การศึกษาการออกแบบโครงกรอบรถบรรทุกโดยการคำนวณความเค้นจากภาระแบบสถิต

นายอมรศักดิ์ ฉ่ำแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2935-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# STUDY OF A DESIGN METHOD FOR TRUCK CHASSIS UNDER STATIC LOADING BY STRESS CALCULATIONS

Mr.Amonsak Chamkaew

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

ISBN 974-53-2935-5

481671

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การศึกษาการออกแบบโครงกรอบรถบรรทุกโดยการคำนวณความเค้นจากภาระแบบสถิต |
| โดย | นายอมรศักดิ์ ฉ่ำแก้ว |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมเครื่องกล |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฉัตรชัย หงษ์อุเทน |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ชินเทพ เพ็ญชาติ )

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฉัตรชัย หงษ์อุเทน)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สถาพร สุปรีชากร)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวุฒิ จันทรานุวัฒน์)

อมรศักดิ์ ฉ่ำแก้ว : การศึกษาการออกแบบโครงกรอบรถบรรทุกโดยการคำนวณความเค้นจากภาระแบบสถิต (STUDY OF A DESIGN METHOD FOR TRUCK CHASSIS UNDER STATIC LOADING BY STRESS CALCULATIONS ) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฉัตรชัย หงษ์อุเทน, 143 หน้า. ISBN 974-53-2935-5

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาถึงการออกแบบโครงกรอบรถบรรทุกโดยคำนวณหาค่าแรงภายในค่าความเค้น จากนั้นวิเคราะห์และคำนวณหาค่าความเค้นที่ตำแหน่งวิกฤตที่เกิดขึ้นกับโครงกรอบของรถบรรทุกโมเดลตัวอย่าง จากการรับภาระแบบสถิตในกรณีต่าง ๆ จากนั้นทดสอบเทียบความเค้นที่คำนวณได้จากทางทฤษฎีกับการทดสอบใน 2 กรณี คือ ความเค้นที่เกิดขึ้นที่คานตามยาวของโครงกรอบรถบรรทุกจากการรับน้ำหนักสิ่งของที่บรรทุก และความเค้นที่เกิดขึ้นที่คานตามยาวของโครงกรอบรถบรรทุก จากการที่ล้อหน้าข้างหนึ่งยกตัวขึ้นสูงจากพื้นปกติ 30 เซนติเมตร โดยล้อที่เหลือทั้งสามล้ออยู่ที่พื้นระดับปกติ ขณะที่มีสิ่งของบรรทุกอยู่ ซึ่งจะทำให้เกิดความเค้นจากการบิดตัวของโครงกรอบ และนำวิธีที่ได้ศึกษามาประดิษฐ์โปรแกรมที่ใช้หาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่โครงกรอบของรถบรรทุก จากการที่รถบรรทุกต้องรับภาระแบบสถิตในกรณีต่างๆ ตามทฤษฎีการคำนวณความเค้นจากภาระแบบสถิต

ความเค้นที่เกิดขึ้นที่คานตามยาวของโครงกรอบจากการทดสอบ สามารถหาได้จากการทดสอบหาค่าความเครียดในแนวแกนที่เกิดขึ้นที่คานตามยาวของโครงกรอบแล้วเปลี่ยนเป็นค่าความเค้น จากนั้นนำค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นที่คำนวณได้จากทางทฤษฎีการคำนวณความเค้นจากภาระแบบสถิต ในส่วนของโปรแกรมที่ใช้สำหรับคำนวณหาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นเมื่อรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างรับภาระในกรณีต่าง ๆ สามารถนำไปใช้คำนวณหาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่โครงกรอบของรถบรรทุกโมเดลอื่น ๆ ได้โดยการเปลี่ยนค่าของข้อมูลนำเข้า ก็จะสามารถคำนวณหาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่โครงกรอบของรถบรรทุกโมเดลนั้นได้

จากการเปรียบเทียบความเค้นที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีและจากผลการทดสอบ พบว่าค่าผลต่างเฉลี่ยของความเค้นที่เกิดขึ้น ที่คานตามยาวของโครงกรอบรถบรรทุกสำหรับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 มีค่าเท่ากับ 4.32 MPa. และ 11.21 MPa. ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2548

# # 4570637921 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEY WORD: TRUCK CHASSIS / STATIC LOAD / STRESS CALCULATIONS / DESIGN TRUCK CHASSIS

AMONSAK CHAMKAEW : STUDY OF A DESIGN METHOD FOR TRUCK CHASSIS UNDER STATIC LOADING BY STRESS CALCULATIONS: ASST PROF. CHATCHAI HONGUTEN. 143 pp. ISBN 974-53-2935-5.

