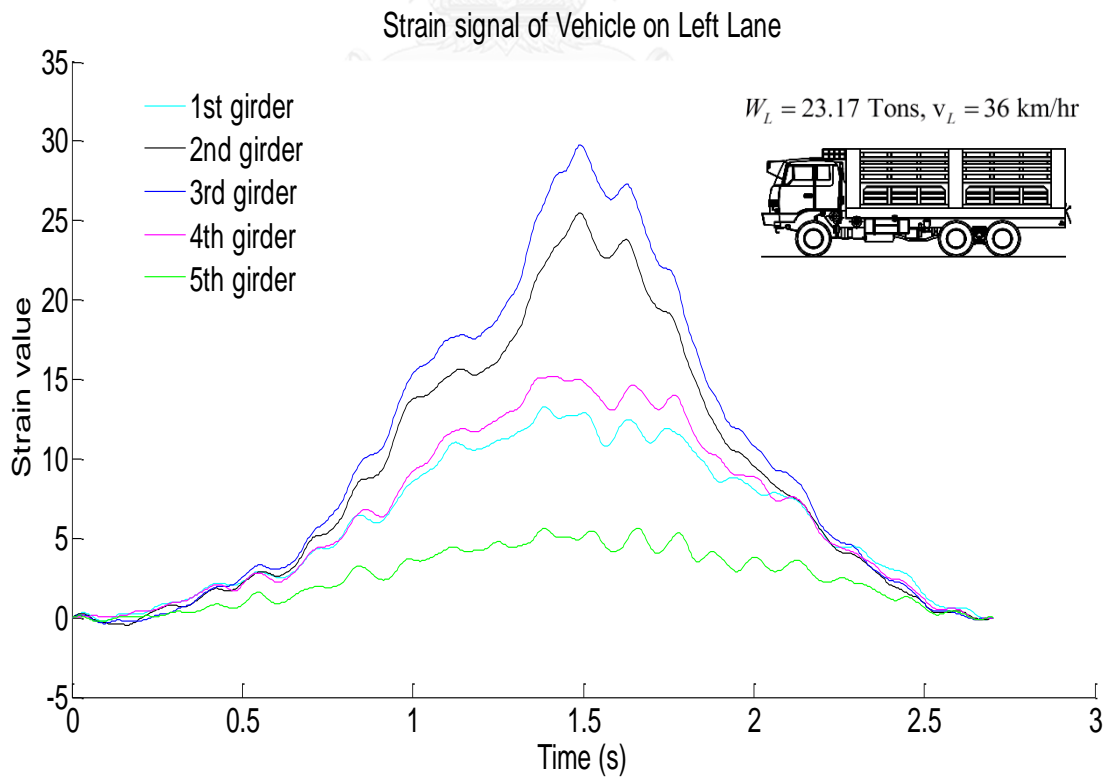
รูปที่ 5.13 รถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อหนัก 17.6 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 67 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



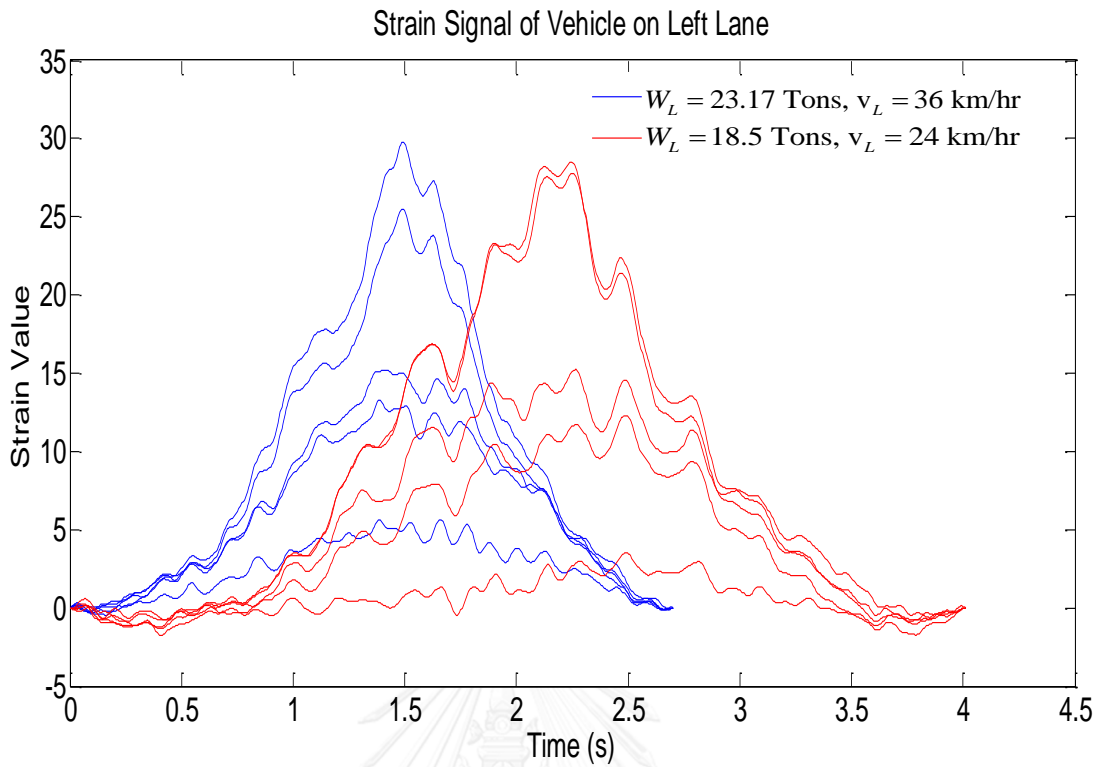
รูปที่ 5.14 รถบรรทุกกึ่งพ่วง 22 ล้อหนัก 40.7 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 76 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



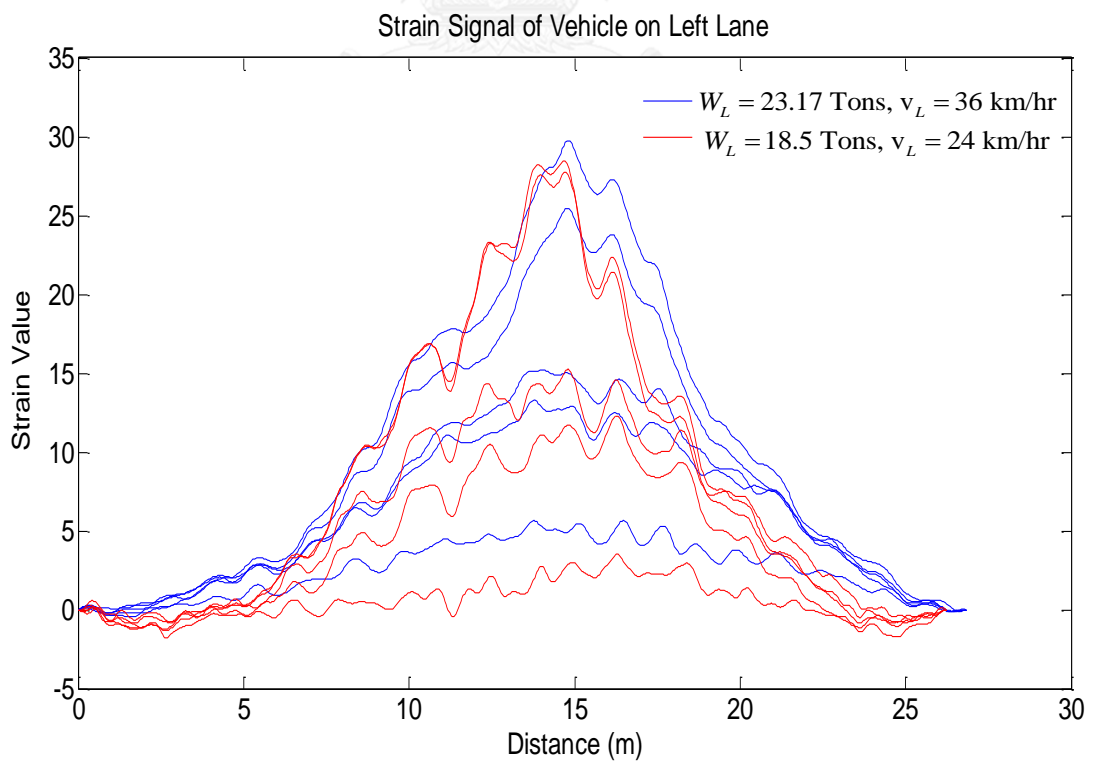
รูปที่ 5.15 รถบรรทุกพ่วง 24 ล้อหนัก 44.4 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 28 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



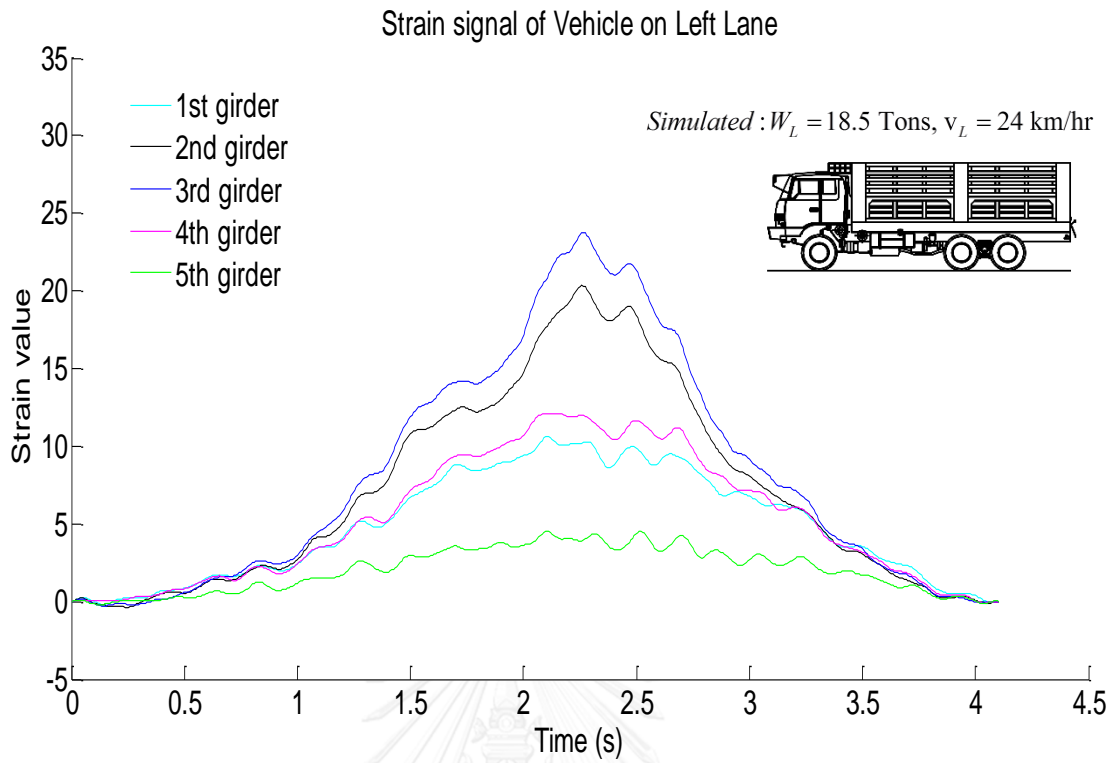
รูปที่ 5.16 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย



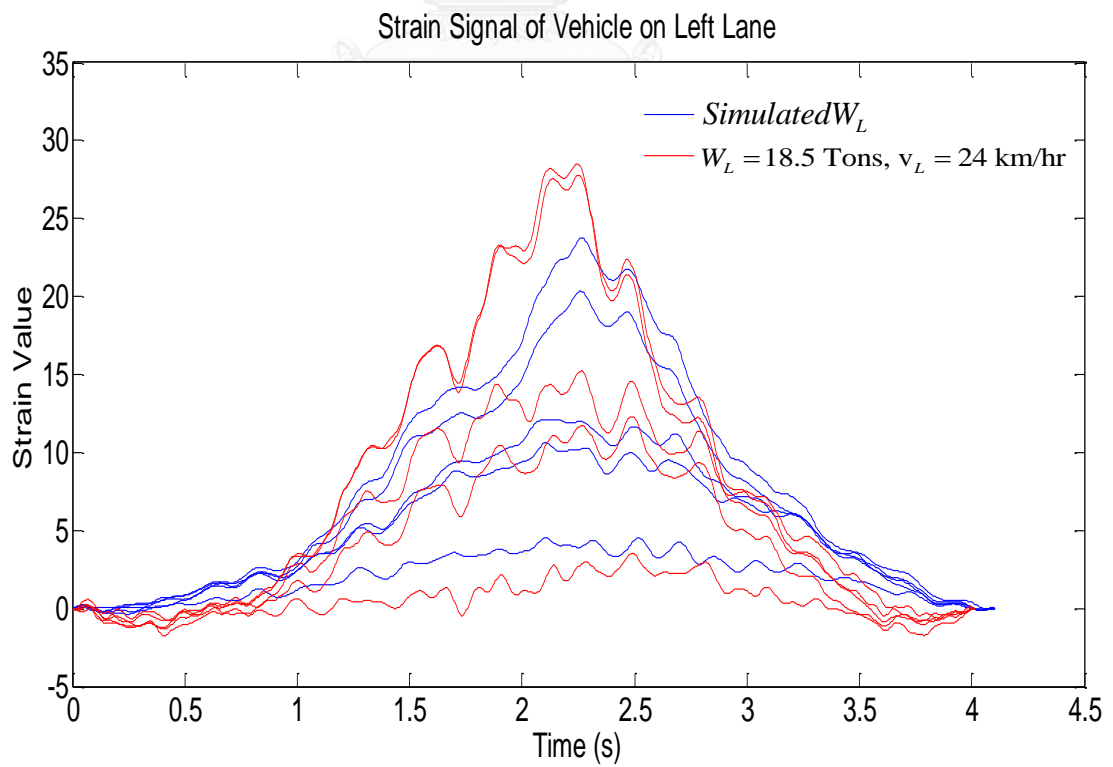
รูปที่ 5.17 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย



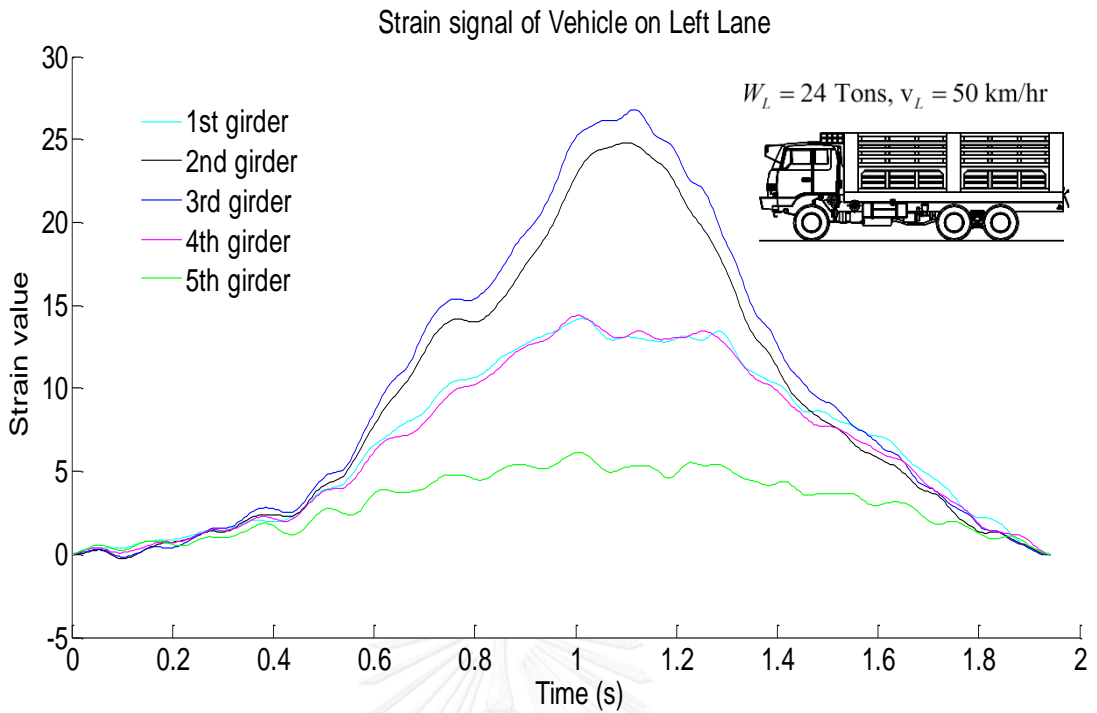
รูปที่ 5.18 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย



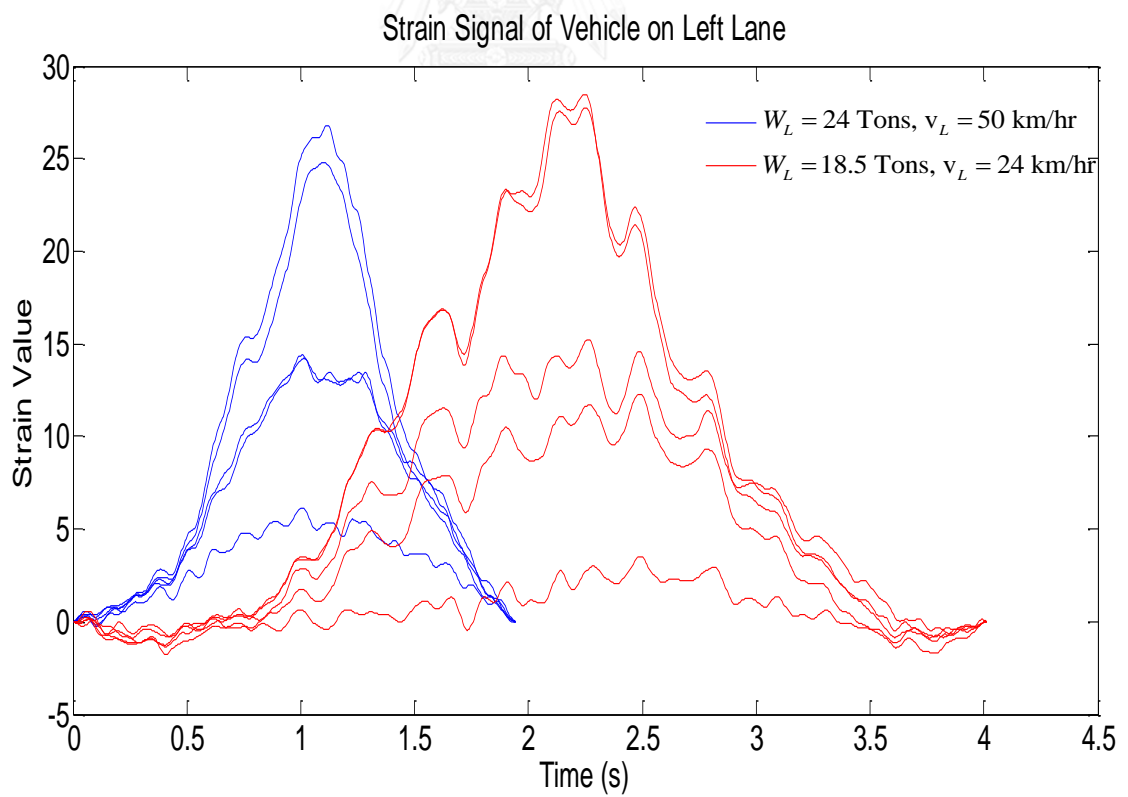
รูปที่ 5.19 สัญญาณความเครียดเทียบรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย



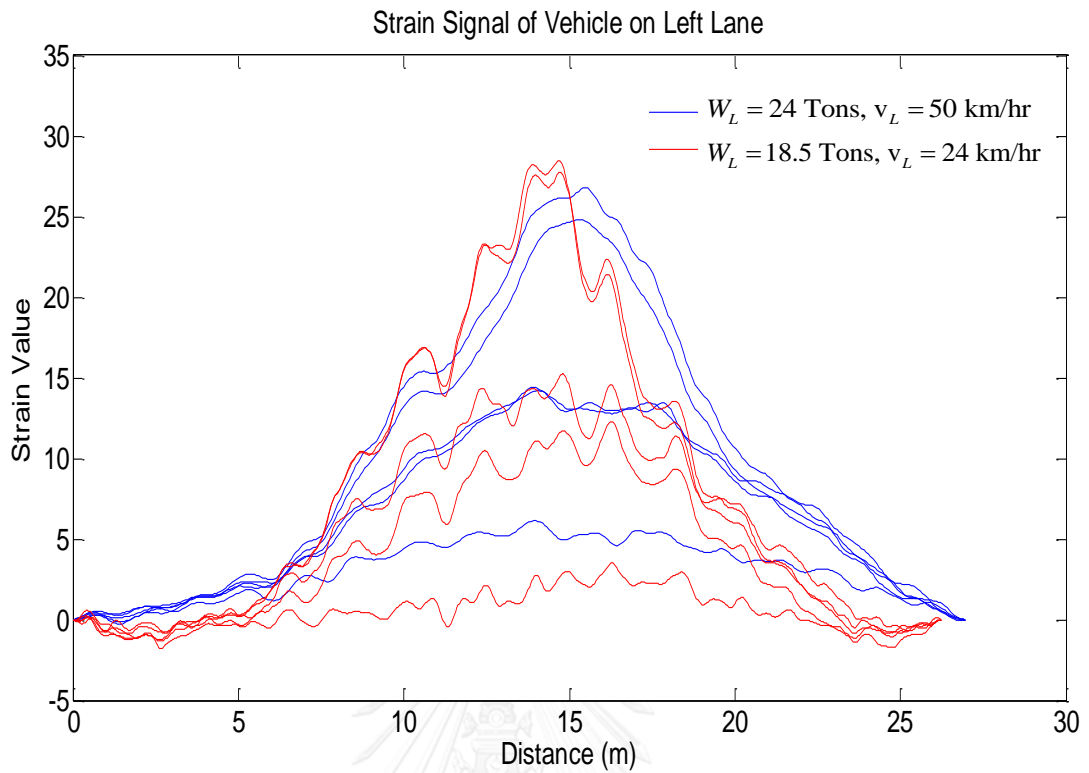
รูปที่ 5.20 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายที่มีน้ำหนักและความเร็วเท่ากัน



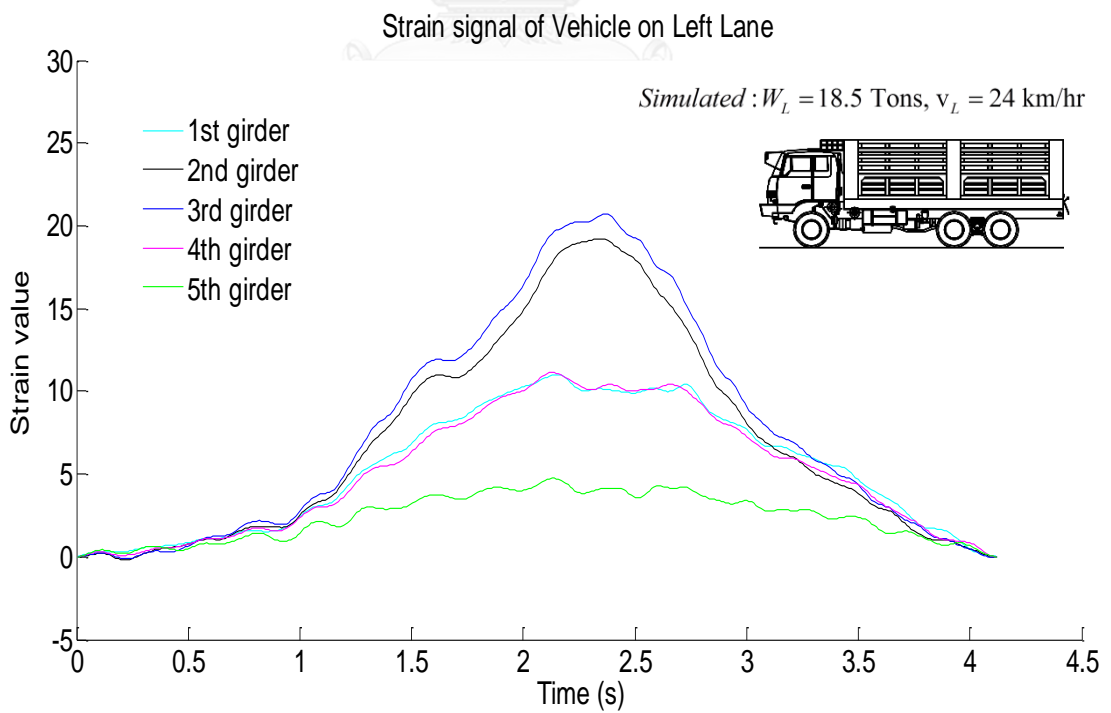
รูปที่ 5.21 สัญญาณความเค้นรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย



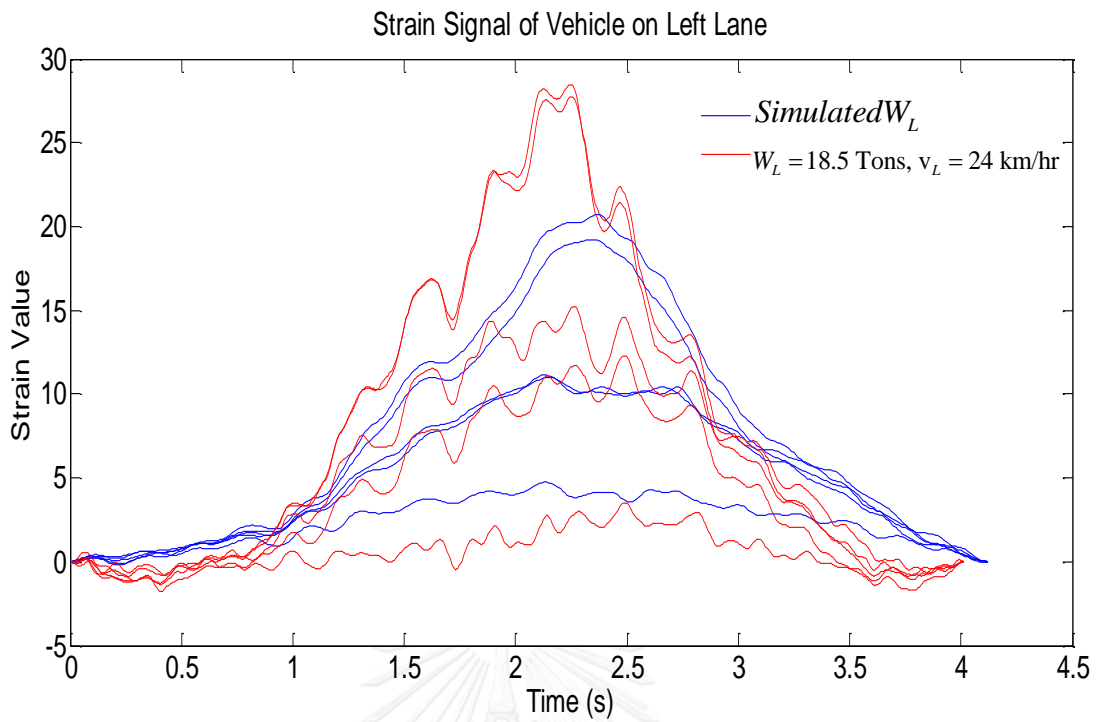
รูปที่ 5.22 สัญญาณความเค้นรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย



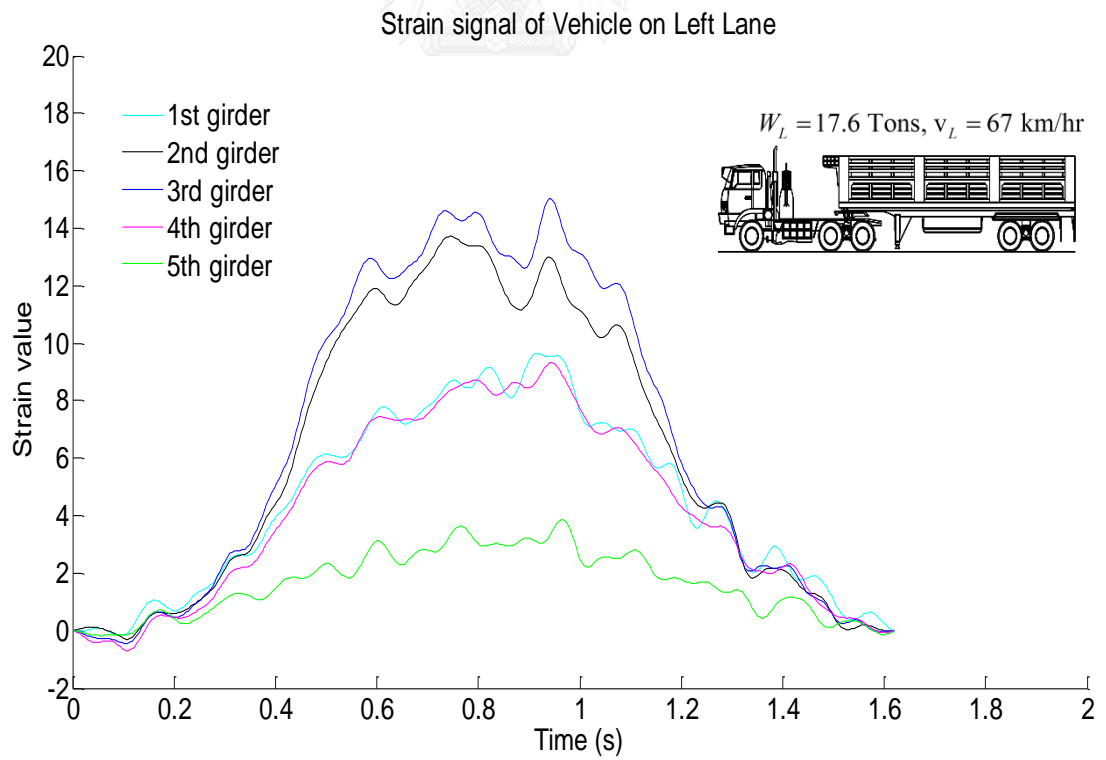
รูปที่ 5.23 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย



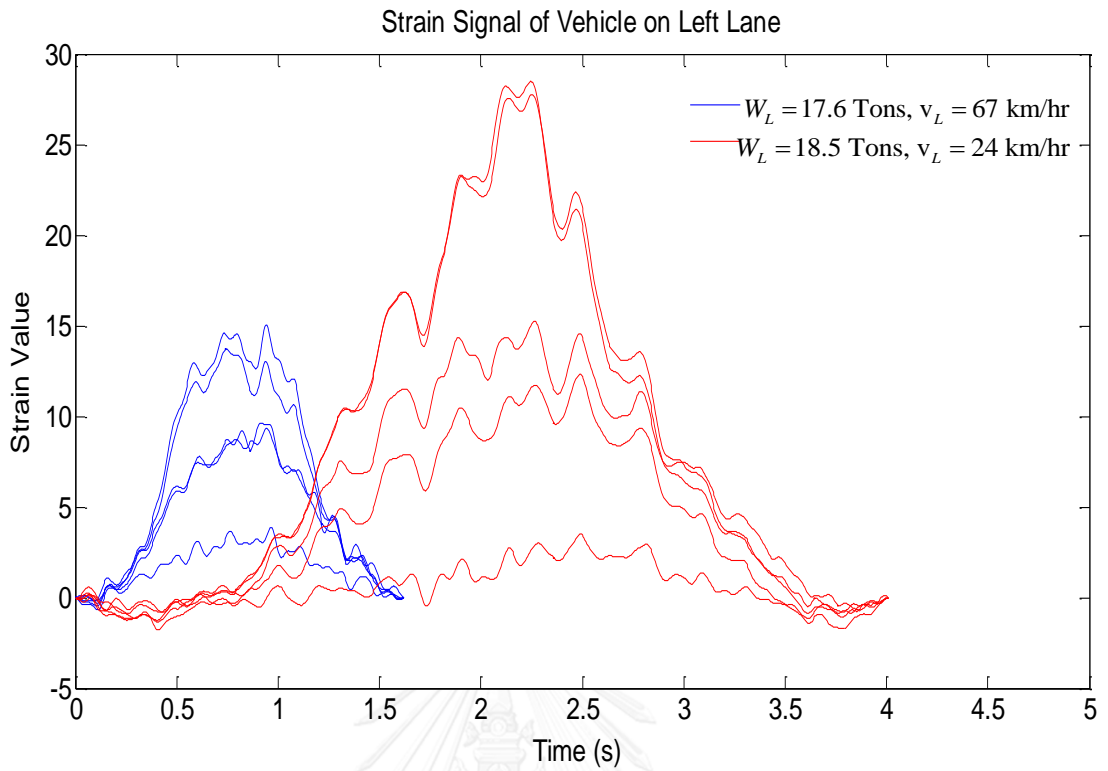
รูปที่ 5.24 สัญญาณความเครียดเตี้ยมรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย



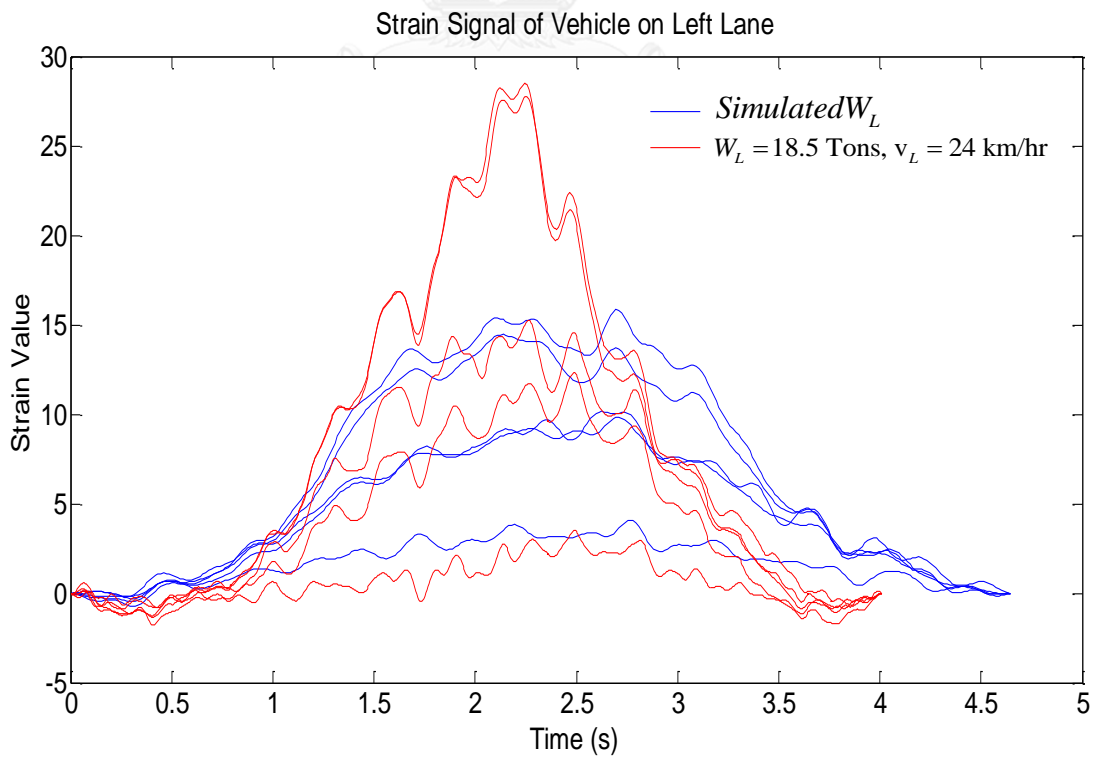
รูปที่ 5.25 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายที่มีน้ำหนักและความเร็วเท่ากัน



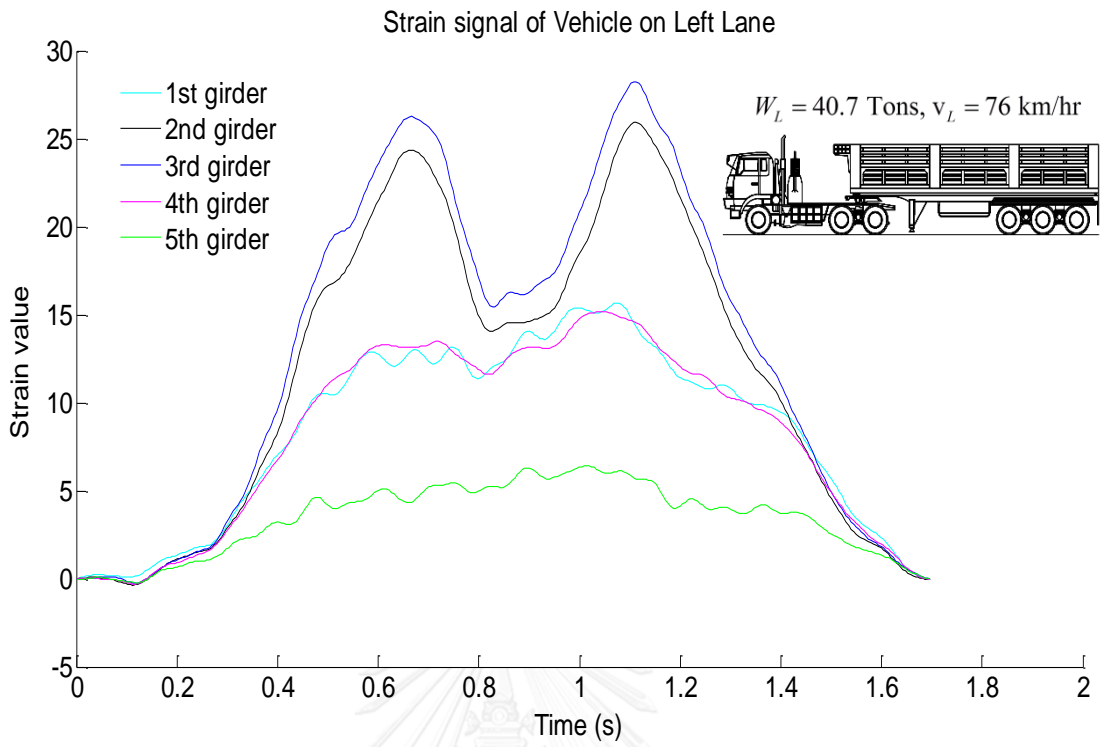
รูปที่ 5.26 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย



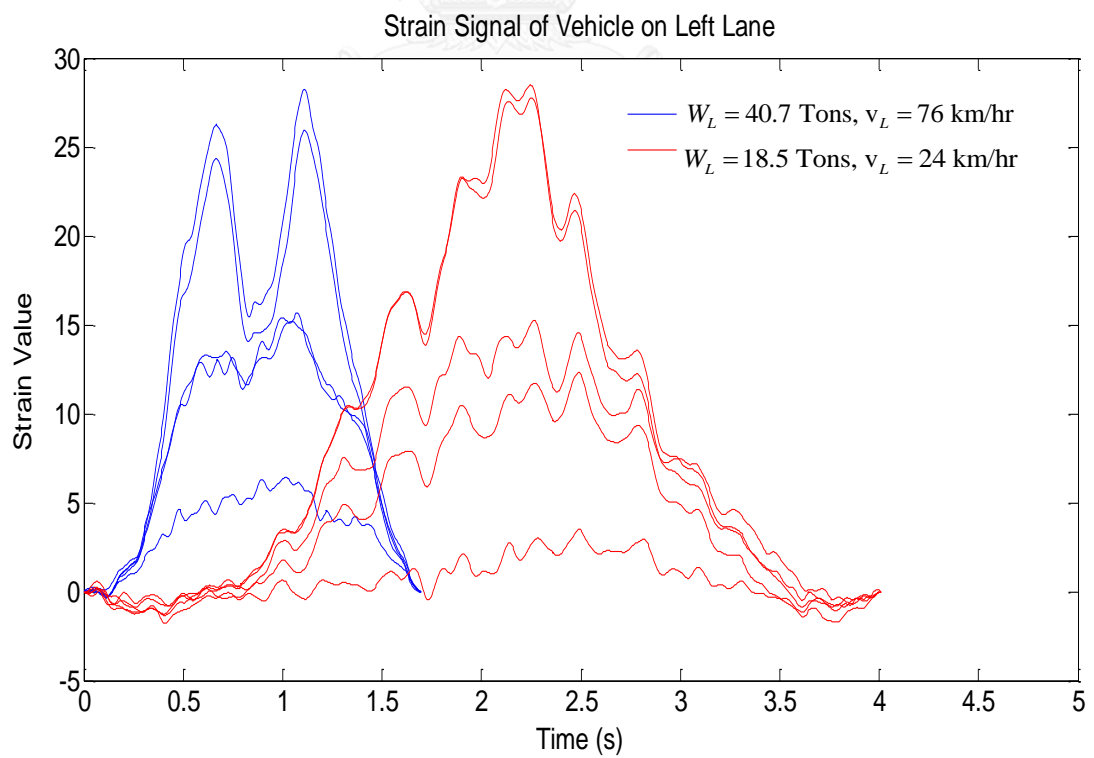
รูปที่ 5.27 สัญญาณความเครียดของรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย



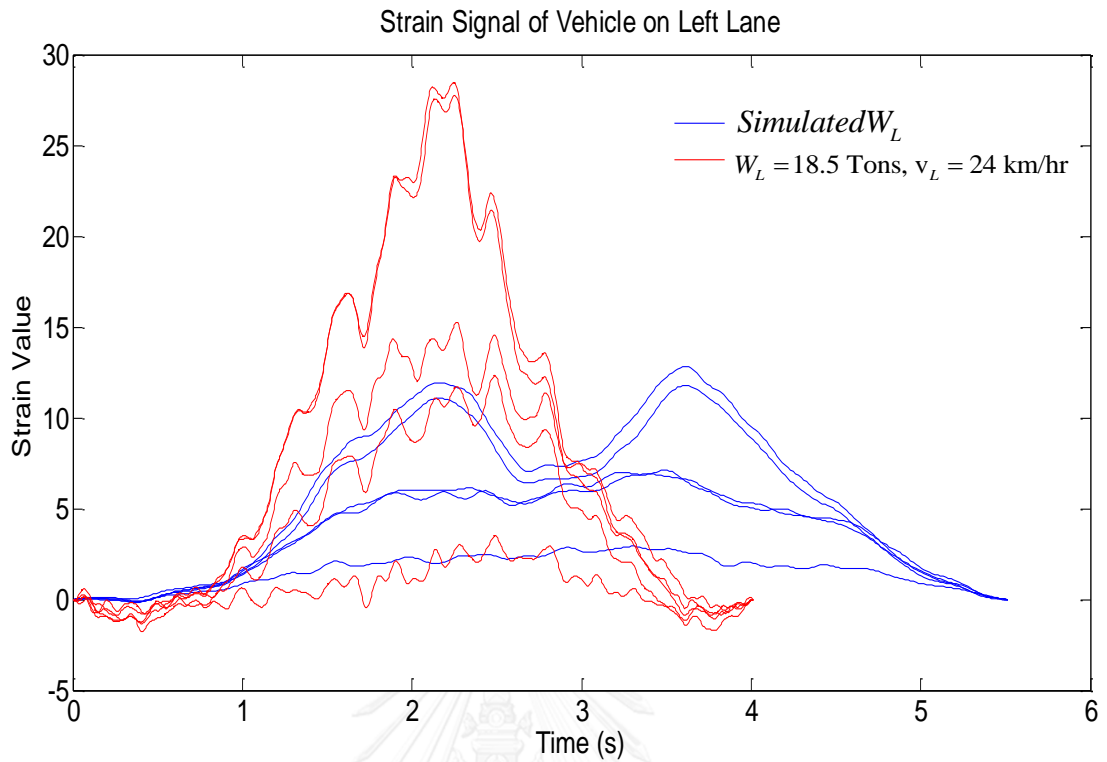
รูปที่ 5.28 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายที่มีน้ำหนักและความเร็วเท่ากัน



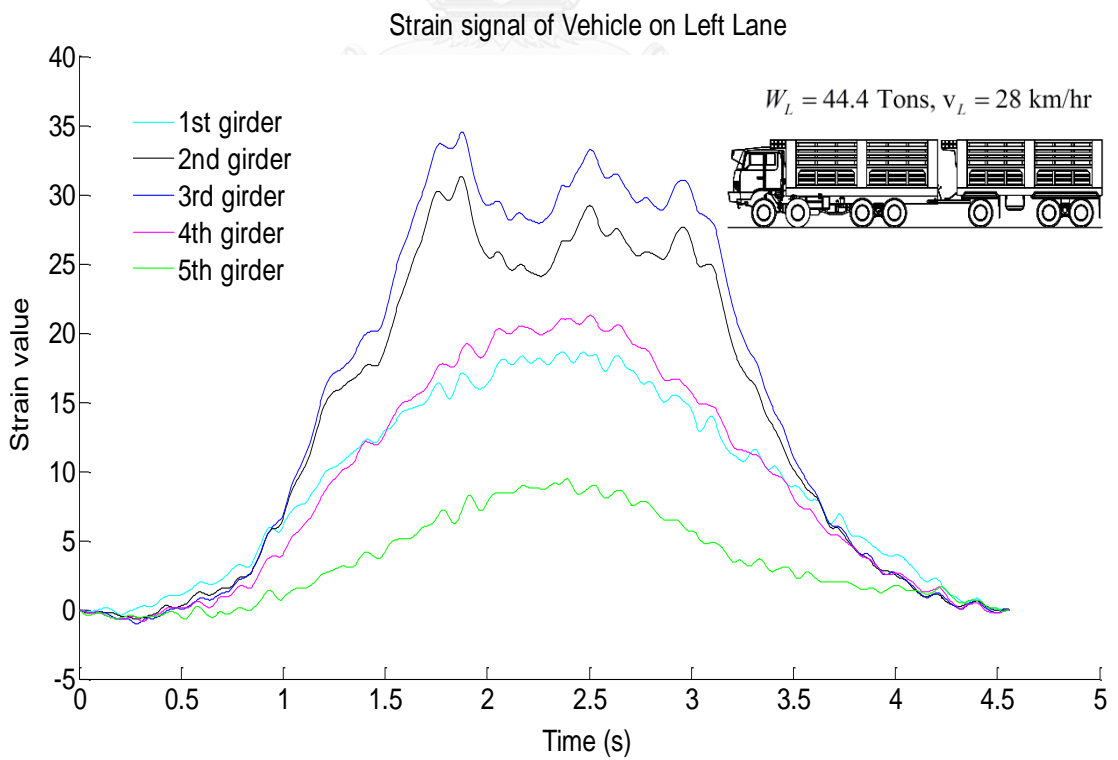
รูปที่ 5.29 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกทุกบนช่องจราจรซ้าย



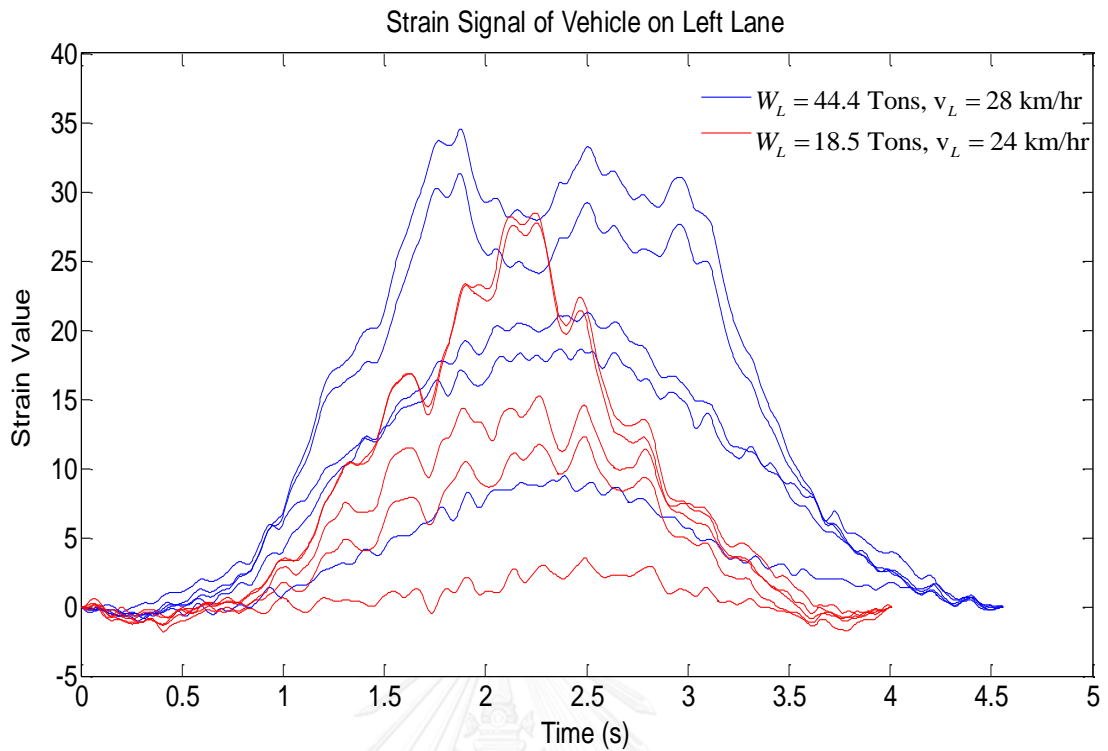
รูปที่ 5.30 สัญญาณความเครียดของรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย



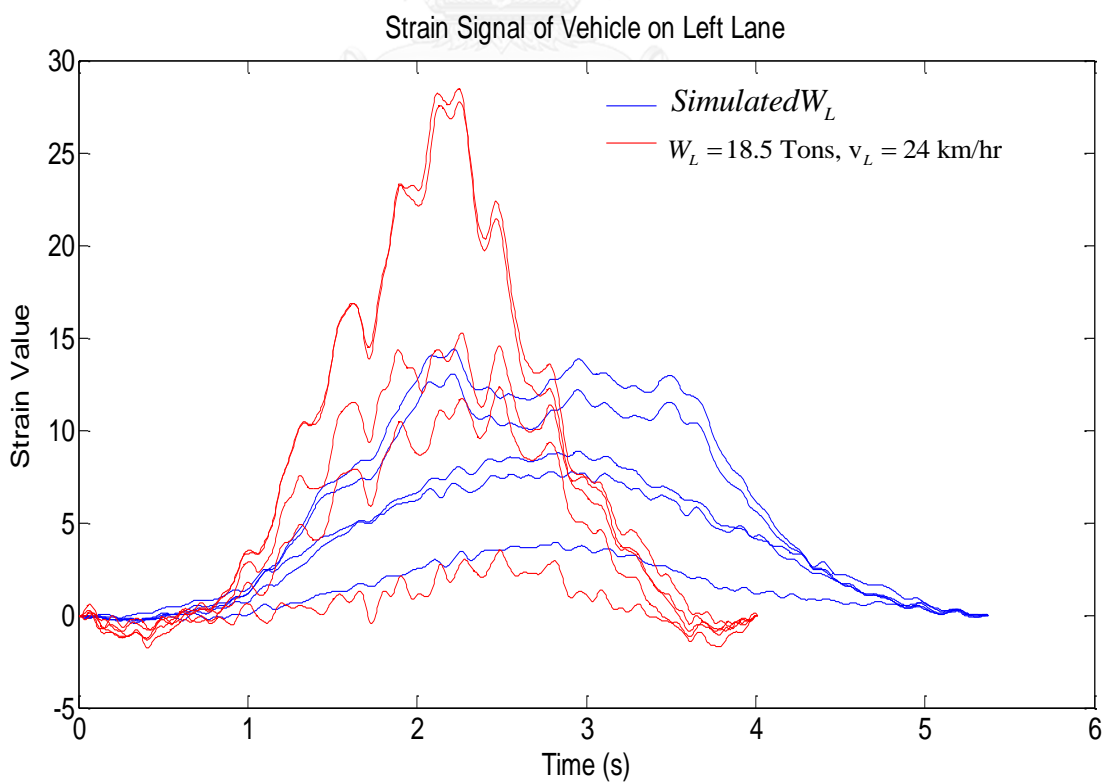
รูปที่ 5.31 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายที่มีน้ำหนักและความเร็วเท่ากัน



รูปที่ 5.32 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย



รูปที่ 5.33 สัญญาณความเครียดของรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย



รูปที่ 5.34 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายที่มีน้ำหนักและความเร็วเท่ากัน

