

การเพิ่มความถูกต้องของการหาหน้าหน้ากรณบรรทุกขณะเคลื่อนที่ด้วยเทคนิคการคำนวณซ้ำ



นาย ธวัช อัครวิทยาภูมิ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2685-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I2104 8617

ACCURACY IMPROVEMENT OF MOVING TRUCK WEIGHT IDENTIFICATION BY ITERATION  
TECHNIQUE

Mr. Tawat Akarawittayapoom

ศูนย์วิทยทรัพยากร

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

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University


Academic Year 2002

ISBN 974-17-2685-6

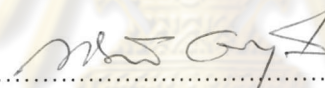
หัวข้อวิทยานิพนธ์ : การเพิ่มความถูกต้องของการหาน้ำหนักบรรทุกขณะเคลื่อนที่ด้วย  
เทคนิคการคำนวณซ้ำ  
โดย : นายธวัช อัครวิทยานุมิ  
สาขาวิชา : วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว


---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติวี)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ธัญวัฒน์ โพธิศิริ)

ศูนย์วิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธวัช อัครวิทยานุกูมิ : การเพิ่มความถูกต้องของการหาน้ำหนักรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่ด้วยเทคนิคการ  
คำนวณซ้ำ. (ACCURACY IMPROVEMENT OF MOVING TRUCK WEIGHT IDENTIFICATION BY  
ITERATION METHOD)

อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว, 89 หน้า, ISBN 974-17-2685-6

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการหาน้ำหนักรถบรรทุกขณะเคลื่อนที่บนสะพาน โดยใช้สัญญาณโมเมนต์ของ  
สะพานที่แต่ละหน้าตัด ความเร็วรถบรรทุก จำนวนเพลลา และระยะห่างระหว่างเพลลาของรถบรรทุก มาเป็นข้อมูล  
ในการหาน้ำหนักรถบรรทุก และได้มีการนำเทคนิคการคำนวณซ้ำเข้ามาช่วยในการคำนวณเพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักที่  
ถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยในส่วนแรกนั้นจะเป็นการจำลองการวิ่งของรถบรรทุกผ่านสะพานขึ้นบนคอมพิวเตอร์ เพื่อ  
ทำการศึกษาถึงผลกระทบจากตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการหาน้ำหนัก ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าพารามิเตอร์  
ที่เหมาะสม (1) ความเร็วของรถบรรทุก ความขรุขระของผิวทาง อัตราส่วนของน้ำหนักเพลลาหน้าต่อน้ำหนัก  
เพลลาหลัง และค่าสถิติของสปริงที่เพลลาของรถบรรทุก ซึ่งจากการศึกษาจะได้ว่า ผลของความเร็วของ  
รถบรรทุกกับความขรุขระของผิวทาง จะมีผลกระทบมากกว่าตัวแปรอื่นๆ

ในส่วนที่สอง แบบจำลองย่อยของรถบรรทุกและสะพานได้ถูกจำลองขึ้น และนำมาทำการหา  
น้ำหนักแทนการจำลองขึ้นบนคอมพิวเตอร์ดังที่ได้กล่าวมา ซึ่งจะได้ทำการทดสอบด้วยแบบจำลองย่อย และ  
ทำการศึกษาถึงความถูกต้องของการหาน้ำหนัก

จากการทดสอบเป็นจำนวน 96 การทดสอบได้มีการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักรถบรรทุก ความเร็ว  
รถบรรทุก และอัตราส่วนของน้ำหนักเพลลาหน้าต่อเพลลาหลัง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า เทคนิคการคำนวณซ้ำนั้น  
สามารถเพิ่มความถูกต้องในการคำนวณน้ำหนักได้มากขึ้นกว่าวิธีการปกติ ซึ่งค่าความคลาดของน้ำหนักรวม  
รถบรรทุก น้ำหนักเพลลาหลัง และน้ำหนักเพลลาน้ำหนักไม่เกิน 5% 12% และ 39% ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

ปีการศึกษา.....2545.....

