

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและพัฒนาโครงรถแข่งขนาดเล็กสำหรับปี 2009  
Frame Design and Development a Small Formula Car 2009

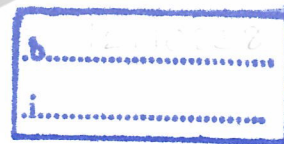


T104309



นาย ปิยะพงษ์ พิงษ์ฮั่ว  
นาย ผดุงเกียรติ ไชยชนะ  
นาย วิทวัช จินตวรกุล

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....104309  
วัน,เดือน,ปี..... 2 พ.ย. 2552



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาโครงรถแข่งขนาดเล็กสำหรับปี 2009  
Frame Design and Development a Small Formula Car 2009



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2551

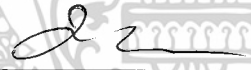
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาโครงรถแข่งขนาดเล็กสำหรับปี 2009  
(Frame Design and Development a Small Formula Car 2009)

ผู้จัดทำ

- |                    |           |                       |
|--------------------|-----------|-----------------------|
| 1. นาย ปิยะพงษ์    | ฟังฮั่ว   | รหัสนักศึกษา 48010548 |
| 2. นาย ผดุงเกียรติ | ไชยชนะ    | รหัสนักศึกษา 48010552 |
| 3. นาย วิทวัช      | จินตวรกุล | รหัสนักศึกษา 48010822 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบและพัฒนาโครงรถแข่งขนาดเล็กสำหรับปี 2009

นายปิยะพงษ์ พึ่งฮั่ว	48010548
นายผดุงเกียรติ ไชยชนะ	48010552
นายวิฑูรย์ จินตวรกุล	48010822
ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร อาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา 2551	

### บทคัดย่อ

โครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาโครงรถเพื่อนำรถเข้าร่วมการแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2009 โดยพัฒนาจากโครงรถรุ่นปี 2008 ให้มีค่าความต้านทานการบิดและการค้ำมากขึ้น แต่มีน้ำหนักลดลง โครงรถที่ออกแบบต้องถูกต้องตามกติกา FSAE 2009 ในโครงการนี้ได้สร้างโครงรถจากเหล็ก(STKM 11A)แล้วทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อช่วยลดเวลาสำหรับการออกแบบ เมื่อสร้างโครงรถเสร็จได้ทดสอบโครงรถเมื่อรับภาระการค้ำและการบิด แล้วนำผลการทดสอบระหว่างทั้งสองกรณีเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งผลการเปรียบเทียบพบว่าการรับภาระการค้ำมีความแตกต่างกัน 11.34 เปอร์เซ็นต์ และในการรับภาระการบิดมีความแตกต่างกัน 29.31 เปอร์เซ็นต์ และจากผลการพัฒนาพบว่าโครงรถปี 2009 มีน้ำหนัก 35 กิโลกรัมซึ่งลดลงจากเดิม 12.5 เปอร์เซ็นต์ และค่าความต้านทานการบิด 1068 นิวตันเมตรต่อองศาซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิม 58 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับโครงรถปี 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Frame Design and Development of a Small Formula Car 2009

Mr.Piyapong Peunghua  
Mr.Phadungkeat Chaichana  
Mr.Wittawat Jintaworakul  
Asst.Prof.Dr. Monsak Pimsarn Advisor

### Abstract

The objective of this project is to design and develop a small formula car, used in the TSAE Auto Challenge 2009 Competition. The design frame is developed from the 2008 frame. The goal of development is to increase bending and torsion stiffnesses, but the frame weight must be reduced. The frame is designed to comply with the FSAE 2009 rules. Frame material is steel (STKM 11A). In this project, finite element method is used to analyze frame strengths to reduce the design time. After the frame is completely built, bending and torsion tests are carried out. The tested results are compared with the results obtained by finite element method. The comparison shows that, for bending test, the error is about 11.34% and about 29.31% for the torsion test. Moreover, by comparing the 2009 frame with the 2008 frame, it is found that the 2009 frame weight, 35 kg, is reduced by 12.5% and the torsion stiffness, 1068 N/degree, is increased by 58%.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. มนต์ศักดิ์ พิมสาร ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพานิชย์และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษา และแนะนำแนวทางช่วยแก้ปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์แก่ข้าพเจ้าจนสามารถสำเร็จไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาและความอนุเคราะห์จากท่านและขอขอบพระคุณอย่างสูง

ทั้งนี้ยังต้องขอขอบคุณ พี่วิท พี่เอ พี่โต๊ด และพี่นักศึกษาปริญญาโททุกท่านที่คอยให้คำแนะนำและคำปรึกษาในด้านต่างๆ ชาย เต๋ โต้งเพื่อนที่คอยช่วยเหลือและสนับสนุน นื่องๆที่แสนดี ในชมรม Automotive ที่ช่วยเหลือเป็นลูกมือให้การจัดสร้างอุปกรณ์ต่างๆให้ง่ายและเร็วขึ้น (โอม เปี้ยก มด โจ้ บูม อำ นู อ่า จ๊อบ) และยังมีพี่ๆ เพื่อนร่วมชั้นปี 4 ทั้งร่วมภาควิชาและต่างภาควิชาอีกหลายคนที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ นั่นก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังคงคอยให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้โอกาสในการจัดทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายปิยะพงษ์ พึ่งฮั่ว

นายผดุงเกียรติ ไชยชนะ

นายวิฑูรย์ จินตวรกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 แนวทางการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การเลือกโครงรถ	6
2.2 Space frame	7
2.3 ทฤษฎีกลศาสตร์ยานยนต์ที่เกี่ยวข้องกับโครงรถ	8
บทที่ 3 การเลือกวัสดุ	23
3.1 ขอบเขตพิจารณาในการเลือกวัสดุ	23
3.2 กติกาการแข่งขันเกี่ยวกับการเลือกวัสดุ	23
3.3 การคัดเลือกวัสดุเพื่อใช้ทำโครงรถตามเกณฑ์ต่างๆ	24
3.4 คุณสมบัติของเหล็กเกรดพิเศษ (STKM 11A)	25
3.5 สรุปการเลือกวัสดุ	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
บทที่ 4 การออกแบบโครงรถ	27
4.1 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการพิจารณาออกแบบ	27
4.2 การสร้างแบบจำลองและการปรับแก้แบบ	27
4.3 การออกแบบ	27
บทที่ 5 การสร้างโครงรถ	43
5.1 การวางแผนการสร้าง	43
5.2 การสร้างจริง	44
บทที่ 6 การทดสอบ	47
6.1 หัวข้อการทดสอบ	47
6.2 การหาความสูงจุดศูนย์ถ่วงของรถ	47
6.3 การทดสอบภาระการตัด	48
6.4 การทดสอบภาระการบิด	50
บทที่ 7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	54
7.1 สรุป	54
7.2 ผลการแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2009	57
7.3 ข้อเสนอแนะ	58
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ภาพโครงรถ	59
ภาคผนวก ข. บทความ	63
เอกสารอ้างอิง	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 1-1 เกณฑ์การให้คะแนน	3
ตารางที่ 2-1 ข้อดี-ข้อเสีย โครงรถแบบ Space Frame	6
ตารางที่ 2-2 ข้อดี-ข้อเสีย โครงรถแบบ Monocoque	6
ตารางที่ 3-1 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของท่อที่ใช้ทำอุปกรณ์ต่างๆ	23
ตารางที่ 3-2 แสดงราคาต่อน้ำหนักของวัสดุชนิดต่างตามกติกา FSAE 2009	24
ตารางที่ 3-3 แสดงเกณฑ์และการเลือกเปรียบเทียบวัสดุ	25
ตารางที่ 3-4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเหล็กเกรดพิเศษกับวัสดุในปี 2007 และ 2008	26
ตารางที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบการค้ำและการบิดในโครงรถแต่ละแบบ	42
ตารางที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบ ตัวประกอบความปลอดภัย ในโครงรถแต่ละแบบ	42
ตารางที่ 6-1 ผลการทดสอบภาระการค้ำ	50
ตารางที่ 6-2 ตารางเปรียบเทียบการทดสอบภาระทั้งสองกรณี	53
ตารางที่ 7-1 ตารางเปรียบเทียบการ โครงรถ	57
ตารางที่ 7-2 ผลจากการส่งรถเข้าร่วมแข่งขันในรายการ TSAE Auto Challenge 2009	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้าที่
รูปที่ 1-1 สนามแข่ง	5
รูปที่ 2-1 โครงรถแบบ Space frame และ Monocoque	7
รูปที่ 2-2 เมื่อรถจอดนิ่ง	8
รูปที่ 2-3 การถ่ายเทภาระตามยาว	9
รูปที่ 2-4 การถ่ายเทภาระตามขวาง	10
รูปที่ 2-5 ความเร่งสูงสุด	11
รูปที่ 2-6 ภาระที่เกิดขึ้นกับโครงรถขณะรถวิ่งเร่งความเร็ว	12
รูปที่ 2-7 ภาระที่เกิดขึ้นกับรถขณะรถเบรกเต็มที่จนล้อลื่น	12
รูปที่ 2-8 ความเร่งหนีศูนย์กลาง	13
รูปที่ 2-9 แรงปฏิกิริยาเมื่อรถเลี้ยวโค้ง	14
รูปที่ 2-10 แรงกระทำด้านข้างที่กระทำกับล้อหน้าและล้อหลังเมื่อรถเลี้ยวโค้ง	15
รูปที่ 2-11 คานอุกแรงกระทำจนกระทั่งเกิดการโค้งงอขึ้น	16
รูปที่ 2-12 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเครียดและความเค้นบนหน้าตัดใดๆ	17
รูปที่ 2-13 การวิเคราะห์การเกิดความเค้นตัดของคานใดๆ	18
รูปที่ 2-14 เติมนต์ภายใต้สภาวะความเค้นสามมิติ	19
รูปที่ 2-15 ขอบเขตความเสียหายของทฤษฎีพลังงานแปรรูป	20
รูปที่ 2-16 การเปรียบเทียบทฤษฎีความเสียหายสถิตที่ใช้กับวัสดุเหนียวทั้งสามทฤษฎี	21
รูปที่ 4-1 แสดงการกำหนด Scale	29
รูปที่ 4-2 แสดงการกำหนด Density	29
รูปที่ 4-3 แสดงการกำหนด Elasticity	30
รูปที่ 4-4 แสดงการกำหนด Plasticity	30
รูปที่ 4-5 แสดงการกำหนดขนาดท่อ	31
รูปที่ 4-6 แสดงโครงรถที่ถูกกำหนดทิศทางของแกนท่อ	31
รูปที่ 4-7 แสดงโครงรถที่ถูกกำหนดทิศทางของแกนท่อเรียบร้อยแล้ว	32
รูปที่ 4-8 แสดงการกำหนด Section ให้เป็น Solid Homogeneous	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 4-9 แสดงการกำหนด Beam Section	33
รูปที่ 4-10 แสดงการกำหนดขนาดของท่อต่าง ๆ บนโครงรถ	33
รูปที่ 4-11 แสดงการกำหนด Section ต่าง ๆ บนโครงรถ	34
รูปที่ 4-12 แสดงการกำหนด Instance Part	34
รูปที่ 4-13 แสดงการกำหนด Step	35
รูปที่ 4-14 แสดงการกำหนดชนิด Load	35
รูปที่ 4-15 แสดงการกำหนดจุดที่ใส่ Load และขนาดของ Load	36
รูปที่ 4-16 แสดงการกำหนดสภาวะขอบ (Boundary Condition)	36
รูปที่ 4-17 แสดงการกำหนดค่าสภาวะขอบ	37
รูปที่ 4-18 แสดงการกำหนดขนาด Mesh	37
รูปที่ 4-19 แสดงหน้าต่าง Job Manager	38
รูปที่ 4-20 แสดงความเค้นวอนมีส	38
รูปที่ 4-21 แสดงเงื่อนไขสภาวะการตัด	39
รูปที่ 4-22 แสดงเงื่อนไขสภาวะการบิด	39
รูปที่ 4-23 แสดงการเปรียบเทียบค่าองศาการบิดและน้ำหนักของ โครงรถแต่ละแบบ	42
รูปที่ 4-24 แสดงแบบจำลอง โครงรถสมบูรณ์	42
รูปที่ 4-25 แสดงแบบจำลอง โครงรถเมื่อประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ลงไปในโครง	44
รูปที่ 5-1 แสดงแผนผังการจัดวางอุปกรณ์ในการทำงาน	43
รูปที่ 5-2 แบบจำลอง โครงรถกระดาศ ขนาด 1 ต่อ 1	44
รูปที่ 5-3 ทดลองวัดสัดส่วนเมื่อมีผู้ขับขี่จริง	44
รูปที่ 5-4 ท่อเหล็ก STKM 11A กลมความหนาต่างๆ	45
รูปที่ 5-5 การสร้างแบบขนาด 1 ต่อ 1 ก่อนตัดท่อ โครงรถ	45
รูปที่ 5-4 การตัดท่อ โครงรถ	46
รูปที่ 5-5 รูปการเชื่อม โครงรถ	46
รูปที่ 5-6 โครงรถที่เสร็จแล้ว	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 6-1 การหาจุดศูนย์กลางวงของรูปปี 2009	48
รูปที่ 6-2 การทดลองการระการตัด	49
รูปที่ 6-3 การวัดค่าก่อนและหลังด้วยไดอัลเกจ	49
รูปที่ 6-4 ตำแหน่งการวัดไดอัลเกจ	51
รูปที่ 6-5 ตำแหน่งการขีด โครงรถ	52
รูปที่ 6-6 ตำแหน่งที่วัดระยะการเปลี่ยนแปลงของโครงรถ	52
รูปที่ 7-1 มิติจาก Top View	55
รูปที่ 7-2 มิติจาก Front View	55



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

สมาคมวิศวกรรมยานยนต์แห่งประเทศไทย ได้ดำเนินการจัดการแข่งขันการพัฒนา วิจัย และ ออกแบบยานยนต์ TSAE Auto Challenge 2009 เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนความรู้และการพัฒนาบุคลากรทางด้านยานยนต์ของประเทศให้มีความสามารถทัดเทียมกับต่างประเทศ ในโครงการนี้เป็น การออกแบบตามลักษณะการแข่งขันที่ต้องใช้ความเร็วสูงดังนั้นสิ่งที่พิจารณาเป็นอันดับแรกในการ ออกแบบคือความปลอดภัยของผู้ขับขี่ สองคือน้ำหนักที่เบาเพื่อเป็นการลดภาระที่กระทำกับ เครื่องยนต์ และสุดท้ายคือความแข็งแรงในการรับภาระทุกระณี การออกแบบนั้นจะใช้คอมพิวเตอร์มา ช่วยออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้าง ซึ่งมีผลอย่างมากต่อการเพิ่มประสิทธิภาพให้กระบวนการผลิต และเพิ่มคุณภาพให้กับชิ้นงาน

### 1.2 จุดประสงค์ของโครงการ

1. ออกแบบและสร้าง โครงรถแข่งขนาดเล็กเพื่อเข้าร่วมการแข่งขันรายการ TSAE Auto Challenge 2009
2. ออกแบบและวิเคราะห์ โครงรถให้ถูกต้องตามหลักการกลศาสตร์วิศวกรรมศาสตร์
3. ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาสร้างพร้อมทั้งเปรียบเทียบคุณสมบัติและราคา
4. วิเคราะห์ โครงรถด้วยวิธีการทดสอบทางไฟไนต์อิลิเมนต์โดยการจำลองสถานการณ์ต่างๆ
5. สร้าง โครงรถที่ได้ออกแบบไว้โดยใช้วัสดุที่เหมาะสมต่อสภาพความแข็งแรงและความปลอดภัย
6. ทดสอบ โครงรถ โดยวิธีทางไฟไนต์อิลิเมนต์และการทดสอบจริงเพื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกัน เพื่อหาความน่าเชื่อถือในการออกแบบ

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาข้อมูลของรถแข่ง และทำการออกแบบ โครงรถให้ถูกต้องตามหลักทางกลศาสตร์ทาง วิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ศึกษาความแข็งแรงต่างๆของ โครงรถด้วยการวิเคราะห์ค่าความแข็งแรงจากโปรแกรม คอมพิวเตอร์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อหาโครงสร้างที่จะใช้วัสดุน้อยลงซึ่งจะต้อง สามารถรับแรงภาระต่างๆที่จะมาทำกับตัวรถ โดยที่จะไม่ทำให้โครงรถได้รับความเสียหาย
3. สร้างโครงรถตามที่ได้ทำการออกแบบตามกฎกติกาการแข่งขัน Formula SAE 2009
4. ออกแบบโครงรถที่มีคนขับหนึ่งคน มีฐานล้อหน้าถึงล้อหลังไม่ต่ำกว่า 1520 มิลลิเมตร มี จุดศูนย์ถ่วงต่ำ มีค่าความปลอดภัยมากกว่า 2 และสามารถรับภาระแรงกระทำที่เกิดจากการขับ จี้ในสภาวะต่างๆ ได้ดี

#### 1.4 แนวทางการศึกษา

เริ่มต้นด้วยการศึกษาข้อมูลและเปรียบเทียบ โครงรถแข่งที่มีการสร้างจริงจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ เช่น เว็บไซต์นอกประเทศ หนังสือต่างๆที่เกี่ยวข้องเป็นต้น แล้วนำมาพัฒนาและปรับปรุงให้ เหมาะสม หลังจากทำการศึกษาเป็นอย่างดีแล้วทำการออกแบบและทำการจำลองด้วยโปรแกรม คอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม CATIA ในการออกแบบ โปรแกรม Abaqus เพื่อวิเคราะห์ความ เสี่ยงของโครงรถที่ได้ออกแบบไว้ในกรณีที่ได้รับภาระการบิดและการบิด

เมื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์เสร็จเรียบร้อยแล้วจึงลงมือสร้าง โครงรถตามที่ได้ออกแบบไว้ โดย เริ่มทำจากแบบจำลองโครงรถกระดาษก่อน เพื่อที่จะจัดตำแหน่งอุปกรณ์ต่างๆที่จะติดตั้งให้เหมาะสม และเมื่อมีการแก้ไข โครงรถต้องกลับไปแก้ที่แบบที่ได้ออกแบบไว้ในคอมพิวเตอร์และทำการวิเคราะห์ โครงสร้างใหม่ เมื่อได้แบบที่สมบูรณ์แบบแล้วจึงทำการสร้าง โครงรถของจริงที่มีความปลอดภัยและ ความแข็งแรงเพื่อใช้ในการแข่งขัน ทั้งยังต้องทำขอบเขตของงบประมาณและออกแบบให้รถถูกต้อง ตามกฎกติกา ซึ่งโครงงานนี้มีขอบเขตที่จะต้องนำมาพิจารณา โดยเป็นไปตามนี้

#### กฎในการออกแบบของ FSAE 2009[12]

จุดประสงค์ของการแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2009 ก็เพื่อให้นักศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ และกลุ่มนักศึกษาที่สนใจ สร้างรถเพื่อทำการแข่งขันรถแข่งขนาดเล็ก ในการแข่งขันนั้นใช้ทั้ง ความคิดสร้างสรรค์ การออกแบบ การจัดสร้าง และทำการแข่งขันในรูปแบบของรถสูตรหนึ่ง (Formula Style) เป็นรูปแบบการแข่งขันเป็นรอบๆลักษณะแบบการแข่งขันทางเรียบ ในการออกแบบ และจัดสร้างนั้นจะให้อิสระและความยืดหยุ่นอย่างเต็มที่ ภายใต้ข้อจำกัดอีกเล็กน้อย ในการเตรียมตัวที่ จะแข่งขัน ทางทีมงานจะใช้เวลาในการเตรียมงานอยู่ 8-12 เดือน และในระหว่างการแข่งขันนั้นทีมที่ เข้าแข่งขันจะต้องแสดงและพิสูจน์ให้ทีมอื่นเห็นถึงศักยภาพทั้งด้านการออกแบบ คำนวณคิดสร้างสรรค์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทักษะด้านการช่าง ซึ่งการแข่งขันนี้มีอีกหนึ่งจุดประสงค์เพื่อให้นักศึกษาสามารถคาดการณ์เกี่ยวกับช่องทางการไปสู่อุตสาหกรรมหรือโรงงานผลิต ในการออกแบบ จัดสร้าง และทดสอบรถต้นแบบ ก็เพื่อการมองไปถึงการผลิต การประเมินราคาทางอุตสาหกรรมและจุดมุ่งหมายทางด้านการตลาด การสร้างรถให้ชนะนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับทักษะของผู้ขับขี่เพียงอย่างเดียว รถจะต้องมีประสิทธิภาพสูงทั้งในด้านการเร่ง การเบรก และการบังคับเลี้ยว รถต้องมีราคาต่ำ ซ่อมบำรุงง่ายและมั่นใจเชื่อถือได้ รถต้องมีส่วนเสริมด้วยปัจจัยด้านความสวยงาม ความสะดวกสบาย และชิ้นส่วนที่หาได้ง่าย การแข่งขันมุ่งเน้นพัฒนารถให้ดีที่สุดตามจุดประสงค์และเจตนาที่วางไว้ รถแต่ละคันที่เข้าทำการแข่งขันจะมีการเปรียบเทียบกับรถคันอื่นๆที่เข้าทำการแข่งขันเพื่อหารถที่ดีที่สุด

ตารางที่ 1-1 เกณฑ์การให้คะแนน

Static		Dynamic	
- Cost and Manufacturing	100	- Acceleration	75
- Presentation	75	- Skid pad	50
- Design	150	- Autocross	150
		- Economics	100
		- Endurance	300
total	325		675

รวมทั้งหมดเป็น 1000 คะแนน

วิธีการดำเนินการตามเกณฑ์การให้คะแนน

### (1) Inspection

1. รถทุกคันต้องผ่านการทดสอบความปลอดภัยของตัวรถ (Toyota / Honda / Isuzu)
2. นำรถไปทดสอบการเอียงกับอุปกรณ์ที่จัดไว้ (Grandprix)
3. ทดสอบเสียง / วัดไอเสีย (กรมควบคุมมลพิษ / กรมการขนส่ง)
4. ทดสอบเบรกในสนาม สำหรับรถที่ผ่าน Inspection แล้ว (Grandprix)  
-การทดสอบเบรก วิ่งความเร็วประมาณ 40 กม. / ชม. ล้อทั้ง 4 ล้อ ต้องล๊อคพร้อมกัน

### (2) Static Competition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องเตรียมตัวแทนเพื่อนำเสนอ (ไม่จำเป็นต้องเป็นคนเดียวกัน)

- Cost ส่งตัวแทน 3 คน และนำรถมาประกอบการชี้แจงการใช้งานซึ่งงบประมาณในการจัดสร้างรถ
- Presentation ทีมส่งตัวแทนมานำเสนอ 3 คน ให้เวลา 10 นาที ถ้าใช้เวลาเกินจะตัดคะแนน นาทีละ 1 คะแนน แนวทางการนำเสนอให้เป็นการ Promote รถของทีม
- Design ส่งตัวแทน 4 คน และนำรถมาประกอบการนำเสนอด้านเทคนิควิศวกรรมการ ออกแบบรถของทีม

### (3) Dynamic Competitions

#### (3.1) Acceleration

- Acceleration 2 คนขับ ทดสอบจับเวลาคนละ 2 ครั้ง ชนกรวยล้ม หรือเคลื่อนที่ จะถูกเพิ่มเวลากรวยละ 2 วินาที

#### (3.2) Skid pad

- Skid pad คนขับ 2 คน ขับคนละ 2 รอบ ชนกรวยล้ม หรือเคลื่อนที่ จะถูกเพิ่มเวลากรวยละ 0.25 วินาที
- กรณีที่รถมีปัญหาไม่สามารถวิ่งได้จะถือว่าสิ้นสุดการทดสอบในรอบนั้น และไม่นำมาพิจารณาคะแนน
- กรณีที่รถเสียการควบคุมจนหลุดออกนอกเส้นทางทดสอบจะถือว่าสิ้นสุดการทดสอบในรอบนั้น และไม่นำมาพิจารณาคะแนน

#### (3.3) Autocross

- คนขับ 2 คน ขับคนละ 2 รอบ คนขับถัดไปให้ไปต่อท้ายเพื่อทำการทดสอบรอบถัดไป คิดคะแนนจากรอบที่ดีที่สุด
- ถ้ามีการชนกรวยล้มหรือเคลื่อนที่ บวกเพิ่มเวลากรวยละ 2 วินาที
- ถ้าไม่วิ่งเข้า slalom เพิ่มเวลา 20 วินาที
- กรณีที่รถเสียการควบคุมจนหลุดออกนอกเส้นทางทดสอบ(ทั้ง 4 ล้อ)จะเพิ่มเวลา 20 วินาที ทุกครั้ง
- กรณีที่รถมีปัญหาไม่สามารถวิ่งได้จะถือว่าสิ้นสุดการทดสอบในรอบนั้น และไม่นำมาพิจารณาคะแนน