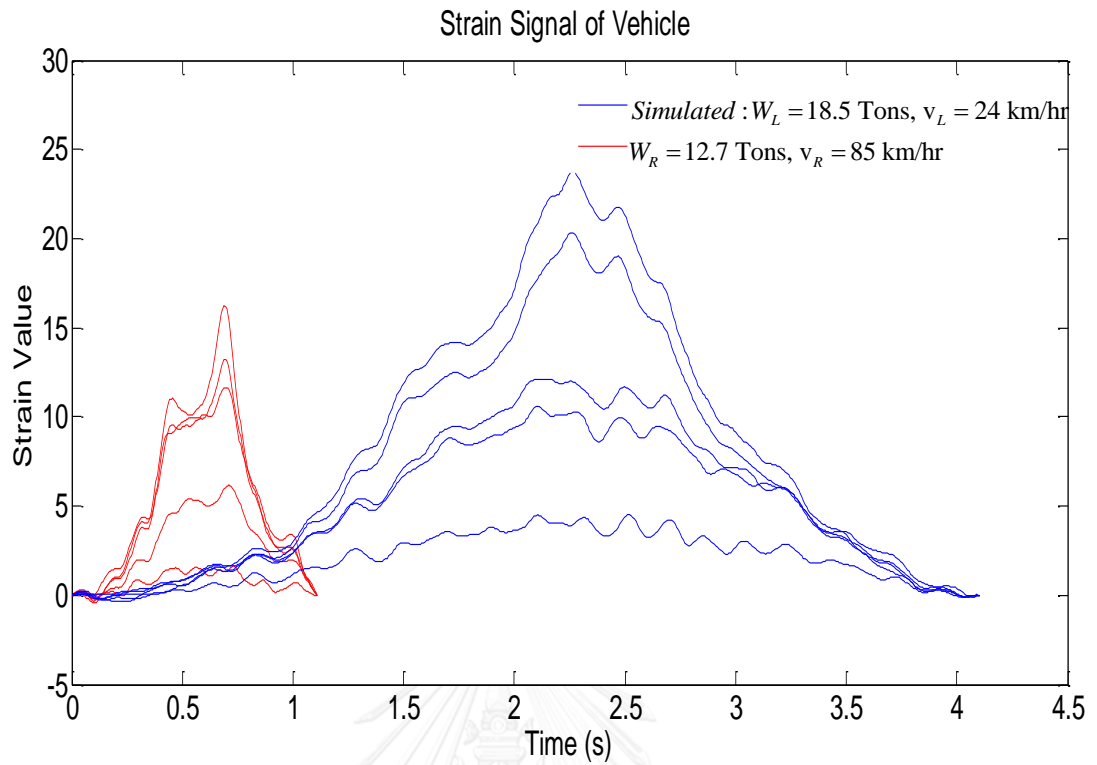
จากการศึกษาทั้ง 5 กรณีรถบรรทุกข้ายที่นำเสนอข้างต้น เมื่อสร้างสัญญาณความเครียดเทียมโดยอ้างอิงจากสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกบนช่องจราจรข้ายกรณีอื่นๆ ให้มีค่าน้ำหนักและความเร็วเท่ากับรถบรรทุกบนช่องจราจรข้ายกรณีที่มีปัญหา เมื่อนำสัญญาณความเครียดเทียมที่สร้างขึ้นมาเทียบกับสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกกรณีที่มีปัญหา พบว่าค่าสัญญาณความเครียดทั้ง 5 กรณีมีค่าน้อยกว่าสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกกรณีที่มีปัญหา ซึ่งอาจเกิดจากรถบรรทุกช่องจราจรข้ายกรณีที่มีปัญหามีสัญญาณรบกวนเนื่องจากยานพาหนะคันอื่นอ้างอิงจากรูปที่ 5.12 เทียบกับรูปที่ 5.13 ถึงรูปที่ 5.15

5.3.2 ศึกษาผลกระทบเหตุการณ์ Multiple Presence เนื่องจากสัญญาณความเครียดเทียมที่มีน้ำหนัก และความเร็วของบรรทุกเท่ากับกรณีที่มีความคลาดเคลื่อนสูง

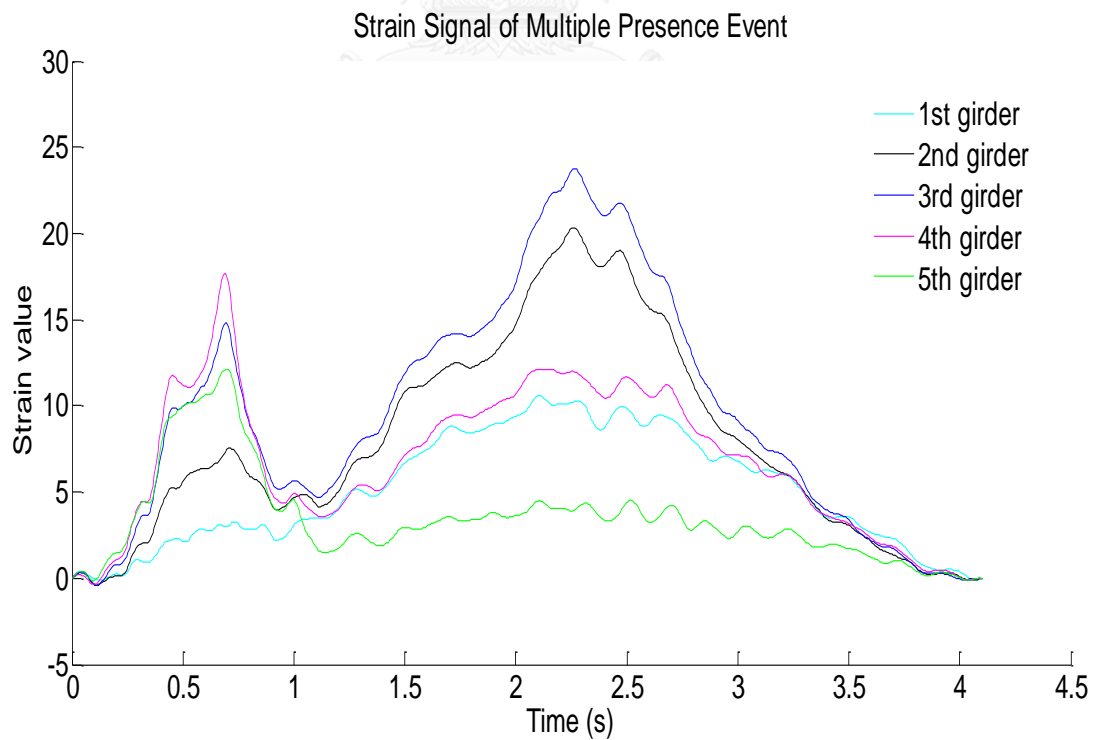
1.) กรณีรถบรรทุก 10 ล้อ น้ำหนัก 18.5 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



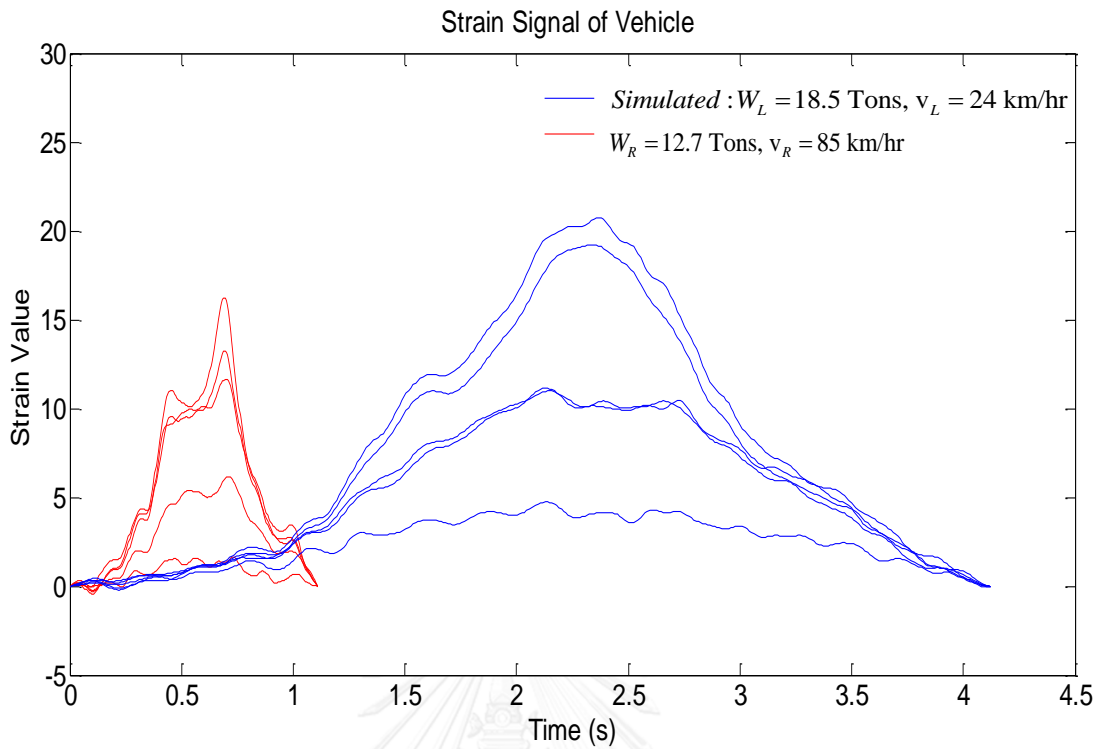
รูปที่ 5.35 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรขวา



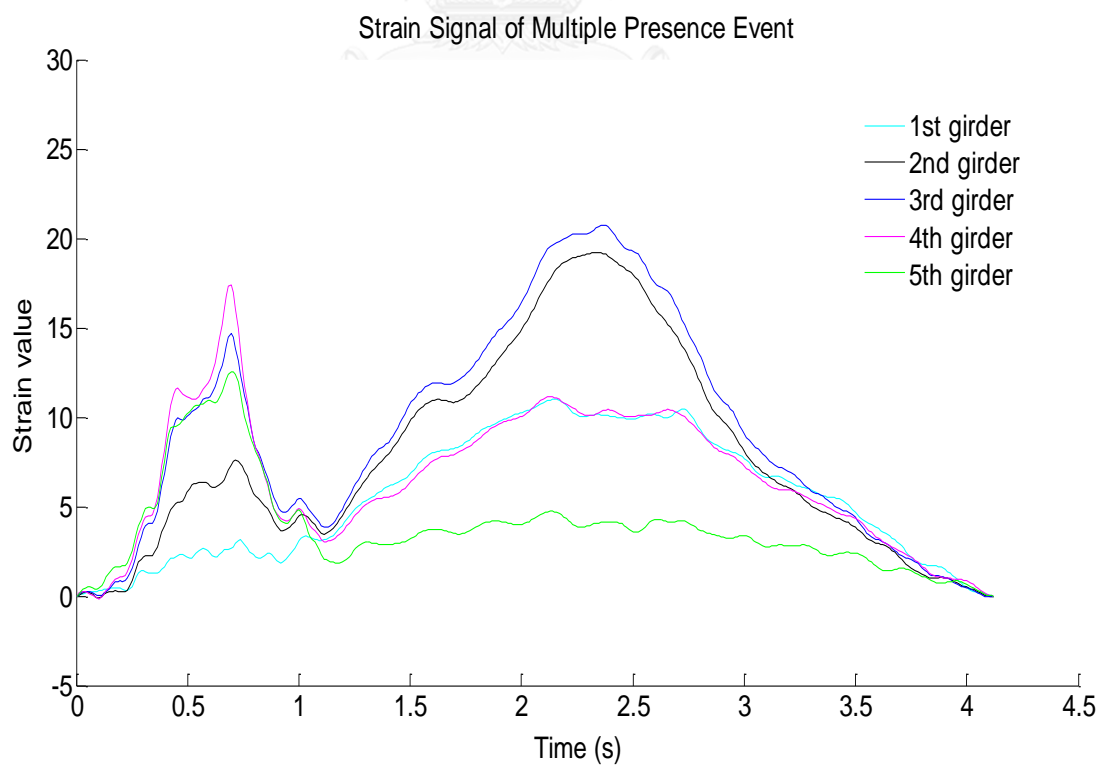
รูปที่ 5.36 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา



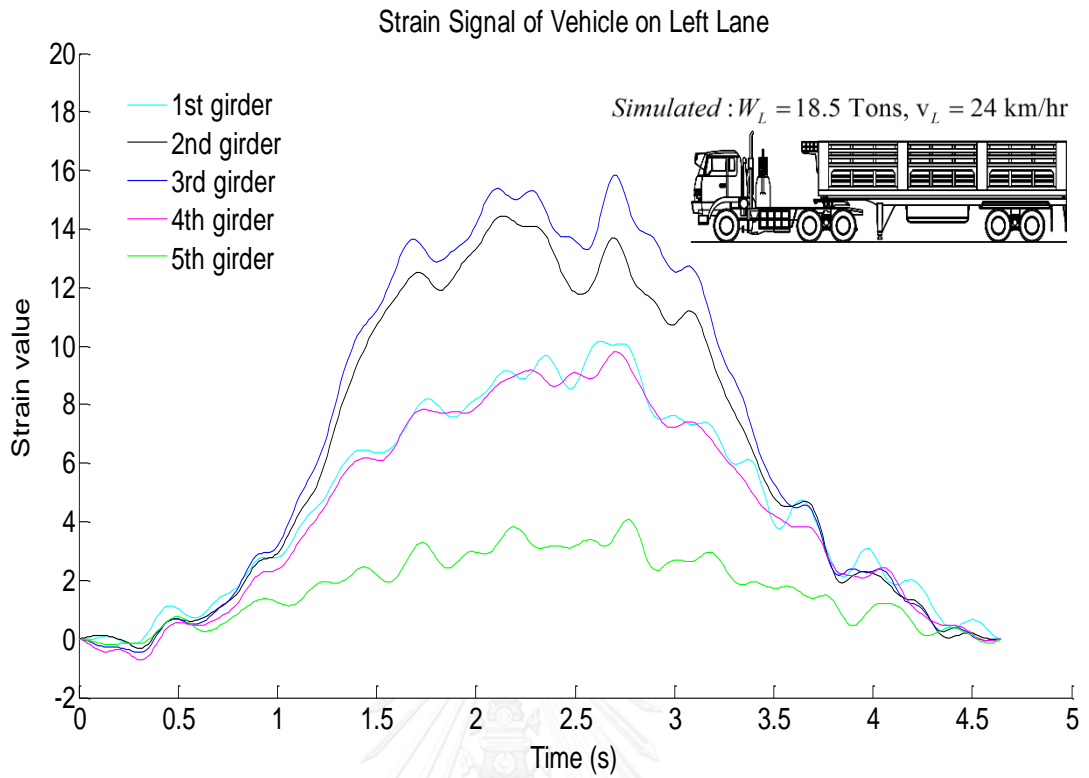
รูปที่ 5.37 สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence



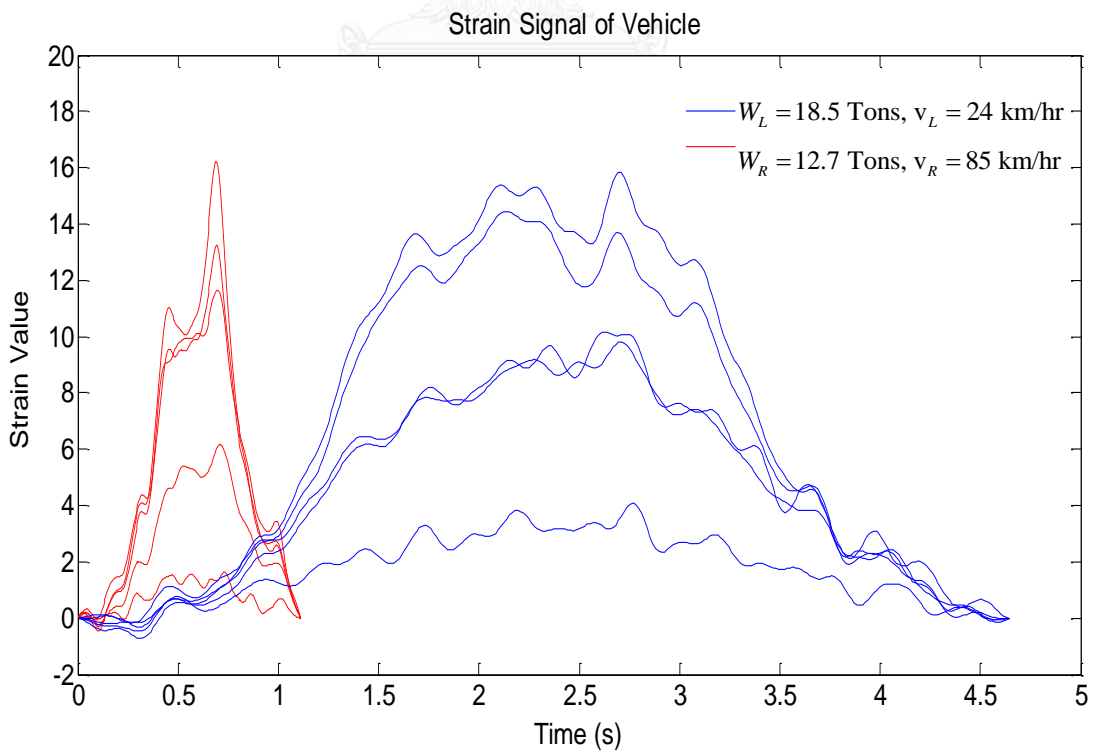
รูปที่ 5.38 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา



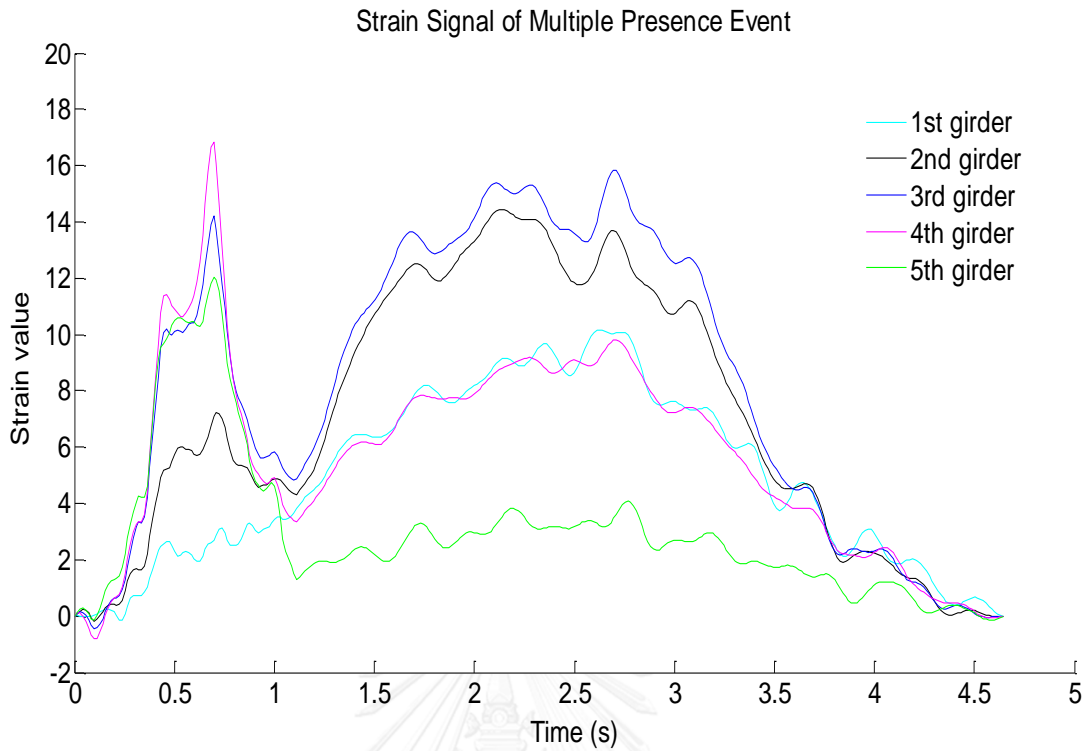
รูปที่ 5.39 สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence



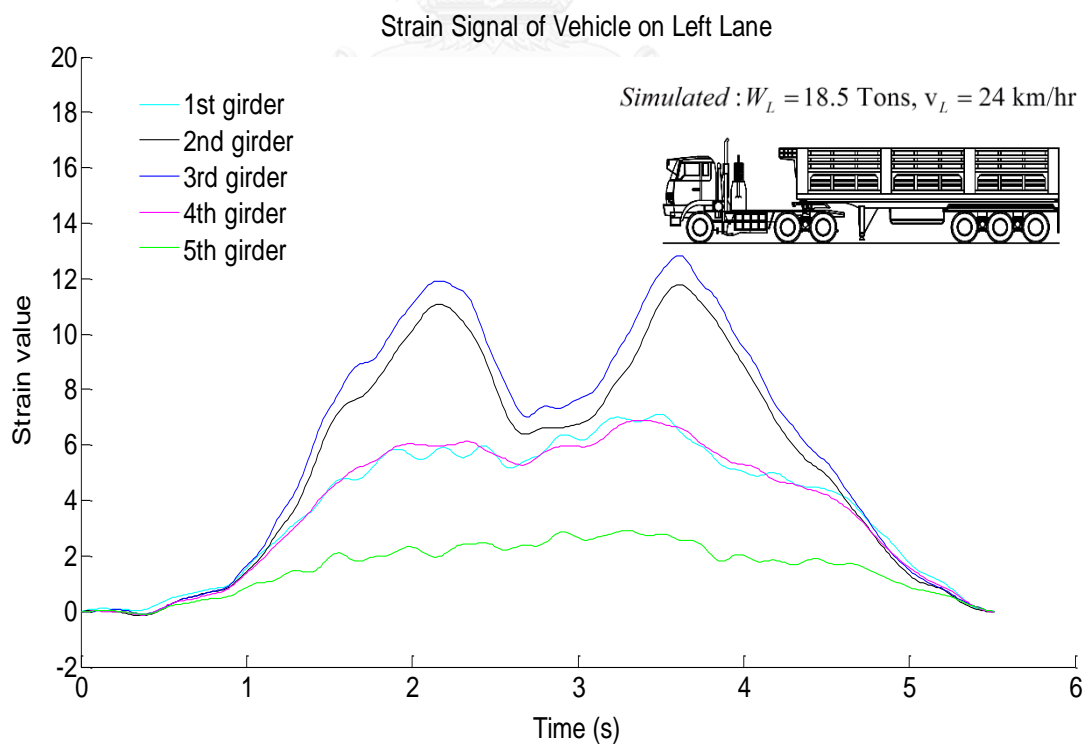
รูปที่ 5.40 สัญญาณความเครียดเทียบมรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย



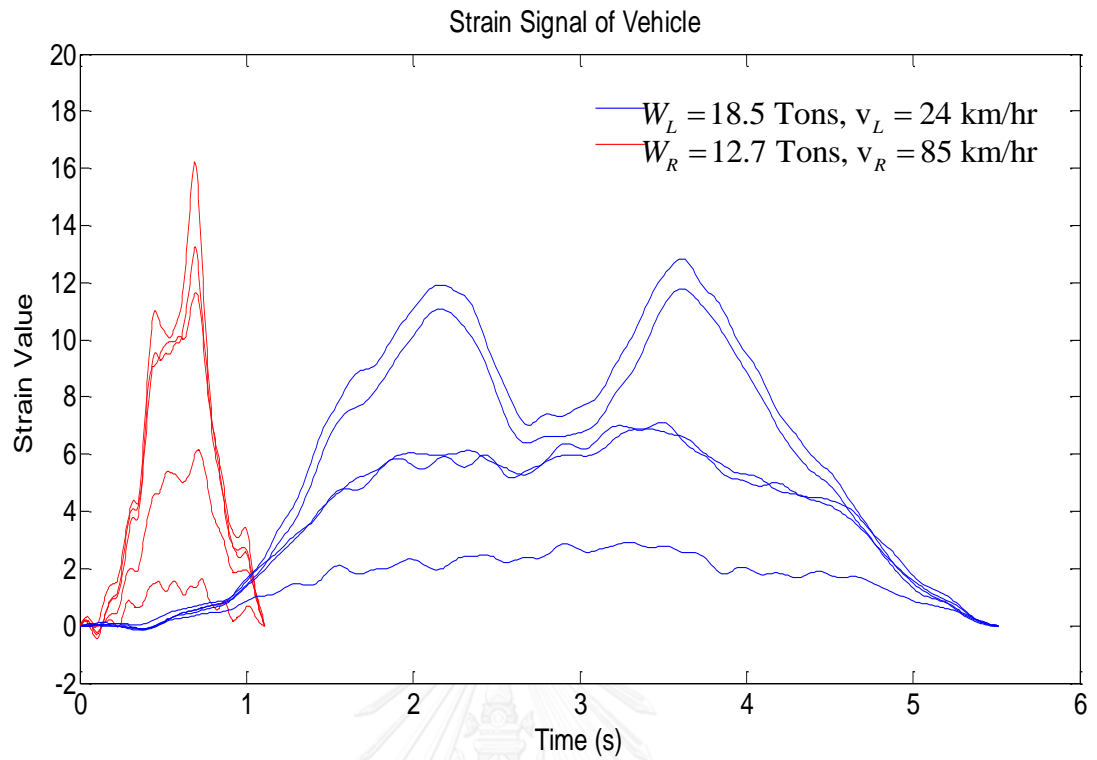
รูปที่ 5.41 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา



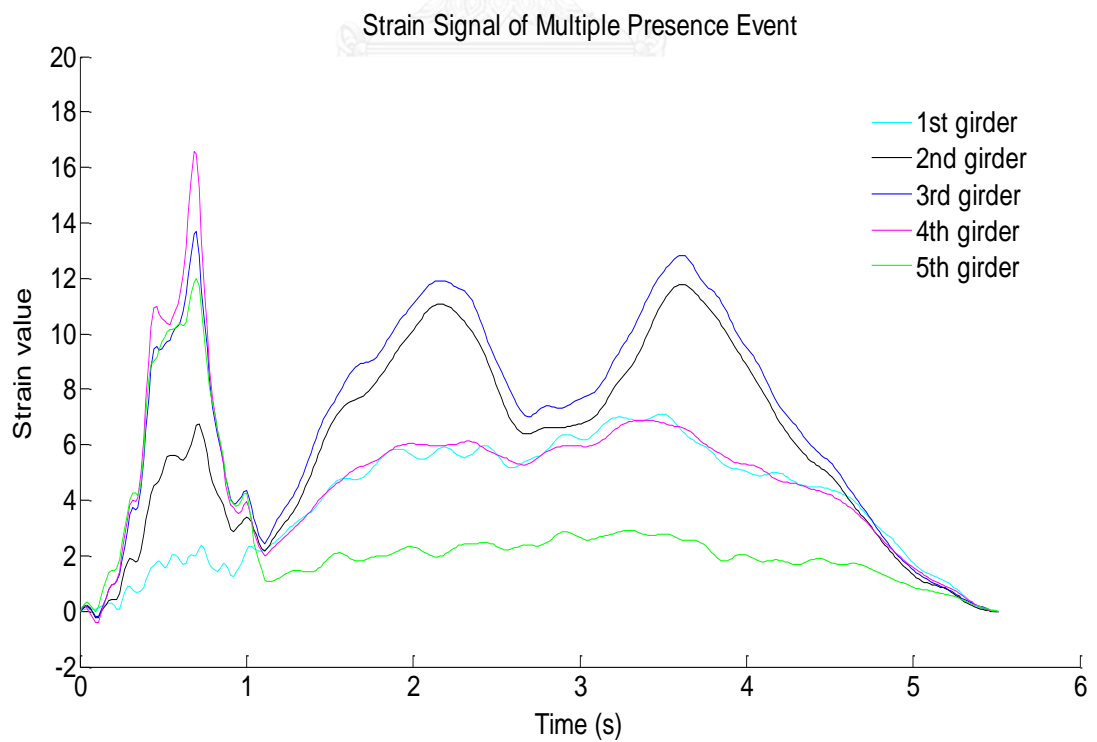
รูปที่ 5.42 สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence



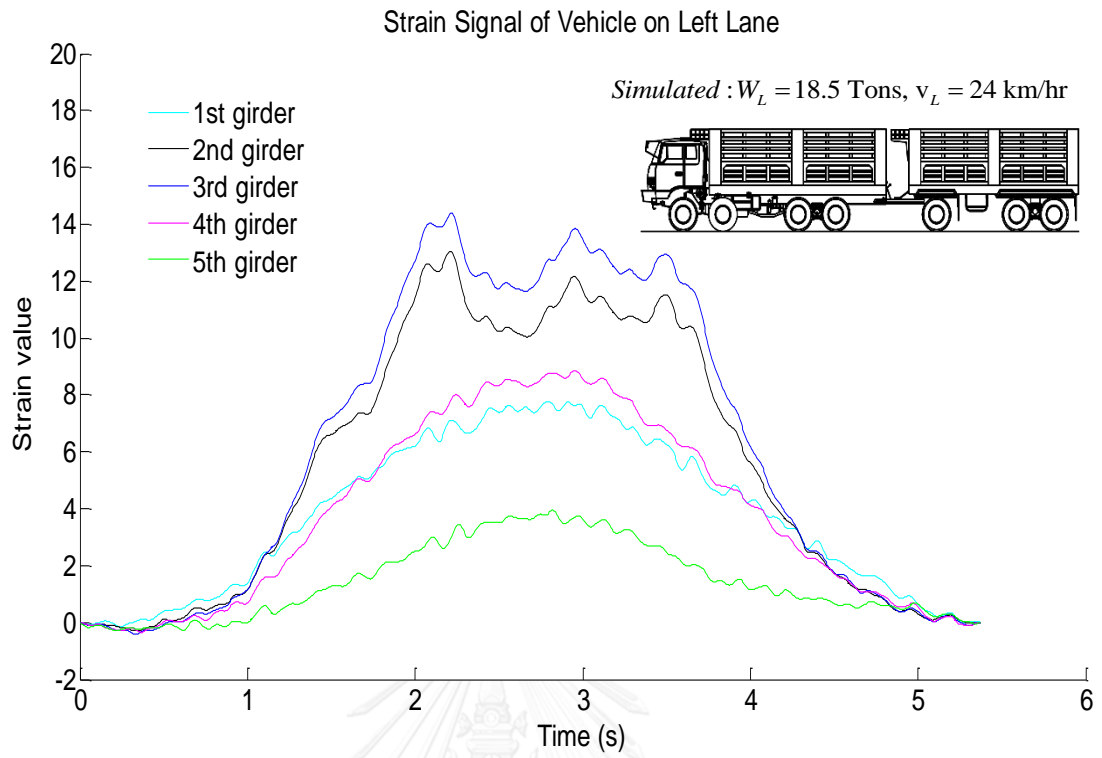
รูปที่ 5.43 สัญญาณความเครียดเทียบมรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย



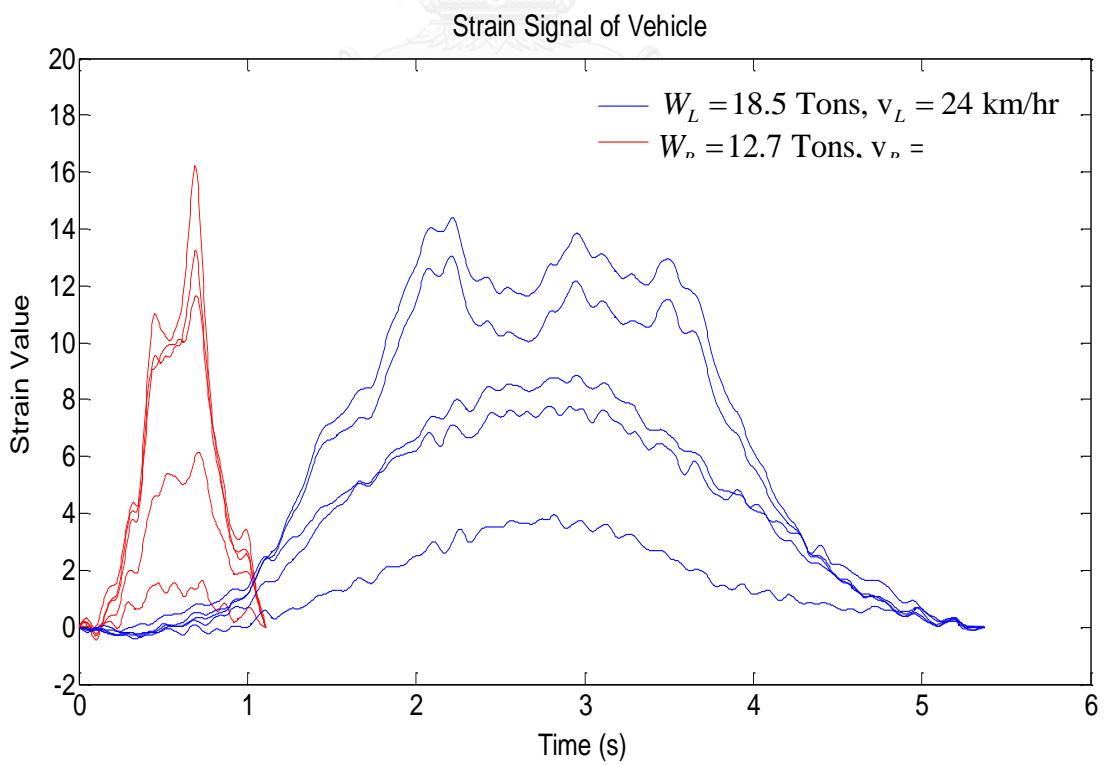
รูปที่ 5.44 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา



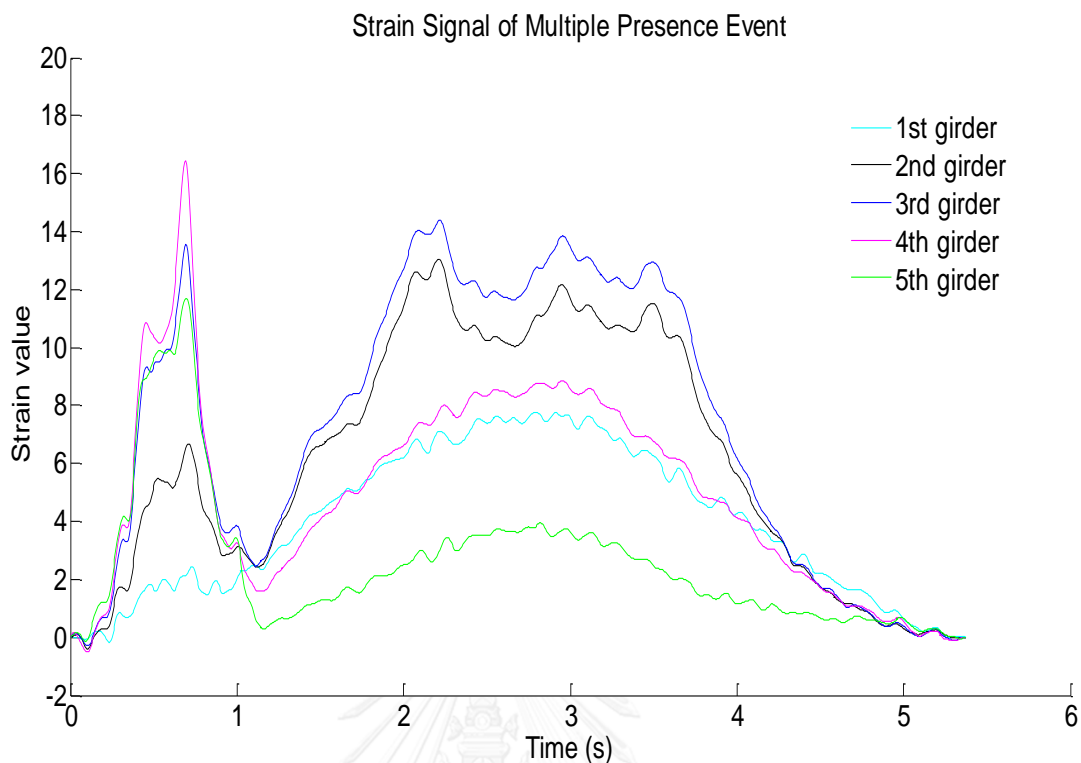
รูปที่ 5.45 สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence



รูปที่ 5.46 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย



รูปที่ 5.47 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา



รูปที่ 5.48 สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence

จากผลการทดสอบกรณีที่ 1 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจากรายช้ายมีค่าเท่ากับ 18.6 ตัน และน้ำหนักบรรทุกบนช่องจากรายขามีค่าเท่ากับ 13.2 ตัน มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence ของการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจากรายช้ายและขาเท่ากับ 0.55% และ 4.24% ตามลำดับ

กรณีที่ 2 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจากรายช้ายมีค่าเท่ากับ 18.5 ตัน และน้ำหนักบรรทุกบนช่องจากรายขามีค่าเท่ากับ 13.6 ตัน มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence ของการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจากรายช้ายและขาเท่ากับ 0.10% และ 7.28% ตามลำดับ

กรณีที่ 3 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจากรายช้ายมีค่าเท่ากับ 19.3 ตัน และน้ำหนักบรรทุกบนช่องจากรายขามีค่าเท่ากับ 10.0 ตัน มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence ของการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจากรายช้ายและขาเท่ากับ 4.29% และ -20.89% ตามลำดับ

กรณีที่ 4 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายมีค่าเท่ากับ 18.9 ตัน และน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรขวามีค่าเท่ากับ 12.0 ตัน มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence ของการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายและขวาเท่ากับ 2.05% และ -5.82% ตามลำดับ

กรณีที่ 5 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายมีค่าเท่ากับ 19.1 ตัน และน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรขวามีค่าเท่ากับ 11.1 ตัน มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence ของการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายและขวาเท่ากับ 3.01% และ -12.34% ตามลำดับ

2.) กรณีรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อหนัก 43 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 31 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

จากผลการศึกษาผลกระทบเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence ในตารางที่ 5.2 เมื่อรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อหนัก 43 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 31 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (แสดงรูปรถบรรทุกดังรูปที่ 5.49) แสดงกราฟสัญญาณความเครียดดังรูปที่ 5.53 พบว่าทุกกรณีของการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรขวามีค่าความคลาดเคลื่อนสูง จะศึกษาเปรียบเทียบลักษณะสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายกรณีดังกล่าวกับกรณีอื่นๆ โดยสุ่มเลือกรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายกรณีอื่นๆ แล้วทำการสร้างสัญญาณความเครียดเทียมด้วยวิธีเทียบสัดส่วนเส้นตรง ให้ได้ชุดค่าสัญญาณความเครียดที่มีน้ำหนักและความเร็วเท่ากับรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายกรณีดังกล่าว โดยรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายที่เลือกนำมาศึกษาทั้งหมด 3 กรณี

กรณีที่ 1 รถบรรทุก 6 ล้อหนัก 11 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 58 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (แสดงรูปรถบรรทุกดังรูปที่ 5.50) แสดงกราฟสัญญาณความเครียดดังรูปที่ 5.54 และแสดงชุดสัญญาณความเครียดจากการสร้างสัญญาณความเครียดเทียมด้วยวิธีเทียบสัดส่วนเส้นตรง ที่มีค่าน้ำหนักและความเร็วเท่ากับรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายกรณีที่มีปัญหาดังรูปที่ 5.55

กรณีที่ 2 รถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อหนัก 43 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 55 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (แสดงรูปรถบรรทุกดังรูปที่ 5.51) แสดงกราฟสัญญาณความเครียดดังรูปที่ 5.58 และแสดงชุดสัญญาณความเครียดจากการสร้างสัญญาณความเครียดเทียมด้วยวิธีเทียบสัดส่วนเส้นตรง ที่มีค่าน้ำหนักและความเร็วเท่ากับรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายกรณีที่มีปัญหาดังรูปที่ 5.59

กรณีที่ 3 รถบรรทุกพ่วง 22 ล้อหนัก 24 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (แสดงรูปรถบรรทุกดังรูปที่ 5.52) แสดงกราฟสัญญาณความเครียดดังรูปที่ 5.62 และแสดงชุดสัญญาณความเครียดจากการสร้างสัญญาณความเครียดเทียมด้วยวิธีเทียบสัดส่วนเส้นตรง ที่มีค่าน้ำหนักและความเร็วเท่ากับรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายกรณีที่มีปัญหาดังรูปที่ 5.63 แล้วนำค่าสัญญาณความเครียดดังกล่าวมาสร้างจำลองเหตุการณ์วิ่งคู่กับรถบรรทุก 6 ล้อหนัก 13 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 85 กิโลเมตรต่อชั่วโมง บนช่องจราจรขวา แสดงกราฟสัญญาณความเครียดจำลองเหตุการณ์ Multiple Presence ดังรูปที่ 5.57 รูปที่ 5.61 และ รูปที่ 5.65 และคำนวณกลับหาน้ำหนักบรรทุก เพื่อศึกษาพฤติกรรมผลกระทบเนื่องจากลักษณะสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย

ตารางที่ 5.2 ผลกระทบเนื่องจากรถวิ่งคู่กันบนสะพาน เมื่อรถบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายเป็นรถบรรทุกพ่วง 22 ล้อหนัก 43 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 31 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ประเภทรถ		ความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)		น้ำหนักบรรทุกรวม (กิโลกรัม)				ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)			
				รถวิ่งผ่านสะพานเดี่ยว		รถวิ่งผ่านสะพานพร้อมกัน					
ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา	ช่องจราจรซ้าย	ช่องจราจรขวา		
รถพ่วง 22 ล้อ	รถ 6 ล้อ	31	42,957	42,957	12,337	46,039	4,180	7.18	-66.12		
					12,878	46,224	3,437	7.61	-73.31		
					12,687	46,532	1,073	8.32	-91.54		
	รถ 10 ล้อ				17,968	44,809	12,181	4.31	-32.21		
					19,539	46,613	8,711	8.51	-55.42		
					13,987	46,034	2,845	7.16	-79.66		
	รถกึ่งพ่วง 18 ล้อ				59	51,789	44,320	46,890	3.17	-9.46	
					66	37,232	47,251	27,080	10.00	-27.27	
					69	16,392	46,763	6,596	8.86	-59.76	
					90	22,890	45,937	11,982	6.94	-47.65	
					รถกึ่งพ่วง 20 ล้อ	63	20,085	45,814	12,606	6.65	-37.24
						75	17,948	47,141	6,611	9.74	-63.17
						65	20,966	46,824	11,654	9.00	-44.41
	รถกึ่งพ่วง 22 ล้อ				69	24,932	45,861	16,614	6.76	-33.36	
					75	23,556	46,694	13,089	8.70	-44.44	
					79	23,269	46,744	12,127	8.82	-47.88	
ผลกระทบเนื่องจากปัญหา MP (%)							7.61	-50.81			



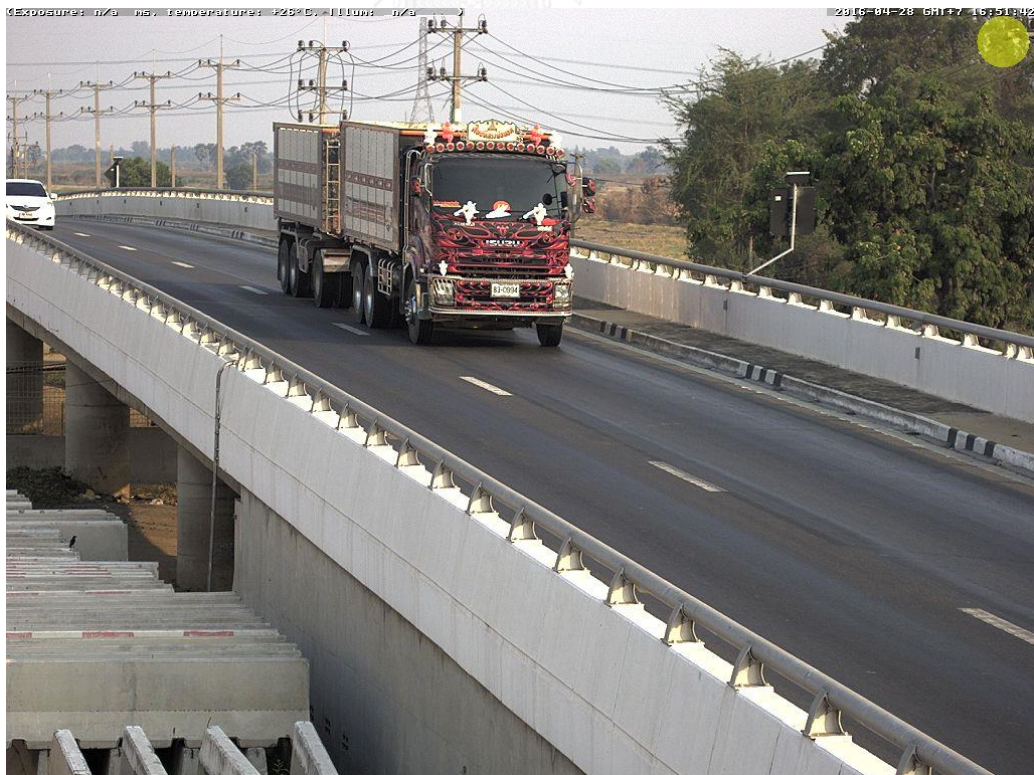
รูปที่ 5.49 รถบรรทุกพ่วง 22 ล้อหนัก 43 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 31 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



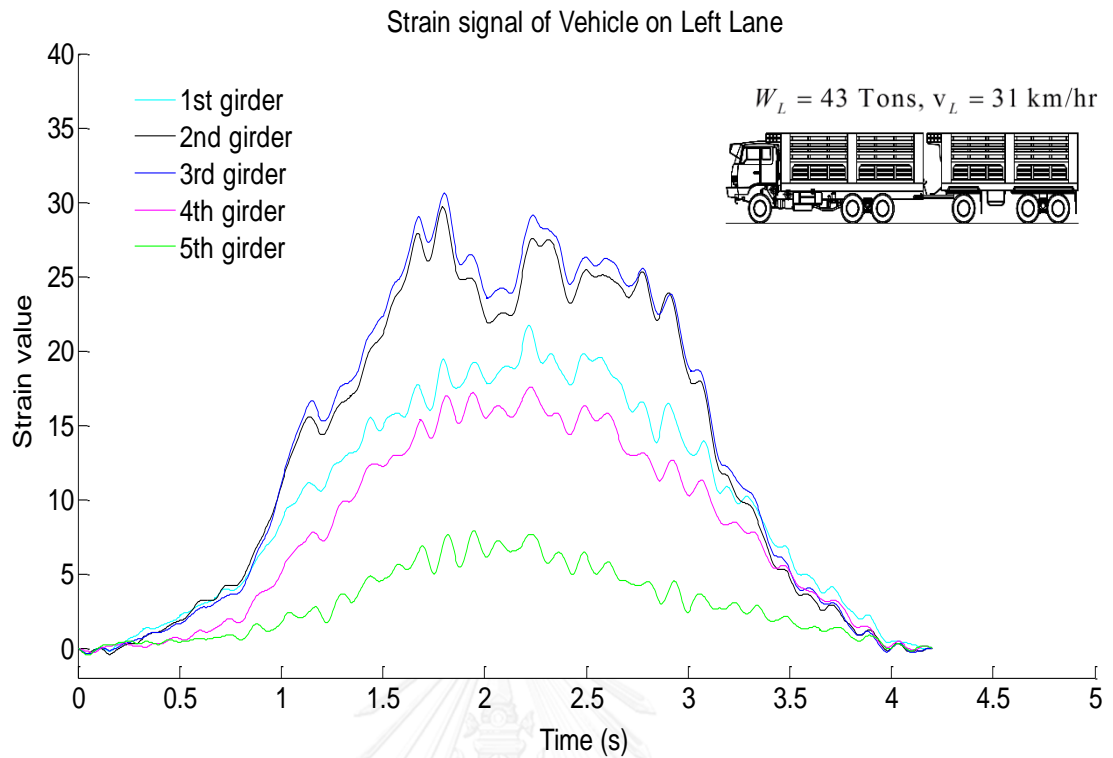
รูปที่ 5.50 รถบรรทุก 6 ล้อหนัก 11 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 58 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



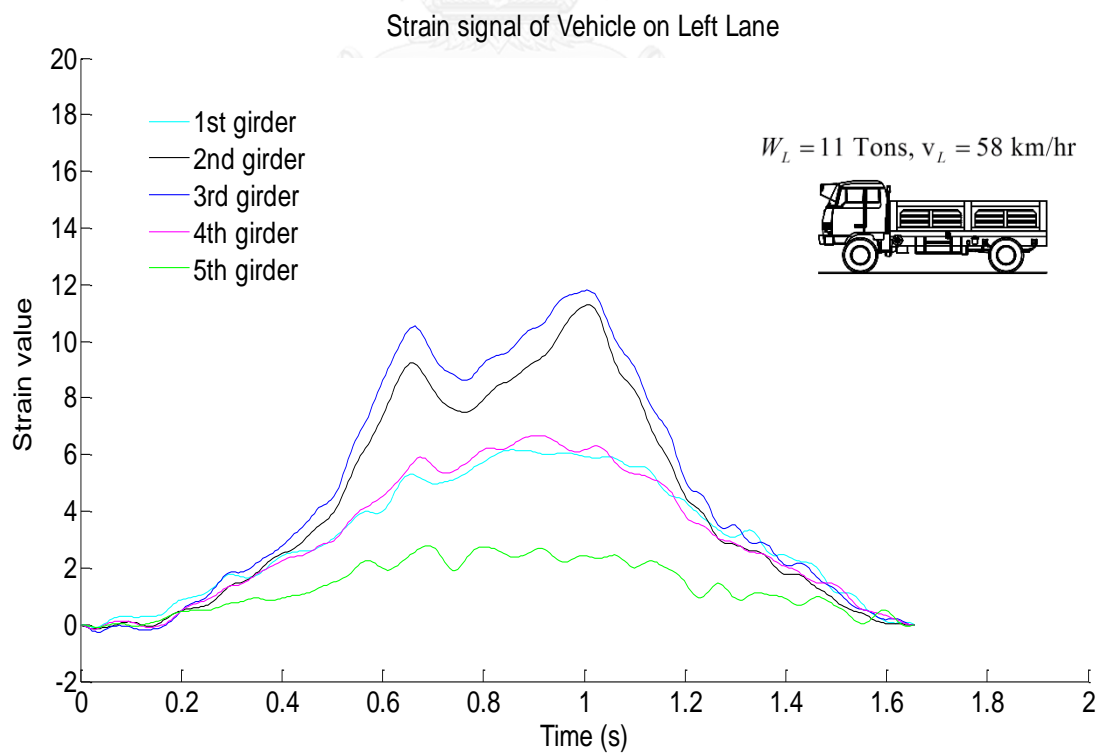
รูปที่ 5.51 รถบรรทุกกึ่งพวง 18 ล้อหนัก 43 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 55 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.52 รถบรรทุกพวง 22 ล้อหนัก 24 ตัน วิ่งด้วยความเร็ว 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



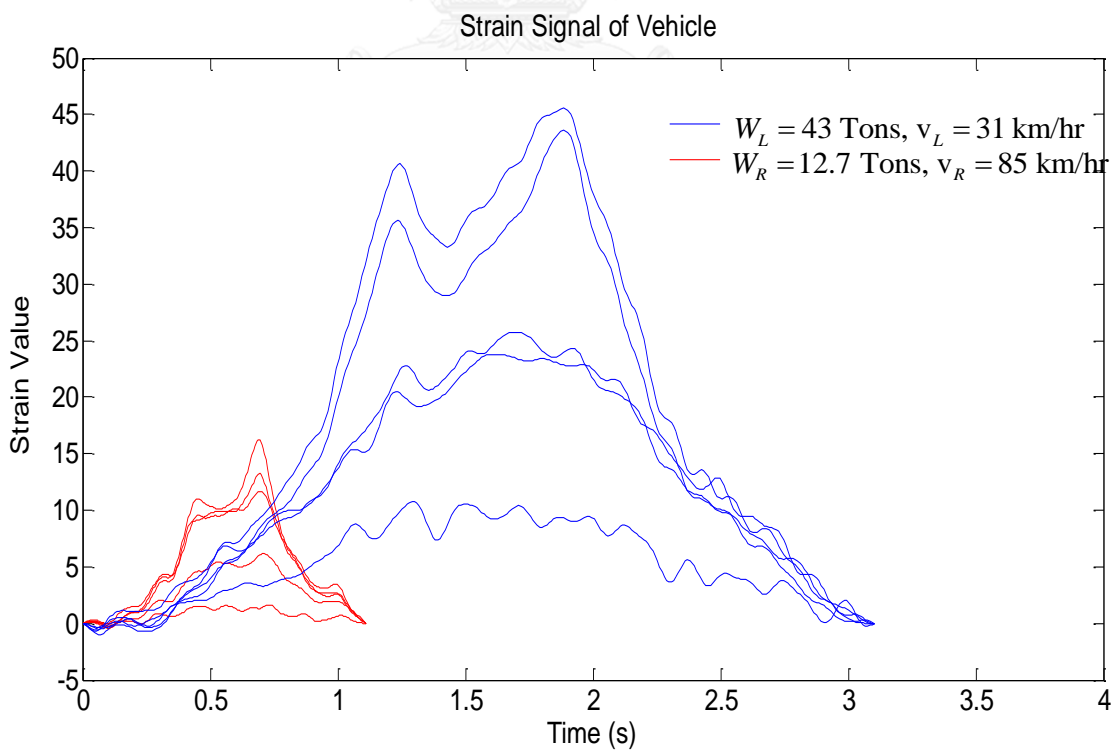
รูปที่ 5.53 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย



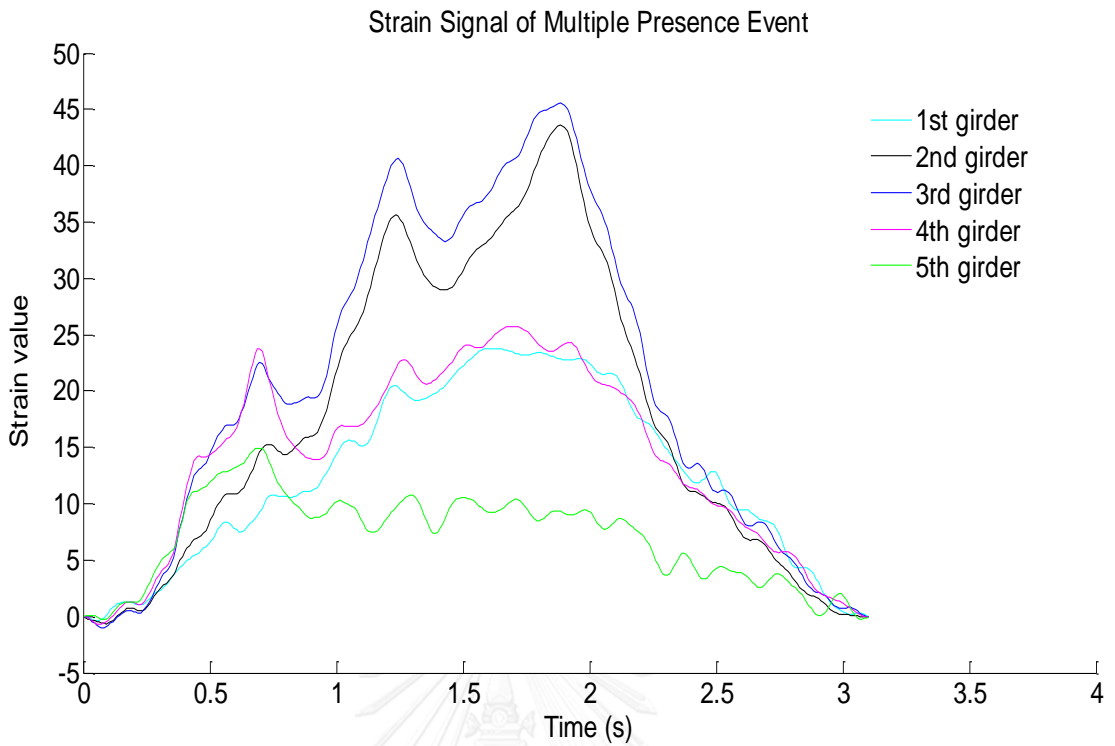
รูปที่ 5.54 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย



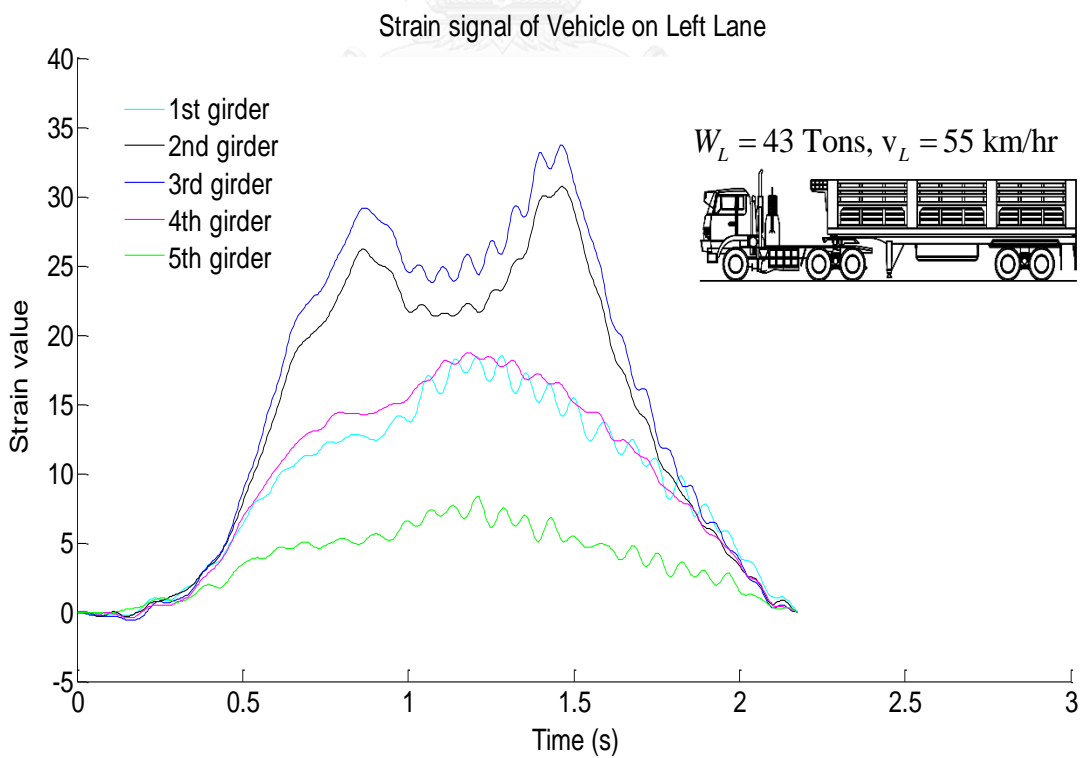
รูปที่ 5.55 สัญญาณความเครียดเทียบมรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย



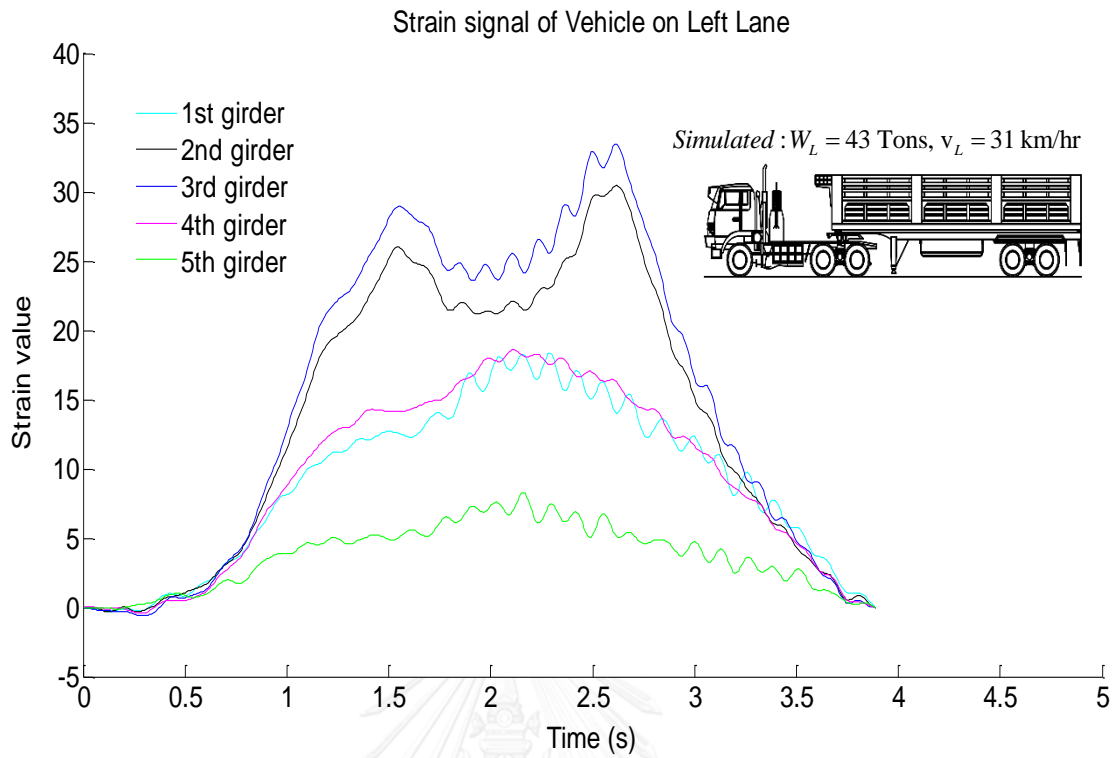
รูปที่ 5.56 สัญญาณความเครียดของรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา



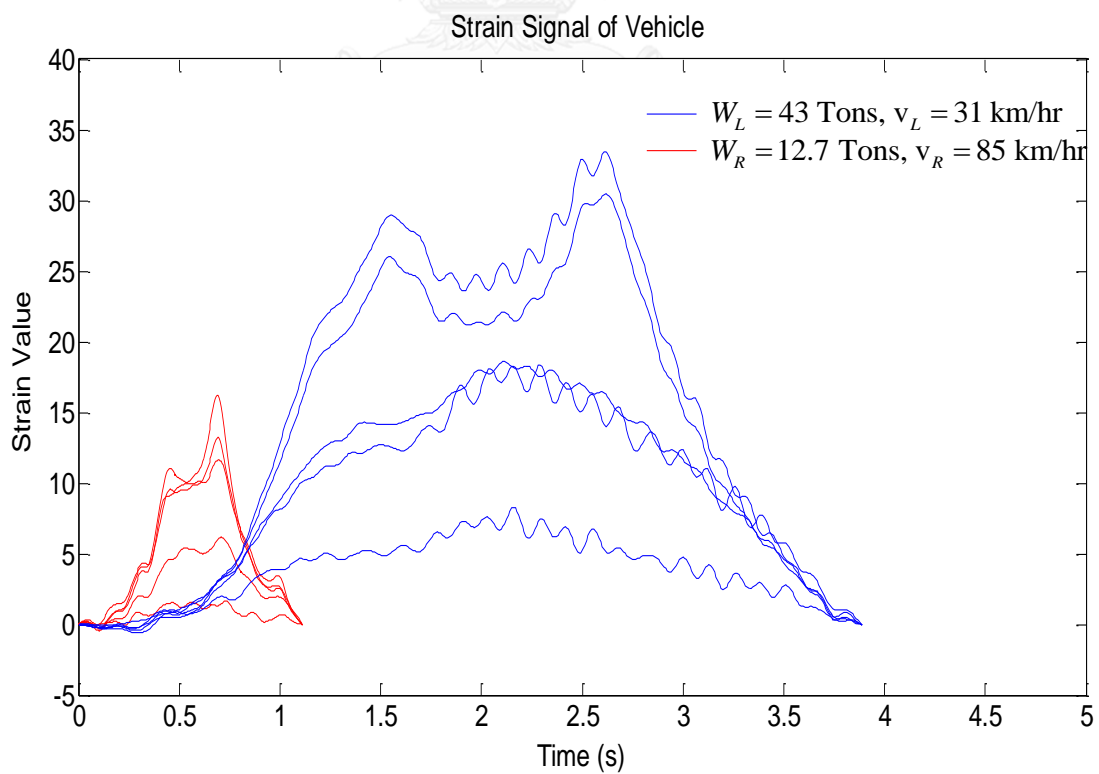
รูปที่ 5.57 สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence



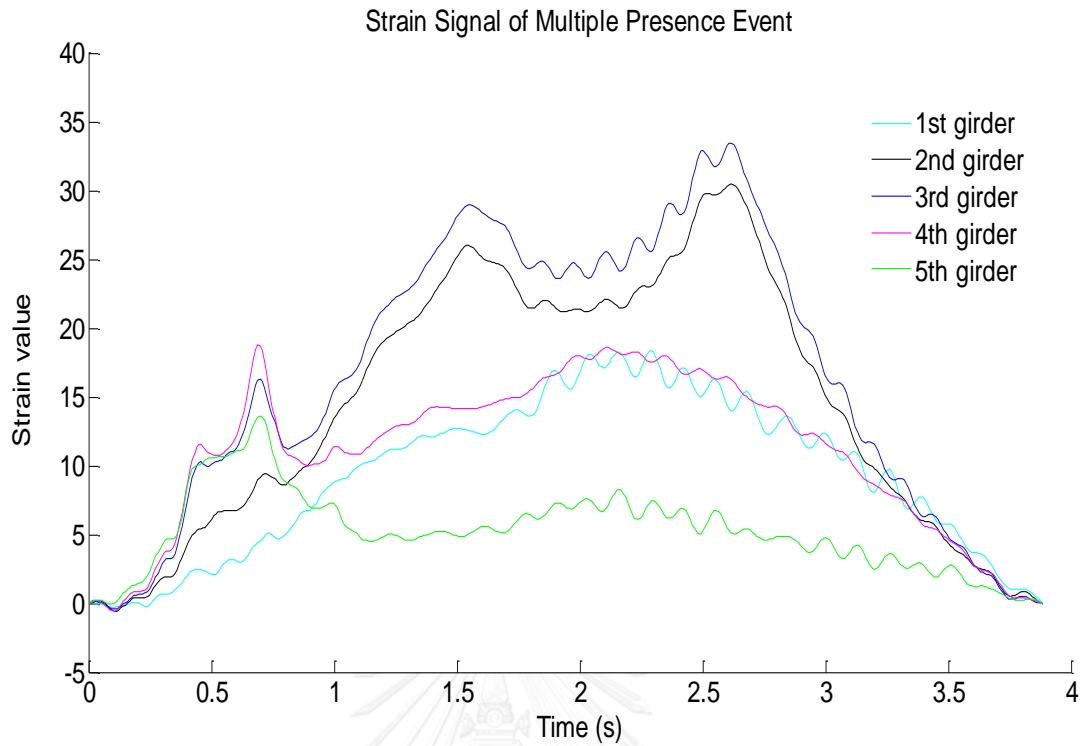
รูปที่ 5.58 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย



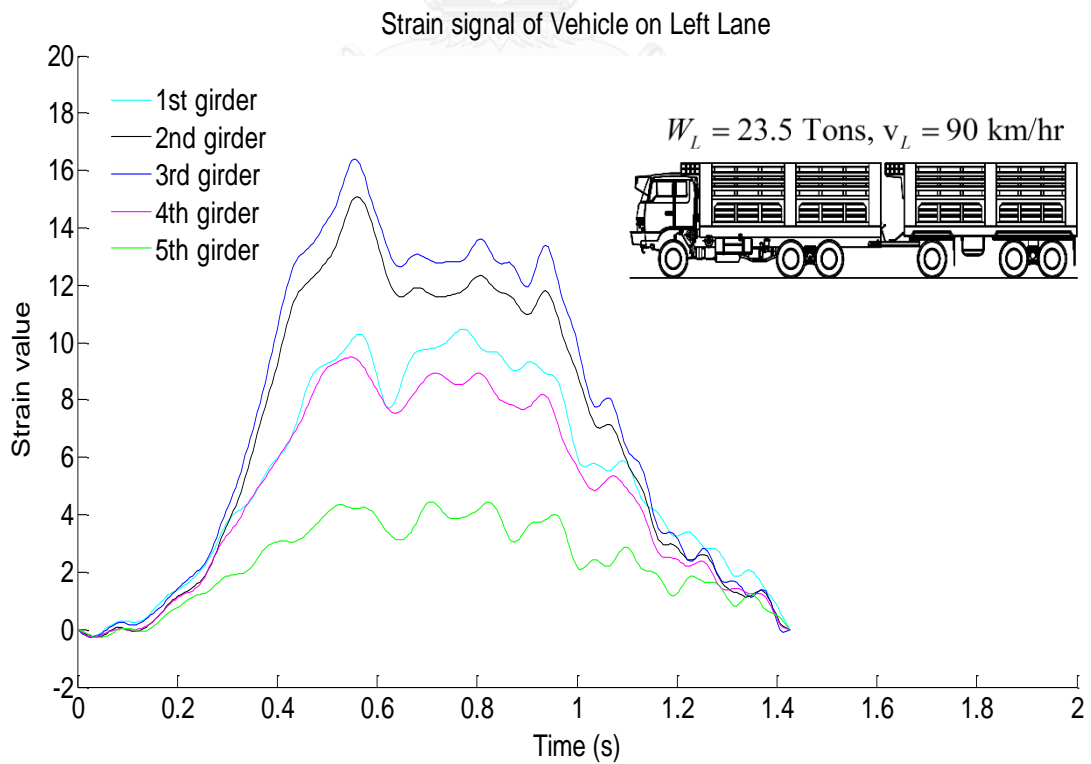
รูปที่ 5.59 สัญญาณความเครียดเทียบมรถบรรทุกทุกช่องจราจรซ้าย



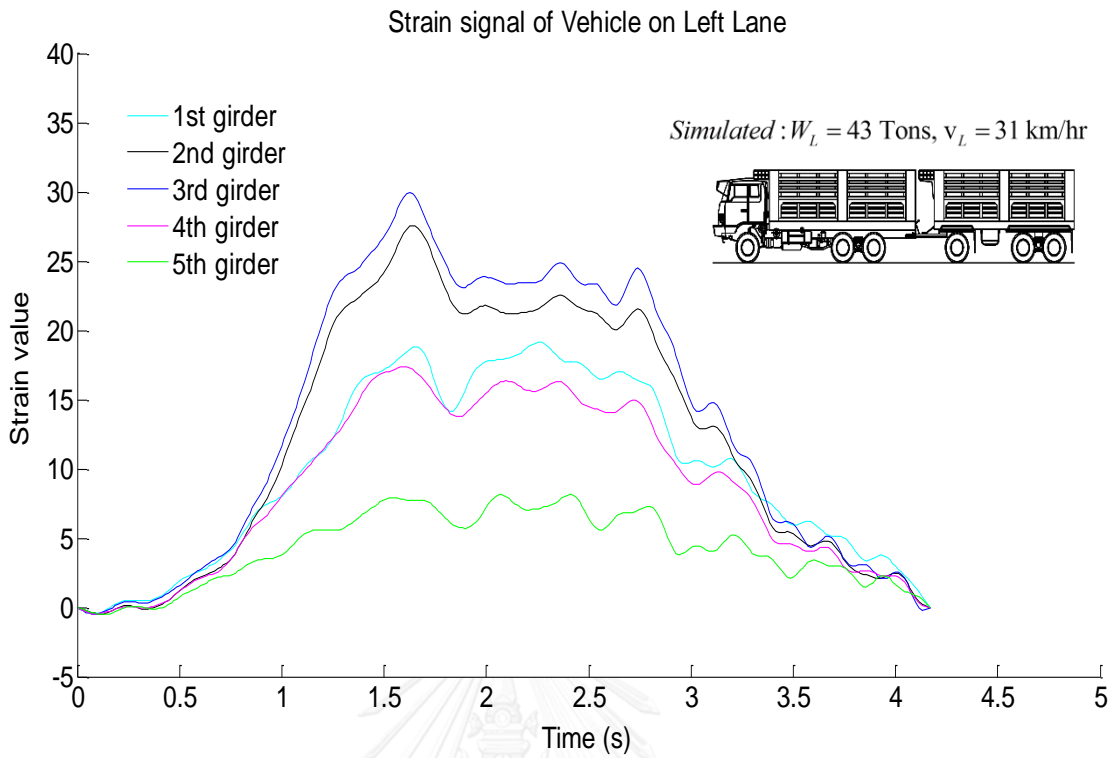
รูปที่ 5.60 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกทุกช่องจราจรซ้ายและขวา



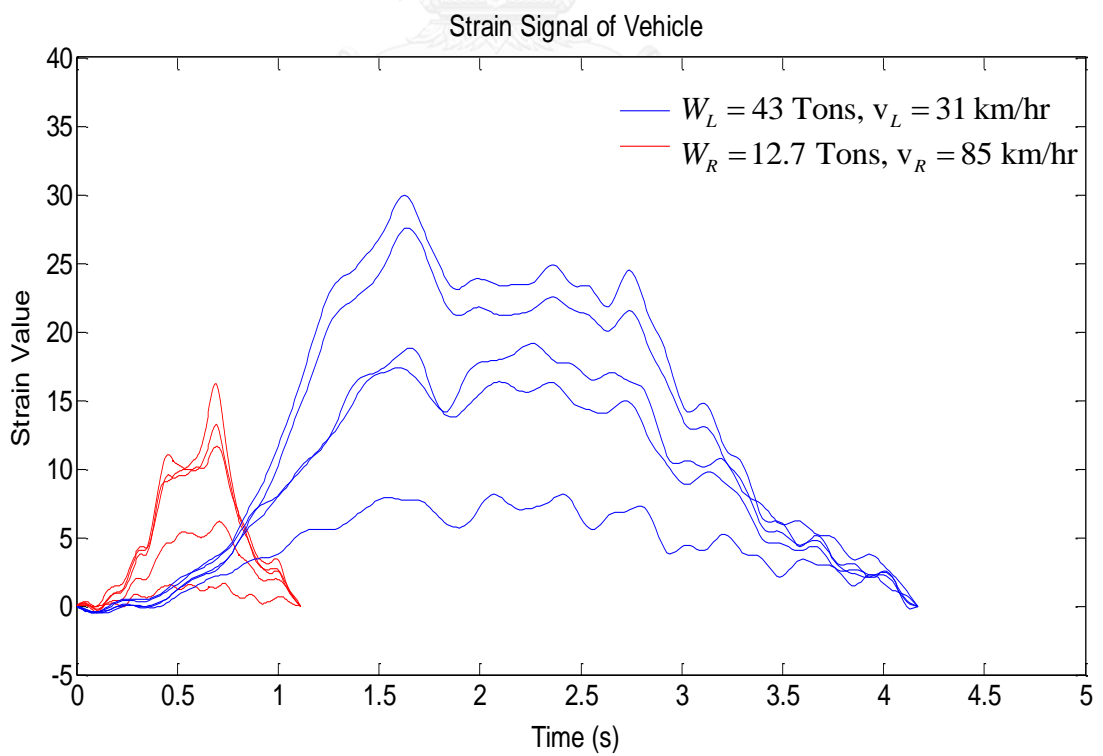
รูปที่ 5.61 สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence



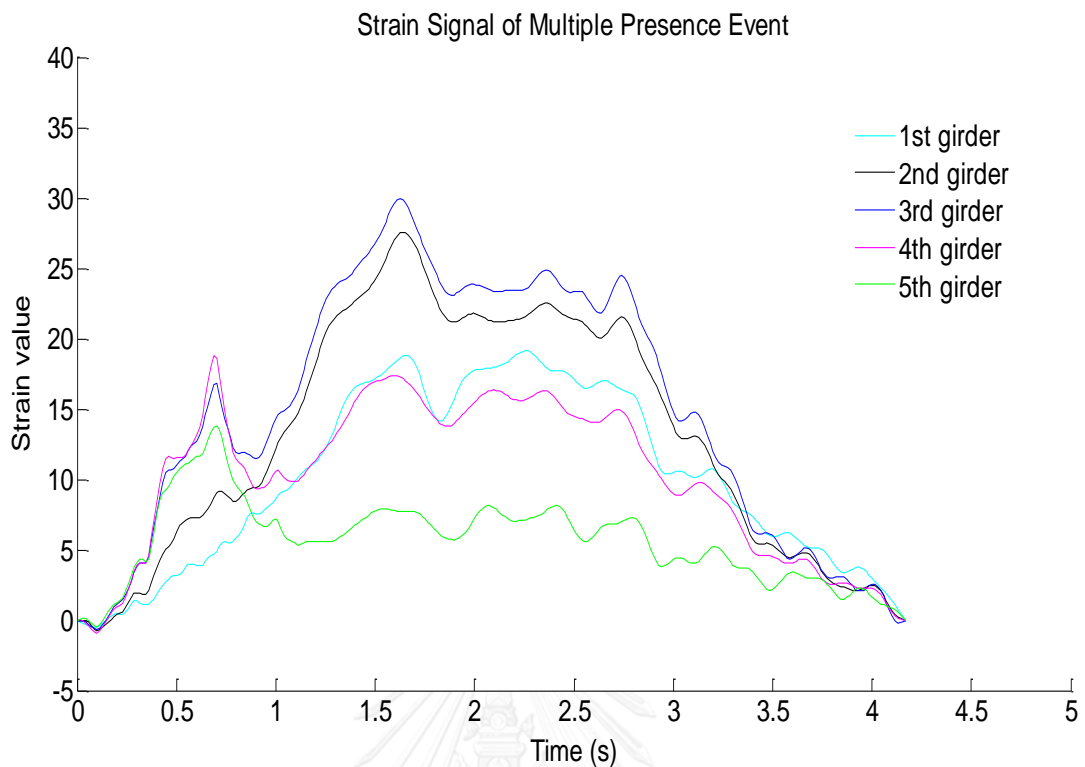
รูปที่ 5.62 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย



รูปที่ 5.63 สัญญาณความเครียดเทียบมรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย



รูปที่ 5.64 สัญญาณความเครียดรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายและขวา



รูปที่ 5.65 สัญญาณความเครียดเหตุการณ์ Multiple Presence

จากผลการทดสอบกรณีที่ 1 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจรรยาชัยมีค่าเท่ากับ 42.83 ตัน และน้ำหนักบรรทุกบนช่องจรรยาขวามีค่าเท่ากับ 14.16 ตัน มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence ของการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจรรยาชัยและขวาเท่ากับ -0.31% และ 11.58% ตามลำดับ

กรณีที่ 2 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจรรยาชัยมีค่าเท่ากับ 43.34 ตัน และน้ำหนักบรรทุกบนช่องจรรยาขวามีค่าเท่ากับ 12.35 ตัน มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence ของการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจรรยาชัยและขวาเท่ากับ 0.89% และ -2.69% ตามลำดับ