In this thesis the design of truck chassis has been studied by calculating the internal forces and stress in the body caused by static loading in the truck chassis model. Then, to analyze and evaluate the stresses at critical points in the chassis of all load cases, the resulting theoretical stresses are compared with the experimental stresses in 2 selected cases. The first case includes the stresses induced by weight of all loads and the second includes the stresses induced by raising a front wheel 30 centimeters from the ground while all the loads still on which causes the chassis to bend. Also computer program to calculate the bending moment in the chassis has been developed based on static loading.

The stresses in cantilever of the truck chassis experiment can be calculated from the axial strains using stress-strain relation. The experimental stresses were then compared with the calculated stresses using static loading assumption. The developed computer program can easily be used to calculate the bending moment in other truck models only by changing the input data.

By the comparison of theoretical and experimental stresses, the average difference of these longitude stress in the chassis of the first and second cases are 4.32 and 11.21 MPa, respectively.

Department Mechanical Engineering Student's signature .....
Field of study Mechanical Engineering Advisor's signature .....
Academic Year 2005

# กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฉัตรชัย หงษ์อุเทน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ท่านได้ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาในทุกเรื่อง ตลอดจนข้อคิดที่มีคุณค่ายิ่งในการทำวิจัยและการทำงาน

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ชินเทพ เพ็ญชาติ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ สถาพร สุปรีชากร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวุฒิ จันทรานุวัฒน์ กรรมการ ที่ได้ให้คำแนะนำในการทำวิจัยนี้ซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้รับความรู้และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบรูณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ สิงหฉนัดกิจ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยด้วยความเต็มใจเสมอมาในด้านการจัดหาอุปกรณ์ชุดทดลองและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยอย่างสูง

ขอขอบคุณ พี่กวี ศรีทองอินทร์ พี่กิตติพงศ์ บุญโล่ง พี่อนวัช ณ สงขลา คุณชวนันท์ สุภาศักดิ์ คุณวิทยา วัฒนนุกูลชัย คุณสรสิทธิ์ อรัญพิทักษ์ คุณกอบศักดิ์ พจนานภาศิริ คุณพงศภรณ์ อาดัม สำหรับความช่วยเหลือและมิตรภาพซึ่งทำให้การทำงานตลอดจนชีวิตโดยรวมของผู้วิจัยมีสีสันมากขึ้น

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา พี่ชาย ของผู้วิจัยที่คอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยมาโดยตลอด อนึ่งประโยชน์และคุณค่าอันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ขอมอบเป็นกตัญญุตาบูชาแด่บิดามารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

# สารบัญ


หน้า

**บทคัดย่อภาษาไทย** ..... ง

**บทคัดย่อภาษาอังกฤษ** ..... จ

**กิตติกรรมประกาศ** ..... ฉ

**สารบัญ** ..... ช

**สารบัญตาราง** ..... ญ

**สารบัญภาพ** ..... ฎ

**คำอธิบายสัญลักษณ์** ..... ณ

**บทที่ 1 บทนำ** ..... **1**

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์ ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ ..... 2

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ..... 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน ..... 2

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ ..... 3

1.6 ปริทัศน์วรรณกรรม ..... 3

**บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการหาโมเมนต์ดัดที่โครงกรอบของรถบรรทุก** ..... **6**

2.1 ชนิดของภาระแบบสถิตที่โครงกรอบของรถบรรทุกต้องรับ ..... 6

2.2 การคำนวณการรับแรงของโครงกรอบของรถบรรทุกแบบปัญหาสถิตธรรมดา ..... 8

2.2.1 ภาระกรณีที่ 5b การกระแทกในแนวดิ่งที่เพลาหลัง ..... 9

2.2.2 ภาระกรณีที่ 2a จากการเบรก ..... 10

2.3 การคำนวณการรับแรงของโครงกรอบของรถบรรทุกแบบปัญหาอินดีเทอร์มิเนตเชิงสถิต ..... 11