#### (3.4) Endurance

- วิ่ง 22 รอบสนาม คนขับ 2 คน เปลี่ยนคนขับเมื่อครบ 11 รอบ

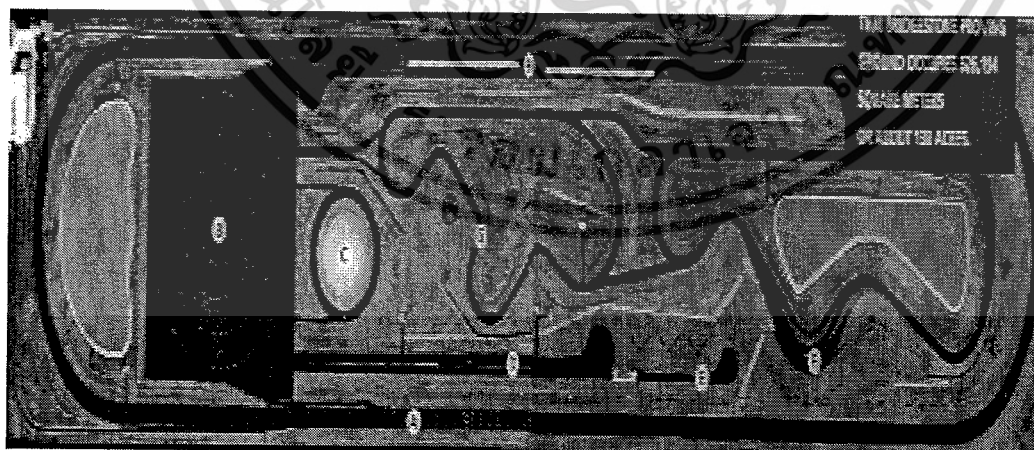
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จัดที่แข่งไว้ 1 จุด (ห้ามแข่งก่อนถึงจุด แข่งทางด้านซ้ายของสนาม) รถเข้าต้องรอให้แข่ง โดยจะมีกรรมการให้สัญญาณธง ถ้ามีการฝ่าฝืนสัญญาณจากกรรมการจะถูกตัดสิทธิการแข่งขัน Endurance
- ในกรณีที่ไม่วิ่งแข่งสัญญาณในกรณีอื่นๆ ปรับเวลาครั้งละ 1 วินาที
- ปลดอยรถวิ่งทดสอบครั้งละ 2 คัน โดยจัดกลุ่มรถที่วิ่งเร็วไว้ด้วยกัน ดูจากผล Autocross
- ถ้าชนกรวยล้มหรือเคลื่อนที่ปรับเวลา 2 วินาทีต่อกรวย
- ถ้าไม่วิ่งเข้า slalom เพิ่มเวลา 20 วินาที
- กรณีที่รถเสียการควบคุมจนหลุดออกนอกเส้นทางทดสอบ(ทั้ง 4 ล้อ)จะเพิ่มเวลา 20 วินาที ทุกครั้ง
- ในกรณีที่การทดสอบการประหยัดน้ำมันพบว่าใช้น้ำมันมากกว่า 26 ลิตร/100 กิโลเมตร เพิ่มเวลา 4 นาที
- คณะกรรมการมีสิทธิยกเลิกการแข่งขันหากพิจารณาว่าการขับขี่ยานั้น ช้าเกินไปหรือหวาดเสียวหรืออาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ตนเองและผู้ร่วมแข่งขันอื่นๆ

### (3.5) Fuel Economy

- รถที่แข่งขัน Endurance ครบรอบให้นำรถไปวัดน้ำมัน Fuel Economy (ถึงน้ำมันจะต้องมีคอดึงที่สามารถวัดระดับ น้ำมันได้สะดวก)
- Endurance และ Fuel Economy ถือว่าเป็นรายการเดียวกัน

### รูปแบบสนามแข่ง



รูปที่ 1-1 สนามแข่ง

เข้าทำการแข่งขันในวันที่ 13-15 มีนาคม 2552

สถานที่จัดการแข่งขันคือ สนามแข่งของบริษัท Bridgestone จังหวัดสระบุรี  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ระบบโครงรถ[8]

ในอุตสาหกรรมยานยนต์นั้นได้มีโครงรถที่นิยมกันอยู่หลายแบบ ในที่นี้จะขอพิจารณาโครงรถแบบ Space Frame และ โครงรถแบบ Monocoque เพียง 2 แบบเท่านั้น เพราะเป็นโครงรถที่นิยมกันมากในการสร้างรถแข่ง

จากการศึกษาโครงรถแต่ละแบบ เราพบข้อดี-ข้อเสีย ดังนี้

ตารางที่ 2-1 ข้อดี-ข้อเสียโครงรถแบบ Space Frame

Space Frame	
ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีน้ำหนักเบา	1. มีโอกาสเกิดการแตกหักบริเวณรอยเชื่อมได้
2. มีความแข็งแรงและแข็งแกร่งสูง	2. มีน้ำหนักที่มากกว่าโครงรถแบบ Monocoque
3. ออกแบบและสร้างได้ง่าย	3. องค์ประกอบที่เสริมเข้าไปภายหลังมีส่วนทำให้น้ำหนักมากขึ้น
4. ดัดแปลงแก้ไขโครงสร้างในภายหลังได้ง่าย	4. มีโอกาสที่โครงรถจะเกิดการเสียรูปขณะสร้างและภายหลังจากการสร้างได้
5. ใช้งบประมาณในการสร้างต่ำ	
6. สามารถสร้างได้โดยใช้อุปกรณ์ในโรงปฏิบัติงานช่างที่มีอยู่	

ตารางที่ 2-2 ข้อดี-ข้อเสียโครงรถแบบ Monocoque

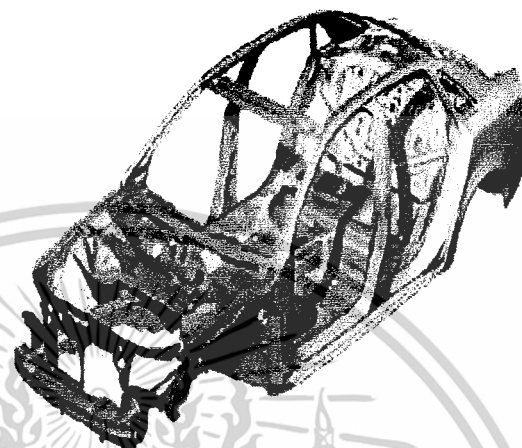
Monocoque	
ข้อดี	ข้อเสีย
1. มีน้ำหนักเบามาก	1. ใช้งบประมาณในการสร้างค่อนข้างสูง
2. มีความแข็งแรงและแข็งแกร่งสูง	2. การออกแบบต้องอาศัยความถูกต้องแม่นยำสูง
3. มีความถูกต้องแม่นยำของตำแหน่งจุดยึดต่างๆ	3. การแก้ไขงานภายหลังจากงานเสร็จเป็นไปได้ยากมาก
	4. ไม่สามารถสร้างได้โดยใช้อุปกรณ์ในโรงปฏิบัติงานช่างที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบถึงข้อดี-ข้อเสียในโครงรถแต่ละแบบข้างต้นแล้ว ในการทำโครงการนี้จึงได้เลือกสร้าง โครงรถแบบ Space Frame



(ก.)



(ข.)

รูปที่ 2-1 โครงรถแบบ (ก.) Space frame และ (ข.) Monocoque

## 2.2 Space Frame[2]

Space frame เป็นโครงรถที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ในแนวแกน 3 มิติ ชิ้นส่วนที่ประกอบ อาจจะเป็นเหล็กท่อ เหล็กคั่น เป็นต้น ซึ่งประกอบเข้าด้วยกันโดยวิธีการเชื่อม การวิเคราะห์โครงรถ เหล่านี้จะยุ่งยากมากหากจะใช้การวิเคราะห์ด้วยสูตร ดังนั้นในการวิเคราะห์จึงเลือกใช้โปรแกรมทาง ไฟไนต์อีลิเมนต์มาวิเคราะห์แรง Static เพราะว่าโครงสร้างนั้นรับแรงที่ไม่แน่นอน ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงในแต่ละท่อซึ่งจะต้องพิจารณาจากแรงที่ส่งผ่านเข้าไปยัง โครงรถ

จุดประสงค์ของ โครงรถคือเชื่อมต่อส่วนประกอบต่างๆของรถเข้าด้วยกันอย่างเหมาะสม โครงรถแบบ Space Frame ควรจะออกแบบให้มีการกระจายส่วนประกอบ เพื่อให้มีการถ่ายเท น้ำหนักให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เช่น ตำแหน่งระบบกันสะเทือน ตำแหน่งเครื่องยนต์ และตำแหน่ง คนขับ เป็นต้น

โครงรถนี้ใช้หลักการของ โครงสร้างรูปสามเหลี่ยมมาใช้ในการสร้าง ซึ่งเป็นทฤษฎีที่คำนึงถึง แรงอัดและแรงดึง การเสริมแนวเส้นทแยงนั้นจะช่วยรับภาระการยึดและการหดของชิ้นส่วนซึ่งเป็น ภาระความเครียดที่มากระทำ รวมทั้งยังคงรูปแบบของ โครงรถให้ไม่เสียรูปได้ ซึ่งส่งผลทำให้ โครงสร้างนั้นแข็งแรงขึ้น

การสร้างโครงรถแบบSpace frame นั้นนิยมสร้างจากเหล็ก Rectangular Hollow Section (RHS) และเหล็กท่อกกลมเนื่องจากง่ายต่อการเชื่อมต่อและได้ผิวที่ราบเรียบ แต่ที่นิยมอย่างมากคือเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบท่อกลมเนื่องจากรับภาระการบิดที่เป็นเส้นยาวซึ่งจะประกอบในโครงรถได้ดีซึ่งโดยการสร้างแล้วเป็นในชิ้นส่วนทั้งสองลักษณะแบบร่วมกันตามภาระในตำแหน่งที่ได้รับ ส่วนความยุ่งยากในการออกแบบนั้นจะเป็นส่วนในการสร้างร่อบากแบบต่างๆที่ต้องการความแม่นยำ ความแน่นอนเพื่อที่นำมาประกอบให้ได้ความแข็งแรงของโครงรถ วิธีในการสร้างจุดเชื่อมนั้นต้องมีการใช้เครื่องเชื่อมที่มีคุณภาพสูงแม่นยำ และในการเชื่อมนั้นรอยเชื่อมจากบริเวณรอยเชื่อมต้องมีความแข็งแรงด้วย

### 2.3 ทฤษฎีกลศาสตร์ยานยนต์[10]

การคำนวณค่าของภาระแรงที่มากระทำกับโครงรถมีความสำคัญต่อการนำไปออกแบบเพราะทำให้ทราบว่ามีความแข็งแรงมากกระทำที่จุดใด และจะได้นำค่าภาระแรงกระทำที่คำนวณได้ไปประกอบการออกแบบเพื่อให้ได้โครงรถที่สามารถทนต่อแรงภาระต่างๆได้

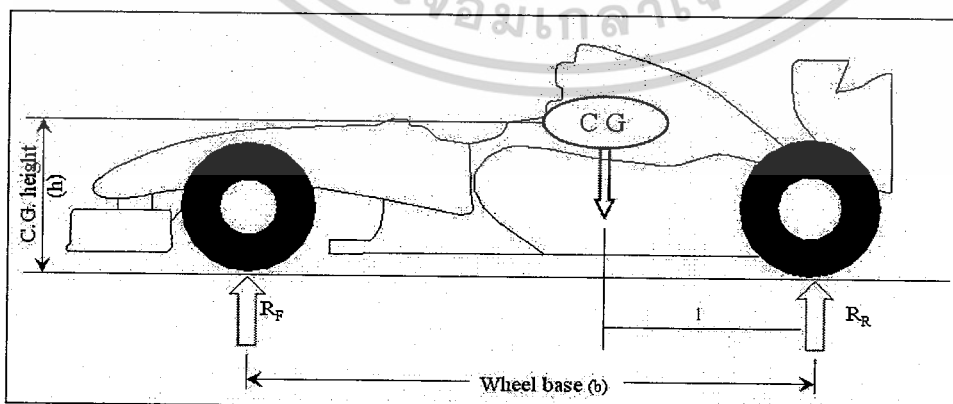
โดยที่มีข้อมูลของรถที่ได้กำหนดไว้เพื่อใช้ในคำนวณดังนี้

ระยะระหว่างล้อหน้ากับล้อหลังรถ (b)	1.625	เมตร
ระยะความกว้างของล้อซ้าย-ขวา (t)	1.250	เมตร
ระยะห่างจากจุด CG ถึงฐานล้อหลัง (l)	0.7425	เมตร
ระยะห่างจากจุด CG ถึงฐานล้อหน้า (a)	0.9075	เมตร
ความสูงของจุดศูนย์กลางถ่วง (h)	0.38	เมตร
น้ำหนักของรถเมื่อรวมคนขับ (m)	300	กิโลกรัม

2.3.1 เมื่อรถจอดนิ่งหรือวิ่งด้วยความเร็วคงที่ จะมีแรงปฏิกิริยาที่ล้อเป็นแรงกระทำกับพื้นที่ที่สัมผัส กับถนน

$$\text{แรงปฏิกิริยากระทำที่ล้อหน้า} \quad R_F = mg l / b \quad (2.1)$$

$$\text{แรงปฏิกิริยาที่กระทำที่ล้อหลัง} \quad R_R = mg (b-l) / b \quad (2.2)$$



รูปที่ 2-2 เมื่อรถจอดนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 แรงขับเคลื่อนที่ล้อ

ขณะที่รถกำลังวิ่งด้วยอัตราเร็วคงที่ใดๆ เครื่องยนต์จะถ่ายทอดกำลังไปยังล้อขับเคลื่อน แรงขับเคลื่อนที่ล้อจะต้องมีค่าเท่ากับแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้นเพื่อรักษาอัตราเร็วรถยนต์ให้คงที่ แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างกับล้อถนน ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับล้อถนนต้องสูงมากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการลื่นไถลบริเวณผิวสัมผัสดังกล่าว

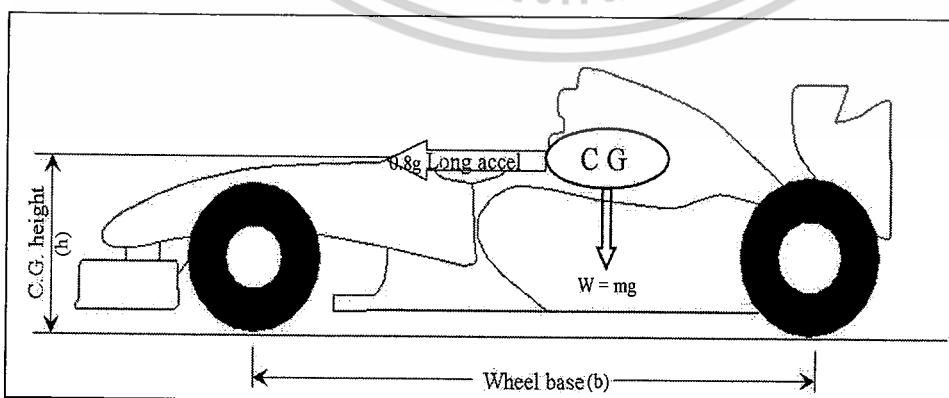
แรงขับเคลื่อนที่ล้อสามารถหาได้จากกำลังเครื่องยนต์ โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเครื่องยนต์กับทอร์กของเครื่องยนต์ ทอร์กจากเครื่องยนต์ที่ถ่ายทอดไปยังล้อจะมีบางส่วนสูญเสียไปในกระบวนการถ่ายทอดกำลัง แต่ทอร์กจะเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอัตราทดเฟืองที่ห้องเกียร์และเฟืองท้าย ดังนั้นเมื่อรวมทั้งหมดจะได้

$$\begin{aligned} \text{จาก } F &= \eta_i T / 100r & (2.3) \\ F &= 0.8 \times 13.914 \times 62 / 0.25 \\ &= 2,760.5376 \quad \text{นิวตัน} \end{aligned}$$

เมื่อ  $\eta$  = ประสิทธิภาพการส่งกำลัง ให้เท่ากับ 0.8  
 $i_t$  = อัตราทดเกียร์รวม (เลือกเกียร์เพราะมีอัตราทดสูงสุด) ให้เท่ากับ 13.914  
 $T$  = ทอร์กเครื่องยนต์ (เลือกค่าสูงสุดของเครื่องยนต์) จากเครื่องยนต์จริง ให้เท่ากับ 62 นิวตันต่อเมตร  
 $r$  = รัศมี sprocket ตัวหน้า ให้เท่ากับ 0.25 เมตร

### 2.3.3 การถ่ายเทภาระตามยาว

การเร่งความเร็วและการเบรกนั้นจะทำให้เกิดภาระกระทำกับโครงรถแข่งตลอดศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วง เป็นภาระที่มีการถ่ายเทน้ำหนักส่งผ่านในแนวยาวดังรูปที่ 2-3 การถ่ายเทภาระตามยาว ( $LLT_{long}$ ) มีสูตรที่ใช้คำนวณดังนี้



รูปที่ 2-3 การถ่ายเทภาระตามยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$LLT_{long} = \frac{\text{Long acceleration} \times \text{force down at axle} \times \text{cg Height}}{\text{Wheel base}} \quad (2.4)$$

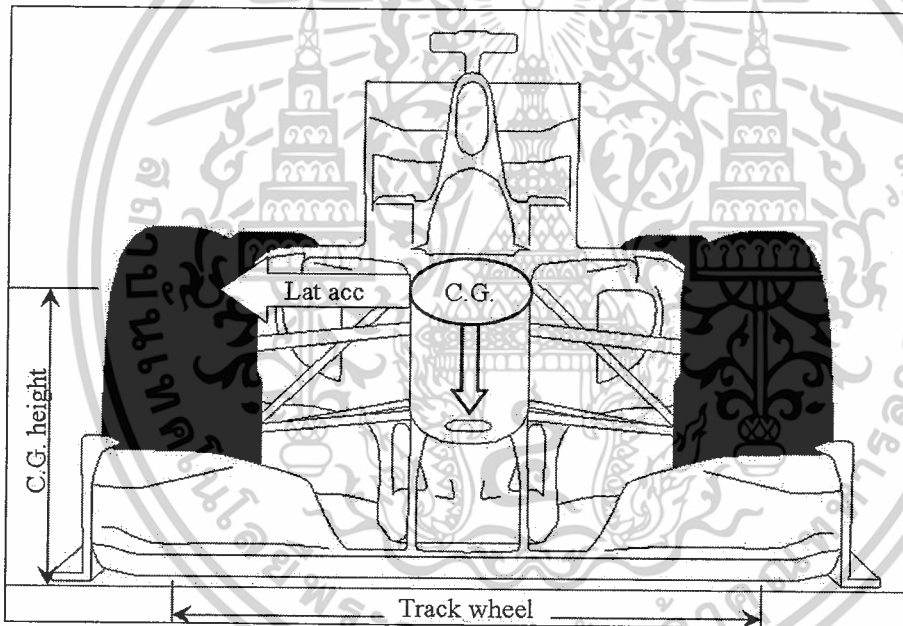
$$LLT_{long} = (0.8 \times 300 \times 9.81 \times 0.38 / 1.650)$$

$$LLT_{long} = 542.225 \text{ นิวตัน}$$

จากสมการจะเห็นว่า การถ่ายภาระตามยาวสามารถลดลงได้ โดยการเพิ่มความยาวของฐานล้อหน้าหลัง (b) และลดความสูงของจุดศูนย์กลางมวล (h)

### 2.3.4 การถ่ายเทภาระตามขวาง

ขณะทำการเลี้ยวโค้งจะมีแรงกระทำกับตัวรถที่จุดศูนย์กลางของแรงโน้มถ่วง เป็นภาระที่มีการถ่ายเทน้ำหนักส่งผ่านในแนวขวางดังรูปที่ การถ่ายเทภาระตามขวางจะมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณดังนี้



รูปที่ 2-4 การถ่ายเทภาระตามขวาง

$$LLT_{side} = \frac{\text{lateral acceleration} \times \text{force down at axle} \times \text{cg Height}}{\text{Track wheel}} \quad (2.5)$$

$$LLT_{lat} = (1.4 \times 300 \times 9.81 \times 0.38) / 1.250$$

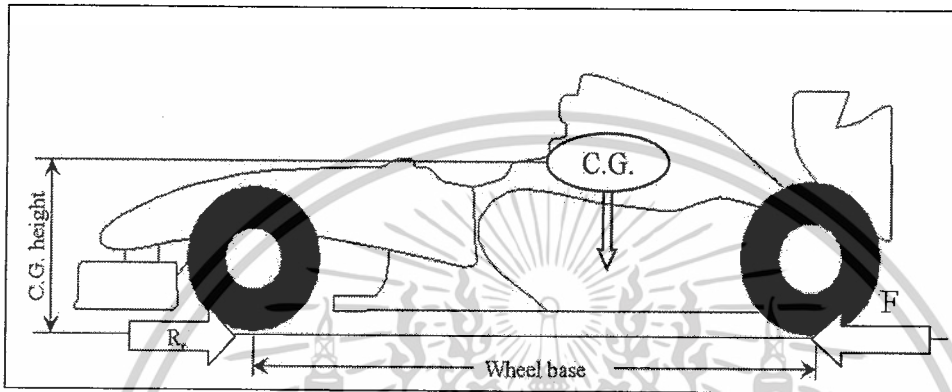
$$LLT_{lat} = 1,252.54 \text{ นิวตัน}$$

เมื่อเข้าโค้งด้วยความเร่ง 1.4g ซึ่งเป็นความเร่งสูงสุดและจากสมการจะเห็นว่า การถ่ายภาระตามยาวสามารถลดลงได้ โดยการเพิ่มความกว้างของล้อซ้าย-ขวา (t) และลดความสูงของจุดศูนย์กลางมวล (h)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 ความเร่งสูงสุด

พิจารณาเมื่อรถหยุดนิ่งและถนนเป็นแนวระดับจึงไม่มีแรงต้านอากาศและไม่มีแรงต้านทาง  
 ชั้นมวลส่วนที่หมุน เช่น เพลา เกียร์ เป็นต้น ไม่นำมาคิด จึงสมมติให้แรงต้านการเคลื่อนที่ของรถ มี  
 แรงต้านการหมุนของล้ออย่างเดียว แรงขับเคลื่อนสูงสุด =  $F_r = \mu R_r$  แสดงไว้ที่รูป 2-5 ซึ่งกระทำที่ล้อ  
 หลังเนื่องจากรถที่สร้างเป็นรถขับเคลื่อนล้อหลังหาความเร่งได้ดังนี้



รูปที่ 2-5 ความเร่งสูงสุด

จาก  $\Sigma F = ma$  ;  $F - R_r = ma$   
 $m =$  มวล,  $a =$  ความเร่งที่จุดศูนย์กลางมวล,  $R_r =$  แรงต้านการหมุนของล้อ  
 $a = (F - R_r) / m$  (2.6)  
 $a = (2,760.5376 - 52.974) / 300$   
 $a = 9.0252$  เมตร /วินาที<sup>2</sup>  
 $= 0.92g$

$g =$  ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก,  $F =$  จากค่าแรงขับเคลื่อนในข้อที่ 2.3.2

$R_r$  หาได้จากสมการนี้  $R_r = K_r W$

$K_r$  คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อตามชนิดและสภาพของถนน

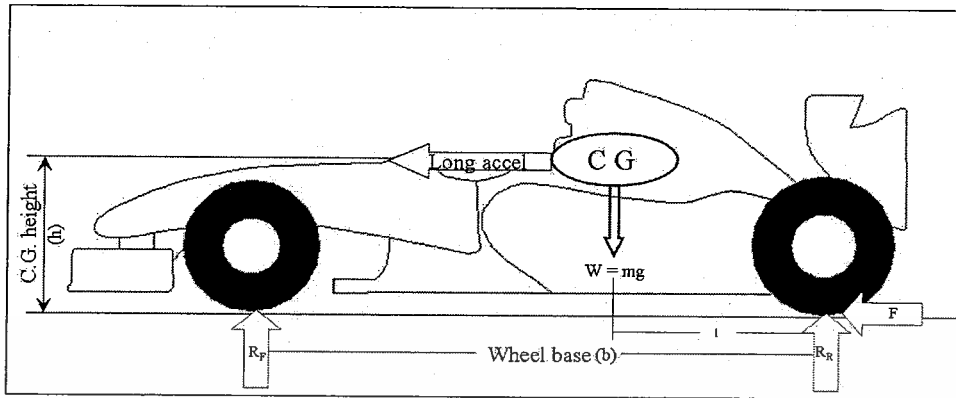
ซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0.018

$R_r = 0.018 \times 300 \times 9.81$   
 $= 52.974$  นิวตัน

2.3.6 ภาวะที่เกิดขึ้นกับรถขณะเร่งความเร็ว

ในขณะที่รถออกตัวจากจุดหยุดนิ่ง เครื่องยนต์จะถ่ายทอดทอร์กไปยังล้อขับเคลื่อนและทอร์ก  
 ที่ล้อขับเคลื่อนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นแรงขับเคลื่อน รถจะออกตัวได้แรงด้วยความเร็วสูงเมื่อแรง  
 ขับเคลื่อนมีมาก และรถออกตัวได้อึดเมื่อแรงขับเคลื่อนมีน้อย อย่างไรก็ตาม แรงขับเคลื่อนสูงสุดจะมีค่า  
 ไม่เกินค่าความเสียดทานระหว่างยางกับถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-6 ภาวะที่เกิดขึ้นกับรถขณะเร่งความเร็ว

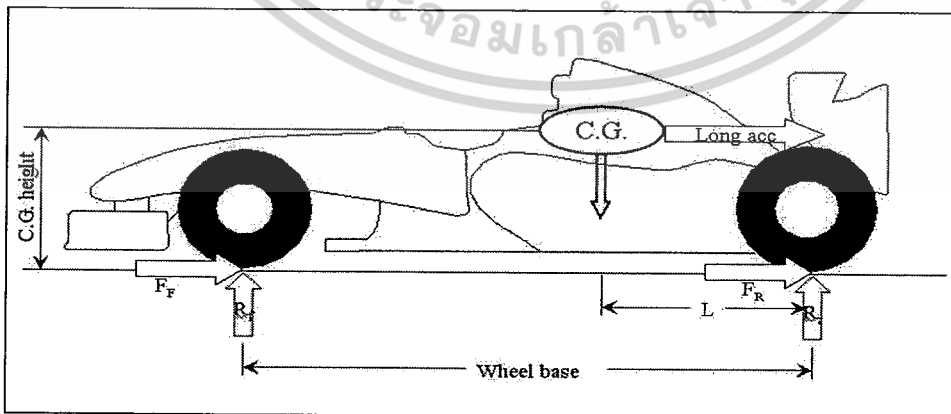
ภาวะที่เกิดขึ้นกับ โครงรถขณะเร่งความเร็ว