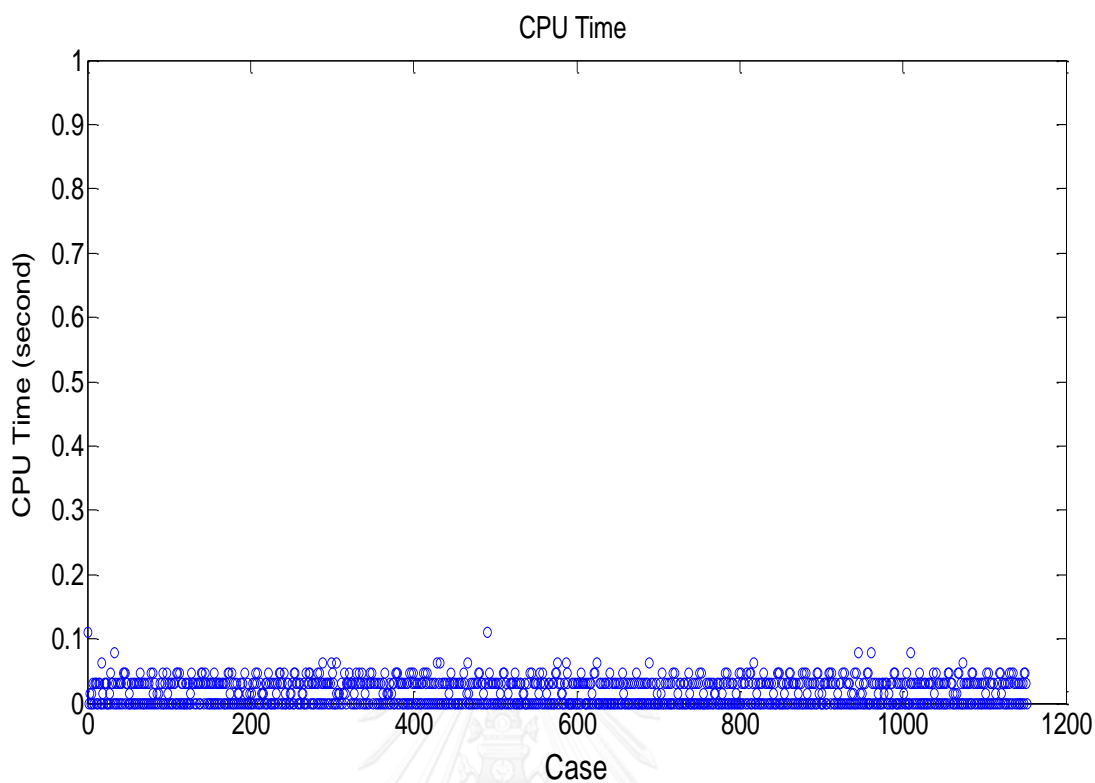
กรณีที่ 3 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจรรยาชัยมีค่าเท่ากับ 43.08 ตัน และน้ำหนักบรรทุกบนช่องจรรยาขวามีค่าเท่ากับ 13.25 ตัน มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเหตุการณ์ Multiple Presence ของการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจรรยาชัยและขวาเท่ากับ 0.29% และ 4.44% ตามลำดับ

จากผลการศึกษาปัจจัยที่อาจทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนสูงในการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากกรณี Multiple Presence ในหัวข้อที่ 5.3.2 พบว่าความคลาดเคลื่อนการพิจารณาน้ำหนักบนช่องจราจรขามีค่าสูง เนื่องจากสัญญาณความเครียดของรถบรรทุกช่องจราจรซ้ายมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากยานพาหนะคันอื่น ทำให้ค่าสัญญาณความเครียดมีค่าสูงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนในการพิจารณาน้ำหนักบรรทุก

ปัญหาเนื่องจากสภาพการจราจรที่หนาแน่น หรือมียานพาหนะหลายคันสัญจรบนช่วงสะพานทดสอบจะส่งผลให้ค่าสัญญาณความเครียดที่ตรวจวัดได้ของรถบรรทุกกรณีดังกล่าวมีค่าสูงเนื่องจากยานพาหนะคันอื่น ในการประเมินประสิทธิภาพด้านความถูกต้องจะไม่นำกรณีดังกล่าวมาร่วมพิจารณา เนื่องจากเป็นปัญหาเนื่องจากสภาพการจราจร

5.4 การประเมินผลด้านความเร็วในการทำงาน

จากการศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งคู่กันบนสะพานทดสอบทั้งหมด 1,152 กรณี พบว่าอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นใช้เวลาในการประมวลผลน้อยสุด มากสุด และเฉลี่ยเท่ากับ 0, 0.11 และ 0.02 วินาทีต่อกรณี ใช้คอมพิวเตอร์ Processor Intel® Core™ i7-4790 CPU@ 3.60GHz 3.59GHz Installed memory(RAM) 8.00GB System type 64-bit Operating System, x64-based processor ในการทำงาน แสดงค่าเวลาในการประมวลผลของทุกกรณีไว้ในรูปที่ 5.6 ซึ่งสรุปได้ว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอมีความรวดเร็วในการประมวลผลเพียงพอ



รูปที่ 5.66 เวลาในการประมวลผล

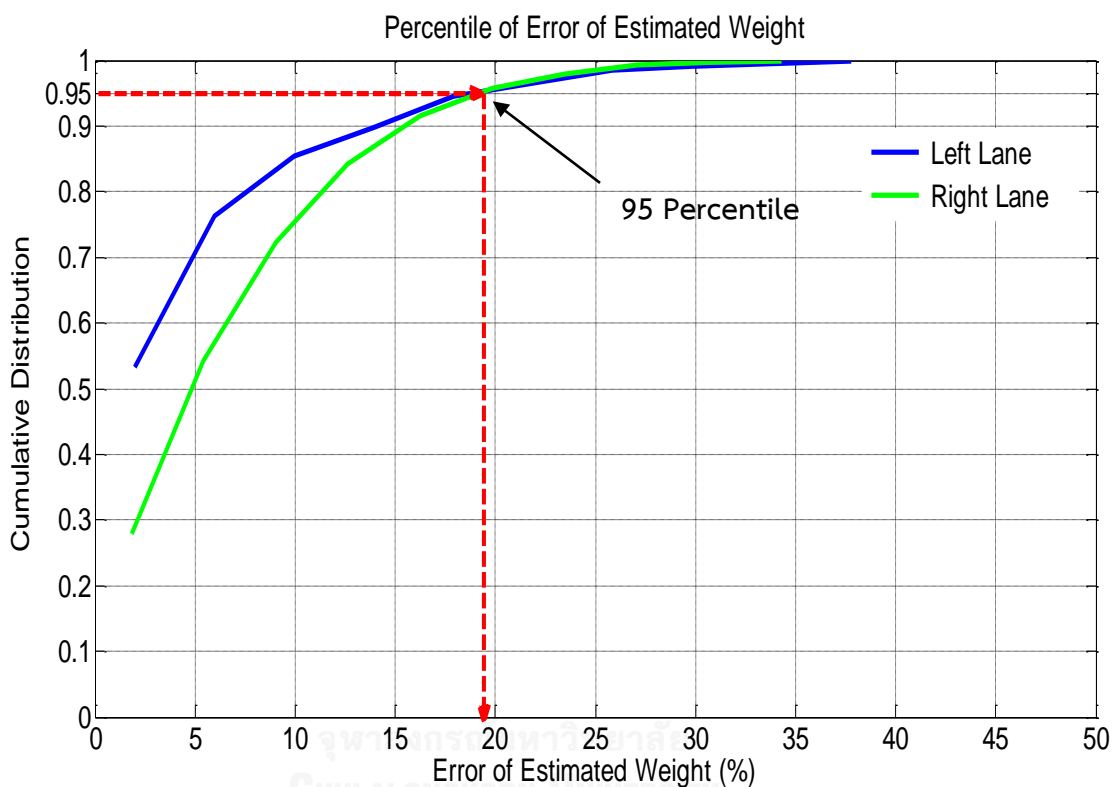
5.5 การประเมินผลด้านความถูกต้อง

การประเมินประสิทธิภาพด้านความถูกต้องของการพิจารณาน้ำหนักบรรทุก จะพิจารณาเทียบกับมาตรฐาน COST323 Weigh-in-Motion of Road Vehicles ซึ่งมาตรฐานดังกล่าว เป็นมาตรฐานที่ระบุถึงข้อกำหนดต่างๆ เกี่ยวกับระบบ WIM และเกณฑ์ในการระบุความสามารถของระบบ WIM แสดงไว้ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 Tolerances of the accuracy classes (δ in %)

Criteria (type of measurement)	Domain of use	Accuracy Classes: Confidence interval width δ (%)						
		A (5)	B+ (7)	B (10)	C (15)	D+(20)	D (25)	E
1. Gross weight	Gross weight > 3.5 t	5	7	10	15	20	25	> 25
Axle load:	Axle load > 1 t							
2. group of axles		7	10	13	18	23	28	> 28
3. single axle		8	11	15	20	25	30	> 30
4. axle of a group		10	14	20	25	30	35	> 35

จากผลการทดสอบการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกกรณี Multiple Presence โดยไม่พิจารณากรณีที่มีปัญหาเนื่องจากสภาพการจราจร สามารถประเมินประสิทธิภาพความถูกต้องของอัลกอริทึมที่นำเสนอเทียบกับค่ามาตรฐานตาม COST323 ได้ ซึ่งจากผลการศึกษาข้างต้นพบว่าน้ำหนักบรรทุกที่ประมาณได้อยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดความถูกต้องระดับ D(20) ที่กำหนดเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักบรรทุกรวมไว้ไม่เกินร้อยละ 20 ที่ 95 เพอร์เซ็นต์ไทล์ (percentile) แสดงดังรูปที่ 5.67



รูปที่ 5.67 กราฟเปอร์เซ็นต์ไทล์ของความคลาดเคลื่อนในการพิจารณาน้ำหนักบรรทุก

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา

การศึกษาการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักบรรทุกทุกขณะเคลื่อนที่ผ่านสะพาน มีการพัฒนาเทคนิควิธีการคำนวณ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคำนวณ และทดสอบประสิทธิภาพความแม่นยำมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในประเทศไทยนั้นแม้จะมีการศึกษามากมายแล้วก็ตาม แต่ก็ยังไม่มีการศึกษาในกรณีรถบรรทุกวิ่งคู่กันบนสะพานทดสอบ (Multiple Presence) เพราะการคำนวณทำได้ยุ่งยากกว่าและมีความคลาดเคลื่อนสูง จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ที่จะทำการปรับปรุงการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักที่มีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพ โดยจากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าวิธีเบต้า (beta method) ตามที่เสนอโดย Ojio and Yamada (2002) เป็นวิธีที่มีความถูกต้องสูง แต่ไม่สามารถนำมาปรับใช้กับกรณีรถบรรทุกวิ่งคู่กันบนสะพาน จึงได้ทำการปรับปรุงวิธีเบต้า (modified beta method) โดยพิจารณา ร่วมกับการกระจายน้ำหนักตามแนวขวางในแต่ละคานสะพาน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพความถูกต้องของการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุก และเพื่อให้สามารถแก้ปัญหาการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งคู่กันบนสะพานทดสอบ โดยได้ทำการทดสอบอัลกอริทึมในภาคสนาม ด้วยการประยุกต์ใช้กับสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2 ช่องจราจร (1 ทิศทางจราจร) มีความยาวช่วงสะพานประมาณ 21.70 เมตร รูปแบบโครงสร้างใช้ระบบ I-girder deck bridge 5 ตัว ผลการศึกษาและประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมของการคำนวณน้ำหนักบรรทุกที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 และบทที่ 5 สามารถนำมาสรุปผลการศึกษา ได้ดังต่อไปนี้

6.1 ประสิทธิภาพของอัลกอริทึมคำนวณน้ำหนักบรรทุกทุกกรณีรถวิ่งผ่านสะพานคู่กันแบบอัตโนมัติ

จากการศึกษาประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกทุกในกรณีที่รถบรรทุกวิ่งคู่กันบนสะพานทดสอบทั้งหมด 1,152 กรณี พบว่าอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นมีความรวดเร็วในการประมวลผล โดยมีค่าเฉลี่ยในการประมวลผลต่อกรณีเท่ากับ 0.02 วินาที ใช้คอมพิวเตอร์ Processor Intel® Core™ i7-4790 CPU@ 3.60GHz 3.59GHz Installed memory(RAM) 8.00GB System type 64-bit Operating System, x64-based processor และจากการศึกษาผลกระทบ การพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากกรณี Multiple Presence โดยหาค่าน้ำหนักบรรทุกกรณีรถวิ่งคู่กันบนสะพานเทียบกับกรณีรถวิ่งเดี่ยวบนสะพาน ซึ่งสมมติให้ค่าน้ำหนักบรรทุกเดี่ยวที่หาได้จากวิธี

เบต้าเป็นค่าน้ำหนักที่ถูกต้อง โดยอ้างอิงจากการศึกษาในหัวข้อ 4.2 ที่ได้สอบเทียบระบบและวิธีการคำนวณด้วยรถบรรทุกที่ทราบค่า พบว่า ระบบ B-WIM ที่ใช้กับสะพานแห่งนี้มีความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักบรรทุกรวมที่ร้อยละ 5.9 ที่ 95 เพอร์เซนต์ไทล์ (percentile) อยู่ในระดับความถูกต้องตามมาตรฐาน COST 323 อยู่ในเกณฑ์ระดับ B+(7) ซึ่งถือว่าข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากระบบ B-WIM ของสะพานแห่งนี้ อยู่ในระดับความถูกต้องสูง มีความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักบรรทุกรวมในระดับไม่เกิน 7% จากผลการศึกษาผลกระทบการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากกรณี Multiple Presence โดยไม่พิจารณากรณีที่มีปัญหาเนื่องจากสภาพจราจรหนาแน่น พบว่าความคลาดเคลื่อนของการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรซ้ายมีค่ามากที่สุด น้อยสุด และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 39.75%, 0.02% และ 6.14% ตามลำดับ และพบความคลาดเคลื่อนของการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกบนช่องจราจรขวามีค่ามากที่สุด น้อยสุด และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.08%, 0.03% และ 8.12% ตามลำดับ และสามารถประเมินประสิทธิภาพความถูกต้องของอัลกอริทึมที่นำเสนอโดยไม่พิจารณากรณีที่มีปัญหาเนื่องจากสภาพการจราจรเทียบกับค่ามาตรฐาน COST323 ได้ จากผลการศึกษาข้างต้นพบว่า น้ำหนักบรรทุกที่ประมาณได้อยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดความถูกต้องระดับ D(20) ที่กำหนดเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักบรรทุกรวมไว้ไม่เกินร้อยละ 20 ที่ 95 เพอร์เซนต์ไทล์ (percentile) ซึ่งถือว่ามีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่พอยอมรับได้ สามารถนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านการศึกษาวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์และเทคนิคของการขนส่งสินค้า ประเมินการจราจรโดยทั่วไปบนถนนและสะพาน และการเก็บรวบรวมข้อมูลทางสถิติ

6.2 ข้อจำกัดของอัลกอริทึม

- 1.) จากผลการทดสอบ อัลกอริทึมจะมีประสิทธิภาพดีเมื่อรถบรรทุกวิ่งคู่กันบนสะพาน 2 ช่องจราจร ใน 1 ทิศทางจราจร
- 2.) อัลกอริทึมจะมีประสิทธิภาพที่ดี เมื่อทราบค่าความเร็วที่แม่นยำ ความเร็วที่ใช้ในการคำนวณส่งผลต่อการคำนวณค่าน้ำหนักบรรทุกในอัตราส่วน 1:1
- 3.) อัลกอริทึมที่นำเสนอเหมาะกับสะพานที่มีการกระจายน้ำหนักที่ชัดเจน
- 4.) อัลกอริทึมที่นำเสนอไม่สามารถหาน้ำหนักเพลลา และน้ำหนักแต่ละกลุ่มเพลลาได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่าอัลกอริทึมการพิจารณาน้ำหนักรถบรรทุกที่ได้ทำการพัฒนาปรับปรุงขึ้นมานั้นแม้ว่าจะมีประสิทธิภาพและความถูกต้องในการคำนวณที่สามารถนำไป

ประยุกต์ใช้งานได้จริง แต่ก็ยังมีรายละเอียดในบางส่วนที่เป็นข้อจำกัดในการใช้งานและควรที่จะมีการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเพื่อพัฒนาให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น โดยข้อเสนอแนะในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง และการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมมีดังต่อไปนี้

6.3.1 ข้อเสนอแนะในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

ในการประยุกต์ใช้งานจริงนั้นความชัดเจนและถูกต้องสมบูรณ์ของสัญญาณค่าความเครียดและอุปกรณ์ตรวจจับเพลานั้นมีความสำคัญมาก ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ การติดตั้งอุปกรณ์และคัดเลือกสะพานที่ใช้ทดสอบนั้นจึงมีความสำคัญในการพิจารณาเพื่อให้ได้รูปแบบสัญญาณที่ดี

การเลือกสะพานทดสอบนั้นเป็นปัจจัยแรกที่ควรพิจารณาเนื่องจากมีผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการสัจจรของรถบรรทุกซึ่งจะส่งผลรูปแบบสัญญาณที่ตรวจวัดโดยตรง ซึ่งปัจจัยของสภาพจราจรนั้นเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการคำนวณดังที่ได้กล่าวไว้แล้ว โดยที่วิธีการคัดเลือกสะพานที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์นี้ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1 ส่วนการติดตั้งอุปกรณ์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ที่สะพานซึ่งจะมีผลของสภาพแวดล้อมทำให้มีสัญญาณรบกวนมาก หรืออุปกรณ์เสื่อมสภาพ ส่งผลให้สัญญาณที่ทำการบันทึกได้ก่อนนำไปวิเคราะห์ไม่ชัดเจน จึงควรทำการตรวจสอบสัญญาณเป็นประจำ เพื่อให้ได้รูปแบบสัญญาณที่ถูกต้องและชัดเจน

6.3.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม

- 1.) ควรศึกษาและวิจัยเพิ่มเติมโดยการทดสอบ ภายใต้รถบรรทุกที่มีความหลากหลายของประเภท น้ำหนัก และความเร็ว ด้วยรถบรรทุกจริงวิ่งคู่กันข้ามสะพาน
- 2.) ควรศึกษาและทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้เก็บวัดข้อมูลที่มีระบบป้องกันสัญญาณรบกวนที่ดีที่สุดสามารถทำงานได้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย และมีผลของความคลาดเคลื่อนจากการอ่านค่าของอุปกรณ์น้อย
- 3.) ควรมีการรวบรวมประเภทรถต่างๆ ในประเทศไทยเพื่อรวบรวมเป็นข้อมูลของรถบรรทุกที่มีทั้งหมดที่ครอบคลุมและเป็นมาตรฐาน
- 4.) ควรมีการศึกษาและทดสอบกับสะพานลักษณะอื่นๆ เช่นสะพานที่มีสองทิศทางจราจร สะพานที่มีระบบโครงสร้างแบบอื่น เป็นต้น

รายการอ้างอิง

- [1] Moses, F. Weigh-in-motion system using instrumented bridges. Journal of Transportation Engineering 105(3) (1979).
- [2] Ghosn, M., Xu, Q., and Board, N.R.C.T.R. Estimating Bridge Dynamics Using the Weigh-in-motion Algorithm. National Research Council, Transportation Research Board, 1988.
- [3] Laman, J.A. and Nowak, A.S. Fatigue-load models for girder bridges. Journal of Structural Engineering 122(7) (1996): 726-733.
- [4] Thater, G., Chang, P., Schelling, D., and Fu, C. Estimation of bridge static response and vehicle weights by frequency response analysis. Canadian Journal of Civil Engineering 25(4) (1998): 631-639.
- [5] Chan, T.H., Law, S., Yung, T., and Yuan, X. An interpretive method for moving force identification. Journal of sound and vibration 219(3) (1999): 503-524.
- [6] Zhu, X. and Law, S. Moving forces identification on a multi-span continuous bridge. Journal of sound and vibration 228(2) (1999): 377-396.
- [7] Law, S., Chan, T.H., and Zeng, Q. Moving force identification—a frequency and time domains analysis. Journal of dynamic systems, measurement, and control 121(3) (1999): 394-401.
- [8] Chan, T.H., Law, S., and Yung, T. Moving force identification using an existing prestressed concrete bridge. Engineering Structures 22(10) (2000): 1261-1270.
- [9] Zhu, X. and Law, S. Identification of vehicle axle loads from bridge dynamic responses. Journal of sound and vibration 236(4) (2000): 705-724.
- [10] Law, S., Chan, T.H., Zhu, Q., and Zeng, Q. Regularization in moving force identification. Journal of Engineering Mechanics 127(2) (2001): 136-148.
- [11] Law, S. and Fang, Y. Moving force identification: optimal state estimation approach. Journal of Sound and Vibration 239(2) (2001): 233-254.
- [12] คณะกรรมการวิชาการยุโรป. Weighing-in-motion of axles and vehicles for Europe (WAVE)!. (Report of work package) (2001).

- [13] Zhu, X. and Law, S. Moving loads identification through regularization. Journal of engineering mechanics 128(9) (2002): 989-1000.
- [14] Yu, L. and Chan, T.H. Moving force identification from bending moment responses of bridge. Structural Engineering and Mechanics 14(2) (2002): 151-170.
- [15] Zhu, X. and Law, S. Dynamic axle and wheel loads identification: laboratory studies. Journal of sound and vibration 268(5) (2003): 855-879.
- [16] พลกฤษณ์ พนาปวุฒิกุล. การหาน้ำหนักรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่บนสะพาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2545).
- [17] ธวัช อัครวิทยาภูมิ. การเพิ่มความถูกต้องของการหาน้ำหนักรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่ด้วยเทคนิคการคำนวณซ้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2545).
- [18] Jiang, R., Au, F., and Cheung, Y. Identification of vehicles moving on continuous bridges with rough surface. Journal of Sound and Vibration 274(3) (2004): 1045-1063.
- [19] Zhu, X. and Law, S. Identification of moving interaction forces with incomplete velocity information. Mechanical systems and signal processing 17(6) (2003): 1349-1366.
- [20] พัชรพงษ์ อาสนจินดา. การหาน้ำหนักรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่บนสะพานโดยใช้แบบจำลองย่อส่วน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2546).
- [21] Law, S., Bu, J., Zhu, X., and Chan, S. Vehicle axle loads identification using finite element method. Engineering Structures 26(8) (2004): 1143-1153.
- [22] ภาณุ ฟุ้งสุข. การหาน้ำหนักรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่บนสะพานด้วยการทดสอบภาคสนาม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2547).
- [23] O'Brien, E.J., Quilligan, M., and Karoumi, R. Calculating an influence line from direct measurements. (2006).

- [24] ปาลพิพัฒน์ แสงชวงค์. การหาน้ำหนักรถจากโมเมนต์ดัดของสะพานโดยปราศจากการตรวจจับเพลลา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2550).
- [25] กิตติ จิวโพธิ์เจริญ. การศึกษาการรับน้ำหนักบรรทุกทุกพลอดภัยและอายุการใช้งานของโครงสร้างสะพานแบบแผ่นพื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2551).
- [26] Wall, C.J., Christenson, R.E., McDonnell, A., Jamalipour, A., and Sime, J. A non-intrusive bridge weigh-in-motion system for a single span steel girder bridge using only strain measurements. Rep. SPR-2251 7 (2009).
- [27] Deesomsuk, T. and Pinkaew, T. Evaluation of effectiveness of vehicle weight estimations using bridge weigh-in-motion. The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering 3(2) (2010): 96-110.
- [28] Zhao, H. and Uddin, N. Algorithm to identify axle weights for an innovative BWIM system. Part I. in Proc., IABSE-JSCE Joint Conf. on Advances in Bridge Engineering-II, Bangladesh Association of Consulting Engineers and Bangladesh Association of Construction Industry, Dhaka, Bangladesh, pp. 537-546, 2010.
- [29] Zhao, H. and Uddin, N. Algorithm to identify axle weights for an innovative BWIM system. Part II. in Proc., IABSE-JSCE Joint Conf. on Advances in Bridge Engineering-II, Bangladesh Association of Consulting Engineers and Bangladesh Association of Construction Industry, Dhaka, Bangladesh, pp. 537-546, 2010.
- [30] Zhao, H., Uddin, N., O'Brien, E.J., Shao, X., and Zhu, P. Identification of vehicular axle weights with a bridge weigh-in-motion system considering transverse distribution of wheel loads. Journal of Bridge Engineering 19(3) (2013): 04013008.
- [31] พงศธร อร่ามวัด. การเปรียบเทียบวิธีการหาน้ำหนักบรรทุกทุกจากผลตอบสนองของสะพานด้วยการทดสอบภาคสนาม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2557).
- [32] Helmi, K., Bakht, B., and Mufti, A. Accurate measurements of gross vehicle weight through bridge weigh-in-motion: a case study. Journal of Civil Structural Health Monitoring 4(3) (2014): 195-208.

- [33] Donlagic, D. and Hanc, M. A simple fiber-optic vehicle axle detector for roadways. IEEE transactions on vehicular technology 52(2) (2003): 401-405.
- [34] Chatterjee, P., OBrien, E., Li, Y., and González, A. Wavelet domain analysis for identification of vehicle axles from bridge measurements. Computers & structures 84(28) (2006): 1792-1801.
- [35] Wang, H., Quan, W., Wang, Y., and Miller, G.R. Dual roadside seismic sensor for moving road vehicle detection and characterization. Sensors 14(2) (2014): 2892-2910.
- [36] สมพล มาทวิโชติกุล. ระบบอัตโนมัติสำหรับการหาน้ำหนักและประเภทของรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่บนสะพาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2558).