2.3.1 ภาระกรณีที่ 3 เมื่อขับเคลื่อนตามทางโค้ง ..... 13

2.3.2 ภาระกรณีที่ 6 แรงกดที่จุดต่อพ่วง ..... 14

2.4 การคำนวณการรับแรงของโครงกรอบของรถบรรทุกจากการบิดตัวของโครงกรอบ ..... 17

2.4.1 การหาโมเมนต์บิดในโครงกรอบ ..... 19

หน้า

2.5 การรวมและการกำหนดขนาดของภาระ 22

**บทที่ 3 โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างจากการคำนวณทางทฤษฎี 23**

3.1 โมเมนต์ดัดของรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างในการรับภาระในกรณีที่ 1 23

3.2 โมเมนต์ดัดของรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างในการรับภาระในกรณีที่ 2 25

3.2.1 โมเมนต์ดัดของรถโมเดลตัวอย่างในการรับภาระกรณีที่ 2a 25

3.2.2 โมเมนต์ดัดของรถโมเดลตัวอย่างในการรับภาระกรณีที่ 2b 28

3.3 โมเมนต์ดัดของรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างในการรับภาระในกรณีที่ 5 30

3.3.1 โมเมนต์ดัดของรถโมเดลตัวอย่างในการรับภาระกรณีที่ 5a 30

3.3.2 โมเมนต์ดัดของรถโมเดลตัวอย่างในการรับภาระกรณีที่ 5b 32

3.4 โมเมนต์ดัดของรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างในการรับภาระในกรณีที่ 4 34

3.5 โมเมนต์ดัดของรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างในการรับภาระในกรณีที่ 3 38

3.5.1 โมเมนต์ดัดของรถโมเดลตัวอย่างจากแรงกระทำในแนวดิ่ง 39

3.5.2 โมเมนต์ดัดของรถโมเดลตัวอย่างจากแรงกระทำในแนวระดับ 40

3.6 โมเมนต์ดัดของรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างในการรับภาระในกรณีที่ 7 43

**บทที่ 4 การทดสอบหาความเค้นที่เกิดขึ้นในรถบรรทุกโมเดลตัวอย่าง 46**

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 46

4.2 การทดสอบค่าความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากการรับภาระแบบสถิตจากน้ำหนักอุปกรณ์ต่าง ๆ และสิ่งของที่บรรทุก 48

4.3 การทดสอบหาความเค้นที่เกิดขึ้น เนื่องจากการบิดตัวของโครงกรอบ 51

**บทที่ 5 ความเค้นจากการทดสอบและจากการคำนวณทางทฤษฎี 53**

5.1 เปรียบเทียบความเค้นจากน้ำหนักสิ่งของที่บรรทุก 54

5.2 เปรียบเทียบความเค้นจากการบิดตัวของโครงกรอบ 56

**บทที่ 6 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณโมเมนต์ดัด 60**

6.1 โปรแกรมที่ใช้คำนวณภาระในกรณีที่ 1 60

6.2 โปรแกรมที่ใช้คำนวณภาระในกรณีที่ 2 64

6.3 โปรแกรมที่ใช้คำนวณภาระในกรณีที่ 5 66

6.4 โปรแกรมที่ใช้คำนวณภาระในกรณีที่ 4 69

หน้า

6.5 โปรแกรมที่ใช้คำนวณภาระในกรณีที่ 3 ..... 73
6.6 โปรแกรมที่ใช้คำนวณภาระในกรณีที่ 7 ..... 78

**บทที่ 7 บทสรุป ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ ..... 81**
7.1 บทสรุป ..... 81
7.2 ปัญหาที่พบในขณะทำวิทยานิพนธ์ ..... 82
7.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต ..... 83