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } R_F &= \frac{mgl}{b} - 0.92mgh/b && (2.7) \\
 &= \frac{(300 \times 9.81 \times 0.7425)}{1.65} - \frac{(0.92 \times 300 \times 9.81 \times 0.38)}{1.65} \\
 &= 1,324.35 - 623.56 \\
 &= 700.79 \quad \text{นิวตัน}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_R &= \frac{mg(b-l)}{l} + 0.92mgh/b && (2.8) \\
 &= \frac{(300 \times 9.81 \times (1.65 - 0.7425))}{1.65} + \frac{(0.92 \times 300 \times 9.81 \times 0.38)}{1.65} \\
 &= 1,618.65 + 623.56 \\
 &= 2,242.21 \quad \text{นิวตัน}
 \end{aligned}$$

### 2.3.7 ความหน่วงสูงสุด

เกิดในกรณีที่รถกำลังเบรกด้วยแรงเบรกเต็มที่จนกระทั่งล้อล็อกตายและรถยนต์นั้นไถลไปบนถนน แรงเฉื่อยที่เกิดขึ้นเท่ากับ  $ma$  แรงเบรกสูงสุดที่ล้อหน้าคือ  $F_F = \mu R_F$  และแรงเบรกสูงสุดที่ล้อหลังคือ  $F_R = \mu R_R$



รูปที่ 2-7 ภาวะที่เกิดขึ้นกับรถขณะเบรกเต็มที่จนล้อล็อกตาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } \Sigma F &= ma \\
 F &= F_f + F_r \\
 ma &= \mu R_F + \mu R_R \\
 ma &= \mu(mg) \\
 a &= \mu g
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

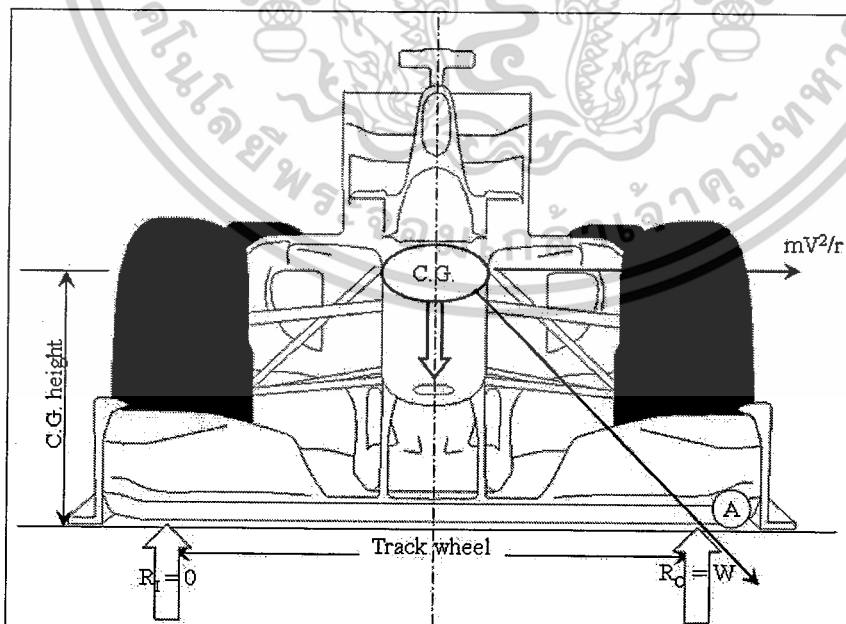
กำหนด  $\mu = 1.2[10]$  (ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของยางสลิก) ดังนั้นความหน่วงสูงสุดมีค่า 1.2g

ภาระที่เกิดขึ้นกับ โครงรอกขณะรถเบรก

$$\begin{aligned}
 \text{จาก } R_F &= mgl/b + 1.2mgh/b & (2.10) \\
 &= (300 \times 9.81 \times 0.7425)/1.65 + (1.2 \times 300 \times 9.81 \times 0.38)/1.65 \\
 &= 1325.35 + 813.34 \\
 &= 2138.69 \quad \text{นิวตัน}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_R &= mg(b-l)/l - 1.2mgh/b & (2.11) \\
 &= (300 \times 9.81 \times (1.65 - 0.7425))/1.65 - (1.2 \times 300 \times 9.81 \times 0.38)/1.65 \\
 &= 1618.65 - 813.34 \\
 &= 805.31 \quad \text{นิวตัน}
 \end{aligned}$$

### 2.3.8 ความเร่งหนีศูนย์กลาง



รูปที่ 2-8 ความเร่งหนีศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จากผลรวมโมเมนต์รอบจุด A} \quad mV^2h/r = mgt/2 \quad (2.12)$$

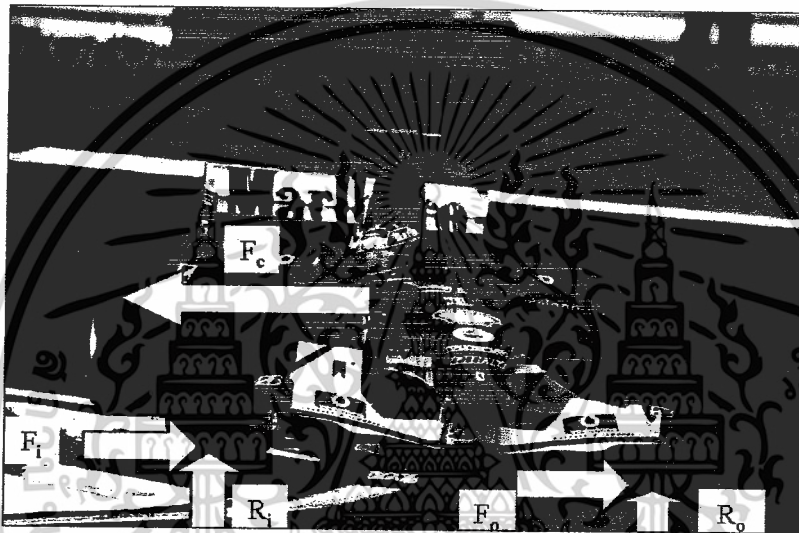
$$\text{ความเร่งสู่ศูนย์กลางโค้ง คือ} \quad V^2/r = gt/2h \quad (2.13)$$

$$= 1.6447g$$

โดยที่  $r =$  รัศมีการเลี้ยวโค้ง

### 2.3.9 แรงที่เกิดขึ้นเมื่อรถเลี้ยวโค้ง

เมื่อมีแรงและความเร่งเกิดขึ้นในขณะที่รถเลี้ยวโค้ง สังเกตได้ว่าเมื่อรถเลี้ยวโค้งจะมีการถ่ายเทแรงให้มีความสมดุลไปทางด้านใดด้านหนึ่งและแรงปฏิกิริยาที่ล้อซึ่งส่งผลมายัง โครงรถ



รูปที่ 2-9 แรงปฏิกิริยาเมื่อรถเลี้ยวโค้ง

แรงปฏิกิริยาที่ล้อขณะรถเลี้ยวโค้งขวา

$$\begin{aligned} R_L &= mg/2 + 1.6447gmh/t & (2.14) \\ &= (300 \times 9.81)/2 + (1.6447 \times 9.81 \times 300 \times 0.38)/1.25 \\ &= 1,471.5 + 1,471.5 \\ &= 2,943 \quad \text{นิวตัน} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_R &= mg/2 - 1.6447gmh/t & (2.15) \\ &= (300 \times 9.81)/2 - (1.6447 \times 9.81 \times 300 \times 0.38)/1.25 \\ &= 1,471.5 - 1,471.5 \\ &= 0 \quad \text{นิวตัน} \end{aligned}$$

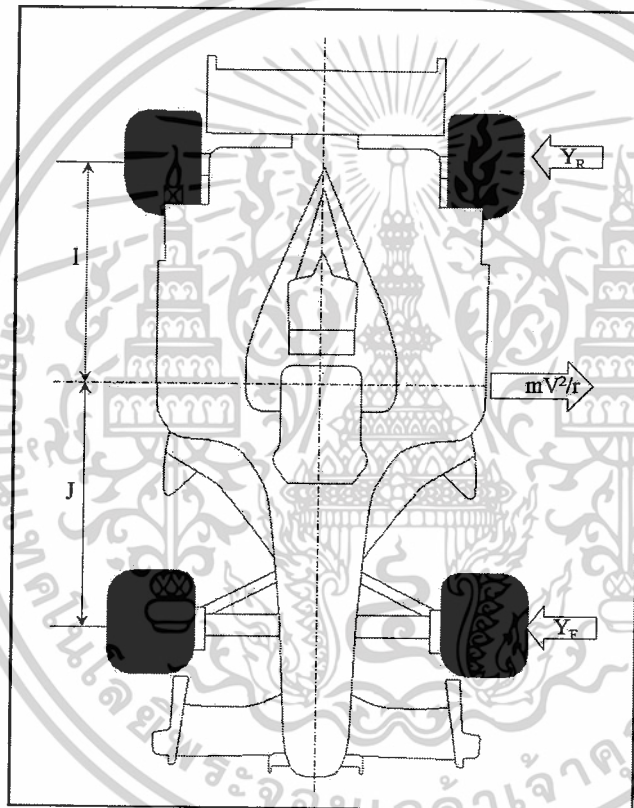
แรงปฏิกิริยาที่ล้อขณะรถเลี้ยวโค้งซ้าย

$$\begin{aligned} R_L &= mg/2 - 1.6447gmh/t & (2.16) \\ &= (300 \times 9.81)/2 - (1.6447 \times 9.81 \times 300 \times 0.38)/1.25 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 &= 1,471.5 - 1,471.5 \\
 &= 0 \quad \text{นิวตัน} \\
 R_R &= mg/2 + 1.6447gmh/t \quad (2.17) \\
 &= (300 \times 9.81)/2 + (1.6447 \times 9.81 \times 300 \times 0.38)/1.25 \\
 &= 1,471.5 + 1,471.5 \\
 &= 2,943 \quad \text{นิวตัน}
 \end{aligned}$$

### 2.3.10 แรงกระทำด้านข้างที่กระทำกับล้อหน้าและล้อหลัง



รูปที่ 2-10 แรงกระทำด้านข้างที่กระทำกับล้อหน้าและล้อหลังเมื่อรถเลี้ยวโค้ง

เมื่อกำหนดจุดหมุนที่ล้อหน้าและล้อหลังจะได้

$$\text{แรงด้านข้างที่ล้อหน้า} \quad Y_F = mgtl/2h(J+l) \quad (2.18)$$

$$\text{แรงด้านข้างที่ล้อหลัง} \quad Y_R = mgtJ/2h(J+l) \quad (2.19)$$

จาก สมการที่ 2.13 สามารถเขียนสมการ 2.18 กับ 2.19 ได้ใหม่เป็น

$$Y_F = 1.6447gm/b \quad (2.20)$$

$$= (1.6447 \times 9.81 \times 300 \times 0.7425)/1.65$$

$$= 2178.16 \quad \text{นิวตัน}$$

$$Y_R = 1.6447gmJ/b \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= (1.6447 \times 9.81 \times 300 \times 0.9075) / 1.65$$

$$= 2662.19 \quad \text{นิวตัน}$$

จากการวิเคราะห์การถ่ายเทภาระ พบว่าความสูง (h) มีผลกระทบต่อภาระที่ขึ้น ดังนั้นการออกแบบบดควรจัดระบบต่างๆ ให้จุด cg ต่ำที่สุด

## 2.4 ทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง[6]

### 2.4.1 การเปลี่ยนแปลงรูปด้วยแรงคด

ชิ้นส่วน โครงสร้างถูกแรงกระทำในลักษณะของแรงคด จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างขึ้น โดยถ้าเป็นชิ้นส่วน โครงสร้างยาว มีฐานรองรับน้ำหนักกระทำ และมีน้ำหนักกระทำในแนวตั้งฉากกับแนวแกนด้านยาวของชิ้นส่วน โครงสร้าง จะนิยมเรียก โครงสร้างนี้ว่า คาน(Beam) ซึ่งเมื่อคานถูกกระทำจะเกิดการโค้งงอบิดเบี้ยวบ้าง แล้วแต่ขนาดของแรงที่มากกระทำ และลักษณะของคานนั้น ๆ ดังแสดงในรูปที่ และจะมีสิ่งที่ต้องการทราบและเข้าใจคือ แกนสะเทิน (Neutral Axis) แกนแนวยาว (Longitudinal Axis) และผิวสะเทิน (Neutral surface)

เมื่อพิจารณารูปที่ 2-11 สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียด (Strain,  $\epsilon$ ) กับระยะใดๆที่ห่างจากแกนสะเทิน โดยอาศัยสมการสามเหลี่ยมคล้ายซึ่งสามารถเขียนได้เป็นสมการ

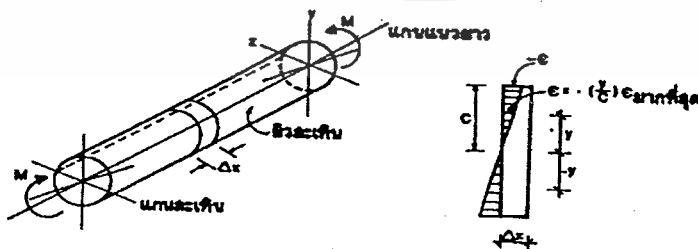
$$\frac{\epsilon}{\epsilon_{\max}} = \frac{-y}{\rho} = \frac{-y}{c} \quad (2.22)$$

เมื่อ  $\epsilon$  = ค่าความเครียด

$y$  = ระยะห่างจากแกนสะเทินถึงตำแหน่งใดๆบนหน้าตัด

$c$  = ระยะห่างจากแกนสะเทินถึงจุดผิวของคาน

$\rho$  = รัศมีของคานที่ถูกคดจน โค้ง



รูปที่ 2-11 คานถูกแรงกระทำจนกระทั่งเกิดการโค้งงอขึ้น

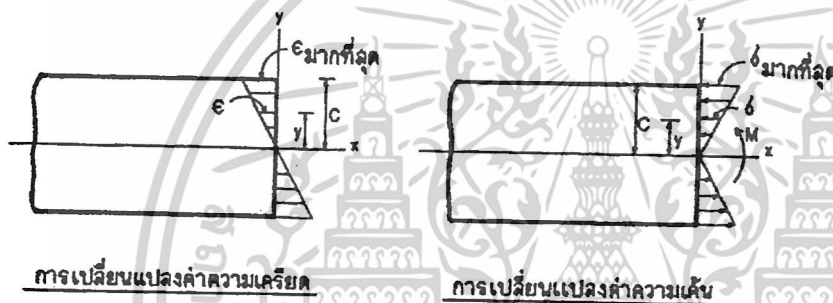
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการแรงคัต

เมื่อทราบสมการ แล้วจะนำสมการนี้มาทำการสร้างสูตรแรงคัต โดยมีค่าความเค้น (Stress,  $\sigma$ ) นำมาคิดวิเคราะห์การคัตคานด้วยแรงคัต เนื่องจากค่าความเค้นกับค่าความเครียด มีความสัมพันธ์กันอยู่แล้ว คือ  $\sigma = E\varepsilon$  ทำให้สมการ สามารถเขียนใหม่ได้เป็นสมการ

$$\sigma = \left( \frac{-y}{c} \right) \sigma_{\max} \quad (2.23)$$

เพื่อให้สามารถนำค่าต่างๆข้างต้นมาสร้างความสัมพันธ์เกี่ยวกับขนาดโมเมนต์คัต (M) โดยใช้รูปที่ 2-12 มาช่วยในการสร้างสูตรแรงคัต จากสมการสมคูล จะสามารถช่วยในการวิเคราะห์ปัญหานี้ได้ ดังแสดงไว้ในสมการ



รูปที่ 2-12 การเปลี่ยนแปลงของค่าความเครียดและความเค้นบนหน้าตัดใดๆ

$$M = \int_A y dF = \int_A y (\sigma dA) = - \int_A y \left( \frac{-y}{c} \right) \sigma_{\max} dA \quad (2.24)$$

$$M = \frac{\sigma_{\max}}{c} \int_A y^2 dA$$

ดังนั้นจากสมการ(2.21) สามารถเขียนได้ใหม่เป็นสมการ

$$\sigma_{\max} = \frac{Mc}{I} \quad (2.25)$$

เมื่อ  $\sigma_{\max}$  = ค่าความเค้นตั้งฉากมากที่สุด ซึ่งจะเกิด ณ ตำแหน่งที่ไกลที่สุดจากแนวแกนสะเทิน

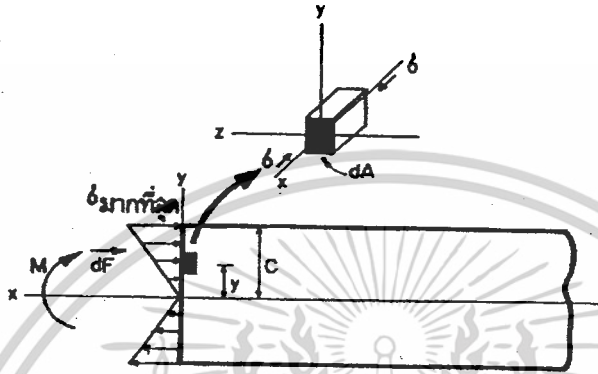
M = ค่าโมเมนต์รวม ซึ่งสามารถหาได้ด้วยวิธีตัดพื้นที่หน้าตัดและใช้สมการสมคูล

I = ค่า Moment of Inertia ของพื้นที่หน้าตัดคาน

c = ระยะห่างระหว่างแนวแกนสะเทินกับจุดไกลที่สุดจากแนวแกนสะเทิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2-13 ให้พิจารณาเครื่องหมายลบของค่า  $\sigma$  เพราะว่า เมื่อค่า  $y$  มีเครื่องหมายเป็นบวก ค่า  $M$  มีเครื่องหมายบวกรอบแกน  $Z$  จะเกิดค่า  $\sigma$  ในทิศทางสวนทางกับแกน  $x$



รูปที่ 2-13 การวิเคราะห์การเกิดความเค้นคัดของคานใด ๆ

#### 2.4.2 การเปลี่ยนแปลงรูปด้วยแรงบิด

ขณะที่รถกำลังวิ่งเข้าโค้งหรือวิ่งผ่านพื้นผิวที่มีความราบเรียบไม่สม่ำเสมอจะมีผลทำให้แรงกระทำกับล้อแต่ละล้อไม่เท่ากัน ส่งผลให้โครงเกิดการบิดขึ้น

โมเมนต์บิด (Torsion) คือ โมเมนต์ที่มีแนวโน้มที่จะบิดขึ้นส่วนตามแนวแกนยาว ผลดังกล่าวจะเกี่ยวข้องกับการออกแบบข้อต่อหรือเพลาคัปที่ใช้ในยานยนต์หรือเครื่องจักรกล

$$\text{จาก } K = T/\theta \quad (2.26)$$

$$\text{เมื่อ } K = \text{โมเมนต์บิด}$$

$$T = \text{แรงบิดที่เกิดขึ้นกับ โครงรถ}$$

$$\theta = \text{องศาการบิดของ โครงรถ}$$

#### 2.4 ทฤษฎีพลังงานแปรรูป[6]

ทฤษฎีความเสียหายนี้อายเรียกว่า ทฤษฎีพลังงานเฉือน (Shear energy theory) หรือ ทฤษฎีวอนมิสเฮนคีย์ (Von Mises Hencky theory) ทฤษฎีนี้กล่าวว่า “การครากจะเกิดขึ้นเมื่อพลังงานแปรรูปเชิงมุม (energy of angular distance) เท่ากับพลังงานแปรรูปเชิงมุมภายใต้การทดสอบแรงดึงอย่างง่าย”

ทฤษฎีพลังงานแปรรูป เกิดจากการสังเกตพบว่า วัสดุเหนียวภายใต้ความเค้นไฮโดรสแตติก (ดึงเท่ากันหรืออัดเท่ากัน) จะมีความต้านแรงดึงครากสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบแรงดึงและแรงอัดอย่างง่าย

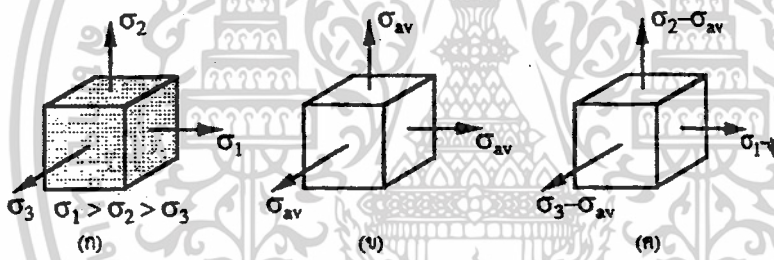
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่าการครากไม่ได้เป็นปรากฏการณ์จากแรงดึงระแວดอย่างง่ายทั้งหมด แต่ควรจะสัมพันธ์กับการแปรรูปเชิงมุมของอิเลเมนต์ที่ได้รับความเค้นด้วย เอลิเมนต์ในรูปที่ 2-14(ก) ได้รับความเค้นในแนวแกน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างเดียว ดังนั้นถ้าเอาพลังงานความเครียดทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกรณี รูปที่ 2-14(ก) ลบด้วยพลังงานความเครียดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนปริมาตรอย่างเดียว ในกรณีรูปที่ 2-14(ข) จะได้ว่าพลังงานความเครียดที่เหลือทำให้เกิดการแปรรูปเชิงมุมเท่านั้น ดังรูปที่ 2-14(ค) แสดงเอลิเมนต์ภายใต้การกระทำของความเค้นที่เหลือ คือ

$$\sigma_1 - \sigma_{av}, \sigma_2 - \sigma_{av}, \sigma_3 - \sigma_{av} \quad (2.27)$$

จากรูปที่ 2-14(ก) เอลิเมนต์ภายใต้สภาวะความเค้นสามมิติ  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  พลังงานความเครียดทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร คือ

$$\begin{aligned} u &= u_1 + u_2 + u_3 = \frac{1}{2}(\sigma_1 \varepsilon_1 + \sigma_2 \varepsilon_2 + \sigma_3 \varepsilon_3) \\ &= \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2u(\sigma_1 \varepsilon_1 + \sigma_2 \varepsilon_2 + \sigma_3 \varepsilon_3)] \end{aligned} \quad (2.28)$$



รูปที่ 2-14 เอลิเมนต์ภายใต้สภาวะความเค้นสามมิติ

ถ้ากำหนดให้ความเค้นไฮโดรสแตติกเป็นความเค้นเฉลี่ย คือ

$$\sigma_{av} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (2.29)$$

ดังนั้นพลังงานความเครียดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร คือ

$$u_v = \frac{1}{2E} [3\sigma_{av}^2 - 2\mu(3)\sigma_{av}^2] = \frac{3\sigma_{av}^2}{2E} (1 - 2\mu) \quad (2.30)$$

จากสมการ(2.26) ยกกำลังสอง แล้วแทนค่าในสมการ (2.27) ได้

$$u_v = \frac{1-2\mu}{6E} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + 2\sigma_1\sigma_2 + 2\sigma_2\sigma_3 + 2\sigma_3\sigma_1) \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดสอบแรงดึงอย่างง่าย เมื่อตั้งขึ้นทดสอบถึงจุดคราก คือ  $\sigma_1 = s_y$  และ  $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$  ดังนั้นพลังงานแปรรูป คือ

$$u_d = \left( \frac{1+\mu}{3E} \right) s_y^2 \quad (2.32)$$

จากนิยามของทฤษฎีพลังงานแปรรูป การครากจะเกิดขึ้นเมื่อสมการ(2.27) เท่ากับสมการ (2.29) ซึ่งจะได้

$$2s_y^2 = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \quad (2.33)$$

สำหรับกรณีความเค้น 2 มิติ ( $\sigma_3 = 0$ ) การครากจะเกิดขึ้นเมื่อ

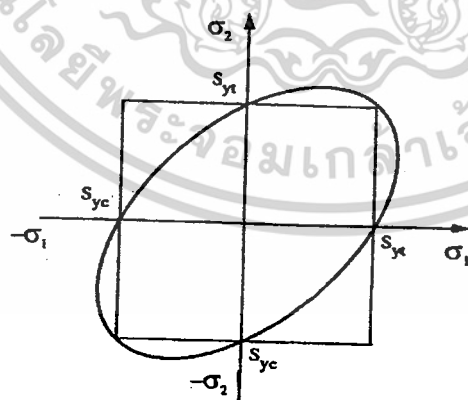
$$s_y^2 = \sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 \quad (2.34)$$

จากสมการ(2.31) ซึ่งเป็นสมการวงรี สามารถเขียนแผนภาพทฤษฎีความเสียหายนี้ภายใต้สถานะความเค้นสองมิติ ได้ดังรูปที่ 2-15

สำหรับกรณีความเค้นเฉือนล้วน  $\sigma_1 = -\sigma_2 = \tau = s_{sy}$  แทนลงในสมการ จะได้ว่า  $s_{sy} = 0.577s_y$  (2.35)

จากสมการ (2.30) และสมการ (2.31) เพื่อความสะดวกขึ้น ถ้าให้ความเค้นวอนมิสซีส (Von Misses Stress) ในกรณีความเค้นสามมิติ

