รายงานโครงงานหมายเลข 2560-CP-03

# การออกแบบและวิเคราะห์ระบบบังคับเลี้ยวสำหรับรถยนต์ Mech-UBU formula student

นายนพณัฐ  พูนประโคน
นายคมคาย  พลกุล
นายธนากร  บุตรอ่อน

รายงานนี้เป็นรายงานโครงงานของนักศึกษาชั้นปีที่ 4 ซึ่งเสนอเป็นส่วนหนึ่ง
ในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

Project Report No. 2560-CP-03

# The design and analysis of steering system for Mech-UBU formula student car


Mr. Noppanut Poonprakhon

Mr. Khomkhai Polkul

Mr. Thanakorn But-on


This is the Report of the Fourth Year Project Assignment Submitted in Partial Fulfillment of the requirements for the Bachelor Degree of Engineering Department of Mechanical Engineering The Faculty of Engineering Ubon Ratchathani University

**ชื่อเรื่อง การออกแบบและวิเคราะห์ระบบบังคับเลี้ยวสำหรับรถยนต์ Mech-UBU formula student**

โดย นายนพณัฐ พูนประโคน
นายคมคาย พลกุล
นายธนากร บุตรอ่อน
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ชาคริต โพธิ์งาม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์

อาจารย์ผู้ร่วมประเมินโครงการ

.......................................................................................

(อาจารย์ชาคริต โพธิ์งาม)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.......................................................................................

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

**Project Title: The design and analysis of steering system for Mech-UBU Formula Student car**

By Mr. Noppanut Poonprakhon

Mr. Khomkhai Polkul

Mr. Noppanut Poonprakhon

Department of Mechanical Engineering

Thesis Adviser Mr. Chakrit Po-ngarm

Thesis Co-Adviser Assistant Professor Prachasanti Triyasuti

Project Committee

..........................................................................................

(Mr. Chakrit Po-ngarm)

Thesis Adviser

..........................................................................................

(Assistant Professor Dr. Prachasanti Triyasuti)

Thesis Co-Adviser

**ชื่อเรื่อง การออกแบบและวิเคราะห์ระบบบังคับเลี้ยวสำหรับรถยนต์ Mech-UBU formula student**

โดย นายนพณัฐ พูนประโคน
นายคมคาย พลกุล
นายธนากร บุตรอ่อน

## บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างระบบบังคับเลี้ยวของรถ Formula student car โดยระบบบังคับเลี้ยวคำนวณตามทฤษฎีอัคเคอร์มานด์ ซึ่งระบบบังคับเลี้ยวเป็นระบบที่สำคัญในการบังคับรถไปยังทิศทางที่ต้องการ ในการวิเคราะห์ออกแบบและสร้างระบบบังคับเลี้ยวจะต้องให้มีความเหมาะสมกับตัวรถ ซึ่งจะทำให้รถมีการเลี้ยวที่คล่องตัวในทุกสภาวะการขับขี่ โดยเงื่อนไขการออกแบบจะกำหนดให้การหมุนพวงมาลัย 180 องศา รถยนต์สามารถเลี้ยวได้รัศมี 4 เมตร เพื่อการควบคุมรถที่รวดเร็ว และพวงมาลัยไม่หนักขณะเลี้ยว โดยพวงมาลัยจะต้องมีมุมฟรีไม่เกิน 7 องศาเพื่อไม่ให้เกิดการส่ายของล้อหน้าซึ่งอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุขณะขับขี่ได้จากผลการศึกษาและออกแบบตามทฤษฎีอัคเคอร์มานด์ที่ออบแบบสร้างนั้น จากนั้นนำรถยนต์ไปทดสอบจริงในสนามพบว่าพวงมาลัยสามารถเลี้ยวได้ในรัศมี 4 เมตร โดยการหมุนพวงมาลัย 180 องศา ตามการออกแบบไว้และพวงมาลัยเบาขณะรถอยู่นิ่งหรือที่ความเร็วต่ำ พวงมาลัยสามารถควบคุมทิศทางการเลี้ยวได้ดี