ลายมือชื่อนิสิต ๘๖ อัครวิทยานุกูมิ.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

MR. TAWAT AKARAWITTAYAPOOM : ACCURACY IMPROVEMENT OF MOVING TRUCK WEIGHT IDENTIFICATION BY ITERATION METHOD

THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. TOSPOL PINKAEW, 89 pp, ISBN 974-17-2685-6

This research was conducted on the truck weight identification while moving on the bridge. The moment signals from various bridge sections, truck velocity, number of axles, the distance between axles were used as input data. The main objective of the research is to improve the existing identification accuracy by adopting the iteration technique. Moreover, the iteration method was used to facilitate in this calculation in order to increase the accuracy of the result. In the first part, the model of a truck traveling on a bridge was simulated using computer. The influences from various variables on identification accuracy such as parameter ( $\lambda$ ), truck velocity, rough surface of the bridge, ratio of front axle weight to back axle weight, and spring stiffness of the axle were studied. As a result, it was found that the velocity and the roughness of the surface have more influence than other variables.

In the second part, the scaled models of the truck and the bridge were constructed and were employed instead of the previous computer models used in the first part. With these experimental models, the accuracy of truck weight identification was again studied.

About 96 case of experiment having various truck weights, truck speeds and the weight ratios of front axle to rear axle were conducted. Based on the obtained results, it was found that the iteration technique can substantially improve the identification accuracy over the conventional method. This improvement raises the accuracy to be within 5%, 12% and 39% for total, rear axle and front axle weights, respectively.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department..... CIVIL ENGINEERING.....

Concentration..... CIVIL ENGINEERING.....

Academic year..... 2002.....

Student's signature Tawat Akarawittayapoom

Advisor's signature Tospol Pinkaew

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือสนับสนุนอย่างดียิ่งจากท่านเหล่านี้ ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำการจัดทำวิทยานิพนธ์นี้ให้มีความสมบูรณ์มากที่สุด ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติรี ที่ได้ให้ความกรุณารับเป็นประธานของคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งได้ให้ความกรุณาตรวจแก้และให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์นี้ อาจารย์ ดร. ธัญวัฒน์ โพธิศิริ ที่ได้ให้ความกรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งได้ให้ความกรุณาตรวจแก้และให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์นี้ บริษัท นีโอเวฟ จำกัด ดร. เฉลิมพล โล่ห์รัตนเสนห์ และคุณจรรยา ทัพพัภกร ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือในการทำการทดสอบ รวมทั้งยังได้ให้ความกรุณาในการซ่อมแซมเครื่องมือต่างๆ และให้คำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่างๆได้เป็นอย่างดี พี่ๆที่ควบคุมห้องปฏิบัติการโยธา และพี่ๆที่ควบคุมห้องปฏิบัติการคอนกรีต ที่ได้ให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

นอกจากบุคคลท่านต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังได้รับความช่วยเหลือจากหน่วยงานบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้เงินทุนสนับสนุนในการศึกษาวิจัย