**รายการอ้างอิง ..... 84**

**ภาคผนวก ..... 85**
ภาคผนวก ก. ระยะและขนาดของรถบรรทุกที่นำมาใช้ในการคำนวณหาโมเมนต์ดัดและความเค้น ..... 86
ภาคผนวก ข. ระยะที่ใช้ในการคำนวณหาโมเมนต์ดัดที่เกิดจากแรงกระทำในแนวดิ่งและแนวระดับ ..... 95
ภาคผนวก ค. ระยะที่ใช้ในการคำนวณหาโมเมนต์ดัดที่เกิดจากการบิดตัวของโครงกรอบ ..... 97
ภาคผนวก ง. กราฟโมเมนต์ดัดจากการคำนวณที่มาจากภาระในกรณีที่ 1 ..... 98
ภาคผนวก จ. โปรแกรมที่ใช้คำนวณหาโมเมนต์ดัดในโครงกรอบ ..... 100

**ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ..... 143**

# สารบัญตาราง


| ตาราง | | หน้า |
|---|---|---|
| ตารางที่ 2.1 | ภาระรวมและการกำหนดขนาดของภาระ | 22 |
| ตารางที่ 3.1 | โมเมนต์ความเฉื่อยของชิ้นส่วนคานต่างๆ ของโครงกรอบ | 35 |
| ตารางที่ 3.2 | โมเมนต์บิดในแต่ละคานของโครงกรอบ เมื่อโมเมนต์ที่ทำให้โครงกรอบเกิดการบิดเท่ากับ 1 N.m | 36 |
| ตารางที่ 4.1 | ความเครียดที่เกิดขึ้นจากภาระที่มาจากน้ำหนักของอุปกรณ์ และน้ำหนักของสิ่งของที่บรรทุก โดยจัดวางถุงปูนที่บรรทุกให้กระจายสม่ำเสมอเต็มกระบะบรรทุก | 50 |
| ตารางที่ 4.2 | ความเครียดที่เกิดขึ้นจากภาระที่มาจากน้ำหนักของอุปกรณ์ และน้ำหนักสิ่งของที่บรรทุก โดยจัดวางถุงปูนซีเมนต์ให้เป็นกองรวมกัน ให้ด้านหน้าสุดของกองอยู่ห่างจากกระบะบรรทุกด้านหน้า 140 เซนติเมตร | 51 |
| ตารางที่ 4.3 | ความเครียดที่เกิดขึ้นจากภาระที่มาจากน้ำหนักของอุปกรณ์ และน้ำหนักสิ่งของที่บรรทุก โดยจัดวางถุงปูนซีเมนต์ให้เป็นกองรวมกัน ให้ด้านหน้าสุดของกองอยู่ห่างจากกระบะบรรทุกด้านหน้า 180 เซนติเมตร | 51 |
| ตารางที่ 4.4 | ความเครียดที่เกิดขึ้นจากการบิดตัวของโครงกรอบรถบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อล้อข้างหนึ่งถูกยกขึ้นสูง 30 เซนติเมตร โดยล้อทั้งสามที่เหลือยังอยู่ที่พื้นระดับปกติ | 52 |
| ตารางที่ 5.1 | ความเค้นที่เกิดขึ้นที่คานตามยาวของโครงกรอบจากการคำนวณทางทฤษฎีและจากการทดสอบกรอบ | 58 |

# สารบัญภาพ

หน้า


รูปที่ 2.1 การรับแรงในแนวตามยาวของรถไม่เท่ากันทั้งสองด้าน โดยแสดงแรงส่วนที่เกินกระทำที่ล้อด้านขวาของตัวรถ ..... 8

รูปที่ 2.2 แรงกระแทกของโครงกรอบรถบรรทุก ซึ่งเป็นแรงกระทำในแนวดิ่ง โดยมีความเร่งเชิงเส้นและเชิงมุมเกิดขึ้นจากผลของแรงกระแทก ..... 9

รูปที่ 2.3 แรงที่กระทำกับมวล $m_i$ ..... 10

รูปที่ 2.4 แรงที่กระทำกับโครงกรอบรถบรรทุกเนื่องจากการเบรก ..... 10

รูปที่ 2.5 โมเมนต์ดัด แรงในแนวตั้งฉาก แรงเฉือน ที่เกิดในโครงกรอบสี่เหลี่ยม loop เดียวเมื่อรับภาระตามรูป ..... 11

รูปที่ 2.6 โมเมนต์ดัดในคานตามยาวและโมเมนต์ดัดในคานตามขวาง ..... 12

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างโครงกรอบที่ใช้ในการแก้ปัญหาแบบอินดีเทอร์มิเนตเชิงสถิต ..... 12

รูปที่ 2.8 แรงที่กระทำกับโครงกรอบในขณะขับเคลื่อนตามทางโค้ง ..... 14

รูปที่ 2.9 โครงกรอบ loop สุดท้าย เมื่อรับภาระเป็นแรงกด D ..... 15

รูปที่ 2.10 โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในโครงกรอบ loop สุดท้าย .....