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียด

ตารางที่ 1 ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียด รถบรรทุกช่องจราจรซ้ายกรณี 1-8

ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียด (%)									
กรณี	รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
รถบรรทุกบนช่องจราจรขวา	73	4.79	3.12	6.48	3.99	8.82	6.96	2.01	2.75
	74	4.58	2.86	6.12	3.61	8.42	6.38	2.52	1.75
	75	2.48	2.69	5.82	3.98	4.85	3.78	9.42	6.37
	76	9.16	9.32	14.04	12.69	16.51	19.01	12.16	15.50
	77	3.21	1.85	3.77	2.41	5.93	2.78	5.95	3.21
	78	5.66	4.38	7.99	5.75	10.35	9.34	1.96	3.95
	79	11.67	12.63	16.84	16.18	18.80	21.43	17.34	19.50
	80	4.12	2.58	5.04	3.06	6.83	4.81	1.16	2.91
	81	4.49	2.85	5.83	3.52	7.93	5.89	1.78	2.62
	82	6.29	5.31	8.95	6.96	11.17	10.66	3.09	5.97
	83	5.03	3.50	6.81	4.50	9.07	7.44	1.82	2.09
	84	4.93	3.51	6.48	4.37	8.49	6.85	0.98	3.85
	85	2.07	1.02	2.77	1.12	3.93	1.23	8.66	6.10
	86	7.87	7.52	11.33	9.80	13.47	14.07	7.90	10.49
	87	7.25	6.70	10.15	8.56	12.15	12.14	6.26	8.59
	88	4.67	3.14	6.10	3.90	8.15	6.30	1.74	1.52

ตารางที่ 2 ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียด รถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณีที่ 2-

16

กรณี		ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียด (%)							
		รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย							
		9	10	11	12	13	14	15	16
รถบรรทุกบนช่องจราจรขวา	73	5.36	7.32	4.74	4.53	1.84	3.41	6.51	0.73
	74	4.66	7.80	4.65	4.38	1.68	3.24	6.34	1.11
	75	4.79	7.79	3.71	7.71	4.50	3.72	4.59	2.05
	76	20.62	7.56	6.72	1.16	1.88	7.39	10.22	4.96
	77	1.94	7.21	4.02	4.75	2.39	2.67	5.14	0.77
	78	8.38	7.76	5.15	4.33	1.38	4.23	7.27	1.61
	79	22.86	3.90	8.10	3.09	4.61	9.92	12.23	7.98
	80	3.48	6.03	4.42	2.73	1.96	2.99	5.72	1.29
	81	4.36	6.43	4.60	4.65	2.21	3.21	6.18	0.71
	82	10.09	6.98	5.45	2.83	1.48	4.84	7.77	2.33
	83	6.09	6.37	4.85	3.40	1.47	3.65	6.69	1.05
	84	5.62	6.63	4.81	4.33	2.08	3.65	6.51	1.25
	85	2.83	7.69	3.48	4.14	3.09	1.83	4.12	1.69
	86	14.29	5.78	6.19	1.95	1.58	6.32	9.04	3.99
	87	11.95	8.08	5.93	0.93	1.74	5.81	8.49	3.54
88	4.92	6.24	4.69	3.55	1.45	3.40	6.32	0.91	

ตารางที่ 3 ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียด รถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณีที่ 17-24

กรณี		ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียด (%)							
		รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย							
		17	18	19	20	21	22	23	24
รถบรรทุกบนช่องจราจรขวา	73	4.13	3.07	9.00	1.64	4.09	6.23	1.98	5.03
	74	3.93	3.30	8.62	1.02	3.67	6.44	1.92	4.93
	75	4.54	6.86	5.20	4.95	5.40	9.85	1.28	7.68
	76	8.65	4.06	16.35	8.28	13.62	1.44	3.36	2.48
	77	3.69	5.10	6.20	2.00	2.52	8.02	1.49	5.17
	78	5.05	1.59	10.47	2.14	6.01	4.81	2.26	4.92
	79	11.29	8.98	18.61	12.52	17.13	5.91	4.53	0.65
	80	3.72	2.27	7.01	2.20	3.05	4.79	1.89	3.89
	81	3.87	2.82	8.10	1.87	3.54	5.74	1.93	5.10
	82	5.72	0.79	11.28	3.36	7.26	3.45	2.50	3.50
	83	4.39	2.37	9.22	1.76	4.62	5.48	2.07	4.02
	84	4.41	2.09	8.66	2.52	4.48	4.62	2.11	4.83
	85	2.68	6.66	4.25	3.64	2.08	9.40	1.13	5.12
	86	7.35	2.64	13.43	6.22	10.36	0.99	3.07	2.66
	87	6.74	2.20	12.18	5.31	8.99	2.32	3.54	2.75
88	4.07	2.34	8.32	1.48	3.96	5.21	2.01	4.10	

ตารางที่ 4 ความคลาดเคลื่อนพื้นที่สัญญาณความเครียด รถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณี 25-32

กรณี		ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียด (%)							
		รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย							
		25	26	27	28	29	30	31	32
รถบรรทุกบนช่องจราจรขวา	73	3.10	1.04	4.02	4.87	8.03	3.88	3.53	4.83
	74	3.16	0.99	4.10	4.73	8.04	3.61	3.63	4.75
	75	4.42	2.59	5.33	8.08	12.09	2.94	5.18	3.64
	76	1.49	1.72	1.59	1.08	3.93	10.36	1.67	7.09
	77	3.59	1.31	4.74	5.04	8.13	1.68	4.44	4.00
	78	2.77	0.65	3.51	4.71	8.19	5.20	2.89	5.33
	79	0.53	3.61	0.85	1.99	1.04	13.58	2.42	8.63
	80	2.88	1.17	3.61	3.50	6.33	3.16	3.07	4.46
	81	3.04	1.00	3.90	4.95	7.81	3.54	3.40	4.67
	82	2.44	0.70	3.01	3.12	5.79	6.15	2.27	5.63
	83	2.95	0.57	3.77	3.70	6.86	4.27	3.21	4.95
	84	2.78	1.15	3.49	4.64	7.51	4.20	2.91	4.91
	85	3.98	1.87	5.31	5.60	8.87	0.76	5.15	3.39
	86	1.69	1.24	1.87	2.19	4.18	8.37	0.88	6.48
	87	1.79	1.95	2.03	1.54	4.32	7.48	2.29	6.17
88	2.92	0.49	3.71	3.83	6.65	3.82	3.17	4.77	

ตารางที่ 5 ความคลาดเคลื่อนพื้นที่สัญญาณความเครียด รถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณี 33-40

กรณี		ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียด (%)							
		รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย							
		33	34	35	36	37	38	39	40
รถบรรทุกบนช่องจราจรขวา	73	0.85	6.29	2.25	7.73	4.39	4.97	2.01	1.94
	74	0.74	6.40	2.10	7.64	4.30	5.06	2.11	1.53
	75	3.03	8.51	3.81	6.81	3.28	6.91	4.32	5.00
	76	3.62	2.17	0.97	9.49	6.51	1.84	1.23	4.73
	77	1.15	7.39	2.57	7.05	3.63	5.86	2.94	2.42
	78	1.42	5.41	2.00	8.09	4.83	4.32	1.37	1.48
	79	5.83	1.82	0.52	10.56	8.01	1.26	3.72	8.11
	80	1.31	5.30	1.77	7.24	4.08	4.34	1.73	2.28
	81	0.93	5.96	2.46	7.54	4.26	4.77	2.05	2.20
	82	1.91	4.51	1.40	8.32	5.15	3.65	0.79	1.81
	83	1.06	5.81	1.92	7.80	4.51	4.63	1.73	1.67
	84	1.28	5.23	2.25	7.69	4.48	4.24	1.71	2.53
	85	1.03	8.30	2.35	6.54	3.05	6.57	3.69	2.64
	86	3.04	2.60	1.06	8.94	5.96	2.19	0.62	3.69
	87	2.75	2.83	1.11	8.66	5.68	2.37	1.72	3.19
88	0.97	5.62	1.93	7.60	4.35	4.53	1.73	1.43	

ตารางที่ 6 ความคลาดเคลื่อนพื้นที่สัญญาณความเครียด รถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณี 41-48

กรณี		ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียด (%)							
		รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย							
		41	42	43	44	45	46	47	48
รถบรรทุกบนช่องจราจรขวา	73	1.41	6.15	2.93	1.74	4.20	4.11	2.22	1.70
	74	1.28	6.11	2.80	1.69	4.10	3.99	2.31	1.41
	75	1.99	7.83	4.55	2.30	3.36	2.74	4.31	4.53
	76	4.83	4.92	1.03	2.42	6.46	6.68	1.37	1.99
	77	0.72	6.25	3.20	1.84	3.38	3.18	3.02	2.30
	78	2.11	6.13	2.73	1.49	4.66	4.63	1.66	1.19
	79	7.36	3.68	0.72	3.80	8.06	8.50	2.80	4.65
	80	1.32	5.69	2.19	1.65	3.88	3.75	1.96	1.34
	81	1.33	6.13	3.10	1.55	4.06	3.95	2.15	2.10
	82	2.69	5.50	2.01	1.62	5.01	5.03	1.26	0.65
	83	1.67	5.84	2.47	1.00	4.33	4.26	1.97	1.36
	84	1.76	5.96	2.89	1.82	4.30	4.23	1.82	1.75
	85	0.60	6.49	2.92	1.64	2.77	2.48	3.66	2.92
	86	4.06	4.98	1.52	1.49	5.87	6.02	0.87	1.42
	87	3.67	5.02	1.18	2.88	5.58	5.67	1.93	1.57
88	1.52	5.78	2.52	1.12	4.16	4.07	1.97	1.33	

ตารางที่ 7 ความคลาดเคลื่อนพื้นที่สัญญาณความเครียด รถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณี 49-56

กรณี		ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียด (%)							
		รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย							
		49	50	51	52	53	54	55	56
รถบรรทุกบนช่องจราจรขวา	73	1.40	2.48	3.81	3.07	5.82	5.35	6.05	1.67
	74	1.34	2.40	3.89	3.55	6.32	5.87	5.82	2.12
	75	3.44	1.49	5.95	1.36	4.84	4.21	3.97	1.17
	76	1.88	4.34	1.22	4.57	6.45	6.13	11.01	3.67
	77	1.97	1.83	4.57	1.92	4.53	4.03	4.25	0.75
	78	0.93	2.86	3.26	4.00	6.81	6.37	7.06	2.53
	79	4.06	5.82	1.32	5.50	7.46	5.74	13.49	5.71
	80	1.34	2.33	3.39	1.53	4.68	2.30	5.11	0.39
	81	1.32	2.41	3.69	2.25	4.90	4.41	5.64	0.93
	82	0.97	3.17	2.73	3.43	5.71	5.31	7.73	2.31
	83	0.85	2.60	3.55	2.06	5.01	3.81	6.28	1.19
	84	1.51	2.63	3.26	2.62	5.24	4.76	6.09	1.32
	85	2.65	1.34	5.18	1.56	3.98	3.41	2.95	1.31
	86	1.17	3.92	1.54	3.31	6.01	4.56	9.40	2.74
	87	2.34	3.71	1.71	4.88	6.76	6.45	8.66	3.99
88	0.89	2.50	3.49	2.39	4.89	4.26	5.83	1.27	

ตารางที่ 8 ความคลาดเคลื่อนพื้นที่สัญญาณความเครียด รถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณี 57-64

		ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียด (%)							
กรณี		รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย							
		57	58	59	60	61	62	63	64
รถบรรทุกบนช่องจราจรขวา	73	3.14	10.02	3.31	3.48	6.67	1.81	2.17	9.28
	74	2.90	10.60	3.35	3.32	6.59	1.48	2.08	9.34
	75	3.06	9.73	4.81	1.53	5.79	4.62	1.82	10.76
	76	8.66	9.62	1.95	7.18	8.35	6.24	4.40	6.55
	77	1.25	8.48	3.72	2.18	6.03	2.08	1.51	9.94
	78	4.26	11.18	3.02	4.23	7.01	2.35	2.63	8.69
	79	11.80	8.20	0.52	9.59	9.44	9.47	6.16	3.35
	80	2.64	5.87	3.11	3.07	6.27	1.79	2.02	8.27
	81	2.89	8.91	3.25	3.29	6.51	2.39	2.09	8.94
	82	5.10	9.36	2.74	4.81	7.25	3.16	3.00	8.03
	83	3.49	7.65	3.17	3.70	6.75	2.22	2.33	8.91
	84	3.49	9.24	3.03	3.70	6.66	1.89	2.37	8.38
	85	0.75	7.42	4.05	1.23	5.55	1.80	1.04	10.52
	86	7.10	8.03	2.10	6.20	7.86	5.04	3.91	6.63
	87	6.38	9.96	2.19	5.72	7.61	4.47	3.65	6.69
88	3.15	8.30	3.15	3.46	6.57	2.02	2.21	8.68	

ตารางที่ 9 ความคลาดเคลื่อนพื้นที่สัญญาณความเครียด รถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณี 65-72

		ความคลาดเคลื่อนของพื้นที่สัญญาณความเครียด (%)							
กรณี		รถบรรทุกบนช่องจราจรซ้าย							
		65	66	67	68	69	70	71	72
รถบรรทุกบนช่องจราจรขวา	73	1.35	10.36	3.18	0.72	6.04	1.79	1.75	2.44
	74	1.16	10.07	3.14	0.59	5.97	1.84	1.65	2.34
	75	4.96	7.20	4.89	1.94	5.23	4.38	0.89	1.86
	76	5.08	16.57	1.90	1.86	7.61	1.09	4.05	4.81
	77	2.78	7.95	3.46	0.89	5.46	2.34	0.96	1.62
	78	1.21	11.65	2.99	0.77	6.37	1.40	2.22	2.93
	79	9.14	18.49	0.63	3.10	8.66	1.78	5.89	6.62
	80	1.32	8.33	2.93	1.01	5.71	1.62	1.63	2.26
	81	1.88	9.47	3.34	0.76	5.91	2.16	1.68	2.35
	82	1.37	12.30	2.60	1.02	6.59	1.04	2.61	3.32
	83	1.76	10.50	2.98	0.58	6.12	1.61	1.91	2.60
	84	1.45	9.96	3.13	0.97	6.06	1.82	1.97	2.64
	85	4.18	6.17	3.76	0.84	5.02	2.79	0.36	1.00
	86	3.74	14.03	2.03	1.60	7.16	0.24	3.55	4.26
	87	3.12	12.94	2.11	1.79	6.94	1.43	3.34	3.99
88	1.50	9.64	2.96	0.55	5.97	1.62	1.81	2.47	

2. ความถี่ของช่องสัญญาณความเครียดที่มีความคลาดเคลื่อนสูงสุด

ตารางที่ 10 ความถี่ของช่องสัญญาณความเครียดที่มีความคลาดเคลื่อนสูงสุด

ความถี่ของช่องสัญญาณความเครียดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด						
ช่องสัญญาณความเครียด	1	2	3	4	5	รวม
จำนวน (กรณี)	793	67	29	49	214	1152

3. ค่าความแตกต่างของข้อมูลแต่ละชุดที่นำมาพิจารณา

ตารางที่ 11 ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณี 1-8

ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)									
กรณี	กรณี	รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย							
		1	2	3	4	5	6	7	8
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	73	-32.00	-25.38	-15.94	-7.92	1.71	5.95	14.38	15.94
	74	-39.79	-33.18	-23.74	-15.71	-6.08	-1.84	6.59	8.15
	75	-51.73	-45.12	-35.67	-27.65	-18.02	-13.78	-5.35	-3.79
	76	-27.33	-20.71	-11.27	-3.25	6.38	10.62	19.05	20.61
	77	-44.95	-38.33	-28.89	-20.87	-11.24	-7.00	1.43	2.99
	78	-56.32	-49.71	-40.27	-32.25	-22.61	-18.38	-9.94	-8.39
	79	-25.14	-18.53	-9.09	-1.06	8.57	12.81	21.24	22.80
	80	-32.72	-26.11	-16.66	-8.64	0.99	5.23	13.66	15.22
	81	-35.68	-29.06	-19.62	-11.60	-1.97	2.27	10.70	12.26
	82	-56.18	-49.57	-40.13	-32.11	-22.47	-18.24	-9.80	-8.25
	83	-29.34	-22.73	-13.29	-5.27	4.36	8.60	17.03	18.59
	84	-41.72	-35.11	-25.66	-17.64	-8.01	-3.77	4.66	6.22
	85	-31.56	-24.95	-15.51	-7.48	2.15	6.39	14.82	16.38
	86	-35.72	-29.11	-19.67	-11.64	-2.01	2.23	10.66	12.22
	87	-41.24	-34.63	-25.19	-17.17	-7.53	-3.30	5.14	6.69
	88	-45.39	-38.78	-29.34	-21.32	-11.69	-7.45	0.99	2.54

ตารางที่ 12 ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณีที่ 9-16

ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)									
กรณีที่		รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย							
		9	10	11	12	13	14	15	16
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	73	21.77	-42.04	-37.40	-29.84	-26.62	-20.70	-15.65	-10.57
	74	13.98	-49.84	-45.19	-37.64	-34.42	-28.49	-23.44	-18.37
	75	2.04	-61.78	-57.13	-49.57	-46.35	-40.43	-35.38	-30.30
	76	26.44	-37.37	-32.73	-25.17	-21.95	-16.03	-10.98	-5.90
	77	8.82	-54.99	-50.35	-42.79	-39.57	-33.65	-28.60	-23.52
	78	-2.56	-66.37	-61.73	-54.17	-50.95	-45.02	-39.98	-34.90
	79	28.63	-35.19	-30.54	-22.99	-19.77	-13.84	-8.79	-3.72
	80	21.05	-42.77	-38.12	-30.56	-27.35	-21.42	-16.37	-11.30
	81	18.09	-45.72	-41.08	-33.52	-30.30	-24.38	-19.33	-14.25
	82	-2.42	-66.23	-61.58	-54.03	-50.81	-44.88	-39.83	-34.76
	83	24.42	-39.39	-34.75	-27.19	-23.97	-18.05	-13.00	-7.92
	84	12.05	-51.77	-47.12	-39.56	-36.34	-30.42	-25.37	-20.29
	85	22.21	-41.61	-36.96	-29.40	-26.19	-20.26	-15.21	-10.14
	86	18.05	-45.77	-41.12	-33.57	-30.35	-24.42	-19.37	-14.30
	87	12.53	-51.29	-46.64	-39.09	-35.87	-29.94	-24.89	-19.82
	88	8.37	-55.44	-50.80	-43.24	-40.02	-34.09	-29.05	-23.97

ตารางที่ 13 ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณีที่ 17-24

ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)									
กรณีที่		รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย							
		17	18	19	20	21	22	23	24
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	73	-9.05	-0.13	2.88	5.90	11.50	20.58	-31.97	-26.21
	74	-16.85	-7.92	-4.92	-1.90	3.70	12.79	-39.76	-34.01
	75	-28.78	-19.86	-16.86	-13.83	-8.23	0.85	-51.70	-45.94
	76	-4.38	4.54	7.55	10.57	16.17	25.25	-27.30	-21.54
	77	-22.00	-13.08	-10.07	-7.05	-1.45	7.63	-44.92	-39.16
	78	-33.38	-24.45	-21.45	-18.43	-12.83	-3.75	-56.29	-50.54
	79	-2.19	6.73	9.73	12.76	18.35	27.44	-25.11	-19.36
	80	-9.77	-0.85	2.15	5.18	10.77	19.86	-32.69	-26.94
	81	-12.73	-3.80	-0.80	2.22	7.82	16.90	-35.65	-29.89
	82	-33.24	-24.31	-21.31	-18.29	-12.69	-3.61	-56.15	-50.40
	83	-6.40	2.53	5.53	8.55	14.15	23.23	-29.32	-23.56
	84	-18.77	-9.85	-6.85	-3.82	1.78	10.86	-41.69	-35.93
	85	-8.61	0.31	3.31	6.34	11.93	21.02	-31.53	-25.78
	86	-12.77	-3.85	-0.85	2.18	7.77	16.86	-35.69	-29.94
	87	-18.30	-9.37	-6.37	-3.35	2.25	11.34	-41.21	-35.46
	88	-22.45	-13.52	-10.52	-7.50	-1.90	7.18	-45.36	-39.61

ตารางที่ 14 ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณีที่ 25-32

ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)									
กรณีที่		รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย							
		25	26	27	28	29	30	31	32
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	73	-21.87	-17.67	-10.59	-7.84	-2.10	1.89	5.20	-24.71
	74	-29.67	-25.46	-18.38	-15.64	-9.89	-5.90	-2.60	-32.50
	75	-41.60	-37.40	-30.32	-27.58	-21.83	-17.84	-14.53	-44.44
	76	-17.20	-13.00	-5.92	-3.17	2.57	6.56	9.87	-20.04
	77	-34.82	-30.62	-23.54	-20.79	-15.05	-11.06	-7.75	-37.66
	78	-46.20	-42.00	-34.91	-32.17	-26.42	-22.43	-19.13	-49.03
	79	-15.02	-10.81	-3.73	-0.99	4.76	8.75	12.05	-17.85
	80	-22.59	-18.39	-11.31	-8.57	-2.82	1.17	4.48	-25.43
	81	-25.55	-21.35	-14.27	-11.52	-5.78	-1.79	1.52	-28.39
	82	-46.06	-41.86	-34.77	-32.03	-26.28	-22.29	-18.99	-48.89
	83	-19.22	-15.02	-7.94	-5.19	0.55	4.54	7.85	-22.06
	84	-31.59	-27.39	-20.31	-17.57	-11.82	-7.83	-4.52	-34.43
	85	-21.44	-17.23	-10.15	-7.41	-1.66	2.33	5.63	-24.27
	86	-25.60	-21.39	-14.31	-11.57	-5.82	-1.83	1.47	-28.43
	87	-31.12	-26.91	-19.83	-17.09	-11.34	-7.35	-4.05	-33.95
	88	-35.27	-31.07	-23.99	-21.24	-15.50	-11.50	-8.20	-38.11

ตารางที่ 15 ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณีที่ 33-40

ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)									
กรณีที่		รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย							
		33	34	35	36	37	38	39	40
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	73	-20.46	-1.92	-34.56	-13.74	-7.39	-2.66	0.86	6.88
	74	-28.25	-9.72	-42.35	-21.54	-15.19	-10.45	-6.93	-0.92
	75	-40.19	-21.66	-54.29	-33.48	-27.12	-22.39	-18.87	-12.85
	76	-15.79	2.75	-29.89	-9.07	-2.72	2.01	5.53	11.55
	77	-33.41	-14.87	-47.51	-26.69	-20.34	-15.61	-12.09	-6.07
	78	-44.78	-26.25	-58.89	-38.07	-31.72	-26.98	-23.46	-17.45
	79	-13.60	4.93	-27.70	-6.89	-0.54	4.20	7.72	13.74
	80	-21.18	-2.65	-35.28	-14.47	-8.12	-3.38	0.14	6.16
	81	-24.14	-5.60	-38.24	-17.42	-11.07	-6.34	-2.82	3.20
	82	-44.64	-26.11	-58.75	-37.93	-31.58	-26.84	-23.32	-17.31
	83	-17.81	0.73	-31.91	-11.09	-4.74	-0.01	3.51	9.53
	84	-30.18	-11.64	-44.28	-23.47	-17.11	-12.38	-8.86	-2.84
	85	-20.02	-1.49	-34.12	-13.31	-6.96	-2.22	1.30	7.32
	86	-24.18	-5.65	-38.28	-17.47	-11.12	-6.38	-2.86	3.16
	87	-29.70	-11.17	-43.81	-22.99	-16.64	-11.90	-8.38	-2.37
	88	-33.86	-15.32	-47.96	-27.14	-20.79	-16.06	-12.54	-6.52

ตารางที่ 16 ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณี 41-48

ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)									
กรณี	กรณีนที่	รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย							
		41	42	43	44	45	46	47	48
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	73	10.90	-34.40	-26.70	-17.34	-9.92	-5.20	-0.40	4.54
	74	3.11	-42.20	-34.49	-25.13	-17.72	-12.99	-8.20	-3.25
	75	-8.83	-54.13	-46.43	-37.07	-29.66	-24.93	-20.14	-15.19
	76	15.57	-29.73	-22.03	-12.67	-5.25	-0.53	4.27	9.21
	77	-2.05	-47.35	-39.65	-30.29	-22.87	-18.15	-13.35	-8.41
	78	-13.43	-58.73	-51.02	-41.67	-34.25	-29.53	-24.73	-19.78
	79	17.76	-27.55	-19.84	-10.48	-3.07	1.66	6.45	11.40
	80	10.18	-35.13	-27.42	-18.06	-10.65	-5.92	-1.13	3.82
	81	7.22	-38.08	-30.38	-21.02	-13.60	-8.88	-4.08	0.86
	82	-13.29	-58.59	-50.88	-41.53	-34.11	-29.39	-24.59	-19.64
	83	13.55	-31.75	-24.05	-14.69	-7.27	-2.55	2.25	7.20
	84	1.18	-44.12	-36.42	-27.06	-19.65	-14.92	-10.13	-5.18
	85	11.34	-33.97	-26.26	-16.90	-9.49	-4.76	0.03	4.98
	86	7.18	-38.13	-30.42	-21.06	-13.65	-8.92	-4.13	0.82
	87	1.66	-43.65	-35.94	-26.58	-19.17	-14.44	-9.65	-4.70
	88	-2.50	-47.80	-40.10	-30.74	-23.32	-18.60	-13.80	-8.85

ตารางที่ 17 ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณี 49-56

ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)									
กรณี	กรณีนที่	รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย							
		49	50	51	52	53	54	55	56
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	73	6.29	-26.41	-15.66	-8.35	-21.13	-11.70	-6.87	-1.16
	74	-1.50	-34.21	-23.45	-16.14	-28.93	-19.49	-14.66	-8.95
	75	-13.44	-46.14	-35.39	-28.08	-40.86	-31.43	-26.60	-20.89
	76	10.96	-21.74	-10.99	-3.68	-16.46	-7.03	-2.20	3.51
	77	-6.66	-39.36	-28.61	-21.30	-34.08	-24.65	-19.82	-14.11
	78	-18.04	-50.74	-39.99	-32.68	-45.46	-36.03	-31.20	-25.49
	79	13.15	-19.56	-8.80	-1.49	-14.27	-4.84	-0.01	5.70
	80	5.57	-27.13	-16.38	-9.07	-21.85	-12.42	-7.59	-1.88
	81	2.61	-30.09	-19.34	-12.03	-24.81	-15.38	-10.55	-4.84
	82	-17.90	-50.60	-39.85	-32.54	-45.32	-35.89	-31.06	-25.35
	83	8.94	-23.76	-13.01	-5.70	-18.48	-9.05	-4.22	1.49
	84	-3.43	-36.13	-25.38	-18.07	-30.85	-21.42	-16.59	-10.88
	85	6.73	-25.98	-15.22	-7.91	-20.69	-11.26	-6.43	-0.72
	86	2.57	-30.14	-19.38	-12.07	-24.85	-15.42	-10.59	-4.88
	87	-2.95	-35.66	-24.90	-17.59	-30.38	-20.94	-16.12	-10.41
	88	-7.11	-39.81	-29.06	-21.75	-34.53	-25.10	-20.27	-14.56