**Title: The design and analysis of steering system for Mech-UBU Formula Student car**

By Mr. Noppanut Poonprakhon
Mr. Khomkhai Polkul
Mr. Thanakorn But-on

## ABSTRACT

This project aim to design and build the vehicle steering system of Formula student car. The steering system is calculated based on the Ackermann theory. The steering system is importance system for controlling driving vehicle direct. The analysis, design and building of the steering system must be suitable for the vehicle, so the car will be agilite turn all driving conditions. The conditions of the design, when the steering wheel turned 180 degrees, the car must turn in 4 meters of turn radius. Therefor the car is quickly control and the steering wheel is not heavy to turn. The free angle of the steering wheel must not exceed 7 degrees to prevent the staggering of the front wheel, which cause an accident while driving. From the study and design by Ackermann theory then build and test in the circuit. The result found that. The steering wheel can turn 4 meters of turn radius. When steering wheel turned 180 degrees follow from design. Moreover the steering wheel is easy to control. while the car not driving or driving at low speed. Thus steering wheel this is good direction control of the turning.

# กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ อาจารย์ ชาคริต โพธิ์งาม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์ ที่ได้ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยการให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการทำโครงงานนี้ ตลอดจนให้คำแนะนำด้านรูปเล่มโครงงาน รวมถึงการออกแบบ การสร้าง การทดสอบ ระบบเลี้ยวนี้ขึ้นมา ตลอดจนอาจารย์คณะกรรมการสอบทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้การอบรมและให้ความรู้ต่างๆอันเป็นประโยชน์ต่อปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้ให้ความร่วมมือ ความรู้ด้านต่างๆ คำแนะนำ และอำนวยความสะดวก ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ ผู้จัดทำงานโครงงานขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา เป็นอย่างสูง ที่ช่วยสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินการโครงงานและให้กำลังใจตลอดจนญาติพี่น้องและเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ที่เป็นกำลังใจให้การดำเนินปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ
นพณัฐ พูนประโคน
คมคาย พลกุล
ธนากร บุตรอ่อน

# สารบัญ

| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | จ |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ฉ |
| กิตติกรรมประกาศ | ช |
| สารบัญ | ซ |
| สารบัญรูปภาพ | ญ |
| สารบัญตาราง | ฒ |
| รายการสัญลักษณ์ | ณ |
| **บทที่ 1 บทนำ** | |
| 1.1 หลักการและเหตุผล | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 3 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีเกี่ยวข้องกับงานโครงงาน** | |
| 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องระบบบังคับเลี้ยว (Steering system) | 4 |
| 2.2 ส่วนประกอบของระบบบังคับเลี้ยว | 11 |
| 2.3 การตั้งศูนย์ล้อรถยนต์ | 14 |
| 2.4 เฟือง (Gear) | 21 |
| 2.5 คอม้า (Upright) | 24 |
| 2.6 สมการหาแรงที่กระทำที่ล้อหน้าและล้อหลัง | 25 |
| 2.7 ระเบียบวิธีไฟไนท์อิลลิเมนต์ (Finite element method) | 29 |
| 2.8 ทฤษฎีความเสียหาย | 36 |
| 2.9 สอบเทียบการ Simulation | 42 |
| 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 46 |
| **บทที่ 3 วิธีการออกแบบ/วิธีการทดลอง/วิธีการวิจัย** | |
| 3.1 การออกแบบขั้นตอนการดำเนินโครงงาน | 49 |
| 3.2 วิธีดำเนินงาน | 50 |
| 3.3 กำหนดความต้องการในการสร้างระบบบังคับเลี้ยว | 50 |
| 3.4 ออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆ | 51 |

# สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|---|
| 3.5 การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ | 66 |
| 3.6 สร้างชิ้นส่วนของระบบบังคับเลี้ยว | 75 |
| 3.7 ประกอบชิ้นส่วนทั้งหมด | 75 |
| 3.8 ทดสอบการทำงานของระบบบังคับเลี้ยว | 76 |
| **บทที่ 4 ผลการทดสอบ/ผลงานวิจัย** | |
| 4.1 ผลการทดสอบรัศมีการเลี้ยวแคบสุด | 79 |
| 4.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงของคอม้า | 79 |
| 4.3 ผลการทดสอบมุมฟรีพวงมาลัย | 81 |
| **บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ** | |
| 5.1 สรุปผลการออกแบบและสร้างระบบบังคับเลี้ยว | 82 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนา | 82 |
| **บรรณานุกรม** | 83 |
| **ภาคผนวก ก แบบระบบบังคับเลี้ยว** | 85 |
| **ภาคผนวก ข ภาพการทำงาน** | 107 |
| **ภาคผนวก ค ชิ้นส่วนจริง** | 115 |
| **ภาคผนวก ง เอกสารตรวจสอบมุมฟรี** | 118 |

# สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ระบบบังคับเลี้ยวแบบจุดหมุนจุดเดียว 5
รูปที่ 2.2 มุมเลี้ยวของล้อขณะเข้าโค้ง 7
รูปที่ 2.3 ระบบบังคับเลี้ยวแบบอัคเคอร์มานด์ 7
รูปที่ 2.4 ลักษณะการเอียงของแขนบังคับเลี้ยว 8
รูปที่ 2.5 การลากเส้นมุมของแขนบังคับเลี้ยวอัคเคอร์มานด์ 9
รูปที่ 2.6 ระบบบังคับเลี้ยวแบบขนาน 9
รูปที่ 2.7 Tyre slip angle ของยางขณะเลี้ยวซ้าย 10
รูปที่ 2.8 Tyre  slip angle ของยางทั้ง 4 เส้น ขณะเข้าโค้ง 11
รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบระบบบังคับเลี้ยวแบบลูกปืนหมุนวน 12
รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบระบบบังคับเลี้ยวแบบลูกปืนหมุนวน 12
รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบระบบบังคับเลี้ยวแบบเฟืองขับและเฟืองสะพาน 14
รูปที่ 2.12 แรงเสียดทานระหว่างล้อกับผิวถนนและแรงบวกกระทำต่อล้อหน้า 15
รูปที่ 2.13 มุมโทอิน (Toe-in) 16
รูปที่ 2.14 โทเอาท์ ( Toe-out) 17
รูปที่ 2.15 ลักษณะการตั้งมุมแคมเบอร์ในแต่ละแบบ 18
รูปที่ 2.16 ลักษณะการตั้งมุมแคสเตอร์ในแต่ละแบบ 19
รูปที่ 2.17 ลักษณะการตั้งมุมคิงพิน 20
รูปที่ 2.18 รายละเอียดขนาดของเฟือง 21
รูปที่ 2.19 ค่ามุมของฟันเฟืองที่เหมาะสมและนิยมใช้ 23
รูปที่ 2.20 การคำนวณหาค่าของเฟืองตรง 23
รูปที่ 2.21 การคำนวณหาค่าของเฟืองเฉียง 24
รูปที่ 2.22 ตัวอย่างคอม้าของรถยนต์ทั่วไป 24
รูปที่ 2.23 คอม้าของรถ Formula 25
รูปที่ 2.24 การหาความสูงของจุดศูนย์ถ่วงโดยวิธียกด้านข้าง 25
รูปที่ 2.25 การจอดนิ่งบนพื้นระดับ 26
รูปที่ 2.26 แรงกระทำกับรถยนต์ในขณะเลี้ยวโค้งบนถนนระดับรถยนต์เริ่มลื่นไถลออกนอกถนน 27
รูปที่ 2.27 แรงกระทำในขณะเบรกเต็มที่จนล้อล็อคตาย 28
รูปที่ 2.28 ค่าแรงกระทำต่อเอลิเมนต์ (f) ที่ทำให้โหนดมีการเคลื่อนที่ (U) 31
รูปที่ 2.29 ตัวอย่างโหนดในเอลิเมนต์แต่ละมิติ 32

# สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.30 การใช้ Beam element ในงานโครงสร้าง 33
รูปที่ 2.31 การใช้ Shell element ในงานที่มีลักษณะเป็นผนัง 34
รูปที่ 2.32 การใช้งาน Solid element ในงานที่เป็นปริมาตรตันที่มีความหนา 34
รูปที่ 2.33 ชนิดของเอลิเมนต์ตั้งแต่ 1 – 3 มิติ 35
รูปที่ 2.34 การเปรียบเทียบทฤษฎีความเสียหายกับการทดลอง 38
รูปที่ 2.35 สถานะของความเครียด 39
รูปที่ 2.36 ความเสียหายของวัสดุตามทฤษฎีของวอนมิสเซส 41
รูปที่ 2.37 Von-mises stress 42
รูปที่ 2.38 Deformation 42
รูปที่ 2.39 ความเค้น 43
รูปที่ 2.40 ระยะยืดของชิ้นงาน 43
รูปที่ 2.41 ความเค้น 44
รูปที่ 2.42 ระยะยืดของชิ้นงาน 44
รูปที่ 2.43 ความเค้น 45
รูปที่ 2.44 ระยะยืดของชิ้นงาน 45
รูปที่ 2.45 ค่าความเค้นที่เกิดขึ้น ณ จุดต่างๆ 47
รูปที่ 2.46 ค่า Factor of safety ที่เกิดขึ้น ณ จุดต่างๆ 48
รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน 49
รูปที่ 3.2 ออกแบบระบบบังคับเลี้ยวโดยใช้ทฤษฎีอัคเคอร์มานในการออกแบบ 51
รูปที่ 3.3 แสดงหน้ารถและข้างรถ 51
รูปที่ 3.4 มุมเลี้ยวของล้อหน้าทั้งสอง 52
รูปที่ 3.5 ขยายรูปมุมเลี้ยวของล้อหน้าทั้งสอง 53
รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการออกแบบระบบบังคับเลี้ยว ขั้นตอนที่ 1 53
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการออกแบบระบบบังคับเลี้ยว ขั้นตอนที่ 2 54
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการออกแบบระบบบังคับเลี้ยว ขั้นตอนที่ 3 54
รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการออกแบบระบบบังคับเลี้ยว ขั้นตอนที่ 4 55
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการออกแบบระบบบังคับเลี้ยว ขั้นตอนที่ 5 55
รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการออกแบบระบบบังคับเลี้ยว ขั้นตอนที่ 6 56
รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการออกแบบระบบบังคับเลี้ยว ขั้นตอนที่ 7 56

# สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.13 คอม้าและที่ยึดแร็คเลี้ยว 56
รูปที่ 3.14 ส่วนประกอบเฟือง 57
รูปที่ 3.15 ชิ้นส่วนแร็คเลี้ยว 58
รูปที่ 3.16 ทดสอบเอียงเพื่อหาจุด CG 58
รูปที่ 3.17 แรงต่างๆที่กระทำต่อรถขณะจอดนิ่ง 59
รูปที่ 3.18 สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสถิต ($\mu_s$) และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานจลน์ ($\mu_k$) 60
รูปที่ 3.19 Free body diagram 60
รูปที่ 3.20 Free body diagram ของล้อรถ 61
รูปที่ 3.21 แรงที่กระทำต่อล้อจากการเบรก 61
รูปที่ 3.22 แรงที่กระทำต่อคอม้าขณะเบรก 62
รูปที่ 3.23 แรงต่างๆที่กระทำต่อล้อหน้า 63
รูปที่ 3.24 แรงทั้งหมดที่กระทำต่อคอม้า 63
รูปที่ 3.25 คอม้า 64
รูปที่ 3.26 ประกอบชิ้นส่วนของระบบบังคับเลี้ยว 65
รูปที่ 3.27 Mesh details ครั้งที่ 1 66
รูปที่ 3.28 ค่าความเค้น ครั้งที่ 1 66
รูปที่ 3.29 Mesh details ครั้งที่ 2 67
รูปที่ 3.30 ค่าความเค้น ครั้งที่ 2 67
รูปที่ 3.31 Mesh details ครั้งที่ 3 68
รูปที่ 3.32 ค่าความเค้น ครั้งที่ 3 68
รูปที่ 3.33 Mesh details ครั้งที่ 4 69
รูปที่ 3.34 ค่าความเค้น ครั้งที่ 4 69
รูปที่ 3.35 Mesh details ครั้งที่ 5 70
รูปที่ 3.36 ค่าความเค้น ครั้งที่ 5 70
รูปที่ 3.37 Mesh details ครั้งที่ 6 71
รูปที่ 3.38 ค่าความเค้น ครั้งที่ 6 71
รูปที่ 3.39 Mesh details ครั้งที่ 7 72
รูปที่ 3.40 ค่าความเค้น ครั้งที่ 7 72
รูปที่ 3.41 Mesh details ครั้งที่ 8 73

# สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.42 ค่าความเค้น ครั้งที่ 8 73
รูปที่ 3.43 กราฟค่า Element และความเค้น 74
รูปที่ 3.44 ชิ้นส่วนระบบบังคับเลี้ยว 75
รูปที่ 3.45 ประกอบระบบบังคับเลี้ยวและคอม้า 76
รูปที่ 3.46 วัดระยะพ่นสีเป็นแนวตรงเส้นผ่านศูนย์กลาง และนำรถมาวิ่งแล้วหักพวงมาลัยสุด 77
รูปที่ 3.47 รถขณะเคลื่อนที่เป็นวงกลม 77
รูปที่ 3.48 รถเคลื่อนที่เป็นครึ่งวงกลม และตรวจสอบเส้นผ่านศูนย์กลางแล้วบันทึกผล 77
รูปที่ 3.49 ทดสอบความแข็งแรงคอม้าวิ่งความเร็ว 40 km/h 78
รูปที่ 3.50 ทดสอบความแข็งแรงคอม้าวิ่งความเร็ว 60 km/h แล้วเบรก 78
รูปที่ 4.1 ผลความเค้นที่กระทำต่อคอม้า 80
รูปที่ 4.2 ค่า Factor of safety 80
รูปที่ ก.1 Tie rod 86
รูปที่ ก. 2 Steering arm 87
รูปที่ ก. 3 Upright 88
รูปที่ ก. 4 Steering moumting 89
รูปที่ ก. 5 Steering rack & Pinion 90
รูปที่ ก. 6 Steering rousing 91
รูปที่ ก. 7 Steering column & Shaft 92
รูปที่ ก. 8 Steering arm 93
รูปที่ ก. 9 Steering mounting 94
รูปที่ ก. 10 Tie rod 95
รูปที่ ก. 11 Steering boot 96
รูปที่ ก. 12 Steering rack 97
รูปที่ ก. 13 Steering gear drive 98
รูปที่ ก. 14 Steering mount 99
รูปที่ ก. 15 Steering shaft 100
รูปที่ ก. 16 Steering splice 101
รูปที่ ก. 17 Steering wheel assembly 102
รูปที่ ก. 18 Hand 103

# สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก. 19 Steering wheel 104
รูปที่ ก. 20 Under hand 105
รูปที่ ก. 21 Case 106
รูปที่ ข.1 ตั้งมุมล้อ 108
รูปที่ ข.2 เจาะชิ้นงาน 108
รูปที่ ข.3 วางแผนซื้อชิ้นส่วน 109
รูปที่ ข.4 กลึงชิ้นงาน 109
รูปที่ ข.5 ถอดตัวยึดพวงมาลัย 110
รูปที่ ข.6 ดัดเหล็ก 110
รูปที่ ข.7 ทดสอบจุดยึดพวงมาลัย 111
รูปที่ ข.8 เจาะชิ้นงานเพื่อทำคอมม้า 111
รูปที่ ข.9 ประกอบชิ้นส่วนต่างๆ 112
รูปที่ ข.10 ทดสอบแป้นเบรก 112
รูปที่ ข.11 เชื่อมเหล็ก 113
รูปที่ ข.12 มิลลิ่งชิ้นงานคอม้า 113
รูปที่ ข.13 เจาะชิ้นงานคอม้า 114
รูปที่ ค.1 พวงมาลัยด้านหน้า 116
รูปที่ ค.2 พวงมาลัยด้านหลัง 116
รูปที่ ค.3 เพลาส่งกำลัง 117
รูปที่ ค.4 แร็คเลี้ยว 117
รูปที่ ค.5 คอม้า 117
รูปที่ ง.1 ใบตรวจสอบมุมฟรีพวงมาลัย 119

# สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา 2
ตารางที่ 3.1 ค่าการคำนวณเฟืองแร็ค 57
ตารางที่ 4.1 ทดสอบรัศมีการเลี้ยวแคบสุด 79
ตารางที่ 4.2 ทดสอบความแข็งแรงของคอม้า 81
ตารางที่ 4.3 ทดสอบมุมฟรีพวงมาลัย 81

# รายการสัญลักษณ์

$a$ = The delay of cars due to brak [m/s$^2$]

$a_i$ = The constants

$b$ = The distance between the front wheel [m]

$c$ = Spaced gear [mm]

$d$ = diamete [mm]

$da$ = Top Diameter [mm]

$db$ = Base Diameter [mm]

$F$ = Resistance to the movement of the wheels while braking [N]

$F_x$ = Axial force X [N]

$F_y$ = Axial force Y [N]

$F_z$ = Axial force Z [N]

$h$ = CG height of the car. [m]

$h$ = Tooth height [mm]

$J$ = Total potential energy [J]

$l$ =The term movement of the Rack against the rotation of the steering wheel, round 1.[mm]

$l$ = The distance between the weight to the front wheels [m]

$M$ = Module

$N_i$ = Estimation of internal functions

$n_x$ = Direction cosines x

$n_y$ = Direction cosines y

$n_z$ = Direction cosines z

$P$ = pitch [mm]

$R_a$ = The reaction force at the front wheel while braking [N]

$R_b$ =The reaction force at the rear wheels while braking [N]

$R_F$ = Reaction force to the front wheels [N]

$R_R$ = Reaction force that the rear wheels [N]

$r$ = The length of the steering arm [m]

$r$ = The radius of the tire [m]

$T$ = Torque at the wheels [N.m]

$\Delta T$ = Changes in temperature [°C]

$T_x$ = Surface stress in the x direction [Pa]

$T_y$ = Surface stress in the y direction [Pa]

$T_z$ = Surface stress in the z direction [Pa]

# รายการสัญลักษณ์(ต่อ)

$\tau_{xy}$ = Shear stress in the xy [Pa]

$\tau_{xz}$ = Shear stress in the xz [Pa]

$\tau_{yz}$ = Shear stress in the yz [Pa]

$\tau_{max}$ = Maximum shear stress [Pa]

V = external energy [ J ]

v = Displacement in the y direction

U =The energy that occurs from stress in the object [ J ]

u = Displacement in the x direction

W = The weight of the car [N]

w = Displacement in the z direction

Z = Number of teeth [Number]

$\alpha$ = Coefficient of expansion

$\alpha$ = Angle of the inner wheel [degree]

$\beta$ = Angle of the outer wheel [degree]

$\varphi$ =The angle of the steering arm [degree]

$\beta$ = Maximum angle of slopes that make the car overturned around B[degree]

$\sigma_x$ = Stress in axial X [Pa]

$\sigma_u$ = Ultimate Stress [Pa]

$\sigma_y$ = Stress in axial Y [Pa]

$\sigma_y$ = Yield Stress or Yield Point [Pa]

$\sigma_z$ = Stress in axial Z [Pa]

$\pi$ = pi

$\mu$ = Friction coefficient between rubber to the road