(ก) แสดงโมเมนต์ดัด $M_0$ เมื่อรับภาระเป็นแรงกด D ..... 15

(ข) แสดงโมเมนต์ดัด $M_1$ เมื่อรับค่า Redundance ที่ x = 1 N.m ..... 15

รูปที่ 2.11 โครงกรอบ loop สุดท้ายกับโมเมนต์ดัดรวม M จากการแรงกดที่จุดต่อพ่วง ..... 16

รูปที่ 2.12 การยกล้อหน้าขึ้นเป็นระยะ $h_{Rd}$ ที่ล้อหน้า ..... 17

รูปที่ 2.13 แรงภายในที่ไม่ทราบค่า คือ $Q_x$ , $N_z$ , $M_y$ , $Q_y$ , $M_x$ , $M_z$ ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อโครงกรอบ 1 loop บิดตัว ..... 19

รูปที่ 2.14 การบิดตัวของโครงกรอบเมื่อมีแรงมากระทำ ..... 20

รูปที่ 2.15 แรงที่กระทำต่อคานตามขวางของโครงกรอบ ..... 21

รูปที่ 3.1 รถบรรทุกโมเดลตัวอย่างบรรทุกสิ่งของที่กระบะบรรทุกกระจายสม่ำเสมอเต็มกระบะบรรทุก ..... 23

รูปที่ 3.2 คานตามยาวของโครงกรอบของรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างรับภาระที่เกิดขึ้นในกรณีที่ 1 ..... 24

รูปที่ 3.3 แรงทั้งหมดที่กระทำกับคานตามยาวของโครงกรอบจากการรับภาระในกรณีที่ 1 .. 24

รูปที่ 3.4 โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในคานตามยาวของโครงกรอบเนื่องจากรถบรรทุกรับภาระกรณีที่ 1 ..... 25

รูปที่ 3.5 แรงที่กระทำกับคานตามยาวของโครงกรอบเนื่องจากการเบรก ..... 26

หน้า


รูปที่ 3.6 แรงที่กระทำตรงจุดยึดแหนบเนื่องจากการเบรก 26

รูปที่ 3.7 โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในคานตามยาวของรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างเนื่องจากการเบรกเบรก 27

รูปที่ 3.8 แรงที่กระทำกับคานตามยาวของโครงกรอบเนื่องจากการเร่งออกตัว 28

รูปที่ 3.9 แรงที่กระทำตรงจุดยึดแหนบเนื่องจากการเร่งออกตัว 28

รูปที่ 3.10 โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในคานตามยาวของรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างเนื่องจากการเร่งออกตัว 29

รูปที่ 3.11 แรงในแนวดิ่งกระทำที่เพลาหน้าของรถบรรทุก 30

รูปที่ 3.12 ระยะและแรงที่กระทำกับคานตามยาวของโครงกรอบ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ จากการกระแทกที่เพลาหน้า 31

รูปที่ 3.13 โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในคานตามยาวของโครงกรอบของรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างเนื่องจากแรงกระทำในแนวดิ่งที่เพลาหน้า 32

รูปที่ 3.14 แรงในแนวดิ่งกระทำที่เพลาหลังของรถบรรทุก 32

รูปที่ 3.15 ระยะและแรงที่กระทำกับคานตามยาวของโครงกรอบ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ จากการกระแทกที่เพลาหลัง 33

รูปที่ 3.16 โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในคานตามยาวของโครงกรอบรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างเนื่องจากแรงกระทำในแนวดิ่งที่เพลาหลัง 34