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (2.36)$$



รูปที่ 2-15 ขอบเขตความเสียหายของทฤษฎีพลังงานแปรรูป

และสำหรับความเค้น 2 มิติ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ชิ้นงานจะเกิดการคราก เมื่อ

$$\sigma' = s_y$$

สำหรับในกรณีที่ชิ้นงานได้รับ โมเมนต์ดัดและ โมเมนต์บิดกระทำผสมกัน สามารถหาค่าความเค้นวอนมิสเชส โดยไม่ต้องเขียนวงกลมโมร์ก่อนก็ได้ เนื่องจากสมการค่าความเค้นหลัก คือ

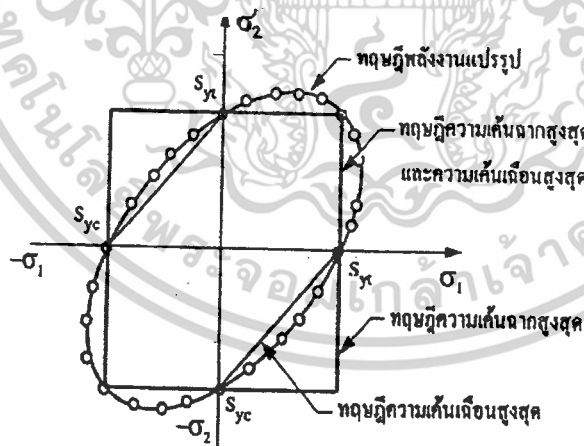
$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{4} + \tau_{xy}^2} \\ \sigma_2 &= \frac{\sigma_x}{2} - \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{4} + \tau_{xy}^2}\end{aligned}\quad (2.38)$$

เมื่อแทนค่าความเค้นหลักทั้งสองลงในสมการ(2.34) จะได้ว่า

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (2.39)$$

#### หมายเหตุ

การเปรียบเทียบทฤษฎีความเสียหายสถิตที่ใช้กับวัสดุเหนียวทั้งสามทฤษฎี ดังแสดงในรูปที่ 2-16 สามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 2-16 การเปรียบเทียบทฤษฎีความเสียหายสถิตที่ใช้กับวัสดุเหนียวทั้งสามทฤษฎี

1. เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจะได้ว่า ทฤษฎีพลังงานความเครียดทำนายความเสียหายทั้ง 4 ทิศด้านที่ได้ออกดีกว่าทฤษฎีความเค้นฉากสูงสุดและทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด จึงเป็นทฤษฎีที่ดีที่สุดสำหรับใช้กับวัสดุเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ในควอดเร้นที่ 1 และ 3 ทฤษฎีความเค้นฉากสูงสุดและความเค้นเฉือนสูงสุดทำนายขอบเขตความเสียหายเหมือนกัน และอยู่ภายในขอบเขตของทฤษฎีพลังงานแปรรูป ดังนั้นทั้งสองทฤษฎีจึงให้การทำนายความเสียหายที่ค่อนข้างจะปลอดภัย

3. ในควอดเร้นที่ 2 และ 4 ขอบเขตความเสียหายของทฤษฎีความเค้นฉากสูงสุดอยู่ภายนอกขอบเขตของทฤษฎีพลังงานแปรรูป จึงไม่แนะนำให้ใช้ทฤษฎีความเค้นฉากสูงสุดในควอดเร้นนี้ เพราะให้การทำนายความเสียหายไม่ปลอดภัย

4. ในควอดเร้นที่ 2 และ 4 ขอบเขตความเสียหายของทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดอยู่ภายในขอบเขตของทฤษฎีพลังงานแปรรูป ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดจึงทำให้การทำนายความเสียหายที่ค่อนข้างจะปลอดภัยเกินไป

5. การใช้ทฤษฎีพลังงานแปรรูปค่อนข้างจะยุ่งยากกว่าทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดเล็กน้อย

6. โดยทั่วไปผู้ออกแบบมักจะนิยมใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด ในกรณีที่ต้องการให้มีความปลอดภัยสูงกว่า หรือได้ขนาดของชิ้นงานที่โตกว่าถ้าไม่คำนึงถึงราคา ส่วนทฤษฎีพลังงานแปรรูป จะใช้ในกรณีที่ต้องการให้ขนาดชิ้นงานใกล้เคียงความจริงซึ่งจะประหยัดวัสดุกว่า

ในการวิเคราะห์ความเสียหายภายใน โครงงานนี้ ทฤษฎีความเสียหายที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ความทฤษฎีความเค้นวอนมิสเฮนคีย์ (Von-Mises Hencky Theory) ซึ่งทฤษฎีนี้กล่าวว่า สำหรับวัสดุเหนียว การครากของวัสดุจะเกิดขึ้นเมื่อพลังงานแปรรูปเชิงมุม (Energy of Angular distortion) มีค่าเท่ากับพลังงานแปรรูปเชิงมุมภายใต้การทดสอบแรงดึงอย่างง่าย

## บทที่ 3

### การเลือกวัสดุ

#### 3.1 ขอบเขตในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุ[2]

ในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุนั้น นอกจากคุณสมบัติทางกายภาพที่มีความสำคัญต่อความแข็งแรงและน้ำหนักของวัสดุแล้ว เรายังต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบในการสร้างและความคุ้มค่าที่จะได้รับนำมาวมคิดเป็นค่าใช้จ่ายทางการเงินของทีม โดยจะทำการพิจารณาตามนี้

1. กติกาการแข่งขัน
2. ความยากง่ายในการจัดหาวัสดุ
3. ราคาความคุ้มค่าของวัสดุ
4. กระบวนการในการนำมาใช้งาน
5. ความจำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพวัสดุโดยใช้ความร้อน
6. การปรับปรุงพื้นผิววัสดุ /หรือการเคลือบผิววัสดุ
7. การแตก (Cracking) ของรอยเชื่อม

#### 3.2 กติกาการแข่งขันเกี่ยวกับการเลือกวัสดุ[12]

โครงสร้างจะต้องสร้างจากท่อกลม ท่อโลหะอ่อน ท่อเหล็กกล้าผสม ท่อเหล็กกล้า เหล็กพื้นฐาน ที่ใช้ต้องมีเงื่อนไขตามข้อกำหนดต่อไปนี้ (เลือกใช้อย่างใดอย่างหนึ่งได้)

1. Mild or alloy steel เฟอร์เซนต์คาร์บอนน้อยที่สุดคือ 0.1% โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ส่วนผสมทางเคมี
2. Mild or alloy steel ที่มี tensile strength น้อยที่สุดคือ 290 N/m โดยอ้างอิงจากมาตรฐาน ความแข็งแรงทางกล โดยมีขนาดไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ในตารางดังนี้

ตารางที่ 3-1 แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของท่อที่ใช้ทำอุปกรณ์ต่างๆ [12]

Item or Application	Outside diameter x Wall thickness
Main & Front Hoops , Shoulder Hardness Mounting Bar	1.0 inch(25.4 mm) x 0.095 inch(2.4 mm) or 25.0 mm x 2.50 mm metric
Side Impact Structure, Front Bulkhead, Roll Hoop Bracing, Driver's Restraint Hardness Attachment(except as noted above)	1.0 inch(25.4 mm) x 0.065 inch(1.65 mm) or 25.0 mm x 1.75 mm metric or 25.4 mm x 1.60 mm metric
Front Bulkhead Support	1.0 inch (25.4 mm) x 0.049 inch(1.25mm) or 25.0 mm x 1.5 mm metric or 26.0 mm x 1.2 mm metric

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การคัดเลือกวัสดุเพื่อใช้ทำโครงรถตามเกณฑ์ต่างๆ[12]

1. ตรงกับเงื่อนไขตามกติกาการแข่งขัน เหล็กสามารถใช้กับทุกชิ้นส่วนของเฟรมได้ คือ โครงป้องกันศีรษะคนขับ (Main Hoop) ส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมมีคุณสมบัติที่ไม่ผ่านกติกาใหม่ในปีนี้
2. วัสดุที่ใช้ต้องหาได้ง่าย เหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิม และอลูมิเนียมสามารถหาซื้อได้ทั่วไป ไม่มีอุปสรรคในการจัดหาวัสดุ
3. การพิจารณาในความคุ้มค่าทางการเงิน ใช้มาตรฐานจากราคาในกติกาการแข่งขัน

ตารางที่ 3-2 แสดงราคาต่อน้ำหนักของวัสดุชนิดต่างตามกติกา FSAE 2009

Common Materials and Cost Minimums Table	
Mild steel, e.g. 1010, 1025	\$0.30/pound
Alloy steel, e.g. 4130, Chrome Moly	\$0.60/pound
Aluminum	\$0.75/pound
Magnesium	\$2.25/pound
Non-graphite composites	\$88.18/kg (\$40/pound)
Graphite-based composites	\$220.50/kg (\$100/pound)

จากตารางที่ 3-2 ราคาต่อน้ำหนักของเหล็กกล้าที่สุก และอลูมิเนียมสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบโลหะสามชนิดคือ เหล็ก เหล็กกล้าไร้สนิม และอลูมิเนียม

4. กระบวนการในการใช้งาน เหล็กมีกระบวนการในการเชื่อมและตัดแต่งที่ง่ายกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมและอลูมิเนียม
5. การปรับปรุงพื้นผิว หรือการเคลือบผิว เหล็กจำเป็นต้องทาสีเพื่อป้องกันสนิมแตกต่างจากเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งมีความต้านทานการเกิดสนิมอยู่แล้ว ส่วนอลูมิเนียมก็ไม่จำเป็นต้องทาสีเช่นกัน
6. คุณสมบัติการเชื่อมที่ต้องการของวัสดุ เหล็กอัลลอยมีโอกาสในการเกิดการแตกในขณะเย็นตัวหลังจากการเชื่อม (Cracking) น้อยกว่าเหล็กคาร์บอน ดังนั้นเพื่อป้องกันการแตกควรให้ความร้อน (Preheated) ก่อนการเชื่อมเนื่องจากการแตกจะเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเหล็ก

#### เลือกใช้เหล็กเกรดพิเศษเนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1. ผ่านเงื่อนไขกติกาการแข่งขัน FSAE 2009 (เหล็กกล้าไร้สนิมที่เลือกใช้เมื่อปีที่แล้ว ไม่ผ่านเงื่อนไขด้านความแข็งแรง)
2. จัดหาวัสดุได้ง่าย
3. ราคาต่อน้ำหนักไม่สูงเกินไป อยู่ระหว่างราคาของเหล็กและอลูมิเนียม
4. ง่ายต่อการเชื่อมและการตัดแต่งต่อเติม

เอกสารนี้ **ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพวัสดุด้วยความร้อน** นั่น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จำเป็นต้องทาสีเพื่อป้องกันการเกิดสนิมแต่สามารถใช้ข้อค้อยตรงจุดนี้มาเป็นข้อเด่นได้โดยการทาสีให้สวยงามชวนสะดุดตา
7. มีโอกาสเกิดการแตก (Cracking) ของรอยเชื่อมน้อยกว่าเหล็กธรรมดา

ตารางที่ 3-3 แสดงเกณฑ์และการเลือกเปรียบเทียบวัสดุ

เกณฑ์	เหล็ก (Steel)	เหล็กกล้าไร้สนิม	อลูมิเนียม
1. ตรงกับเงื่อนไขตามกติกาการแข่งขัน	ผ่านเงื่อนไข	ไม่ผ่านเงื่อนไข บางข้อ	ไม่ผ่านเงื่อนไข บางข้อ
2. วัสดุต้องหาได้ง่าย	หาง่าย	หาง่าย	หาง่าย
3. การพิจารณาในความคุ้มค่าทางการเงิน	\$ 0.3/pound	\$ 0.6/pound	\$ 0.75/pound
4. ความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงคุณภาพโคใช้ความร้อน	ไม่จำเป็น	ไม่จำเป็น	จำเป็น
5. การปรับปรุงพื้นผิว/หรือการเคลือบผิว	จำเป็น	ไม่จำเป็น	ไม่จำเป็น
6. การแตก(Cracking)	เกิด	ไม่เกิด	-

### 3.4 คุณสมบัติของเหล็กเกรดพิเศษ (STKM 11A)

เหล็กเกรดพิเศษ เป็นเหล็กที่ผสมธาตุต่าง ๆ ลงไปเพื่อให้มีคุณสมบัติที่หลากหลายและเหมาะสมกับการใช้งานเป็นงาน ๆ ไป มีลักษณะเด่นคือ มีลักษณะทางกลที่ดี, ทนต่อการกัดกร่อนและทนความร้อน ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับส่วนผสม

ธาตุที่ผสมในเหล็กเกรดพิเศษ และจุดประสงค์ในการเติม

- โครเมียม (Cr) - เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน(Corrosion Resistance)  
- เพิ่มความต้านทานที่อุณหภูมิสูง (Heat Resistance)
- นิกเกิล(Ni) - เพิ่มให้ได้ออสเทนไนต์ที่อุณหภูมิห้อง  
- เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน (Corrosion Resistance)
- คาร์บอน(C) - ลดความต้านทานการกัดกร่อน(Corrosion Resistance)  
- เพิ่มความแข็ง
- แมงกานีส(Mn) - ช่วยให้เกิดออสเทนไนต์ที่อุณหภูมิห้องแต่เป็นพวกUnstable Austenitic
- โมลิบดีนัม(Mo) - เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน(Corrosion Resistance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทิตาเนียม(Ti) - เพิ่มความสามารถในการเชื่อม(Weld ability)
- ไนโอเบียม(Nb) - เพิ่มความสามารถในการเชื่อม(Weld ability)  
- เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน (Corrosion Resistance)
- วาเนเดียม(V) - ทำให้วัสดุมีความเหนียวเพิ่มขึ้นและการรักษาความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง
- ซิลิกอน(Si) - รักษาความแข็งแรงที่อุณหภูมิสูง  
- เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน (Corrosion Resistance)
- ทองแดง(Cu) - เพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน(Corrosion Resistance)

ซึ่งเหล็กเกรดพิเศษที่เลือกนั้นมีการผสมธาตุต่าง ๆ ข้างต้นเป็นสัดส่วน ดังนี้

- คาร์บอน (C) 0.12%
- ซิลิกอน (Si) 0.35%
- แมงกานีส (Mn) 0.6%
- ฟอสฟอรัส (P) 0.04%
- ซัลเฟอร์ (S) 0.04%
- 

ตารางที่ 3-4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของเหล็กเกรดพิเศษกับวัสดุในปี 2007 และ 2008

คุณสมบัติ	อลูมิเนียม	เหล็กกล้าไร้สนิม	เหล็กเกรดพิเศษ (STKM11A)
Density (kg/m <sup>3</sup> )	2700	8000	7870
Elasticity (GPa)	67	193	207
Yield Stress (MPa)	48	205	168
Tensile Stress (MPa)	100	515	294
Poisson's Ratio( $\nu$ )	0.27	0.3	0.3

### 3.5 สรุปการเลือกวัสดุ

จากข้อมูลต่างๆที่กล่าวไว้ในหัวข้อข้างต้น จึงสรุปว่าใช้เหล็กเกรดพิเศษ STKM11A ในการสร้างเนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมตรงตามความต้องการและอยู่ในเงื่อนไขของกฎกติกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การออกแบบโครงรถ

#### 4.1 ปัจจัยที่จำเป็นต่อการพิจารณาออกแบบ

ในการออกแบบนั้น สิ่งจำเป็นที่จะต้องพิจารณาในการออกแบบ

1. รถที่ออกแบบนั้นต้องไม่ขัดกับกฎกติกาการแข่งขัน
2. ห้องโดยสารควรมีความกว้างมากพอที่จะไม่เป็นอุปสรรคต่อการแข่งขัน
3. ออกแบบให้รถมีน้ำหนักที่เบาที่สุด โดยที่คงความแข็งแรงของโครงรถให้เพียงพอต่อการสร้างความปลอดภัยให้กับผู้ขับขี่
4. คำนึงถึงการสร้างจุดยึด การจัดวางอุปกรณ์ หรือองค์ประกอบอื่น ๆ
5. ง่ายต่อการซ่อมบำรุงชิ้นส่วนต่าง ๆ
6. คำนึงถึงความคุ้มค่าทางการเงิน
7. ระยะเวลาในการสร้าง

#### 4.2 การสร้างแบบจำลองและการปรับแก้แบบ

ในการออกแบบนั้นสิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งที่จะลืมไม่ได้ก็คือ ระยะเวลาการทำงาน ควรใช้เวลาในการทำงานให้น้อยที่สุดเพื่อที่จะได้มีเวลาเหลือในการปรับแก้ไขแบบให้มีความสมบูรณ์และเหมาะสมกับสภาพการใช้งานให้มากที่สุด การนำโปรแกรมออกแบบ (CAD) และ โปรแกรมคำนวณทางวิศวกรรม (CAE) มาใช้จะช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบได้มากเนื่องจากเราไม่จำเป็นต้องลงมือทดลองด้วยแบบจำลองและไม่จำเป็นต้องทดลองสภาพการใช้งานจริงหลาย ๆ ครั้ง

#### 4.3 การออกแบบ

การออกแบบมีขั้นตอนทั้งหมดดังนี้

##### 1. กำหนดขนาด

การกำหนดขนาดจะช่วยให้เราได้มองเห็นสภาพของขนาดรถโดยคร่าว ๆ โดยสิ่งที่จำเป็นจะต้องคำนึงถึงในการกำหนดขนาด ได้แก่ ขนาดห้องโดยสาร ซึ่งจะมีผลต่อความสะดวกสบายและสภาพการขับขี่รวมถึงความปลอดภัยของผู้ขับขี่ด้วย สภาพการขับขี่ที่ดีซึ่งจะเกี่ยวกับปีกนกช่วงล่าง โดย ปีกนกที่ดีควรจะมีคานยาวที่มากพอ นั้นหมายถึงโครงรถตรงช่วงที่มีการยึดปีกนกควรจะมีขนาดเล็ก และยังคงคำนึงถึงกติกาการแข่งขันซึ่งมีข้อจำกัด

ด้านขนาดขั้นต่ำมาเป็นค่าเริ่มต้นของการกำหนดขนาดรถด้วย ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. สร้างโมเดลขนาดเท่าของจริง

ในปีนี้การสร้างโมเดลขนาดเท่าของจริงมีทั้งการสร้างแบบจำลองโครงกระดูกและการสร้างโดยใช้เหล็กจริง โดยโมลกระดูกนั้นสร้างเพื่อคู่มือและความสะดวกโดยคร่าว ส่วนการสร้างมอค้อพเหล็กนั้นจะช่วยให้คู่มือได้ง่ายและถูกต้องขึ้น รวมทั้งยังสามารถนำมอค้อพที่สร้างแยกไปทำงานอย่างอื่นซึ่งจะทำให้ดำเนินงานสองอย่างในเวลาเดียวกันได้ด้วย

## 3. สร้างโมเดลโดยใช้ CAD

การออกแบบรถปี 2009 ใช้โปรแกรม CATIA ในการทำโมเดลจำลองในคอมพิวเตอร์ โดยใช้การลากเส้นแบบสามมิติตามแบบของจริง การทำขั้นตอนนี้เป็นการสร้างแบบจำลองสามมิติเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคำนวณทางวิศวกรรมต่อไป

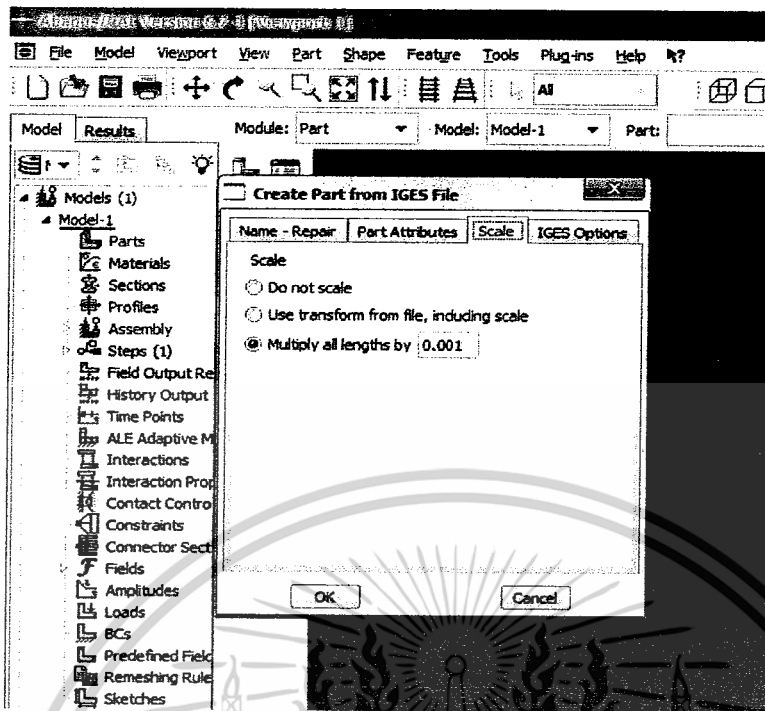
## 4. วิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้ CAE

หลังจากออกแบบในโปรแกรม CATIA เสร็จสมบูรณ์ เรานำไฟล์แบบมาวิเคราะห์สิ่งต่าง ๆ อาทิ ความเค้น (Stress), ความต้านทานการบิด (Torsion Stiffness) เป็นต้น ซึ่งโปรแกรมออกแบบทางวิศวกรรมจะช่วยวิเคราะห์สิ่งต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้นให้ออกมาอย่างง่ายดายและไม่เสียเวลามาก

ขั้นตอนการวิเคราะห์ชิ้นงานโดยใช้โปรแกรม Finite Element เลือกใช้โปรแกรม Abaqus

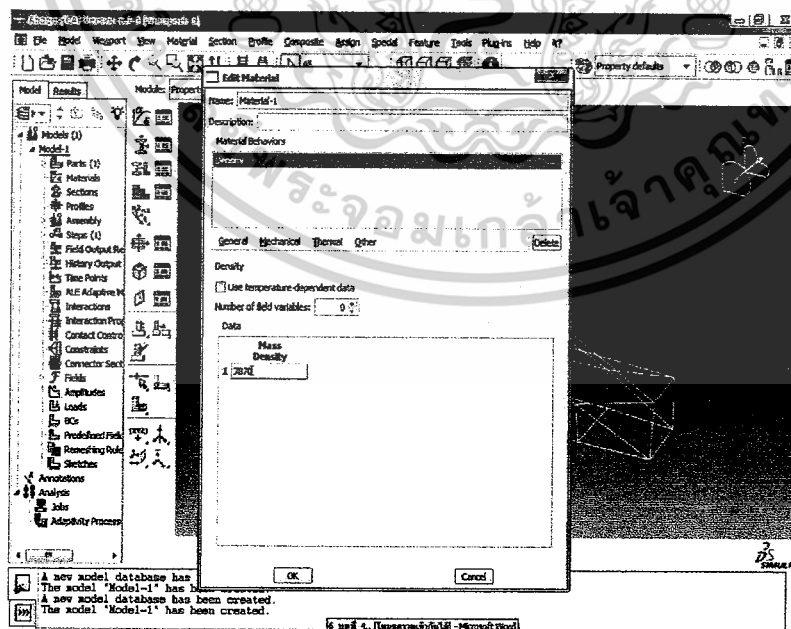
### 6.7-1 ช่วยในการออกแบบ ซึ่งมีตัวอย่างการใช้งานดังนี้

1. นำไฟล์แบบจำลองที่ save เป็นนามสกุล .igs จากโปรแกรม CATIA V5R17 มาเปิดโดยเลือกที่ File, import, part ตามลำดับ
2. จะปรากฏหน้าต่าง Create Part from IGES File ขึ้นมา เลือกไปที่ Scale แล้วแก้ค่า Multiply all lengths by ให้เป็น 0.001 เพื่อแปลงหน่วยขนาดของไฟล์ CAD จากหน่วย mm เป็น m



รูปที่ 4-1 แสดงการกำหนด Scale

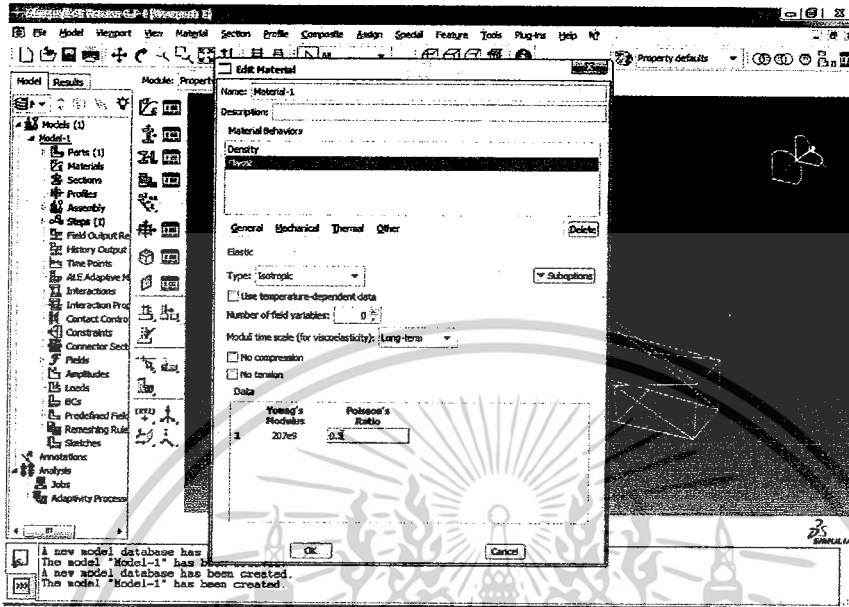
3. ไปที่ Module Property เพื่อทำการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ
4. ที่แถบด้านซ้ายเลือก Create Material จะปรากฏหน้าต่าง Edit Material ขึ้นมา
5. ที่หน้าต่าง Edit Material เลือก General → Density แล้วทำการกำหนด density = 7870 ลงไป