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา พี่น้อง และ เพื่อนๆ ที่ได้ให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมทั้งได้ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยในการศึกษาเป็นอย่างดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฎ
สารบัญภาพ .....	ฏ
บทที่	
1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมา .....	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา .....	2
1.3 วัตถุประสงค์ .....	5
1.4 ขอบเขตการวิจัย .....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	6
1.6 การดำเนินงานวิจัย .....	6
2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	7
2.1 การสร้างรูปแบบจำลองเพื่อจำลองความเครียด .....	7
2.1.1 การจำลองรูปแบบปฏิกิริยาตอบสนองซึ่งกันและกันระหว่างสะพานกับรถบรรทุก .....	7
2.1.2 การสร้างสมการการเคลื่อนที่ของปฏิกิริยาตอบสนองซึ่งกันและกัน ระหว่างสะพานกับรถบรรทุก .....	8
2.1.3 การหาความเครียดจากแบบจำลอง .....	9
2.2 การหาน้ำหนักรถขณะที่ยืดเคลื่อนที่ .....	10
2.2.1 การจำลองด้วยชิ้นส่วนคาน .....	11
2.2.2 การหาเมตริกซ์ความหน่วง (damping matrix) ของระบบ .....	14
2.2.3 การหาแรงที่ขั้วจากแรงภายนอกที่มากระทำ .....	16
2.2.4 การสร้างสมการการเคลื่อนที่ .....	17
2.2.5 วิธีการหาเมตริกซ์ $F$ .....	18
2.2.6 หลักการหาน้ำหนัก .....	19
2.2.7 การวัดความเครียด .....	20
2.2.8 ไดนามิกโปรแกรมมิง (Dynamic Programming) .....	20
2.2.9 ขั้นตอนการคำนวณ .....	23
2.3 วิธีการคำนวณซ้ำ .....	24

บทที่	หน้า
3 การหาน้ำหนักรถบรรทุกโดยเทคนิคการคำนวณซ้ำ .....	28
3.1 แบบจำลองย่อยส่วนของสะพานและรถบรรทุก .....	28
3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม .....	29
3.3 ตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการหาน้ำหนักรถบรรทุก .....	32
3.3.1 ผลกระทบจากความเร็วยานของรถบรรทุก .....	34
3.3.2 ผลกระทบจากความขรุขระของผิวทาง .....	35
3.3.3 ผลกระทบจากอัตราส่วนของน้ำหนักเพลาหน้ากับเพลาหลัง .....	37
3.3.4 ผลกระทบจากค่าสถิติเนสของสปริงที่เพลาของรถของรถบรรทุก .....	38
3.4 ผลกระทบเนื่องจากความเร็วและความขรุขระที่มีต่อการหาน้ำหนักรถบรรทุก .....	40
3.5 การหาน้ำหนักรถบรรทุกเมื่อมีสัญญาณรบกวน .....	41
3.6 ผลกระทบเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ใช้ในการหาน้ำหนักรถบรรทุก .....	45
4 การออกแบบและติดตั้งแบบจำลองย่อยส่วน .....	47
4.1 แบบจำลองย่อยส่วนของรถบรรทุก .....	47
4.2 แบบจำลองย่อยส่วนของสะพาน .....	48
4.3 ขั้นตอนการติดตั้งสเตรนเกจและตำแหน่งการติดตั้งของสเตรนเกจ .....	50
4.3.1 ขั้นตอนการติดตั้งสเตรนเกจ .....	50
4.3.2 ตำแหน่งที่ติดตั้งสเตรนเกจ .....	51
4.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ .....	52
4.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บสัญญาณ .....	52
4.4.2 ตัวเซนเซอร์ที่ใช้หาตำแหน่งของรถ .....	53
4.5 การตรวจสอบการทำงานของสเตรนเกจ .....	55
5 การเปรียบเทียบแบบจำลอง .....	60
5.1 การหาคุณสมบัติพื้นฐานของสะพาน .....	60
5.2 การเปรียบเทียบแบบจำลอง .....	61
6 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ความถูกต้องของการทำนายน้ำหนัก .....	70
6.1 การตรวจสอบผลของพารามิเตอร์ .....	70
6.2 กรณีทดสอบทำนายน้ำหนักรถบรรทุกจำลอง .....	71
6.3 กรณีสุ่มทำนายน้ำหนักรถบรรทุกจำลอง .....	76
7 สรุปผล .....	84
รายการอ้างอิง .....	87
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	89