รูปที่ 3.17 โครงกรอบและระยะที่ใช้ในการคำนวณหาโมเมนต์ดัดที่เกิดจากการบิดตัว

(ก) โครงกรอบของรถบรรทุกโมเดลตัวอย่าง 34

(ข) ระยะของโครงกรอบที่ใช้ในการคำนวณหาโมเมนต์ดัด 34

รูปที่ 3.18 แรงภายนอก P กระทำกับโครงกรอบทำให้โครงกรอบบิดตัว 36

รูปที่ 3.19 การแบ่งแรง P ไปที่จุดยึดแหนบด้านหน้าและด้านหลัง

(ก) การแบ่งแรงกระทำที่แหนบหน้า 37

(ข) การแบ่งแรงกระทำที่แหนบหลัง 37

รูปที่ 3.20 แรงที่กระทำต่อคานตามยาวของโครงกรอบ จากการบิดตัวของโครงกรอบเมื่อโมเมนต์ที่ทำให้เกิดการบิดตัวเท่ากับ 1 N.mm 37

รูปที่ 3.21 โมเมนต์ดัดในโครงกรอบรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างจากการที่ยกล้อหน้ารถข้างใดข้างหนึ่งขึ้น 30 เซนติเมตร จากพื้นระดับปกติ โดยที่ล้อทั้งสามที่ เหลืออยู่ที่พื้นระดับปกติ 38

รูปที่ 3.22 แรงที่กระทำในแนวดิ่งกับคานตามยาวของโครงกรอบของรถบรรทุกเนื่องจากรับภาระในกรณีที่ 3 39

หน้า

รูปที่ 3.23 แสดงแรงที่กระทำในแนวดิ่งทั้งหมดที่กระทำกับคานตามยาวของโครงกรอบรถบรรทุกเนื่องจากรับภาระในกรณีที่ 3 ..... 39
รูปที่ 3.24 โมเมนต์ดัดที่เกิดจากแรงกระทำในแนวดิ่งในคานตามยาวของรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างเนื่องจากรับภาระในกรณีที่ 3 ..... 40
รูปที่ 3.25 แรงในแนวระดับที่กระทำกับโครงกรอบขณะที่รถอยู่ในโค้ง ..... 40
รูปที่ 3.26 แรงภายนอกที่กระทำในแนวระดับกับโครงกรอบขณะที่รถอยู่ในโค้ง ..... 41
รูปที่ 3.27 แรงภายในและภายนอกที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนของโครงกรอบ ..... 41
รูปที่ 3.28 โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่โครงกรอบจากแรงภายนอก $M_0$ จากภาระกรณีรถอยู่ในโค้ง ..... 42
รูปที่ 3.29 โมเมนต์ดัด $M_1$ ถึง $M_{12}$ เมื่อกำหนดให้ค่า redundance $x_1$ ถึง $x_{12}$ เท่ากับ 1 N.mm
(ก) โมเมนต์ดัด $M_1, M_2, M_7, M_8$ เมื่อกำหนดให้ค่า Redundance $x_1 = x_2 = x_7 = x_8 = 1\ N.m$ ..... 42
(ข) โมเมนต์ดัด $M_3, M_4, M_9, M_{10}$ เมื่อกำหนดให้ค่า Redundance $x_3 = x_4 = x_9 = x_{10} = 1\ N.m$ ..... 42
(ค) โมเมนต์ดัด $M_5, M_6, M_{11}, M_{12}$ เมื่อกำหนดให้ค่า Redundance $x_5 = x_6 = x_{11} = x_{12} = 1\ N.m$ ..... 43
รูปที่ 3.30 โมเมนต์ดัดที่โครงกรอบรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างจากการรับแรงในแนวระดับของภาระกรณีที่ 3 ..... 43
รูปที่ 3.31 แรงในแนวระดับที่กระกับตานคานยาวของโครงกรอบ ..... 44
รูปที่ 3.32 แรงในแนวระดับที่กระทำกับโครงกรอบจากภาระกรณีที่ 7 ..... 44
รูปที่ 3.33 แรงภายในและภายนอกที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนของโครงกรอบเมื่อรับแรงภายนอกจากภาระกรณีที่ 7 ..... 45
รูปที่ 3.34 โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่โครงกรอบจากแรงภายนอก $M_0$ จากภาระกรณีที่ 7 ..... 45
รูปที่ 3.35 โมเมนต์ดัดที่โครงกรอบรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างจากการรับแรงในแนวระดับของภาระกรณีที่ 7 ..... 45
รูปที่ 4.1 รถบรรทุกโมเดลตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ ..... 47
รูปที่ 4.2 สเตรนเกจ (Strain gage) ..... 47
รูปที่ 4.3 สเตรนมิเตอร์ (Strain meter) ..... 47
รูปที่ 4.4 พื้นลาดเอียงสูง 30 เซนติเมตร จากพื้นระดับสำหรับให้รถบรรทุกทดสอบขึ้น ..... 47
รูปที่ 4.5 สเตรนเกจที่ติดไว้ใต้คานตามยาวของโครงกรอบของรถบรรทุกที่ทดสอบ ..... 48
รูปที่ 4.6 การจัดวางถุงปูนให้วางกระจายสม่ำเสมอเต็มกระบะบรรทุก ..... 49