รูปที่ 4-2 แสดงการกำหนด Density

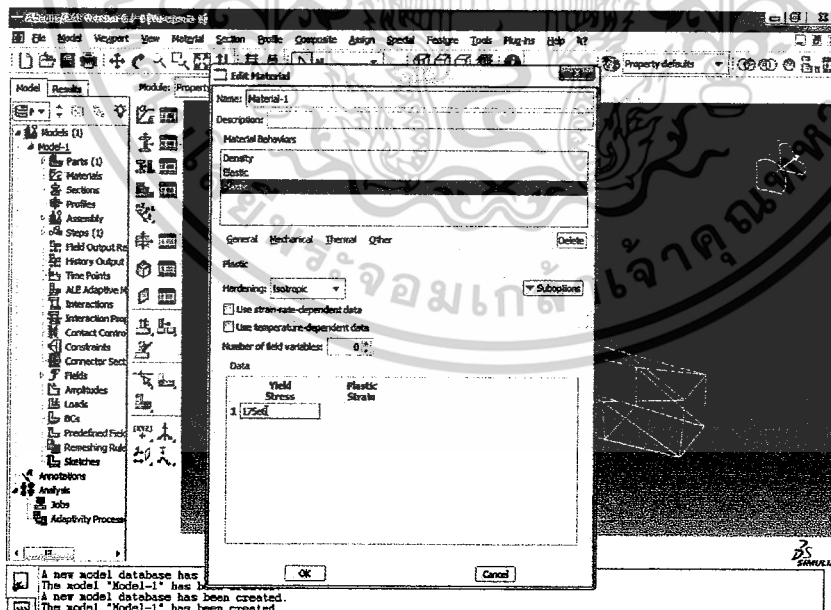
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ที่หน้าต่าง Edit Material เลือก Mechanical → Elasticity → Elastic แล้วทำการกำหนดค่า Young's Modulus =  $207 \times 10^9$  กับ Poisson's Ratio = 0.3 ลงไป



รูปที่ 4-3 แสดงการกำหนด Elasticity

7. ที่หน้าต่าง Edit Material เลือก Mechanical → Plasticity → Plastic แล้วทำการกำหนดค่า Yield Stress =  $175 \times 10^6$  ลงไป



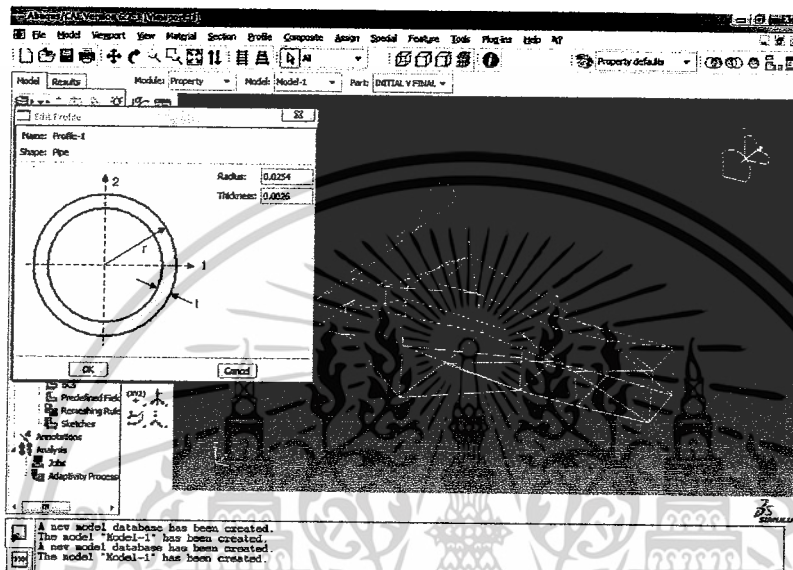
รูปที่ 4-4 แสดงการกำหนด Plasticity

8. ที่แถบด้านซ้ายเลือก Create Profile แล้วเลือก Shape : Pipe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. จะปรากฏหน้าต่าง Edit Profile ขึ้นมา ให้ทำการกำหนด Radius และ Thickness ของท่อให้เรียบร้อย ซึ่งจะมียู่ทั้งหมด 4 ขนาดคือ

- Radius 0.0127 , Thickness 0.0026
- Radius 0.0127 , Thickness 0.0016
- Radius 0.0127 , Thickness 0.0014
- Radius 0.0127 , Thickness 0.0012



รูปที่ 4-5 แสดงการกำหนดขนาดท่อ

10. ที่แถบด้านซ้ายเลือก Assign Beam Orientation

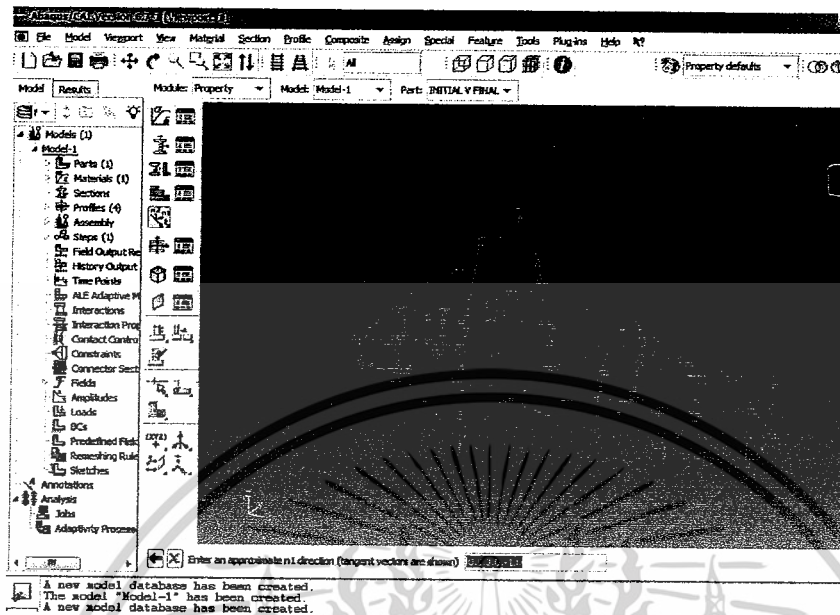
11. ลากเส้นให้ครอบคลุมแบบ 3D ทั้งหมดแล้วกด done



รูปที่ 4-6 แสดง โครงรถที่ถูกกำหนดทิศทางของแกนท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

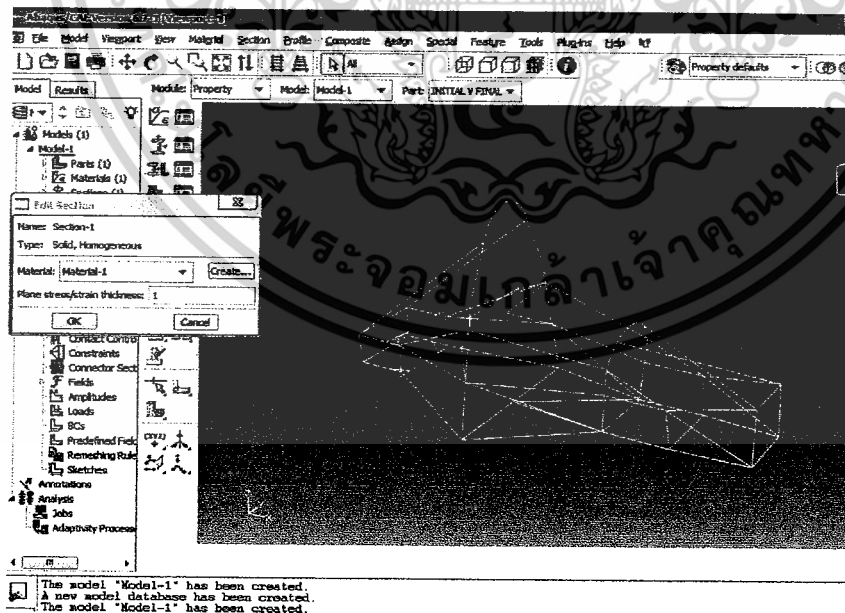
12. จะปรากฏหน้าต่าง ดังรูป ไม่ต้องแก้ค่า ให้กด enter แล้ว ok ไปเลย



รูปที่ 4-7 แสดง โครงสร้างที่ถูกกำหนดทิศทางของแกนต่อเรียบร้อยแล้ว

13. ที่แถบด้านซ้ายเลือก Create Section แล้วเลือก Category : Solid , Type : Homogeneous

14. จะปรากฏหน้าต่าง Edit Section ขึ้นมา Material ให้เลือก Material ที่เรากำหนดไว้

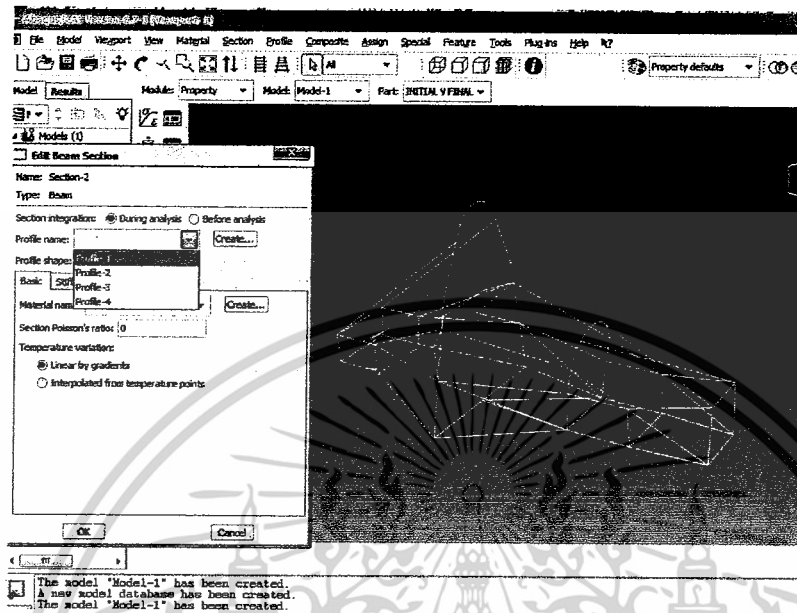


รูปที่ 4-8 แสดงการกำหนด Section ให้เป็น Solid Homogeneous

15. ไปที่ Create Section อีกครั้งแล้วเลือก Category : Beam , Type : Beam

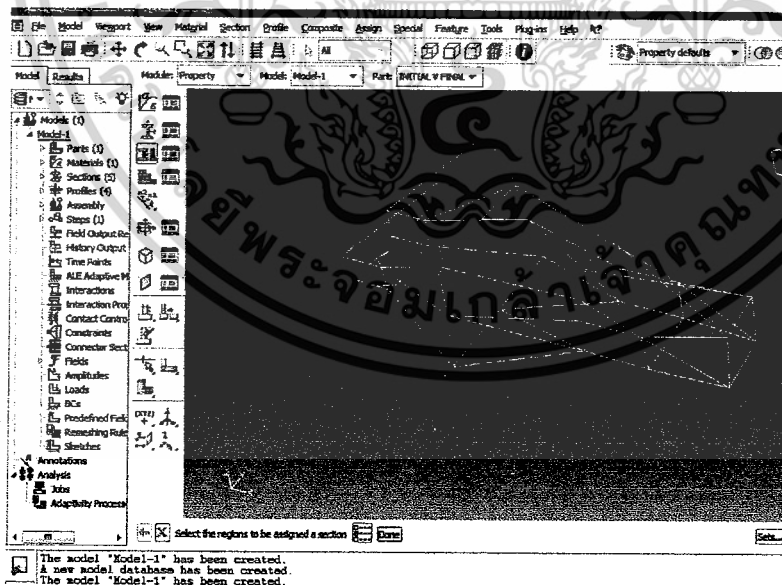
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. จะปรากฏหน้าต่าง Edit Beam Section ขึ้นมา ให้เราใส่ Profile กับ Material ที่เรากำหนดไว้



รูปที่ 4-9 แสดงการกำหนด Beam Section

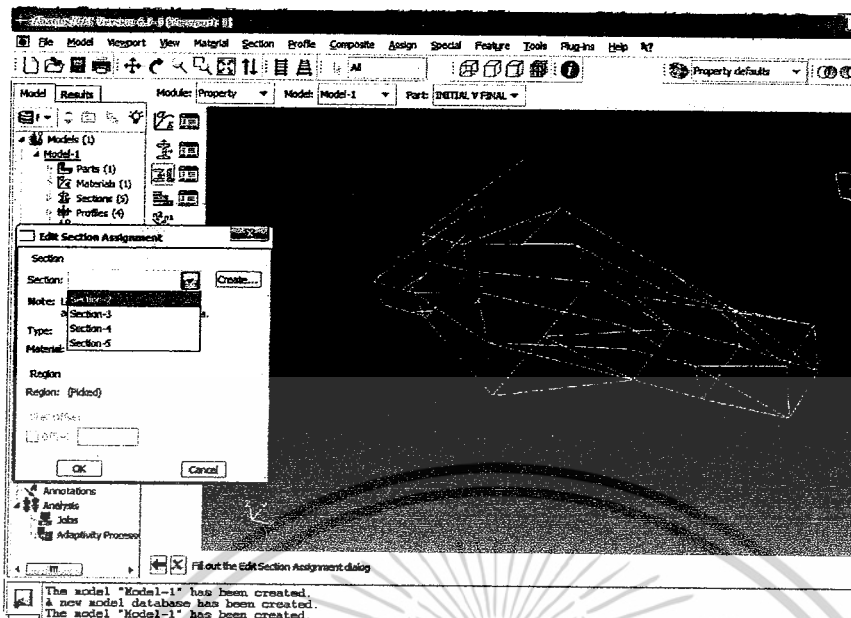
17. ที่แถบด้านซ้ายเลือก Assign Section และเลือก Section บนแบบ 3D ที่เราต้องการ กำหนดค่าคุณสมบัติและขนาดต่าง ๆ



รูปที่ 4-10 แสดงการกำหนดขนาดของท่อต่าง ๆ บน โครงรถ

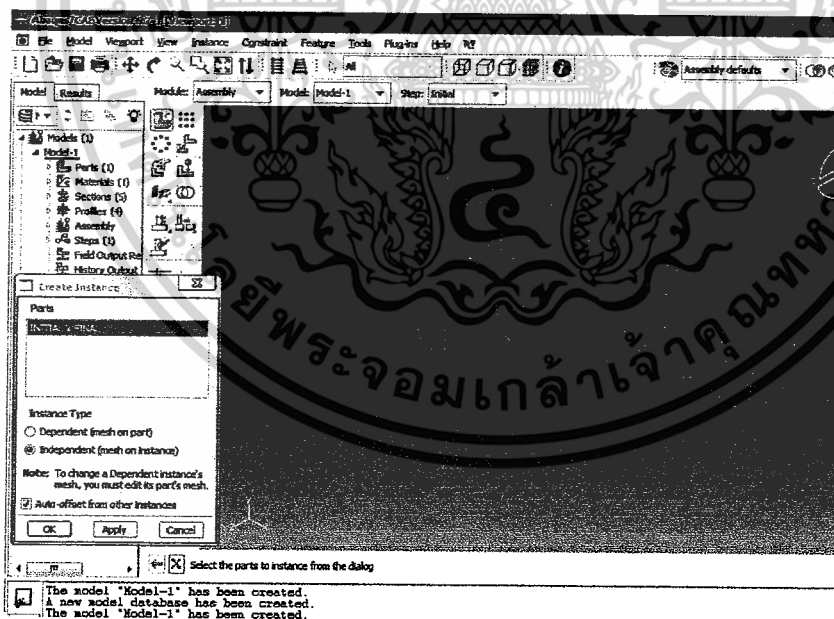
18. จะปรากฏหน้าต่าง Edit Section Assignment ขึ้นมา ให้ใส่ Section ตามที่เราที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-11 แสดงการกำหนด Section ต่าง ๆ บน โครงรถ

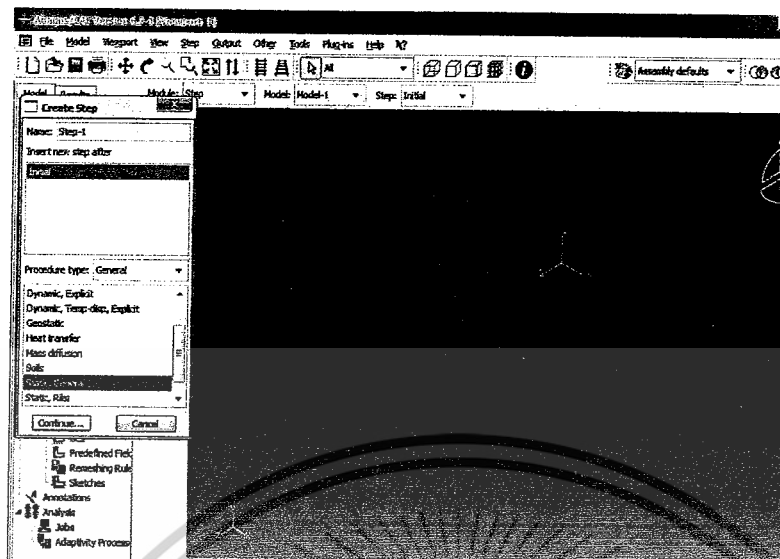
19. ไปที่ Module Assembly แล้วเลือก Instance Part ที่แถบด้านซ้าย
20. จะปรากฏหน้าต่าง Create Instance เลือก Instance Type : Independent และติ๊ก Auto-offset



รูปที่ 4-12 แสดงการกำหนด Instance Part

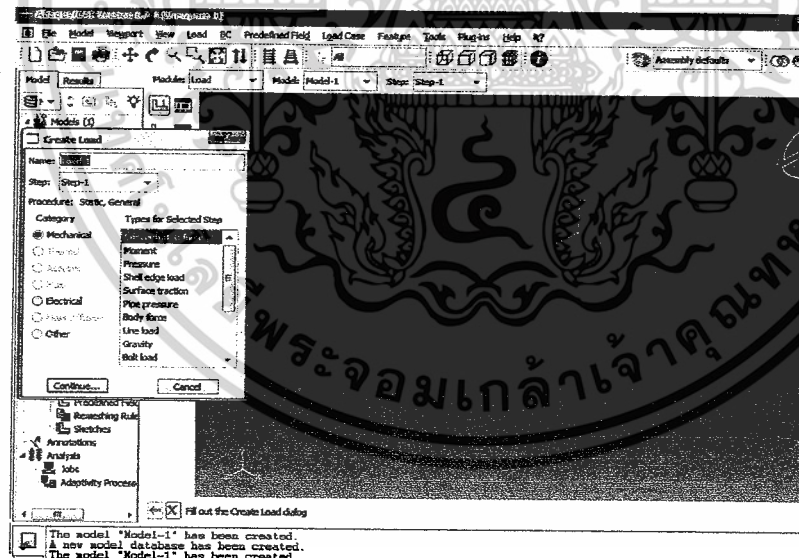
21. ไปที่ Module Step แล้วเลือก Create Step
22. จะปรากฏหน้าต่าง Create Step ขึ้นมาให้เลือก Procedure Type : General → Static ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-13 แสดงการกำหนด Step

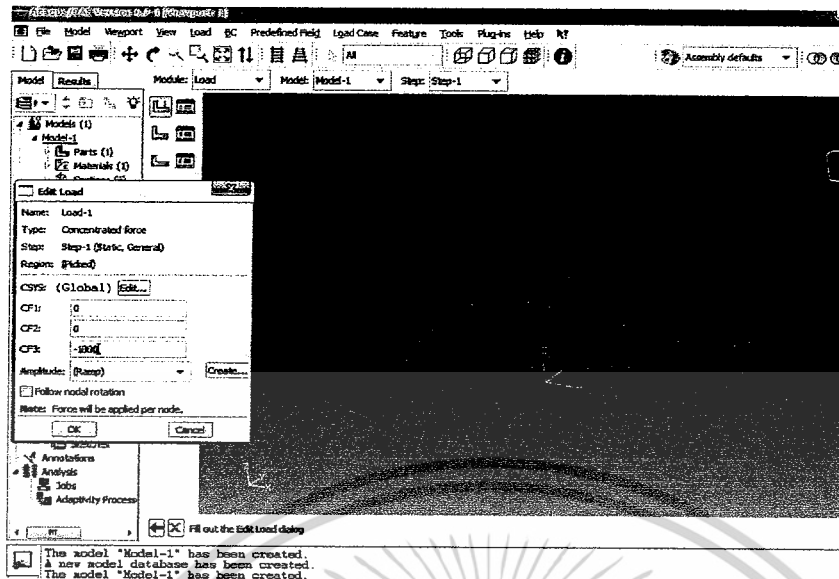
23. ที่หน้าต่าง Edit Step ให้กด ok ไปเลย
24. ไปที่ Module Load เลือก Create Load ที่แถบด้านซ้าย
25. ที่หน้าต่าง Create Load เลือก Category : Mechanical → Concentrated Force



รูปที่ 4-14 แสดงการกำหนดชนิด Load

26. เลือกจุดที่เราต้องการใส่แรงบนโครงรถ เสร็จแล้วจะปรากฏหน้าต่าง Edit Load ขึ้นมา
27. ที่หน้าต่าง Edit Load ใส่ค่า  $CF1 = 0$  ,  $CF2 = 0$  ,  $CF3 = -1000$  ลงไป และกดที่ Edit Load อีกครั้งเพื่อใส่ค่า  $CF1 = 0$  ,  $CF2 = 0$  ,  $CF3 = 1000$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-15 แสดงการกำหนดจุดที่ใส่ Load และขนาดของ Load

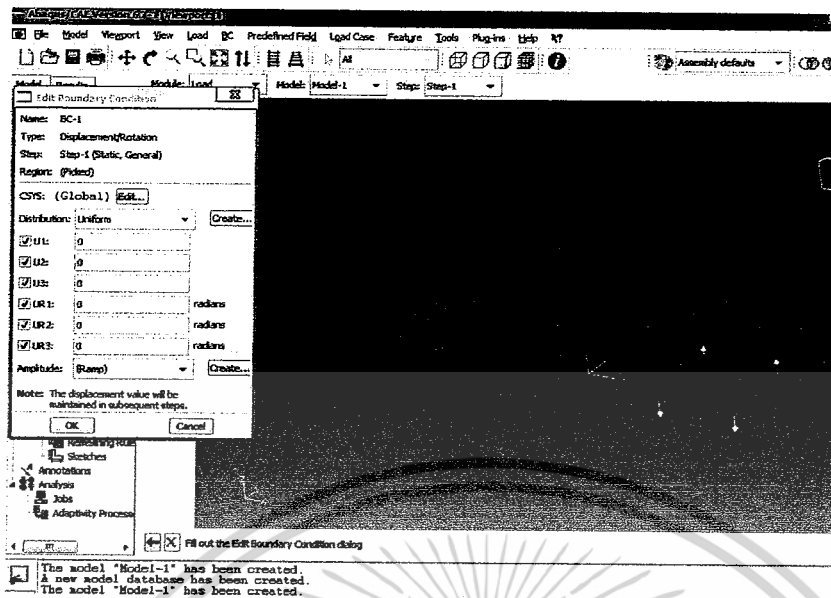
28. ที่แถบด้านซ้ายเลือก Create Boundary Condition
29. จะปรากฏหน้าต่าง Create Boundary Condition ขึ้นมาเลือก Category : Mechanical → Displacement/Rotation



รูปที่ 4-16 แสดงการกำหนดสภาวะขอบ (Boundary condition)

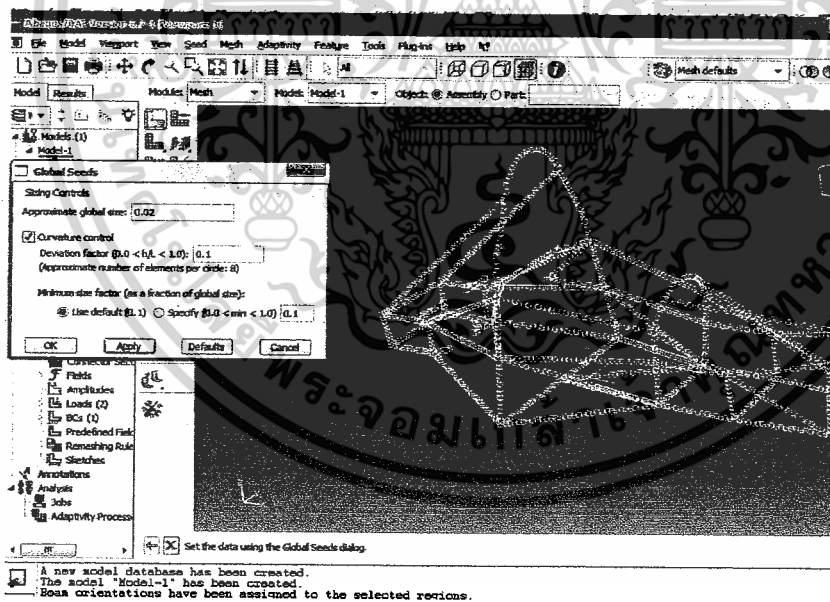
30. จะปรากฏหน้าต่าง Edit Boundary Condition ขึ้นมา ให้ติ๊กถูกหน้าช่อง U1, U2, U3, UR1, UR2, UR3 แล้วกำหนดให้เป็น 0 ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-17 แสดงการกำหนดค่าหาสภาวะขอบ