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดสอบผลของค่าพารามิเตอร์ .....	31
ตารางที่ 3.2 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดสอบในกรณีทั่วไป .....	32
ตารางที่ 4.1 ค่าความเครียดที่ตำแหน่งสเตรนเกจตัวต่างๆ .....	56
ตารางที่ 5.1 ค่าน้ำหนักเพลาน้ำ,เพลาลัง และน้ำหนักรวม และเปอร์เซ็นต์ความเคลื่อน .....	68
ตารางที่ 6.1 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดสอบผลของค่าพารามิเตอร์ .....	70
ตารางที่ 6.2 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดสอบการทายน้ำหนัก .....	71
ตารางที่ 6.3 ค่าน้ำหนักของเพลาน้ำ,เพลาลัง และน้ำหนักรวมของรถบรรทุกที่ แต่ละการทดสอบ .....	72
ตารางที่ 6.4 ค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดสอบผลของค่าพารามิเตอร์ .....	76
ตารางที่ 6.5 ค่าน้ำหนักของเพลาน้ำ,เพลาลัง และน้ำหนักรวมของรถบรรทุก สำหรับอัตราส่วนที่ 1 .....	77
ตารางที่ 6.6 ค่าน้ำหนักของเพลาน้ำ,เพลาลัง และน้ำหนักรวมของรถบรรทุก สำหรับอัตราส่วนที่ 2 .....	78
ตารางที่ 6.7 ค่าน้ำหนักของเพลาน้ำ,เพลาลัง และน้ำหนักรวมของรถบรรทุก สำหรับอัตราส่วนที่ 3 .....	79
ตารางที่ 6.8 ค่าน้ำหนักของเพลาน้ำ,เพลาลัง และน้ำหนักรวมของรถบรรทุก สำหรับอัตราส่วนที่ 4 .....	80
ตารางที่ 6.9 ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักที่ความน่าจะเป็น 95% .....	83

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปแบบจำลองระหว่างสะพานกับรถบรรทุก .....	7
รูปที่ 2.2 ความเค้นที่หน้าตัดใด ๆ ของคาน เนื่องจากน้ำหนักบรรทุก .....	9
รูปที่ 2.3 แบบจำลองคานของออยเลอร์-เบอร์นูลี .....	11
รูปที่ 2.4 แบบจำลองชิ้นส่วนของคาน .....	11
รูปที่ 2.5 แรงที่ขั้วเนื่องจากแรงภายนอกที่มากกระทำ .....	16
รูปที่ 2.6 ค่าน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากไดนามิคโปรแกรมมิง .....	24
รูปที่ 2.7 ค่าความเครียดที่วัดจริงและค่าความเครียดที่คำนวณจากไดนามิคโปรแกรมมิง .....	25
รูปที่ 2.8 ค่าน้ำหนักเนื่องจากผลทางสถิติ .....	25
รูปที่ 2.9 ค่าความเครียดเนื่องจากผลทางสถิติ .....	26
รูปที่ 2.10 ค่าความเครียดเนื่องจากผลทางพลศาสตร์ .....	27
รูปที่ 3.1 ขนาดของสะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก .....	30
รูปที่ 3.2 ขนาดของรถบรรทุก .....	30
รูปที่ 3.3 ค่าน้ำหนักเมื่อกำหนดจากค่าพารามิเตอร์เท่ากับ 10 และ 0.5 .....	29
รูปที่ 3.4 ค่าน้ำหนักเมื่อใช้เทคนิคการคำนวณซ้ำ โดยค่าพารามิเตอร์เท่ากับ 10 .....	30
รูปที่ 3.5 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางสถิติที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ .....	31
รูปที่ 3.6 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางพลศาสตร์ที่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ .....	31
รูปที่ 3.7 ค่าน้ำหนักเพลาน้ำ เพลาลง และน้ำหนักรวม ในแต่ละรอบของการคำนวณ .....	32
รูปที่ 3.8 ค่าน้ำหนักรวม และน้ำหนักรวมทางสถิติในแต่ละรอบของการคำนวณ .....	33
รูปที่ 3.9 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางสถิติในแต่ละรอบของการคำนวณ .....	33
รูปที่ 3.10 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางพลศาสตร์ในแต่ละรอบของการคำนวณ .....	34
รูปที่ 3.11 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางสถิติที่ความเร็วต่างๆ .....	34
รูปที่ 3.12 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางพลศาสตร์ที่ความเร็วต่างๆ .....	35
รูปที่ 3.13 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางสถิติที่ความขรุขระต่างๆ .....	36
รูปที่ 3.14 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางพลศาสตร์ที่ความขรุขระต่างๆ .....	36
รูปที่ 3.15 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางสถิติที่อัตราส่วนเพลามากมาย .....	37
รูปที่ 3.16 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางพลศาสตร์ที่อัตราส่วนเพลามากมาย .....	37
รูปที่ 3.17 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางสถิติที่เปอร์เซ็นต์ของค่าสถิติพิเศษต่างๆ .....	38
รูปที่ 3.18 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางพลศาสตร์ที่เปอร์เซ็นต์ของค่าสถิติพิเศษต่างๆ .....	39
รูปที่ 3.19 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางสถิติทั้งก่อนและหลัง จากผ่านการคำนวณซ้ำ .....	40
รูปที่ 3.20 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางพลศาสตร์ทั้งก่อนและหลัง จากผ่านการคำนวณซ้ำ .....	41
รูปที่ 3.21 สัญญาณรบกวน .....	42