ตารางที่ 18 ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณีที่ 57-64

ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)									
กรณีที่		รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย							
		57	58	59	60	61	62	63	64
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	73	7.63	-34.80	-30.29	-22.38	-17.57	-10.24	-8.89	-0.50
	74	-0.16	-42.59	-38.09	-30.17	-25.36	-18.04	-16.69	-8.30
	75	-12.10	-54.53	-50.02	-42.11	-37.30	-29.97	-28.62	-20.23
	76	12.30	-30.13	-25.62	-17.71	-12.90	-5.57	-4.22	4.17
	77	-5.32	-47.75	-43.24	-35.33	-30.52	-23.19	-21.84	-13.45
	78	-16.70	-59.13	-54.62	-46.71	-41.90	-34.57	-33.22	-24.83
	79	14.49	-27.94	-23.43	-15.52	-10.71	-3.39	-2.04	6.35
	80	6.91	-35.52	-31.01	-23.10	-18.29	-10.97	-9.61	-1.23
	81	3.95	-38.48	-33.97	-26.06	-21.25	-13.92	-12.57	-4.18
	82	-16.56	-58.99	-54.48	-46.57	-41.76	-34.43	-33.08	-24.69
	83	10.28	-32.15	-27.64	-19.73	-14.92	-7.59	-6.24	2.15
	84	-2.09	-44.52	-40.01	-32.10	-27.29	-19.96	-18.61	-10.22
	85	8.07	-34.36	-29.85	-21.94	-17.13	-9.81	-8.45	-0.07
	86	3.91	-38.52	-34.01	-26.10	-21.29	-13.97	-12.62	-4.23
	87	-1.62	-44.05	-39.54	-31.63	-26.82	-19.49	-18.14	-9.75
	88	-5.77	-48.20	-43.69	-35.78	-30.97	-23.64	-22.29	-13.90

ตารางที่ 19 ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณีที่ 65-72

ความเร็วที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)									
กรณีที่		รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย							
		65	66	67	68	69	70	71	72
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	73	3.57	24.45	-37.82	-28.35	-19.96	-18.48	-5.28	-3.61
	74	-4.22	16.66	-45.61	-36.15	-27.76	-26.27	-13.07	-11.40
	75	-16.16	4.72	-57.55	-48.08	-39.70	-38.21	-25.01	-23.34
	76	8.24	29.12	-33.15	-23.68	-15.29	-13.81	-0.61	1.06
	77	-9.38	11.50	-50.77	-41.30	-32.91	-31.43	-18.23	-16.56
	78	-20.76	0.13	-62.14	-52.68	-44.29	-42.81	-29.61	-27.94
	79	10.43	31.31	-30.96	-21.49	-13.11	-11.62	1.58	3.25
	80	2.85	23.73	-38.54	-29.07	-20.69	-19.20	-6.00	-4.33
	81	-0.11	20.77	-41.50	-32.03	-23.64	-22.16	-8.96	-7.29
	82	-20.62	0.27	-62.00	-52.54	-44.15	-42.67	-29.47	-27.80
	83	6.22	27.10	-35.17	-25.70	-17.31	-15.83	-2.63	-0.96
	84	-6.15	14.73	-47.54	-38.07	-29.69	-28.20	-15.00	-13.33
	85	4.01	24.89	-37.38	-27.91	-19.53	-18.04	-4.84	-3.17
	86	-0.15	20.73	-41.54	-32.07	-23.69	-22.20	-9.00	-7.33
	87	-5.67	15.21	-47.06	-37.60	-29.21	-27.73	-14.53	-12.86
	88	-9.83	11.05	-51.21	-41.75	-33.36	-31.88	-18.68	-17.01

ตารางที่ 20 คำนวณน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณี 1-8

ค่าน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลกรัม)									
กรณี	กรณีนีที่	รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย							
		1	2	3	4	5	6	7	8
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	73	770.96	-702.06	-1925.67	-1205.73	1340.64	-3495.49	-3348.87	-3266.53
	74	230.32	-1242.70	-2466.32	-1746.38	800.00	-4036.13	-3889.51	-3807.17
	75	420.84	-1052.18	-2275.80	-1555.86	990.51	-3845.61	-3698.99	-3616.65
	76	-4859.72	-6332.74	-7556.35	-6836.41	-4290.04	-9126.17	-8979.55	-8897.21
	77	-6430.66	-7903.68	-9127.30	-8407.36	-5860.99	-10697.11	-10550.49	-10468.15
	78	-878.39	-2351.41	-3575.02	-2855.08	-308.71	-5144.84	-4998.22	-4915.88
	79	-38680.69	-40153.71	-41377.32	-40657.38	-38111.01	-42947.14	-42800.52	-42718.18
	80	-24124.13	-25597.14	-26820.76	-26100.82	-23554.45	-28390.57	-28243.95	-28161.61
	81	-3283.76	-4756.77	-5980.39	-5260.45	-2714.08	-7550.20	-7403.59	-7321.24
	82	-9781.61	-11254.62	-12478.24	-11758.30	-9211.93	-14048.05	-13901.43	-13819.09
	83	-6976.97	-8449.99	-9673.61	-8953.67	-6407.30	-11243.42	-11096.80	-11014.46
	84	-4840.10	-6313.12	-7536.74	-6816.79	-4270.42	-9106.55	-8959.93	-8877.59
	85	-7858.17	-9331.19	-10554.81	-9834.87	-7288.50	-12124.62	-11978.00	-11895.66
	86	-11823.67	-13296.68	-14520.30	-13800.36	-11253.99	-16090.11	-15943.50	-15861.15
	87	-10447.64	-11920.65	-13144.27	-12424.33	-9877.96	-14714.08	-14567.46	-14485.12
	88	-10160.35	-11633.36	-12856.98	-12137.04	-9590.67	-14426.79	-14280.18	-14197.84

ตารางที่ 21 คำนวณน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณี 9-18

ค่าน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลกรัม)									
กรณี	กรณีนีที่	รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย							
		9	10	11	12	13	14	15	16
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	73	-3803.69	6165.76	13035.83	10833.29	10853.13	8311.43	11551.68	11414.89
	74	-4344.33	5625.11	12495.19	10292.65	10312.49	7770.79	11011.04	10874.24
	75	-4153.82	5815.63	12685.70	10483.17	10503.00	7961.31	11201.55	11064.76
	76	-9434.37	535.08	7405.15	5202.61	5222.45	2680.75	5921.00	5784.21
	77	-11005.31	-1035.87	5834.21	3631.67	3651.51	1109.81	4350.06	4213.26
	78	-5453.04	4516.41	11386.48	9183.94	9203.78	6662.08	9902.33	9765.54
	79	-43255.34	-33285.89	-26415.82	-28618.36	-28598.52	-31140.22	-27899.97	-28036.76
	80	-28698.78	-18729.33	-11859.26	-14061.79	-14041.96	-16583.65	-13343.41	-13480.20
	81	-7858.41	2111.04	8981.11	6778.57	6798.41	4256.72	7496.96	7360.17
	82	-14356.26	-4386.81	2483.26	280.72	300.56	-2241.13	999.11	862.32
	83	-11551.62	-1582.18	5287.89	3085.36	3105.19	563.50	3803.75	3666.95
	84	-9414.75	554.69	7424.77	5222.23	5242.07	2700.37	5940.62	5803.82
	85	-12432.82	-2463.38	4406.70	2204.16	2223.99	-317.70	2922.55	2785.75
	86	-16398.32	-6428.87	441.20	-1761.34	-1741.50	-4283.19	-1042.95	-1179.74
	87	-15022.29	-5052.84	1817.23	-385.31	-365.47	-2907.16	333.08	196.29
	88	-14735.00	-4765.55	2104.52	-98.02	-78.18	-2619.88	620.37	483.58

ตารางที่ 22 คำนวณน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องทางการจราจรซ้ายกรณีที่ 17-24

		ค่าน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลกรัม)							
กรณีที่		รถบรรทุกช่องทางการจราจรซ้าย							
		17	18	19	20	21	22	23	24
รถบรรทุกช่องทางการจราจรขวา	73	11091.29	4255.19	1884.09	4015.06	968.34	11958.57	29359.65	31007.07
	74	10550.65	3714.55	1343.44	3474.42	427.70	11417.92	28819.00	30466.43
	75	10741.16	3905.06	1533.96	3664.94	618.22	11608.44	29009.52	30656.94
	76	5460.61	-1375.49	-3746.59	-1615.61	-4662.34	6327.89	23728.97	25376.39
	77	3889.67	-2946.43	-5317.54	-3186.56	-6233.28	4756.94	22158.02	23805.45
	78	9441.94	2605.84	234.74	2365.72	-681.01	10309.22	27710.30	29357.72
	79	-28360.36	-35196.46	-37567.56	-35436.58	-38483.31	-27493.08	-10092.00	-8444.58
	80	-13803.80	-20639.90	-23011.00	-20880.02	-23926.74	-12936.52	4464.56	6111.98
	81	7036.57	200.47	-2170.63	-39.65	-3086.37	7903.85	25304.93	26952.35
	82	538.72	-6297.38	-8668.48	-6537.50	-9584.22	1406.00	18807.08	20454.50
	83	3343.36	-3492.74	-5863.85	-3732.87	-6779.59	4210.63	21611.71	23259.13
	84	5480.23	-1355.87	-3726.98	-1596.00	-4642.72	6347.51	23748.58	25396.01
	85	2462.16	-4373.94	-6745.05	-4614.07	-7660.79	3329.43	20730.51	22377.93
	86	-1503.34	-8339.44	-10710.54	-8579.56	-11626.28	-636.06	16765.02	18412.44
	87	-127.31	-6963.41	-9334.51	-7203.53	-10250.25	739.97	18141.05	19788.47
	88	159.98	-6676.12	-9047.22	-6916.24	-9962.97	1027.26	18428.34	20075.76

ตารางที่ 23 คำนวณน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องทางการจราจรซ้ายกรณีที่ 25-32

		ค่าน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลกรัม)							
กรณีที่		รถบรรทุกช่องทางการจราจรซ้าย							
		25	26	27	28	29	30	31	32
รถบรรทุกช่องทางการจราจรขวา	73	39255.13	28265.90	30987.17	24452.60	25762.53	5237.58	30330.44	17723.87
	74	38714.49	27725.26	30446.53	23911.96	25221.88	4696.94	29789.80	17183.23
	75	38905.01	27915.77	30637.05	24102.47	25412.40	4887.46	29980.32	17373.74
	76	33624.45	22635.22	25356.49	18821.92	20131.85	-393.10	24699.76	12093.19
	77	32053.51	21064.28	23785.55	17250.98	18560.90	-1964.04	23128.82	10522.24
	78	37605.78	26616.55	29337.82	22803.25	24113.18	3588.23	28681.09	16074.52
	79	-196.52	-11185.75	-8464.48	-14999.05	-13689.12	-34214.07	-9121.20	-21727.78
	80	14360.05	3370.81	6092.09	-442.49	867.44	-19657.50	5435.36	-7171.22
	81	35200.42	24211.18	26932.46	20397.88	21707.81	1182.87	26275.73	13669.15
	82	28702.57	17713.33	20434.61	13900.03	15209.96	-5314.98	19777.88	7171.30
	83	31507.20	20517.96	23239.24	16704.66	18014.59	-2510.35	22582.51	9975.93
	84	33644.07	22654.84	25376.11	18841.54	20151.47	-373.48	24719.38	12112.81
	85	30626.00	19636.77	22358.04	15823.47	17133.39	-3391.55	21701.31	9094.73
	86	26660.51	15671.27	18392.55	11857.97	13167.90	-7357.04	17735.82	5129.24
	87	28036.54	17047.30	19768.58	13234.00	14543.93	-5981.01	19111.85	6505.27
	88	28323.83	17334.59	20055.86	13521.29	14831.22	-5693.72	19399.14	6792.56

ตารางที่ 24 คำนวณน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องทางการจราจรซ้ายกรณีที่ 33-40

		ค่าน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลกรัม)							
กรณีที่		รถบรรทุกช่องทางการจราจรซ้าย							
		33	34	35	36	37	38	39	40
รถบรรทุกช่องทางการจราจรขวา	73	16460.56	18192.99	43791.85	38269.23	37137.81	26181.62	28955.39	16130.61
	74	15919.92	17652.35	43251.20	37728.59	36597.17	25640.97	28414.74	15589.97
	75	16110.44	17842.87	43441.72	37919.10	36787.69	25831.49	28605.26	15780.48
	76	10829.88	12562.31	38161.17	32638.55	31507.14	20550.94	23324.71	10499.93
	77	9258.94	10991.37	36590.22	31067.61	29936.19	18979.99	21753.76	8928.98
	78	14811.21	16543.64	42142.50	36619.88	35488.47	24532.27	27306.04	14481.26
	79	-22991.08	-21258.66	4340.20	-1182.42	-2313.83	-13270.03	-10496.26	-23321.04
	80	-8434.52	-6702.09	18896.76	13374.14	12242.73	1286.53	4060.30	-8764.48
	81	12405.85	14138.28	39737.13	34214.51	33083.10	22126.90	24900.67	12075.89
	82	5908.00	7640.43	33239.28	27716.66	26585.25	15629.05	18402.82	5578.04
	83	8712.63	10445.06	36043.91	30521.30	29389.88	18433.68	21207.45	8382.67
	84	10849.50	12581.93	38180.78	32658.17	31526.75	20570.56	23344.33	10519.55
	85	7831.43	9563.86	35162.71	29640.10	28508.68	17552.48	20326.25	7501.47
	86	3865.94	5598.37	31197.22	25674.60	24543.19	13586.99	16360.76	3535.98
	87	5241.97	6974.40	32573.25	27050.63	25919.22	14963.02	17736.79	4912.01
88	5529.26	7261.69	32860.54	27337.92	26206.51	15250.31	18024.08	5199.30	

ตารางที่ 25 คำนวณน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องทางการจราจรซ้ายกรณีที่ 41-48

		ค่าน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลกรัม)							
กรณีที่		รถบรรทุกช่องทางการจราจรซ้าย							
		41	42	43	44	45	46	47	48
รถบรรทุกช่องทางการจราจรขวา	73	28400.45	47658.25	48151.30	27124.21	30215.18	28714.73	34797.45	29067.71
	74	27859.80	47117.60	47610.65	26583.57	29674.54	28174.09	34256.81	28527.07
	75	28050.32	47308.12	47801.17	26774.09	29865.05	28364.61	34447.32	28717.58
	76	22769.77	42027.57	42520.62	21493.54	24584.50	23084.05	29166.77	23437.03
	77	21198.82	40456.62	40949.67	19922.59	23013.56	21513.11	27595.83	21866.09
	78	26751.10	46008.90	46501.95	25474.87	28565.83	27065.38	33148.10	27418.36
	79	-11051.20	8206.60	8699.65	-12327.43	-9236.47	-10736.92	-4654.20	-10383.94
	80	3505.36	22763.16	23256.21	2229.13	5320.09	3819.65	9902.36	4172.62
	81	24345.73	43603.53	44096.58	23069.50	26160.46	24660.01	30742.73	25012.99
	82	17847.88	37105.68	37598.73	16571.65	19662.61	18162.17	24244.88	18515.14
	83	20652.51	39910.31	40403.36	19376.28	22467.24	20966.80	27049.52	21319.78
	84	22789.39	42047.19	42540.24	21513.15	24604.12	23103.67	29186.39	23456.65
	85	19771.31	39029.11	39522.16	18495.08	21586.05	20085.60	26168.32	20438.58
	86	15805.82	35063.62	35556.67	14529.59	17620.55	16120.10	22202.82	16473.08
	87	17181.85	36439.65	36932.70	15905.62	18996.58	17496.14	23578.85	17849.11
88	17469.14	36726.94	37219.99	16192.91	19283.87	17783.42	23866.14	18136.40	

ตารางที่ 26 คำนวณน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณี 49-56

		ค่าน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลกรัม)							
กรณี	กรณียุติ	รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย							
		49	50	51	52	53	54	55	56
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	73	35355.82	25264.96	24275.50	34555.67	39524.74	39167.27	7252.28	26945.63
	74	34815.18	24724.31	23734.85	34015.02	38984.10	38626.63	6711.64	26404.99
	75	35005.69	24914.83	23925.37	34205.54	39174.62	38817.15	6902.16	26595.51
	76	29725.14	19634.28	18644.82	28924.99	33894.06	33536.59	1621.60	21314.95
	77	28154.19	18063.33	17073.87	27354.04	32323.12	31965.65	50.66	19744.01
	78	33706.47	23615.61	22626.15	32906.32	37875.39	37517.92	5602.93	25296.28
	79	-4095.83	-14186.69	-15176.15	-4895.98	73.09	-284.38	-32199.37	-12506.02
	80	10460.73	369.87	-619.59	9660.58	14629.66	14272.19	-17642.80	2050.55
	81	31301.10	21210.24	20220.78	30500.95	35470.02	35112.55	3197.56	22890.91
	82	24803.25	14712.39	13722.93	24003.10	28972.18	28614.70	-3300.28	16393.07
	83	27607.88	17517.02	16527.56	26807.73	31776.81	31419.34	-495.65	19197.70
	84	29744.76	19653.90	18664.44	28944.61	33913.68	33556.21	1641.22	21334.57
	85	26726.68	16635.82	15646.36	25926.53	30895.61	30538.14	-1376.85	18316.50
	86	22761.19	12670.33	11680.87	21961.04	26930.12	26572.64	-5342.34	14351.00
	87	24137.22	14046.36	13056.90	23337.07	28306.15	27948.67	-3966.31	15727.04
	88	24424.51	14333.65	13344.19	23624.36	28593.43	28235.96	-3679.03	16014.32

ตารางที่ 27 คำนวณน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณี 57-64

		ค่าน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลกรัม)							
กรณี	กรณียุติ	รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย							
		57	58	59	60	61	62	63	64
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	73	9256.02	30619.55	37298.11	8817.45	37083.82	8186.31	35713.03	36372.98
	74	8715.38	30078.90	36757.47	8276.81	36543.18	7645.66	35172.38	35832.33
	75	8905.90	30269.42	36947.98	8467.33	36733.70	7836.18	35362.90	36022.85
	76	3625.35	24988.87	31667.43	3186.77	31453.14	2555.63	30082.35	30742.30
	77	2054.40	23417.92	30096.48	1615.83	29882.20	984.68	28511.40	29171.35
	78	7606.68	28970.20	35648.76	7168.10	35434.47	6536.96	34063.68	34723.63
	79	-30195.62	-8832.10	-2153.54	-30634.20	-2367.83	-31265.34	-3738.62	-3078.67
	80	-15639.06	5724.46	12403.02	-16077.63	12188.74	-16708.78	10817.94	11477.89
	81	5201.31	26564.83	33243.39	4762.74	33029.11	4131.59	31658.31	32318.26
	82	-1296.54	20066.98	26745.54	-1735.11	26531.26	-2366.26	25160.46	25820.41
	83	1508.09	22871.61	29550.17	1069.52	29335.89	438.37	27965.09	28625.04
	84	3644.96	25008.48	31687.05	3206.39	31472.76	2575.24	30101.97	30761.92
	85	626.89	21990.41	28668.97	188.32	28454.69	-442.83	27083.89	27743.84
	86	-3338.60	18024.92	24703.48	-3777.17	24489.20	-4408.32	23118.40	23778.35
	87	-1962.57	19400.95	26079.51	-2401.14	25865.23	-3032.29	24494.43	25154.38
	88	-1675.28	19688.24	26366.80	-2113.86	26152.51	-2745.00	24781.72	25441.67

ตารางที่ 28 คำนวณน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อรถบรรทุกช่องการจราจรซ้ายกรณี 65-72

ค่าน้ำหนักที่ต่างกันของแต่ละชุดข้อมูล (กิโลกรัม)									
กรณี	กรณียุติ	รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย							
		65	66	67	68	69	70	71	72
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	73	8443.91	11165.06	32066.75	37508.24	40475.14	34227.96	34924.11	35255.04
	74	7903.27	10624.42	31526.10	36967.59	39934.50	33687.32	34383.47	34714.40
	75	8093.78	10814.94	31716.62	37158.11	40125.02	33877.83	34573.98	34904.91
	76	2813.23	5534.38	26436.07	31877.56	34844.47	28597.28	29293.43	29624.36
	77	1242.29	3963.44	24865.12	30306.61	33273.52	27026.34	27722.48	28053.42
	78	6794.56	9515.71	30417.40	35858.89	38825.80	32578.61	33274.76	33605.69
	79	-31007.74	-28286.59	-7384.90	-1943.41	1023.50	-5223.69	-4527.54	-4196.61
	80	-16451.18	-13730.02	7171.66	12613.15	15580.06	9332.87	10029.02	10359.95
	81	4389.19	7110.35	28012.03	33453.52	36420.43	30173.24	30869.39	31200.32
	82	-2108.66	612.50	21514.18	26955.67	29922.58	23675.39	24371.54	24702.47
	83	695.98	3417.13	24318.81	29760.30	32727.21	26480.02	27176.17	27507.10
	84	2832.85	5554.00	26455.69	31897.17	34864.08	28616.90	29313.05	29643.98
	85	-185.22	2535.93	23437.61	28879.10	31846.01	25598.83	26294.97	26625.91
	86	-4150.72	-1429.56	19472.12	24913.61	27880.52	21633.33	22329.48	22660.41
87	-2774.69	-53.53	20848.15	26289.64	29256.55	23009.36	23705.51	24036.44	
88	-2487.40	233.75	21135.44	26576.93	29543.84	23296.65	23992.80	24323.73	

4. ผลเนื่องจากความแตกต่างของตัวแปร โดยใช้ข้อมูลรถบรรทุกสอบเทียบ

ตารางที่ 29 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกรวมของรถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย

ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกรวมของรถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย										
กรณียุติ	GVW (ตัน)	รถบรรทุกช่องการจราจรซ้าย								
		10	15	20	25	30	35	40	45	50
รถบรรทุกช่องการจราจรขวา	50	10000.28	15000.28	20000.28	25000.28	30000.28	35000.28	40000.28	45000.28	50000.28
	45	10000.25	15000.25	20000.25	25000.25	30000.25	35000.25	40000.25	45000.25	50000.25
	40	10000.22	15000.22	20000.22	25000.22	30000.22	35000.22	40000.22	45000.22	50000.22
	35	10000.20	15000.20	20000.20	25000.20	30000.20	35000.20	40000.20	45000.20	50000.20
	30	10000.17	15000.17	20000.17	25000.17	30000.17	35000.17	40000.17	45000.17	50000.17
	25	10000.14	15000.14	20000.14	25000.14	30000.14	35000.14	40000.14	45000.14	50000.14
	20	10000.11	15000.11	20000.11	25000.11	30000.11	35000.11	40000.11	45000.11	50000.11
	15	10000.08	15000.08	20000.08	25000.08	30000.08	35000.08	40000.08	45000.08	50000.08
10	10000.06	15000.06	20000.06	25000.06	30000.06	35000.06	40000.06	45000.06	50000.06	

ตารางที่ 30 ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกทุกช่องของการจราจรขวา

ผลการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกรวมของรถบรรทุกช่องจราจรขวา										
		รถบรรทุกช่องจราจรซ้าย								
	GVW (ตัน)	10	15	20	25	30	35	40	45	50
รถบรรทุกช่องจราจรขวา	50	49999.61	49999.61	49999.61	49999.61	49999.61	49999.61	49999.61	49999.61	49999.61
	45	44999.65	44999.65	44999.65	44999.65	44999.65	44999.65	44999.65	44999.65	44999.65
	40	39999.68	39999.68	39999.68	39999.68	39999.68	39999.68	39999.68	39999.68	39999.68
	35	34999.72	34999.72	34999.72	34999.72	34999.72	34999.72	34999.72	34999.72	34999.72
	30	29999.76	29999.76	29999.76	29999.76	29999.76	29999.76	29999.76	29999.76	29999.76
	25	24999.80	24999.80	24999.80	24999.80	24999.80	24999.80	24999.80	24999.80	24999.80
	20	19999.84	19999.84	19999.84	19999.84	19999.84	19999.84	19999.84	19999.84	19999.84
	15	14999.88	14999.88	14999.88	14999.88	14999.88	14999.88	14999.88	14999.88	14999.88
	10	9999.92	9999.92	9999.92	9999.92	9999.92	9999.92	9999.92	9999.92	9999.92

ตารางที่ 31 ผลกระทบการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกรวมของรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย

ผลกระทบการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกรวมของรถบรรทุกช่องจราจรซ้าย										
		รถบรรทุกช่องจราจรซ้าย								
	GVW (ตัน)	10	15	20	25	30	35	40	45	50
รถบรรทุกช่องจราจรขวา	50	0.00281	0.00187	0.00141	0.00112	0.00094	0.00080	0.00070	0.00062	0.00056
	45	0.00253	0.00169	0.00127	0.00101	0.00084	0.00072	0.00063	0.00056	0.00051
	40	0.00225	0.00150	0.00112	0.00090	0.00075	0.00064	0.00056	0.00050	0.00045
	35	0.00197	0.00131	0.00098	0.00079	0.00066	0.00056	0.00049	0.00044	0.00039
	30	0.00169	0.00112	0.00084	0.00067	0.00056	0.00048	0.00042	0.00037	0.00034
	25	0.00141	0.00094	0.00070	0.00056	0.00047	0.00040	0.00035	0.00031	0.00028
	20	0.00112	0.00075	0.00056	0.00045	0.00037	0.00032	0.00028	0.00025	0.00022
	15	0.00084	0.00056	0.00042	0.00034	0.00028	0.00024	0.00021	0.00019	0.00017
	10	0.00056	0.00037	0.00028	0.00022	0.00019	0.00016	0.00014	0.00012	0.00011

ตารางที่ 32 ผลกระทบการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกรวมของรถบรรทุกช่องจราจรขวา

ผลกระทบการพิจารณาน้ำหนักบรรทุกรวมของรถบรรทุกช่องจราจรขวา										
		รถบรรทุกช่องจราจรซ้าย								
	GVW (ตัน)	10	15	20	25	30	35	40	45	50
รถบรรทุกช่องจราจรขวา	50	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889
	45	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889
	40	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889
	35	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889
	30	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889
	25	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889
	20	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889
	15	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889
	10	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889	-0.0007889



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิชุดา จินศรีคง เกิดวันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ.2535 มีภูมิลำเนาอยู่ที่จังหวัด นครศรีธรรมราช เป็นลูกสาวของนายไพโรจน์ จินศรีคง และนางวรรณา จินศรีคง สำเร็จ การศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมบัณฑิต (วิศวกรรมโยธาและการบริหารการ ก่อสร้าง) ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2557 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขา วิศวกรรมโครงสร้าง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2558