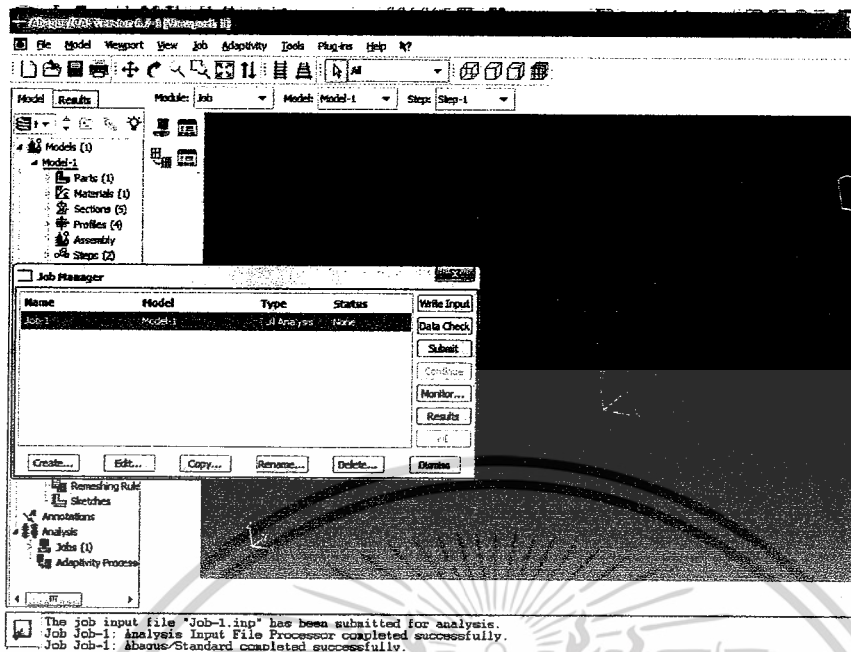
31. ไปที่ Module Mesh เลือก Seed Part Instance ที่แถบด้านซ้าย
32. จะปรากฏหน้าต่าง Global Seeds ขึ้นมา ให้กำหนด Approximate Global Size = 0.02



รูปที่ 4-18 แสดงการกำหนดขนาด Mesh

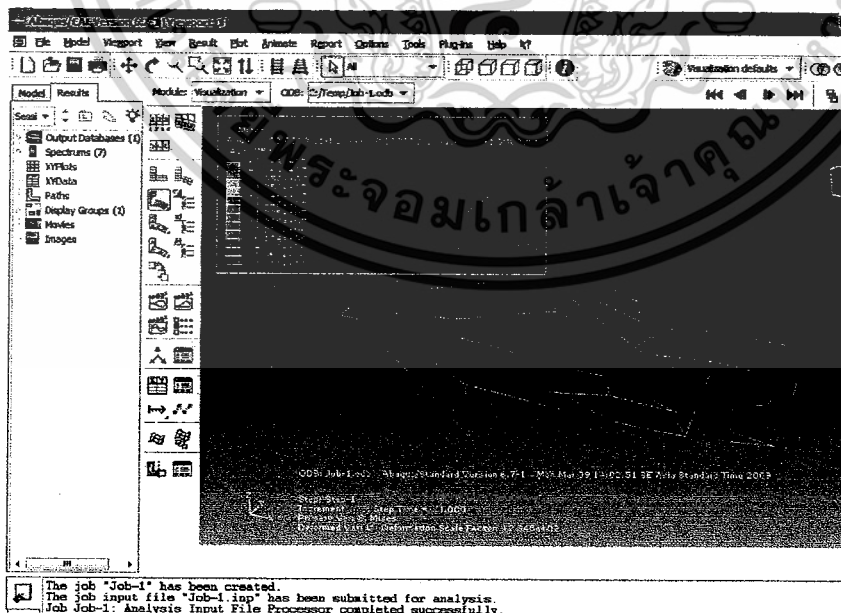
33. ที่แถบด้านซ้าย ไปที่ Mesh Part Instance แล้วกด Yes
34. ไปที่ Module Job แล้วกด Create Job ที่แถบด้านซ้าย
35. ที่หน้าต่าง Create Job กดเลือก model โคจรรถแล้วกด continue
36. ที่แถบด้านซ้ายเลือก Job Manager แล้วกด Submit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-19 แสดงหน้าต่าง Job Manager

37. เมื่อ Status เปลี่ยนเป็น Completed ให้กด Results
38. เมื่อกด Results แล้วจะไปที่ Module Visualization โดยอัตโนมัติซึ่ง Module นี้จะแสดงผลการวิเคราะห์หรืองานที่เราต้องการวิเคราะห์
39. ที่แถบด้านซ้ายเลือก Plot Contours on Deformed Shape เพื่อใส่สีบนชิ้นงานให้เห็นถึงความแตกต่าง



รูปที่ 4-20 แสดงความเค้นวอนมิต

เราปรับปรุงแก้ไขให้เหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรมนั้นเราสามารถกำหนดสภาวะหลายๆ สภาวะเพื่อช่วยให้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ถูกต้องยิ่งขึ้น ทั้งยังช่วยให้เราสามารถแก้ไขแบบได้หลายๆ แบบ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานให้มากที่สุดอีกด้วย

ในการทดลองสร้าง โครงรถคันแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น เราได้สร้าง โครงรถคันแบบออกมาหลายแบบมาก โดยในที่นี้จะขอก้าวถึง โครงรถคันแบบที่เริ่มจะมีความเหมาะสมเพื่อดูความแตกต่างในสภาวะด้านต่าง ๆ

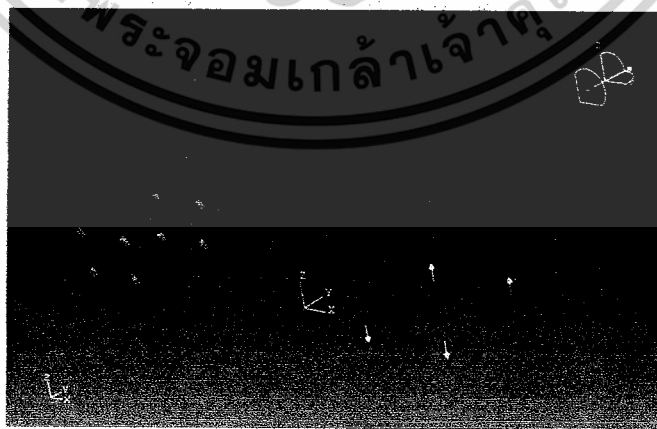
จากการทดลองเรากำหนดสภาวะที่ โครงรถ ได้รับเป็นสภาวะรับการคด (Bending) กับการบิด (Torsion)

สภาวะการคด (Bending) กำหนดเงื่อนไขสภาวะดังรูป



รูปที่ 4-21 แสดงเงื่อนไขสภาวะการคด

และสภาวะการบิด (Torsion) กำหนดเงื่อนไขสภาวะดังรูป



รูปที่ 4-22 แสดงเงื่อนไขสภาวะการบิด

โดยโครงคันแบบที่เราสร้างมีค่าการคด (Bending) และการบิด (Torsion) ดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบการตัดและการบิดในโครงแต่ละแบบ

	การตัด (MPa)	การบิด (MPa)
Prototype 05	6.200	61.69
Prototype 06	9.211	62.04
Prototype 07	11.420	62.06
Prototype 08	11.170	63.13
Initial V	7.834	63.81

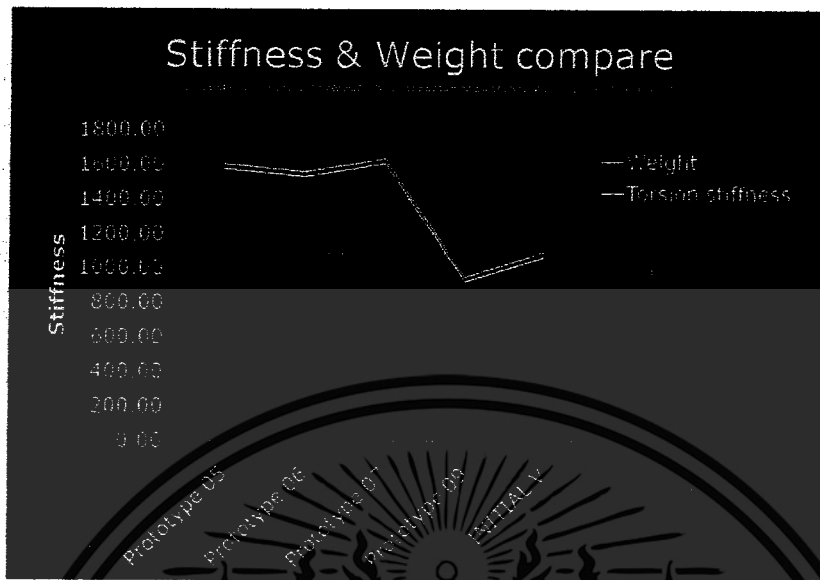
จากนั้นลองเอาค่าที่ได้ข้างต้นมาเปรียบเทียบกับค่า Yield Strength ของวัสดุที่เราเลือกใช้จะได้ Safety Factor (SF) ดังนี้

ตารางที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบตัวประกอบความปลอดภัย ในโครงแต่ละแบบ

	การตัด	การบิด
Prototype 05	28.23	2.84
Prototype 06	19.00	2.82
Prototype 07	15.35	2.82
Prototype 08	15.67	2.77
Initial V	22.34	2.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความต้านทานการบิด (Torsion Stiffness) และน้ำหนักของแต่ละโครงต้นแบบ

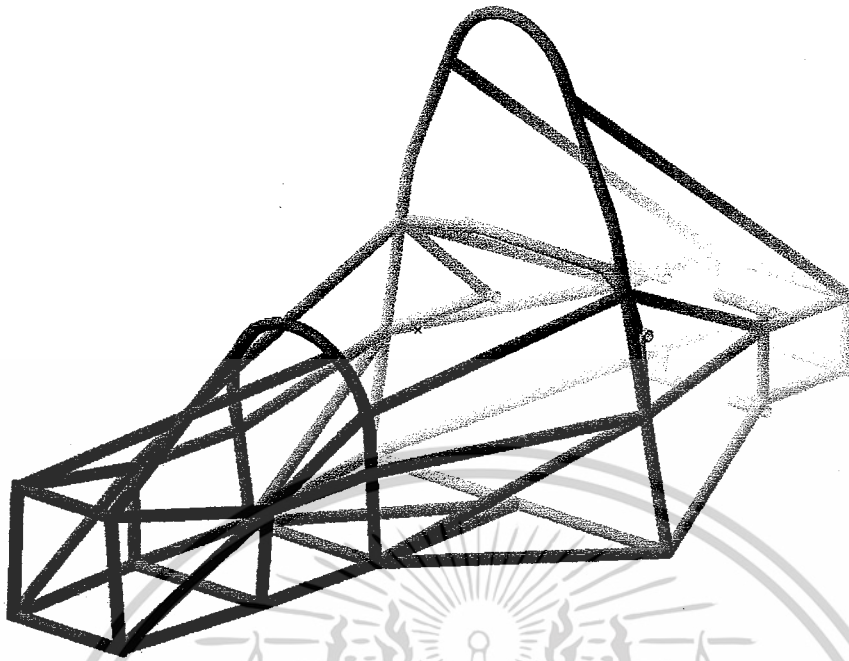


รูปที่ 4-23 แสดงการเปรียบเทียบค่าองศาการบิดและน้ำหนักของโครงแต่ละแบบ

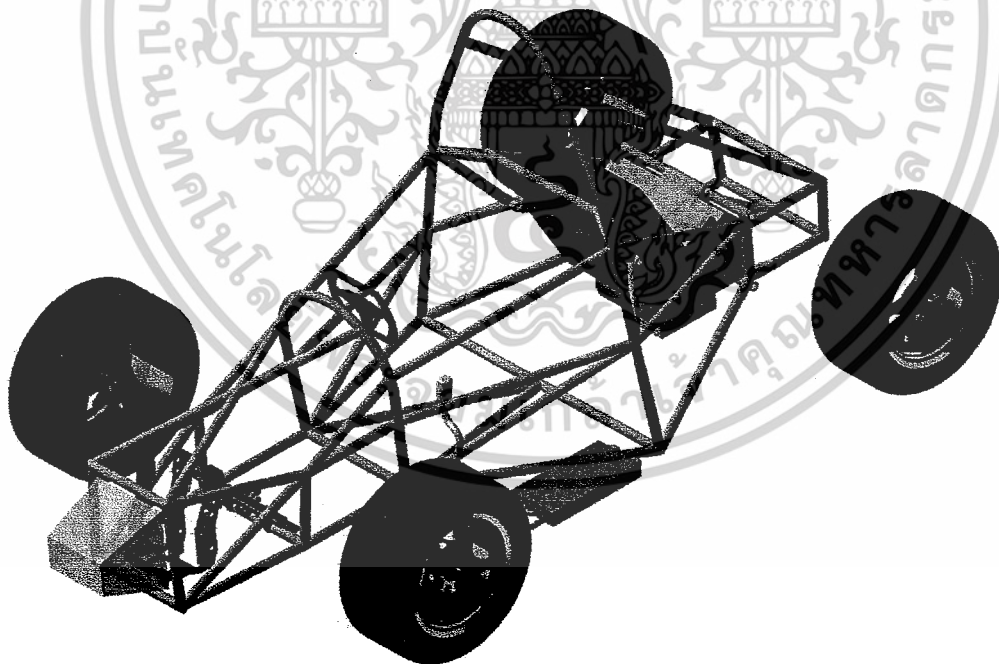
#### 6. สรุปแบบ

เมื่อทุกอย่างข้างต้นลงตัวหมดแล้ว เราจึงมาสรุปแบบซึ่งจะเป็นแบบที่ใช้ในการสร้างโครงรถจริง โดยจากการเปรียบเทียบค่าต่าง ๆ ในหัวข้อข้างต้นเราจึงตัดสินใจเลือกโครงต้นแบบ Initial V มาใช้ในการออกแบบรถ ซึ่งหลังจากที่เราสรุปแบบแล้วเราจะไม่ทำการแก้ไขแบบอีกต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-24 แสดงแบบจำลองโครงสมบูรณ



รูปที่ 4-25 แสดงแบบจำลองโครงเมื่อประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ลงไปในโครง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

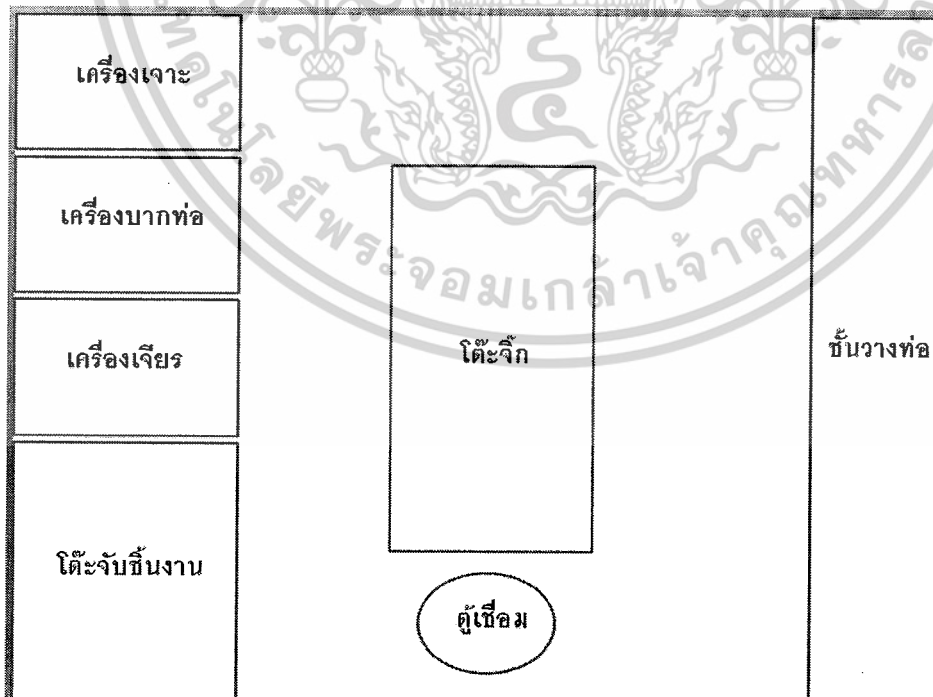
### การสร้างโครงรถ

#### 5.1 การวางแผนการสร้าง (Construction Planning)

สำหรับการสร้างโครงรถให้มีประสิทธิภาพสูงนั้น ต้องคำนึงถึงการวางแผนเป็นสำคัญ ทั้งในการวางแผนการทำงานของกลุ่มโครงรถ ไปจนถึงการวางแผนการทำงานของกลุ่มอื่นๆ อันจะทำให้การทำงานทั้งหมดเป็นไปด้วยความราบรื่น โดยกลุ่มโครงรถต้องพิจารณาความพร้อมของสภาพเครื่องมือภายในสถานที่ทำงาน และต้องลำดับขั้นตอนการทำงานก่อนหลัง หรือลำดับขั้นตอนการทำงานที่สามารถทำงานเป็นคู่ขนานได้ เพื่อให้เกิดการใช้เวลาอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

จากการออกแบบในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เราจะได้ว่า ในส่วนของการสร้างนั้นควรทำการสร้างจากเชื่อมหน้าตัดของด้านหน้าโครงรถ เรื่อยไปจนถึง หน้าตัดของท้ายรถจากนั้นจึงนำหน้าตัดของแต่ละส่วนประกอบเข้าด้วยกัน โดยเริ่มเชื่อมจุดจากด้านหน้ารถ เรื่อยไปจนถึงท้ายรถเช่นกัน อีกทั้งในการวางแผนการสร้าง จะนำเหล็กเส้นขนาดเล็มาค้ำระหว่างโครงรถก่อนเชื่อมเต็ม เพื่อลดปัญหาเกิดการบิดเบี้ยวของโครงสร้าง ซึ่งเกิดขึ้นในปี 2550 ที่ผ่านมา

ในส่วนของการจัดห้องปฏิบัติงานนั้น ต้องวางแผนให้การทำงานเป็นไปด้วยความสะดวก รวดเร็วมากที่สุด ซึ่งการจัดวางเป็นไปดังรูป



รูปที่ 5-1 แสดงแผนผังการจัดวางอุปกรณ์ในการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการเตรียมปลายท่อเพื่อให้เกิดรอยบากนั้น ได้ใช้เครื่องจักรเพื่อให้มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้งานที่เกิดจากการเชื่อมมีการบิดตัวน้อยลง ทั้งยังมีระยะเวลาในการเตรียมปลายท่อสั้น และใช้คนเพื่อเตรียมปลายท่อน้อยลง การโค้งงอของท่อก็เช่นเดียวกัน ในการวางแผนการจัดสร้างได้ทำการวาดรูปขนาด 1 ต่อ 1 ลงบนกระดาษแข็งก่อนส่งแบบไปทำการงอท่อ ซึ่งส่งผลให้ชิ้นงานจริงที่ได้ตรงตามการออกแบบ

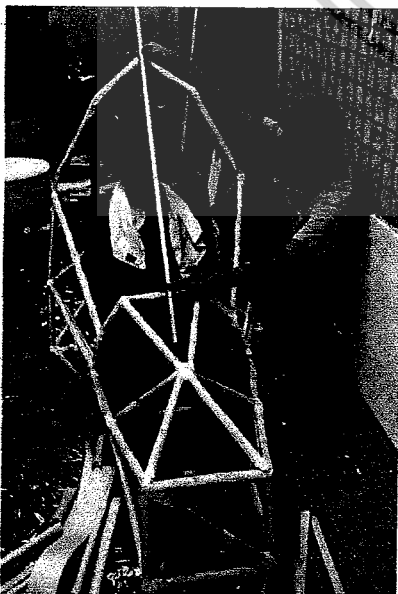
## 5.2 การสร้างจริง (Construction)

ในการสร้างเฟรมนั้น เพื่อให้เกิดการผิดพลาดน้อยลง เราจึงทำการสร้างโครงกระดาษขนาด 1 ต่อ 1 เพื่อนำไปแก้ไขแบบ ให้มีขนาดเท่าที่ต้องการ และทำการสร้างจากส่วนหน้า ห้องคนขับ ด้านหลัง และสุดท้ายคือ ตำแหน่งหุ้ยคของเครื่องยนต์

### การเตรียมวัสดุ อุปกรณ์



รูปที่ 5-2 แบบจำลอง โครงรถแบบกระดาษ ขนาด 1 ต่อ 1



รูปที่ 5-3 ทดลองวัดสัดส่วนเมื่อมีผู้ขับขี่จริง

หรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-4 ท่อเหล็ก STKM 11A กลมความหนาต่างๆ



รูปที่ 5-5 การสร้างแบบขนาด 1 ต่อ 1 ก่อนตัดท่อ โครงรถ

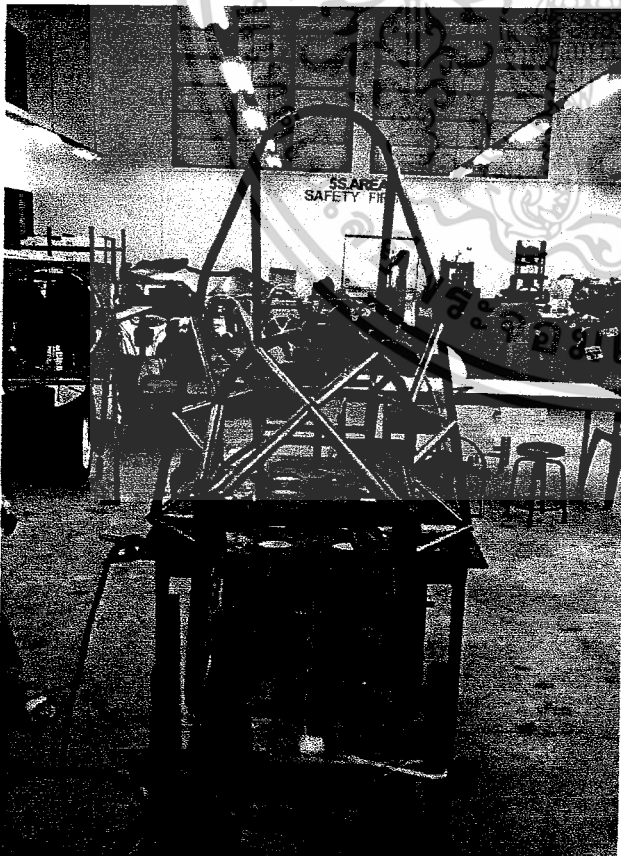
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5-4 การค้ำต่อ โครงรถ



รูปที่ 5-5 รูปการเชื่อม โครงรถ



รูปที่ 5-6 โครงรถที่เสร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนเวลาสำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### การทดสอบ

#### 6.1 หัวข้อการทดสอบ

ขอบเขตของการศึกษาโครงการนี้ได้กำหนดให้มีการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับค่าที่ได้จากการทดสอบจริง โดยได้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองสถานการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นกับโครงรถแข่ง เช่น ภาระการบิด ภาระการคด เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมแล้วจึงนำมาสร้างโครงรถจริง และได้วิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์อีกครั้งเพื่อใช้ในการทดสอบเปรียบเทียบ

รูปแบบการทดสอบที่ใช้ในการเปรียบเทียบมีดังนี้

- การทดสอบหาจุดศูนย์ถ่วง
- การทดสอบภาระการคด (Bending)
- การทดสอบภาระการบิด (Torsion)

#### 6.2 การทดสอบหาจุดศูนย์ถ่วง[5]

การหาจุดศูนย์ถ่วงของโครงรถเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ และชิ้นส่วนต่างๆครบทุกชิ้น การหาความสูงจุดศูนย์ถ่วงทำได้โดยการยกท้ายรถให้สูงขึ้น ดังรูปที่ แล้วทำการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการยกท้ายรถ สมการที่ใช้ในการหาความสูงของจุดศูนย์ถ่วงคือ

$$h = \frac{WB \cdot \Delta W}{W \cdot \tan \alpha} \quad (6.1)$$

$$h = (1.62 \times (83.5 - 74.25)) / (255 \times \tan 22.5)$$

$$h = 0.14 \quad \text{เมตร}$$

เมื่อ  $WB$  = ระยะห่างระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง เท่ากับ 1.62 เมตร

$W$  = น้ำหนักทั้งหมดของรถ เท่ากับ 255 กิโลกรัม

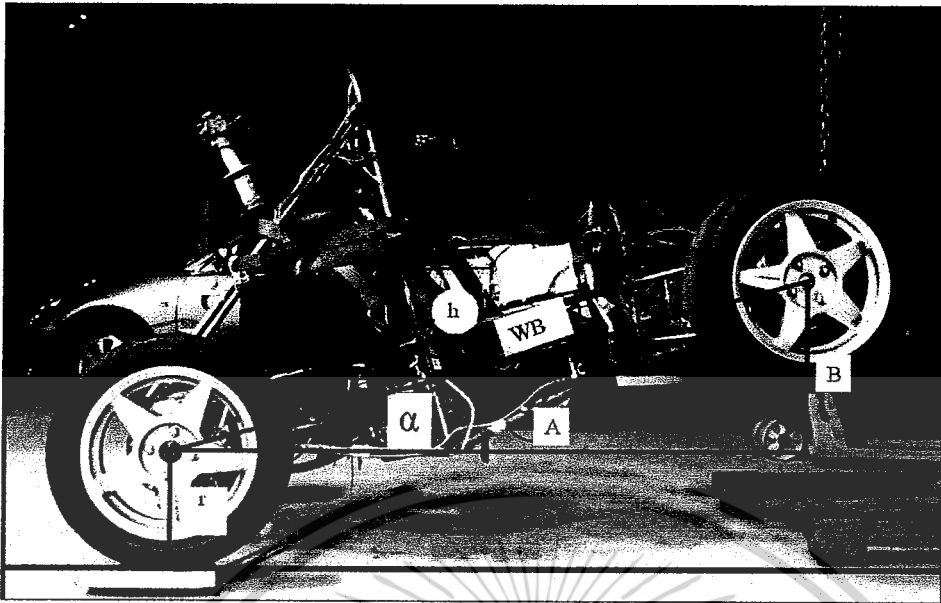
$$\Delta W = W_{f2} - W_{f1}$$

$W_{f1}$  = น้ำหนักล้อหน้าที่วัดเมื่อระดับปกติ เท่ากับ 74.25 กิโลกรัม

$W_{f2}$  = น้ำหนักล้อหน้าที่วัดเมื่อยกล้อหลังขึ้น เท่ากับ 83.5 กิโลกรัม

$$\tan \alpha = \frac{B}{A}, \quad A = \sqrt{WB^2 - B^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-1 การหาจุดศูนย์กลางถ่วงของรถปี 2009