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ฐ

	หน้า
รูปที่ 3.22 ขนาดของสัญญาณรบกวนที่ความถี่ต่างๆ .....	42
รูปที่ 3.23 สัญญาณที่ทำการเก็บวัดมาได้ซึ่งมีสัญญาณรบกวนปนอยู่ .....	43
รูปที่ 3.24 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางสถิติที่เปอร์เซ็นต์ของ สัญญาณรบกวนต่างๆ .....	43
รูปที่ 3.25 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางพลศาสตร์ที่เปอร์เซ็นต์ของ สัญญาณรบกวนต่างๆ .....	44
รูปที่ 3.26 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางสถิติที่ระยะห่างระหว่างเพลาค่าต่างๆ .....	45
รูปที่ 3.27 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางพลศาสตร์ที่ระยะห่างระหว่างเพลาค่าต่างๆ .....	46
รูปที่ 4.1 แบบจำลองย่อส่วนรถบรรทุก .....	47
รูปที่ 4.2 ขนาดของแบบจำลองย่อส่วนของรถบรรทุก .....	48
รูปที่ 4.3 แบบจำลองสะพานทั้งสามช่วง .....	48
รูปที่ 4.4 รางอลูมิเนียมรูปตัวยูที่ติดตั้งบนสะพาน .....	49
รูปที่ 4.5 ลักษณะน้ำหนักกระทำแบบจุดบนสะพาน .....	50
รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการติดตั้งสเตรนเกจ .....	51
รูปที่ 4.7ก ตำแหน่งในการติดตั้งสเตรนเกจใต้สะพาน .....	51
รูปที่ 4.7ข ตำแหน่งในการติดตั้งสเตรนเกจใต้สะพาน .....	52
รูปที่ 4.8 รูปกล่องบริจคอมพิวเตอร์ .....	52
รูปที่ 4.9 รูปดาต้าลอคเกอร์ .....	53
รูปที่ 4.10 เซนเซอร์ที่ติดตั้งไว้ได้แบบจำลองรถบรรทุก .....	53
รูปที่ 4.11 รูปตัวเซนเซอร์วัดความเร็ว .....	54
รูปที่ 4.12 แถบที่ขาวดำ .....	54
รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ตัวเซนเซอร์เก็บข้อมูล .....	54
รูปที่ 4.14 การทดสอบโดยวางน้ำหนักที่กลางสะพาน .....	55
รูปที่ 4.15 สัญญาณที่เก็บได้ที่ตำแหน่งกลางสะพาน .....	55
รูปที่ 4.16 ลักษณะการเคลื่อนที่ของตุ้มน้ำหนัก .....	57
รูปที่ 4.17 การทดสอบโดยวางน้ำหนักที่ริมสะพานแล้วเคลื่อนที่ไปอีกฝั่งทีละ 5 cm .....	57
รูปที่ 4.18 ค่าความเครียดของสเตรนเกจบนหน้าตัด A .....	58
รูปที่ 4.19 ค่าความเครียดของสเตรนเกจบนหน้าตัด B .....	58
รูปที่ 4.20 ค่าความเครียดของสเตรนเกจบนหน้าตัด C .....	59
รูปที่ 4.21 ค่าความเครียดของสเตรนเกจที่เฉลี่ยเป็นกลุ่ม .....	59
รูปที่ 5.1 สัญญาณการสั่นไหวแบบอิสระ .....	60
รูปที่ 5.2 สัญญาณบน frequency domain .....	61
รูปที่ 5.3 การทดสอบที่ความเร็วต่างๆ .....	62