หน้า

รูปที่ 4.7 การเรียงถุงปูนให้เป็นกองในกระบะบรรทุก 50
รูปที่ 4.8 ล้อหน้าข้างขวาของรถบรรทุกโมเดลตัวอย่างขึ้นบนพื้นเอียงสูง 30 เซนติเมตร
(ก) มองจากด้านข้าง 52
(ข) มองจากด้านหน้า 52
รูปที่ 5.1 ความเค้นจากการทดสอบและจากการคำนวณทางทฤษฎีที่คานตามยาวของโครงกรอบจากการวางถุงปูนซีเมนต์ให้กระจายตัวสม่ำเสมอเต็มกระบะบรรทุก 54
รูปที่ 5.2 ความเค้นจากการทดสอบและจากการคำนวณทางทฤษฎีที่คานตามยาวของโครงกรอบจากการวางถุงปูนซีเมนต์ให้เป็นกองรวมกัน โดยให้ด้านหน้าสุดของกองอยู่ห่างจากด้านหน้าของกระบะบรรทุกเป็นระยะ 140 เซนติเมตร 55
รูปที่ 5.3 ความเค้นจากการทดสอบและจากการคำนวณทางทฤษฎีที่คานตามยาวของโครงกรอบจากการวางถุงปูนซีเมนต์ให้เป็นกองรวมกัน โดยให้ด้านหน้าสุดของกองอยู่ห่างจากด้านหน้าของกระบะบรรทุกเป็นระยะ 180 เซนติเมตร 55
รูปที่ 5.4 ความเค้นจากการทดสอบและจากการคำนวณทางทฤษฎีที่คานตามยาวของโครงกรอบจากการการที่ล้อหน้าข้างหนึ่งของรถถูกยกตัวขึ้นจากระดับพื้นปกติ 30 เซนติเมตร 57
รูปที่ 6.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้หาโมเมนต์ดัดจากภาระกรณีที่ 1 61
รูปที่ 6.2 ค่าต่างๆ ที่ใส่ในข้อมูลนำเข้ากรณีภาระจากน้ำหนักบรรทุกเป็นแรงกระทำแบบจุด 62
รูปที่ 6.3 ค่าต่างๆ ที่ใส่ในข้อมูลนำเข้ากรณีภาระจากน้ำหนักบรรทุกเป็นแรงกระจายเต็มระยะบรรทุก 63
รูปที่ 6.4 ค่าต่างๆ ที่ใส่ในข้อมูลนำเข้ากรณีภาระจากน้ำหนักบรรทุกเป็นแรงกระจายบางส่วนของระยะบรรทุก 63
รูปที่ 6.5 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้หาโมเมนต์ดัดจากภาระกรณีที่ 2 65
รูปที่ 6.6 ระยะที่ใส่ในข้อมูลนำเข้าจากภาระกรณีที่ 2 การเบรกและการเร่งออกตัว 66
รูปที่ 6.7 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้หาโมเมนต์ดัดจากภาระกรณีที่ 5 68
รูปที่ 6.8 ระยะที่ใส่ในข้อมูลนำเข้าจากภาระกรณีที่ 5 แรงกระทำในแนวดิ่งที่เพลาหน้าและเพลาหลัง 69
รูปที่ 6.9 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้หาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นที่โครงกรอบเนื่องจากภาระกรณีที่ 4 71
รูปที่ 6.10 ระยะที่ใส่ในข้อมูลนำเข้าจากภาระกรณีที่ 4 72