ทำให้ได้ความสูงของจุดศูนย์กลางถ่วงที่สูงจากจุดกึ่งกลางล้อ เท่ากับ 0.14 เมตร และล้อแม็กที่ใช้ในการทดสอบมีรัศมีล้อเท่ากับ 0.24 เมตร ดังนั้นความสูงของจุดศูนย์กลางถ่วงสูงจากพื้น เท่ากับ 0.38 เมตร

### 6.3 การทดสอบภาระการตัด[9]

การทดสอบภาระการตัดเป็นการจำลองสภาพการรับภาระการตัดของโครงรถเมื่อรถเร่งความเร็วและเบรก เพื่อทดสอบว่าโครงรถรับแรงเท่าไรถึงจะทำให้เกิดการ โกงและการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจากจุดเดิม

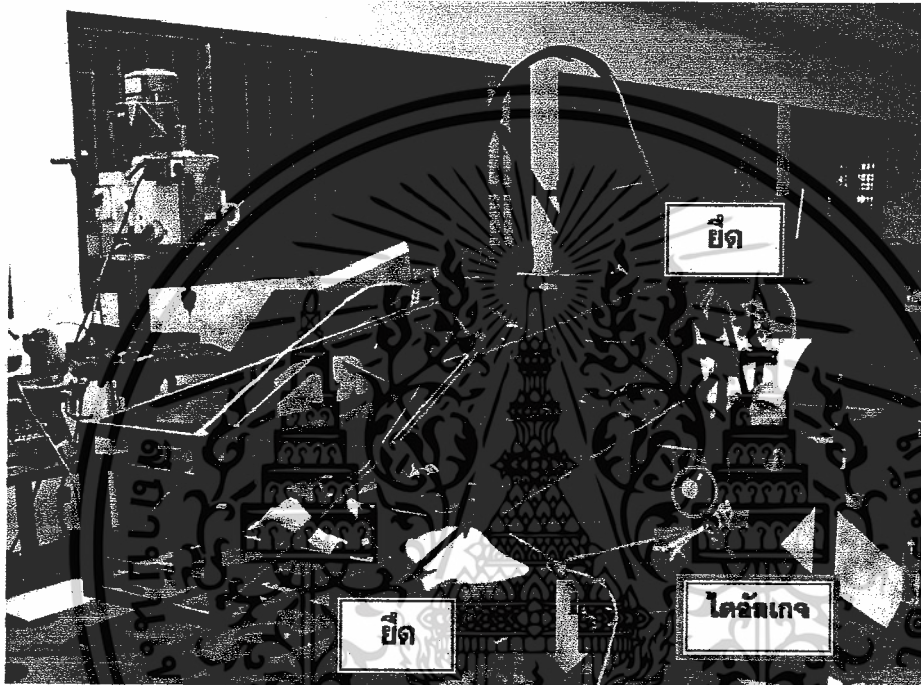
#### อุปกรณ์การทดสอบ

- ต้มน้ำหนัก 4 ก้อน น้ำหนักก้อนละ 19 กิโลกรัม
- โต้ะเหล็ก
- ตลับเมตร
- ตัวจับชิ้นงาน(Clamp)
- ไดอัลเกจ
- คาชั่ง
- เชือก

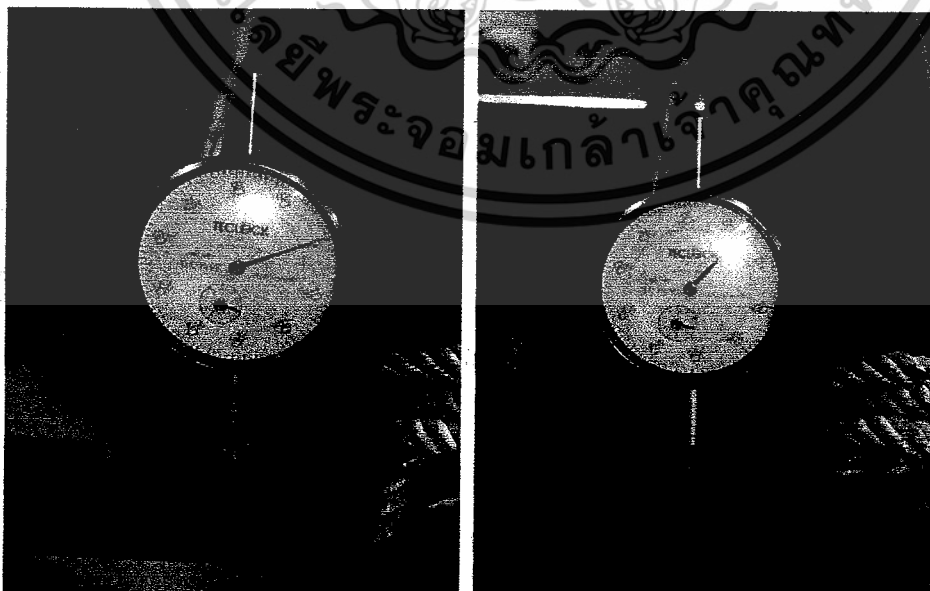
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## วิธีการทดสอบ

- ยึดโครงรถกับโต๊ะเหล็กจับงานในส่วนของด้านหน้าและด้านหลังของโครงรถให้มั่นคง
- กำหนดจุดที่จะทำการถ่วงน้ำหนักบริเวณกลางของโครงรถ
- ถ่วงตุ้มน้ำหนักทีละก้อนเพื่อเทียบแรงที่กระทำกับค่าระยะที่เปลี่ยนแปลง
- นำค่าที่ได้จากการทดสอบจริงเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม



รูปที่ 6-2 การทดลองภาวะการค้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดสอบ

การหาระยะการเปลี่ยนแปลงด้วยไดอัลเกจการได้แสดงไว้ในตารางที่ 6-1  
ตารางที่ 6-1 ผลการทดสอบภาระการค้ำ

น้ำหนัก	ครั้งที่ 1 (มิลลิเมตร)	ครั้งที่ 2 (มิลลิเมตร)	ครั้งที่ 3 (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร)	โปรแกรม คอมพิวเตอร์ (มิลลิเมตร)	%error
76 kg	0.06	0.06	0.07	0.063	0.071	11.27

### สรุปผลการทดลองภาระการค้ำ

การทดลองหาค่าระยะที่เปลี่ยนไปด้วยเครื่อง ไดอัลเกจหาการเปลี่ยนแปลงจากก่อนและหลัง

เป็นระยะ  $\Delta z_{actual} = 0.063$  มิลลิเมตร มีความผิดพลาดเกิดขึ้นเป็น  $\%error = \left| \frac{\Delta z_{theory} - \Delta z_{actual}}{\Delta z_{theory}} \right| \times 100$  ซึ่ง

ได้ค่า  $\%error_{ave} = 11.27$  เปอร์เซ็นต์

ความผิดพลาดอาจมีสาเหตุจากระดับความอิสระ (Degree of Freedom) ของการทดลองจริง  
นั้นอาจควบคุมไม่ได้เหมือนการกำหนดในโปรแกรม

## 6.4 การทดสอบภาระการบิด

การทดสอบภาระการบิดเป็นการจำลองสภาพของ โครงรถเมื่อรถเดี่ยว โค้งหรือล้อรถตกหลุม  
ทำให้เกิดภาระการบิดตามแนวยาวของ โครงรถ

### อุปกรณ์การทดสอบ

- คีมน้ำหนัก
- คานไม้
- ฐานยึด
- ตลับเมตร
- ตัวจับชิ้นงาน (Clamp)
- ไดอัลเกจ
- ตาชั่ง

เอกสารนี้<sup>๒</sup>เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

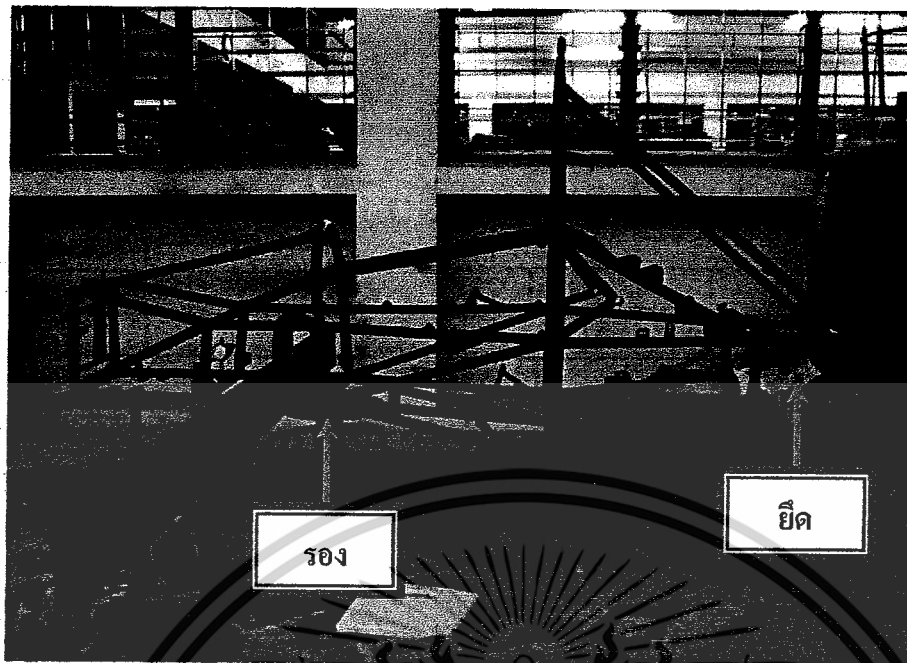
## วิธีการทดสอบ

- ยึดโครงรถกับฐานยึดบริเวณด้านท้ายของ โครงรถให้มั่นคง
- รong โครงรถด้านหน้าด้วยฐานดังรูปที่ 6-4 เพื่อที่จะทำให้เกิดเป็นจุดหมุนตรงกลาง
- ยึดคานกับ โครงรถแข่งบริเวณฐานปีกนกด้านหน้า
- ถ่วงน้ำหนักตรงตำแหน่งและระยะที่ได้ทำการคำนวณมา
- นำค่าที่ได้จากการทดสอบจริงเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม



รูปที่ 6-4 ตำแหน่งการวัดได้อัลแกจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-5 ตำแหน่งการยัด โครงรถ



รูปที่ 6-6 ตำแหน่งที่วัดระยะเวลาเปลี่ยนแปลงของโครงรถ

### สรุปการทดสอบ

จากผลการทดสอบได้ค่าความต้านทานการบิด เท่ากับ 1381.60 นิวตันเมตร/องศา แต่จากการจำลองการทดลองในคอมพิวเตอร์ ได้ค่าความต้านทานการบิดเท่ากับ 1068.43 นิวตันเมตร/องศา มีความผิดพลาดเป็น 29.31 เปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาดอาจมีสาเหตุจากระดับความเสรี (Degree of Freedom) และถ่ายเทแรงตรงจุดยึดปีกนกของการทดลองจริงนั้นอาจควบคุมไม่ได้เหมือนการกำหนด

### ในโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6-2 เปรียบเทียบการทดสอบภาระทั้งสองกรณี

การทดลอง	การทดสอบจริง	จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์	% error
ภาระการค้ำ	$\Delta z_{\text{actual}}=0.063 \text{ mm}$	$\Delta z_{\text{theory}}=0.071 \text{ mm}$	11.27
ภาระการบิด	1381.60 N/m	1068 N/m	29.31

เมื่อเทียบกับการทดสอบภาระการค้ำกับการทดสอบในกรณีการบิด เทียบจากค่าความผิดพลาดที่หาได้จากการทดสอบเทียบกับการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดในกรณีการค้ำมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยและเหตุผลของความผิดพลาดที่หาได้ แสดงว่าการออกแบบการทดสอบแบบกรณีการค้ำถือว่ามีความใกล้เคียงและมีความน่าเชื่อถือมากกว่า และจากการทดสอบแสดงว่า โครงสร้างที่ได้ออกแบบมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์อยู่พอสมควร ซึ่งอาจมีปัจจัยที่ทำแล้วไม่ตรงกับค่าจากการคำนวณซึ่งอาจมาจากชุดอุปกรณ์การทดสอบ สถานที่ การสร้างเฟรมที่อาจผิดพลาดจากแบบ การเชื่อมที่เกิดรอยเชื่อมที่ไม่เหมาะสม ปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อการทดสอบที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและมีผลต่อความแข็งแรงของ โครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

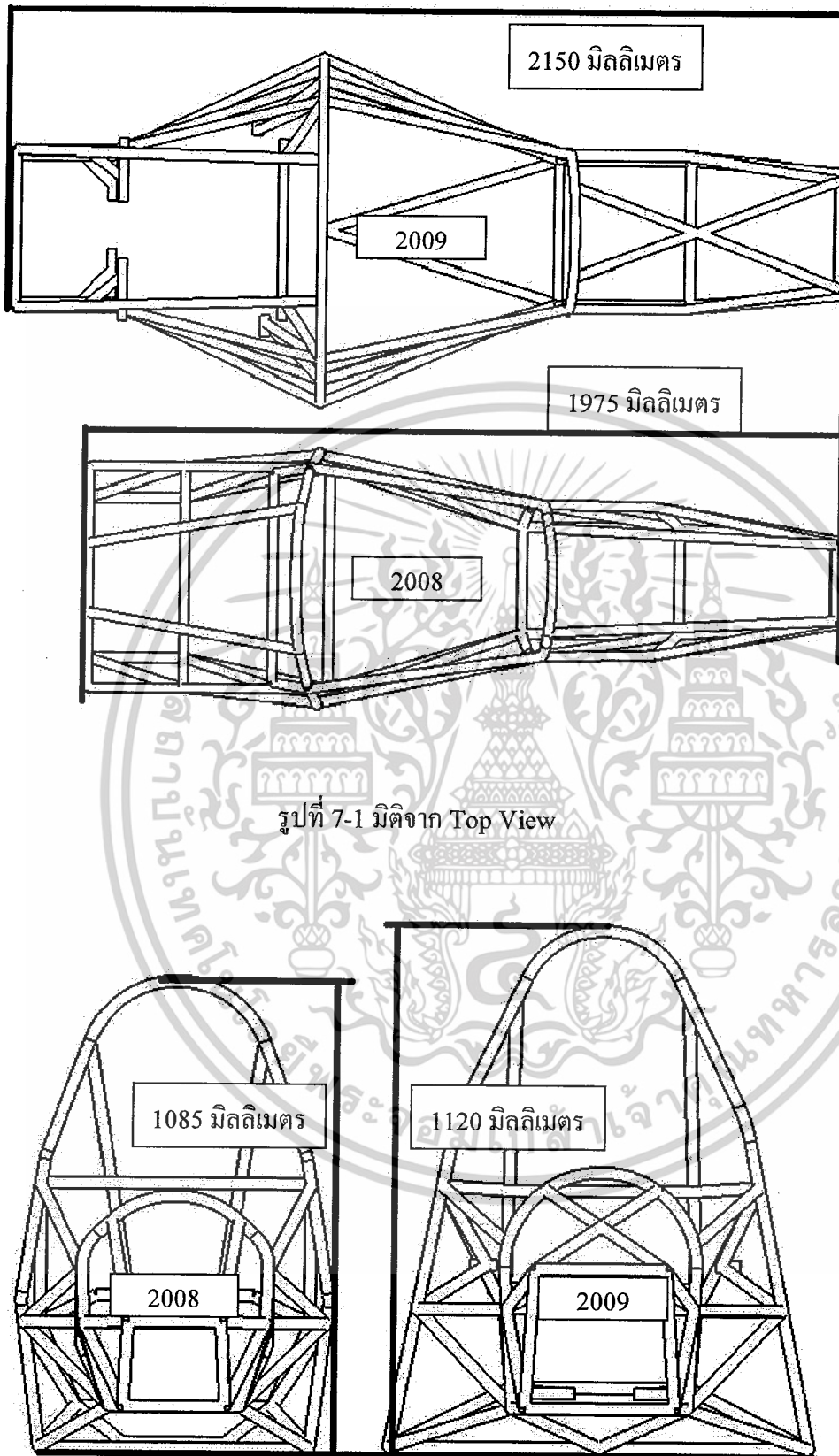
#### 7.1 สรุป

ในโปรเจกต์นี้ วิธีการนำ CAE มาประยุกต์ใช้ ช่วยในการวิเคราะห์แบบโครงสร้าง ค่าภาระแรงต่างๆ ซึ่งผลที่ได้มีส่วนช่วยอย่างมากในการวิเคราะห์เพื่อหาขนาดโครงสร้างให้อยู่ภายในค่าที่ยอมรับได้ตามเกณฑ์กติกาการแข่งขันและตามคำแนะนำจาก Formula SAE ทำให้โครงสร้างที่ได้มานั้นมีความแข็งแรงที่ดีและยังสามารถรักษาน้ำหนักที่เบาที่สุดไว้ได้ จากการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบได้รูปแบบโครงสร้างที่มีน้ำหนักเทียบต่อระยะที่เคลื่อนไปน้อยที่สุด

ตารางที่ 7-1 เปรียบเทียบโครงสร้าง

หัวข้อเปรียบเทียบ	ปี 2009	ปี 2008[9]
วัสดุ	- STKM 11A	- Stainless Steel 304
	- Yields = 175 MPa	- Yields = 434 MPa
	- E = 207 GPa	- E = 189 GPa
ภาระการคด	- $\Delta z = 0.63744$ mm	- $\Delta z = 0.17702$ mm
Torsional Rigidity	- 1068 N·m/degree	- 672.78 N·m/degree
น้ำหนัก	35 กิโลกรัม	40 กิโลกรัม

รูปที่แสดงไว้ในหน้าถัดไปเป็นการเปรียบเทียบขนาดของเฟรมในปี 2009 เทียบกับปี 2008



รูปที่ 7-1 มติจาก Top View

รูปที่ 7-2 มติจาก Front View

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบกับโครงรถในปี 2009 เทียบกับปี 2008 ผลที่ได้มีดังนี้

- การเปลี่ยนวัสดุจากสแตนเลส 304 มาเป็นเหล็กเกรดพิเศษ STKM 11A ค่ามอดูลัสของยังของวัสดุเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้รถแข็งแรงและเป็นไปตามกติกาคความปลอดภัย
- การจำลองค่าการบิดจากคอมพิวเตอร์ ปี 2009 ค่าความต้านทานการบิด = 1068 นิวตันเมตร/องศา ส่วนปี 2008 ค่าความต้านทานการบิด = 672.78 นิวตันเมตร/องศา ซึ่งปี 2009 ได้ค่าการต้านทานการบิดเพิ่มมากขึ้นจากการเปลี่ยนวัสดุและการออกแบบโครงรถใหม่
- มิตีของรถที่มีการเปลี่ยนแปลงให้ตรงตามขนาดกติกการแข่งขันในระดับสากลของ FSAE 2009
- มีการทดสอบจริงแล้วเทียบกับทางทฤษฎีทำให้สามารถทราบได้ว่าสร้างโครงรถผิดพลาดจากแบบที่ได้ทำการออกแบบไว้มากกว่าอย่างไร และจะเป็นแนวทางในการพัฒนาในปีต่อไปด้วยซึ่งในโครงการโครงรถปี 2009 นี้ยังเพิ่มส่วนของการทดสอบจริงในบางกรณีเทียบกับการวิเคราะห์ทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งในปี 2008 ไม่ได้ทำไว้คือการหาระยะเปลี่ยนแปลงของการการบิดและการเปลี่ยนวิธีหาจุดศูนย์ถ่วง
- น้ำหนักของโครงรถลดลง 5 กิโลกรัมจากปี 2008 กิโลกรัมคิดเป็น 12.5 เปอร์เซ็นต์

การเปรียบเทียบโครงรถที่ทำไว้ในปีที่แล้วและการออกแบบขึ้นใหม่นำมาเทียบกันแล้วจุดที่เป็นข้อดีจะนำไปสู่การหาโครงรถที่มีความปลอดภัย มีค่าการต้านทานภาระแรงที่กระทำกับโครงรถแล้วส่งผลให้เกิดความเสียหาย การจัดการพื้นที่ใช้งานของรถจากโครงรถให้มีความเหมาะสมและพอดี การสร้างความแข็งแรงของโครงรถ ผลที่ได้คือโครงรถที่มีความเหมาะสมต่อการขับแข่ง ที่มีความปลอดภัยและสามารถคุ้มครองตัวผู้ขับให้มีความปลอดภัยที่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.2 ผลการแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2009

ตารางที่ 7-2 ผลจากการส่งรถเข้าร่วมแข่งขันในรายการ TSAE Auto Challenge 2009

Rank	Team	Score, 1000	18	9.THURSDAY	293.61
1	20.OPTIMUM	779.15	19	5.MORDINDANG	290.11
2	31.TAT-F1 (Phase II)	599.39	20	1.NAGA	260.29
3	29.SUDSAKORN PLUS	549.54	21	34.TGSAE	252.41
4	8.ตาลโตนด	537.90	22	14.Project 1st	227.64
5	15. Initial V	537.47	23	24.Thai-German Automotive	212.73
6	12.TNI Samaclash Automotive 18+	446.02	24	32.CMU F209	209.84
7	18.ลูกชินราช	440.35	25	17.ทุ่งแสงตะวัน	206.64
8	26.ลูกหมากสุก	435.96	26	3.MAEJO	186.67
9	4.Schneller	432.92	27	28.Siam Mechanical T3	182.08
10	21.SSKTC - formula	425.13	28	2.Meridian S. II	176.04
11	30.Thunder Pink Auto Mec. Racing	419.03	29	22.G KU SRC II	162.75
12	10.TAT-F1 (Phase III)	402.78	30	33.สีสวาท	158.38
13	16.SINSAMUT	399.63	31	19.ราชมงคล ขอนแก่น	131.50
14	11.MILLE CAVALLI	389.59	32	27.เครื่องกลเมฆา	112.83
15	13.CMU F309	376.37	33	23.เทคโนโลยีเอเชีย	51.50
16	7.SJU Racing Team	348.19	34	25.Schneller-Z	50.50
17	6.Thunder Blue Auto Mec. Racing	324.58			

จากตารางผลการแข่งขันผลปรากฏว่าทีม Initial V จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นทีมที่ทำการแข่งขันรายการนี้ และได้รับรางวัล Best Design, Best Handling (Autocross) และ Best Presentation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.3 ข้อเสนอแนะ

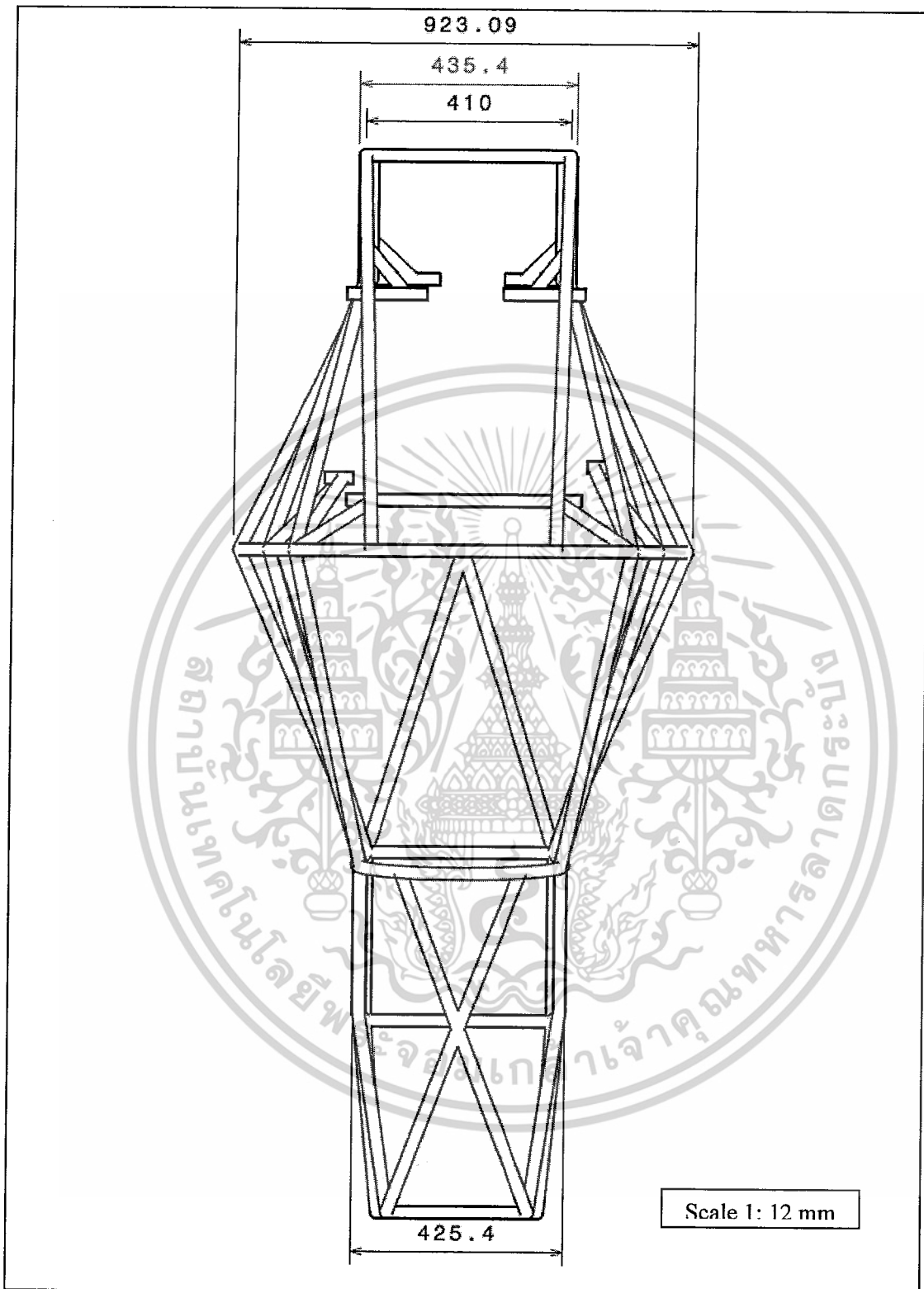
จากการทำโครงการการวิเคราะห์และออกแบบโครงรถแข่งขนาดเล็กพบว่ายังมีปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำงานและสามารถนำมาเป็นข้อเสนอแนะการทำโครงสร้างให้ครั้งต่อไปได้ ดังนี้