	หน้า
รูปที่ 5.4 ค่าโมเมนต์ที่ตำแหน่ง L/3 ของสะพาน .....	63
รูปที่ 5.5 ค่าโมเมนต์ที่ตำแหน่ง L/2 ของสะพาน .....	63
รูปที่ 5.6 ค่าโมเมนต์ที่ตำแหน่ง 2L/3 ของสะพาน .....	64
รูปที่ 5.7 น้ำหนักเพลาหน้า,เพลาหลังและน้ำหนักรวมของรถบรรทุกทางพลศาสตร์ .....	64
รูปที่ 5.8 น้ำหนักรวมของรถบรรทุกทางสถิต .....	65
รูปที่ 5.9 ค่าโมเมนต์หลังจากปรับแก้ที่ตำแหน่ง L/3 ของสะพาน .....	65
รูปที่ 5.10 ค่าโมเมนต์หลังจากปรับแก้ที่ตำแหน่ง L/2 ของสะพาน .....	66
รูปที่ 5.11 ค่าโมเมนต์หลังจากปรับแก้ที่ตำแหน่ง 2L/3 ของสะพาน .....	66
รูปที่ 5.12 น้ำหนักเพลาหน้า,เพลาหลังและน้ำหนักรวมของรถบรรทุกทางพลศาสตร์ หลังจากทำการปรับแก้ .....	67
รูปที่ 5.13 น้ำหนักรวมของรถบรรทุกทางสถิตหลังจากทำการปรับแก้ .....	67
รูปที่ 6.1 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางสถิตที่ค่าพารามิเตอร์ ณ ความเร็ว 0.3m/s .....	70
รูปที่ 6.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางสถิตที่ค่าพารามิเตอร์ ณ ความเร็ว 0.6m/s .....	71
รูปที่ 6.3 ค่าน้ำหนักทางสถิตที่การคำนวณซ้ำแต่ละรอบ ณ ความเร็ว 0.6 m/s .....	74
รูปที่ 6.4 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางสถิตที่การคำนวณซ้ำ แต่ละรอบ ณ ความเร็ว 0.6 m/s .....	74
รูปที่ 6.5 ค่าน้ำหนักทางสถิตที่การคำนวณซ้ำแต่ละรอบ ณ ความเร็ว 1.0 m/s .....	75
รูปที่ 6.6 ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางสถิตที่การคำนวณซ้ำ แต่ละรอบ ณ ความเร็ว 0.6 m/s .....	75
รูปที่ 6.7 ค่าน้ำหนักเพลาหน้าที่หายได้เทียบกับน้ำหนักเพลาหน้าจริง .....	81
รูปที่ 6.8 ค่าน้ำหนักเพลาหลังที่หายได้เทียบกับน้ำหนักเพลาหลังจริง .....	81
รูปที่ 6.9 ค่าน้ำหนักรวมของรถบรรทุกหายได้เทียบกับน้ำหนักรวมของรถบรรทุกจริง .....	82
รูปที่ 6.10 ค่าผลต่างระหว่างน้ำหนักที่หายได้กับน้ำหนักจริงของเพลาหน้าและหลัง กับครั้งที่ของการทดสอบ .....	82