หน้า

รูปที่ 6.11 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้หาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแนวดิ่งที่คานตามยาวเนื่องจากภาระกรณีที่ 3 ..... 74
รูปที่ 6.12 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้หาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแนวระดับที่คานตามยาวและคานตามขวางเนื่องจากภาระกรณีที่ 3 ..... 76
รูปที่ 6.13 ระยะที่ใส่ในข้อมูลนำเข้ากรณีภาระที่ 3 ขณะรถอยู่ในโค้ง ..... 77
รูปที่ 6.14 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้หาโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในแนวระดับที่คานตามยาวและตามขวางจากภาระกรณีที่ 7 ..... 79
รูปที่ 6.15 ระยะที่ใส่ในข้อมูลนำเข้าจากภาระกรณีที่ 7 ..... 80

# คำอธิบายสัญลักษณ์

| | |
|---|---|
| $a$ | ความเร่ง |
| $a_y$ | ความเร่งเชิงเส้นของรถบรรทุกในทิศทางแกน y |
| $a_Z$ | อัตราส่วนเบรกของรถลาก |
| $A_V$ | แรงกระแทกที่ล้อหน้า |
| $A_H$ | แรงกระแทกที่ล้อหลัง |
| $b$ | ความกว้างของโครงกรอบ |
| $B_Z$ | แรงเบรกของรถลาก |
| $C_{1V}$ | ค่าคงที่ของยางที่ล้อหน้า |
| $C_{1H}$ | ค่าคงที่ของยางที่ล้อหลัง |
| $C_{2V}$ | ค่าคงที่ของสปริงแหนบที่ล้อหน้า |
| $C_{2H}$ | ค่าคงที่ของสปริงแหนบที่ล้อหลัง |
| $C_{TR}$ | ค่าความต้านทานการบิดตัวของโครงกรอบ |
| $D$ | แรงกดที่จุดต่อพ่วง |
| $F_{ac}$ | แรงที่ใช้ในการเร่งออกตัว |
| $F_{Bf}$ | แรงเบรกที่ล้อหน้า |
| $F_{Br}$ | แรงเบรกที่ล้อหลัง |
| $F_i$ | แรงกระทำเนื่องจากมวลของสิ่งของที่บรรทุก |
| $g$ | ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก |
| $G$ | โมดุลัสเฉือน |
| $G_A$ | น้ำหนักของรถพ่วง |
| $G_Z$ | น้ำหนักของรถลาก |
| $h_i$ | ความสูงของจุดศูนย์กลางมวล |
| $h_{Rd}$ | ระยะยกล้อหน้าขึ้นจากพื้นถนน |
| $I_h$ | โมเมนต์ความเฉื่อยของคานชิ้นที่ h |

$I_{th}^{*}$ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของคานที่มีหน้าแบบตัดปิด

$I_{th}$ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของคานชิ้นที่ h

$I_{w}$ ค่าความต้านทานการเผยอตัวของคานที่มีหน้าแบบตัดปิด

$I_{z}$ โมเมนต์ความเฉื่อยของรถบรรทุกรอบแกน z

$m$ จำนวนคานตามขวาง

$m_{i}$ มวลของสิ่งของที่พิจารณา

$m_{wf}$ มวลของล้อและเพลาหน้า

$m_{wr}$ มวลของล้อและเพลาหลัง

$M$ โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นกับโครงกรอบ

$M_{D}$ โมเมนต์บิด

$M_{0}$ โมเมนต์ดัดจากแรงภายนอกที่กระทำกับโครงกรอบ

$M_{R}$ โมเมนต์ที่ทำให้โครงกรอบบิดตัว

$N$ แรงในแนวตั้งฉาก

$P$ แรงกระทำที่ล้อหน้ารถบรรทุก

$q$ แรงกระจายของน้ำหนักที่บรรทุก

$Q$ แรงเฉือน

$S_{V}$ ระยะกว้างของฐานล้อหน้า

$S_{H}$ ระยะกว้างของฐานล้อหลัง

$W_{in}$ งานภายในขณะเกิดการเสียรูป

$\alpha$ ความเร่งเชิงมุมรอบจุดศูนย์กลางมวลของรถบรรทุก

$\varepsilon$ ค่าความเครียด

$\nu$ มุมบิดต่อความยาว

$\mu$ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างล้อกับถนน

$\Delta\mu$ ค่าผลต่างของสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน

$\varphi_{R}$ มุมบิดของโครงกรอบ