1. ขาดอุปกรณ์ในการทดสอบจริงที่ได้มาตรฐานเนื่องจากขาดเงินทุนในการจัดซื้อ ซึ่งในการทดสอบจริงนั้นทางผู้จัดทำโครงการได้แก้ไขโดยออกแบบการทดสอบ จัดหาอุปกรณ์เองเท่าที่หาได้และสามารถอ้างอิงค่าได้ ซึ่งการทดสอบนั้นค่าที่ได้ยังพบว่ามีค่าความผิดพลาดจากทางทฤษฎี ซึ่งถ้าเป็นไปได้ต้องมีอุปกรณ์การทดสอบที่ดีกว่าเดิม
2. การจัดหาอุปกรณ์การสร้างโครงรถที่ได้มาตรฐาน เช่น โตะเชื่อมซึ่งยังไม่มีความแข็งแรงอย่างเพียงพอ ไม่มีเงินทุนที่สูงพอ ต้องทำการสร้างตามเงินทุนที่มีซึ่งได้มาตรฐานที่ไม่ดีมาก
3. เวลาการสร้างที่ยังขาดความแน่นอนเนื่องจากปัจจัยหลายๆอย่าง เช่น รอเครื่องยนต์ว่าจะเลือกเครื่องยนต์ชนิดใดมาสร้าง รอการตกลงตัวนักขับ ซึ่งเป็นปัจจัยในการกำหนดขนาดของตัวรถสามารถแก้ไขโดยการประชุมและกำหนดแผนให้แน่นอน



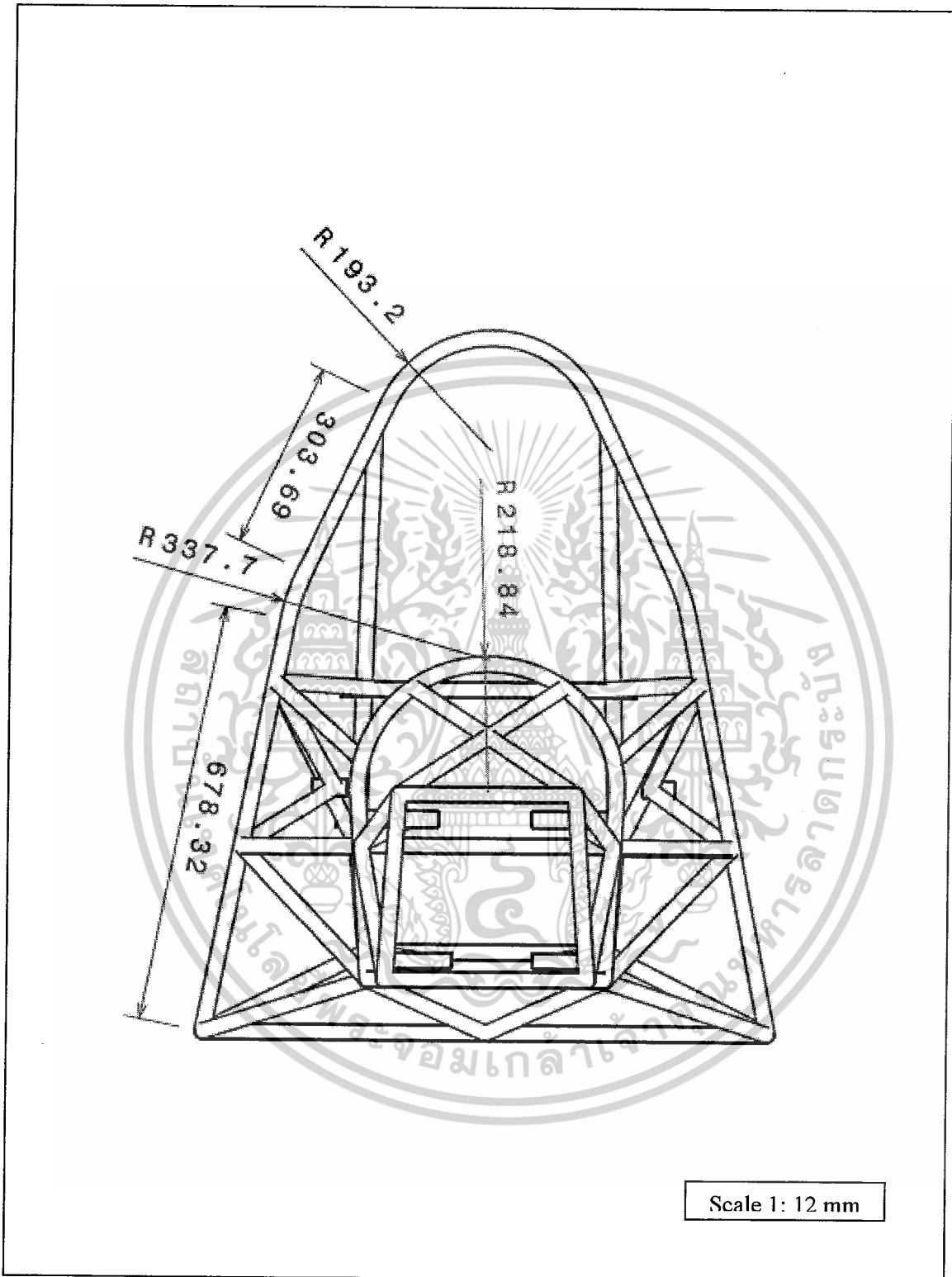


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



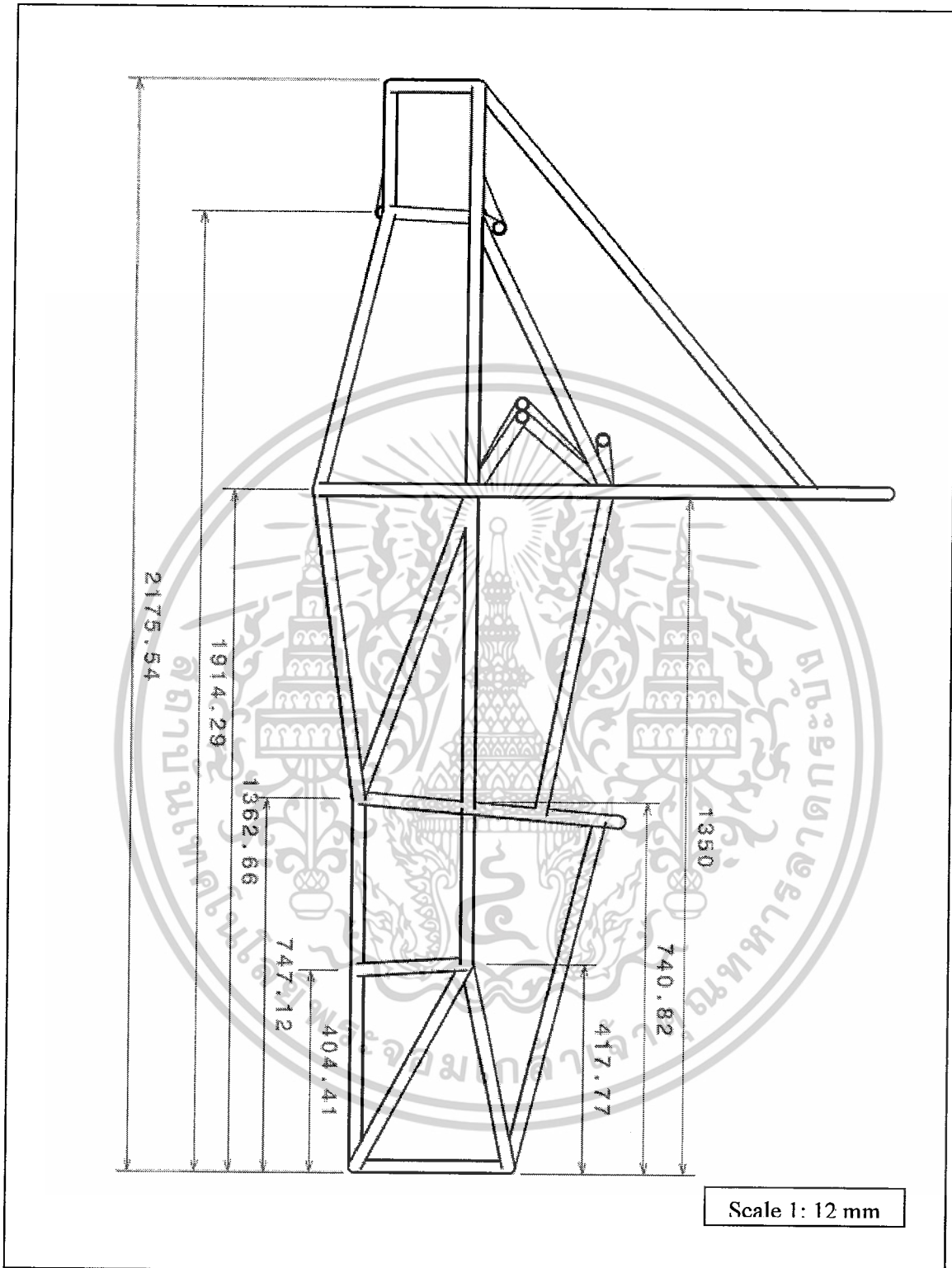
รูปที่ ก-1 Top View

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-2 Front View

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-3 Side View

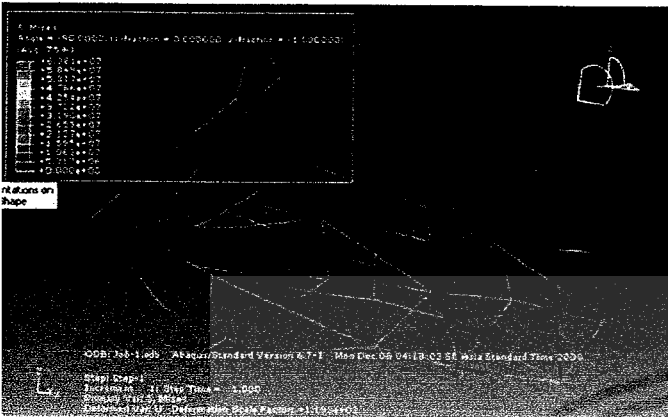
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 3.68 โดยเปรียบเทียบกับจุดครากของเหล็ก 175 Mpa

2. การหาความต้านทานการบิด

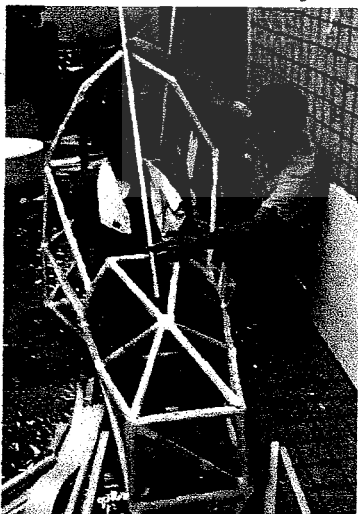


รูปที่ 3 แสดงการจำลองภาระจากการบิด

- a. ทำการจำลองแบบในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์โดยระบุตำแหน่งจุดยึดแน่นบริเวณปีกนกหลังและตำแหน่งการวัดบริเวณปีกนกหน้า
- b. จำลองให้เฟรมถูกแรงคู่ควมกระทำ 6000 นิวตัน เกิดแรงบิดขนาด 2244 นิวตันต่อเมตรที่ฐานปีกนกหน้า
- c. ค่าความเค้น ( $\sigma$ ) Von-Mises stress สูงสุดมีค่า 74.08MPa ซึ่งมีตัวประกอบความปลอดภัย (n) เท่ากับ 2.36 โดยเปรียบเทียบกับจุดครากของเหล็ก 175 Mpa

ขั้นตอนการสร้างต้นแบบ

- 1. จัดวางลักษณะทำนองเพื่อให้เกิดความสบาย เป็นไปตามหลักศาสตร์และวัดขนาดทำนองของคานขั้วตามรูป



รูปที่ 5 การจัดวางทำนองและการตรวจสอบตามกฎกติกา

- 2. จัดหาเหล็กเกรดพิเศษ (STKM 11A) และลวดเชื่อมที่มีความเหมาะสมกับการเชื่อมโครงสร้าง

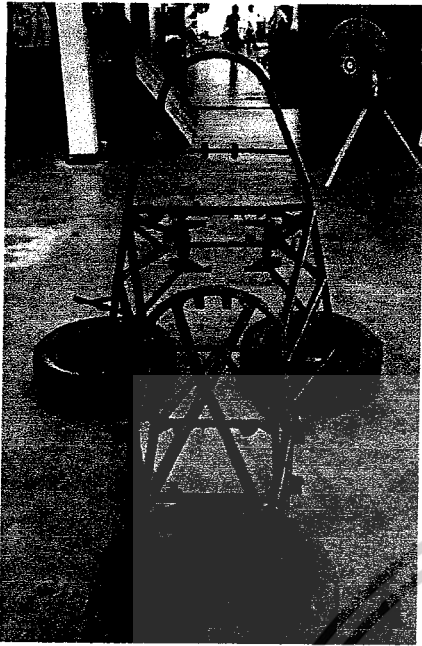
- 3. วัดขนาดเครื่องยนต์ที่จะนำมาใส่ในรถ เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบห้องเครื่องยนต์ และตำแหน่งยึดต่างๆ
- 4. นำตำแหน่งที่ได้ และแบบเบื้องต้นของเฟรม ไปใช้ต่อในการออกแบบช่วงล่าง ระบบกันสะเทือนต่างๆ เช่น ตำแหน่งจุดยึดปีกนก ความสูง กว้าง ยาว
- 5. ทำการเขียนแบบโครงสร้างในคอมพิวเตอร์เป็นแบบเส้นเอียงง่าย ที่มีแต่เส้นที่จำเป็นเพื่อหาจุดรับแรงก่อนเท่านั้น
- 6. จำลองเหตุการณ์ให้กับโครงสร้างที่ได้เขียนไว้ด้วยวิธีการบิด เนื่องจากโครงสร้างของรถคันนี้เป็นรถแข่งซึ่งจำเป็นต้องต้านทานการบิดได้ดีจึงสนใจแต่เพียงการต้านทานการบิดก่อนในเบื้องต้น
- 7. ทำการเสริมคานเข้าไปในส่วนที่มีความเสียหายมากที่สุดก่อนตำแหน่งที่มีค่าความแข็งแรงเกินค่าวัสดุที่จะรับได้
- 8. ปรับปรุงแบบโครงสร้างจากผลที่ได้เพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีความแข็งแรงอยู่ในช่วงที่ได้ออกแบบไว้และมีน้ำหนักเบาที่สุด
- 9. นำโครงสร้างที่ดีที่สุดจากการจำลองแบบการต้านทานการบิดเพื่อจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในเรื่องทางด้านการโค้งงอต่อไป
- 10. เมื่อทราบค่าการต้านทานการโค้งงอซึ่งอยู่ในค่าที่ไม่เกินมาตรฐานแล้ว จากนั้นทำการจัดสร้าง
- 11. สร้างแบบจำลองจากท่อกระดาก่อน เพื่อดูความถูกต้องของตำแหน่ง การวางองค์ประกอบและการจัดวางรอยต่อระหว่างท่อชนท่อ
- 12. จัดเตรียมโต๊ะสำหรับจับยึดโครงสร้างขณะทำการเชื่อม เพื่อป้องกันการบิดตัวของวัสดุเมื่อได้รับความร้อน
- 13. ตัด ตะไบ ให้เข้ารูปตามที่ได้ออกแบบไว้ แล้วนำไปทำการเชื่อมตามแบบที่ได้ทำไว้



รูปที่ 7 แบบจำลองท่อกระดาก

- 14. จับชิ้นงานขึ้นโต๊ะ และทำการเชื่อมแนวกลางหลักของโครงสร้างก่อนเพื่อป้องกันการบิดตัวเพราะอาจทำให้ระยะต่างๆผิดรูปจากไปว่ามาตรฐานใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อวัสดุอย่างอึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้แบบไป

15. นำโครงสร้างที่เสร็จสมบูรณ์มาประกอบขึ้นส่วนเข้าด้วยกัน

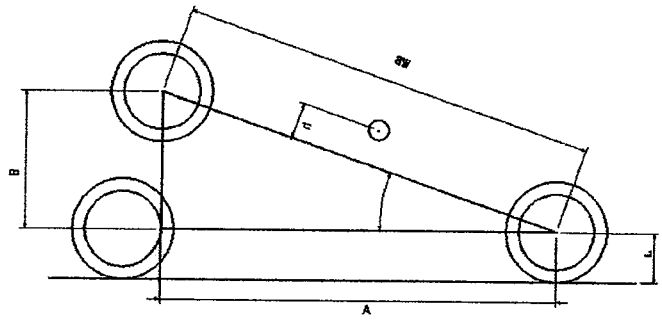


รูปที่ 8 โครงสร้างจริง

16. นำโครงสร้างที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์หาจุดศูนย์ถ่วง

17. การทดสอบโครงสร้างจริง

18. สรุปผลโครงการ



รูปที่ 9 การหาความสูงของจุดศูนย์ถ่วง



รูปที่ 10 การหาจุดศูนย์ถ่วงของรถปี 2009

8.2 การหาภาระการดัด

การทดสอบภาระการดัดเป็นการจำลองสภาพของเฟรมรถเมื่อเกิดการดัดว่าสามารถรับแรงได้เท่าใดถึงจะเกิดการโก่งงอขึ้นและเกิดการเคลื่อนที่จากจุดเดิมเป็นระยะเท่าใด ซึ่งภาระการดัดจะเกิดเมื่อรถเร่งความเร็วหรือเบรก โมเมนต์ที่จากแรงเฉื่อยทำให้เกิดการถ่ายเทแรงจากล้อด้านหนึ่งไปล้อฝั่งตรงข้าม

วิธีการทดสอบ

- ยึดโครงรถเข้ากับโต๊ะเหล็กบริเวณด้านหน้าและท้ายรถดังรูปที่ 10
- กำหนดจุดถ่วงน้ำหนักบริเวณกลางโครงรถ
- วัดระยะที่เปลี่ยนแปลง และทำการทดลองซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย
- นำระยะที่เปลี่ยนแปลงไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากของโปรแกรม

ทดสอบโครงรถ

จากขอบเขตการศึกษาในโครงการนี้จึงได้จัดทำวิธีการทดสอบเฟรมเทียบกับเฟรมที่ได้ทำการออกแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งงานนี้ได้ทำการทดลองหาจุดศูนย์ถ่วง การทดลองหาภาระการดัด การทดลองหาภาระการบิด เนื่องจากเหตุผลและข้อจำกัดในด้านอุปกรณ์ทดสอบ

8.1 การทดลองหาจุดศูนย์ถ่วง [2]

การหาจุดศูนย์ถ่วงของโครงรถแข่งเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ และน้ำหนักบรรทุกขึ้น การหาความสูงจุดศูนย์ถ่วงทำได้โดยการยกขาให้สูงขึ้น ดังรูปที่ 9 แล้วทำการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการยกความสูงของจุดศูนย์ถ่วงได้คือ

สมการที่ใช้ในการหาความสูงของจุดศูนย์ถ่วง

$$h = \frac{WB \cdot \Delta W}{W \cdot \tan \alpha}$$

$$h = \frac{(1.62)(83.5 - 74.25)}{255 \tan 22.5}$$

$$h = 0.14m$$

การทดสอบนี้ใช้ล้อแม็กซ์ที่มีรัศมีคือ 24 เซนติเมตร และความสูง

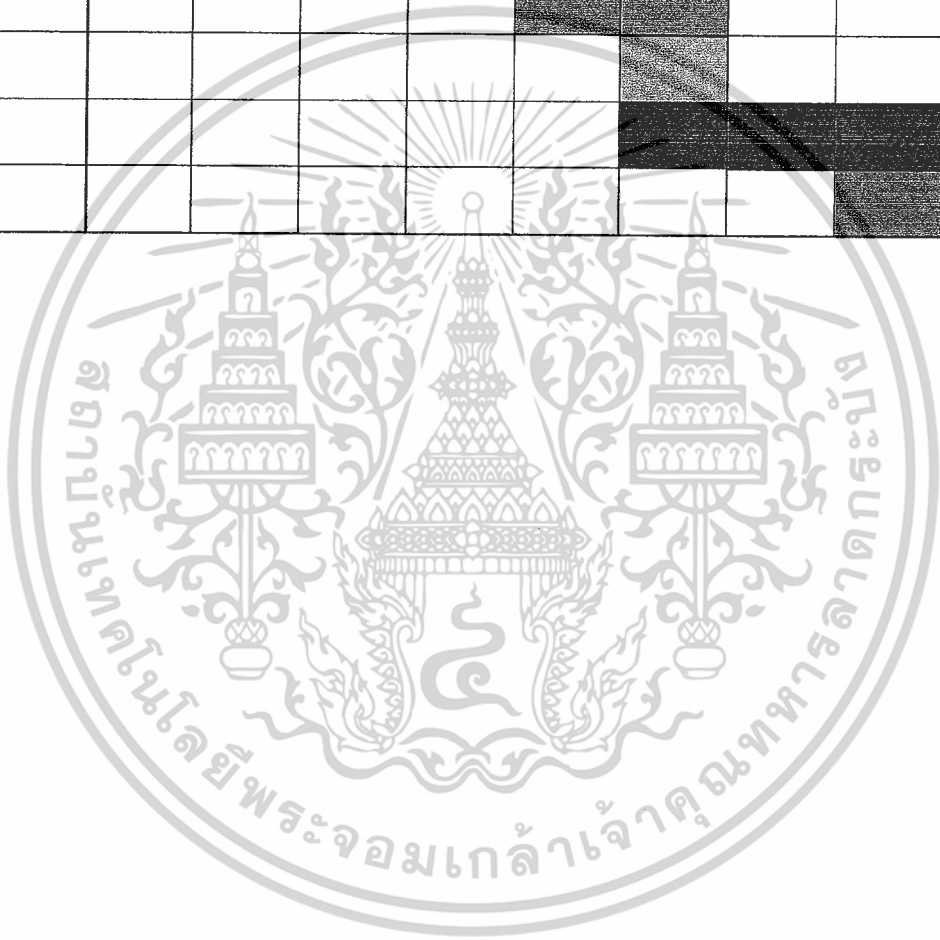
ขาได้ 14 เซนติเมตร ดังนั้นความสูงของจุดศูนย์ถ่วง (C.G.) ของ

โครงรถเป็น 38 เซนติเมตร

ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานการดำเนินงาน

ขั้นตอนการทำงาน	มี.ย.-51	ก.ค.-50	ส.ค.-50	ก.ย.-50	ต.ค.-50	พ.ย.-50	ธ.ค.-50	ม.ค.-51	ก.พ.-51
ศึกษาทฤษฎีและหาข้อมูล									
คำนวณการรับภาระ									
วิเคราะห์ไฟไนท์อิลิมนัท									
ออกแบบด้วยแบบจำลองขนาดจริง									
สรุปแบบ									
จัดหาวัสดุ									
สร้างชิ้นงาน									
ทดสอบ									



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Bill Riley, **Design and analysis vehicular structures**, 2000
- [2] Christopher Scott Baker, **Formula SAE-A Space Frame Chassis Design**, 2004
- [3] Geoff Davies F.I.M., M.Sc. (Oxon), **Materials for Automobile Bodies**, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2003
- [4] Julian Happian-Smith, **An introduction to Modern Vehicle Design**, Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004
- [5] Jorge Segers, **Anlysis techniques for racecar data acquisition**, 2008
- [6] Joseph E. Shigley, Charles R. Mischke and Richard G. Budynas, **Mechanical Engineer Design**, 2004
- [7] M. F. Ashby, **Materials Selecteion in Mechanical Design**, Pergamon Press, 1992
- [8] William F. Milliken, Douglas L. Milliken, **Chassis Design Principle and Analysis**, 2002
- [9] ดิณภพ พูลเขาล้าน และฉิมพงศ์ มโนชมพู, **การวิเคราะห์และการออกแบบโครง รถแข่งขนาดเล็ก, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล , 2007**
- [10] วีระยุทธ สุวรรณประทีป, **วิศวกรรมยานยนต์**, 2005
- [11] วิทวัส อิมเอิบ และ ธนิต เจตะวิฒนะ, **การออกแบบระบบเฟรมสำหรับรถแข่งขนาดเล็ก, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล., 2008**
- [12] 2009 Formula SAE Rules