สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและพัฒนาระบบบังคับเลี้ยวในรถยนต์ขนาดเล็ก

Design and Development of Steering System for a Small Passenger Car

โดย

นายรัฐกร อุดมสุข

นายวรุตม์ เทียรพาณิชย์

นายวัชรพงษ์ สุทธิวรรณ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร

วพ
ว3297
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62411
วัน,เดือน,ปี 17 ส.ค. 2549

b 11623202
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้จัดทำ

1.นายรัฐกร	อุดมสุข	รหัสประจำตัว 45010642
2.นายวรุตม์	เชียรพาณิชย์	รหัสประจำตัว 45010682
3.นายวัชรพงษ์	สุทธิวรรณ	รหัสประจำตัว 45010690

_____อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาระบบบังคับเลี้ยวในรถยนต์ขนาดเล็ก

นายรัฐกร อุดมสุข 45010642
นายวรุตม์ เทียรพาณิชย์ 45010682
นายวัชรพงษ์ สุทธิวรรณ 45010690
ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและออกแบบระบบบังคับเลี้ยว สำหรับรถยนต์ขนาดเล็ก ซึ่งระบบบังคับเลี้ยวนี้จะถูกใช้กับรถขนาดเล็กจำนวน 2 คัน คันแรกคือ รถยนต์แก๊สโซฮอล์ (20 เปอร์เซ็นต์ เอธานอล) เป็นเชื้อเพลิง นั่งโดยสารได้ 2 คน ในคันที่ 2 คือ รถยนต์ไฟฟ้า นั่งโดยสารได้ 1 คน กฎเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบระบบบังคับเลี้ยวคือง่ายต่อการบังคับเลี้ยวและความสามารถในการเคลื่อนตัวสูง โดยทำการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ในโปรแกรม MSC.ADAMS เพื่อดูมุมเลี้ยวและวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยวิธีทางไฟไนเอลิเมนต์ นอกจากนั้นยังได้ออกแบบชิ้นส่วนพิเศษขึ้นมาเพื่อปรับตั้งค่ามุมล้อให้ได้ครบทุกมุม

ผลการออกแบบจากการจำลองการเคลื่อนที่ในโปรแกรมและการคำนวณได้ค่ารัศมีวงเลี้ยวในขนาดที่ยอมรับได้และผลจากการออกแบบเลือกใช้วัสดุสร้างชิ้นส่วนพิเศษมีค่าตัวประกอบความปลอดภัยเท่ากับ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design and Development of Steering System for a Small Passenger Car

Rattakorn Udomsook
Varoot Tienpanich
Vacharapong Suttiwan
Asst.Prof.Dr. Monsak Pimsarn Advisor

ABSTRACT

This project is aimed to develop and design the steering system that is used in two small city cars. The first car is a gasohol vehicle (containing 20 percent ethanol), E-20, which is be able to fit two passengers. The second is an electric vehicle, EV, carrying only one passenger. The goals used in steering design are steerability and maneuverability. To achieve these goals, the simulation of the steering system is numerically carried out to analyse a steer angle and turning circle. Later, finite element method is employed to evaluate the structure strength. Furthermore, in this project, the special parts are designed and built to fit in the cars. With these parts, all the wheel angles can be readjusted. The results form the simulation and calculation show that the turning radius for both car is exceptable. Moreover, a safety factor for the special parts is approximately 7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้ความร่วมมือ และความช่วยเหลือจากหลายๆท่าน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงคือ ผศ.ดร. มนศักดิ์ พิมสาร ที่คอยให้คำแนะนำ เอาใจใส่ และคอยให้ความช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ ต้องขอขอบคุณบริษัท เดมเลอร์ ไครส์เลอร์ ไทยแลนด์ (Daimler Chrysler Thailand) ที่ให้ข้อมูลและคำปรึกษาในการทำโครงงาน และเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆห้องเจ็ดทุกคน รวมถึงทุกคนในชมรม Automotive Club และเพื่อนๆร่วมโครงงาน ด้วยที่ทำให้ช่วงสุดท้ายก่อนจบจากมหาวิทยาลัยมีสีสันมากมาย

และสุดท้ายต้องขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดที่ทำให้พวกข้าพเจ้ามีวันนี้ คือ บิดา มารดา ซึ่งได้เลี้ยงดูข้าพเจ้ามาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมาในทุกๆด้าน ข้าพเจ้าขอระลึกพระคุณอันสูดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

รัฐกร อุดมสุข
วรุฒม์ เตียรพานิชย์
วัชรพงษ์ สุทธิวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 ทฤษฎีระบบบังคับเลี้ยว	3
2.1.1 การทำงานของระบบเลี้ยว	3
2.1.2 ความสำคัญของระบบบังคับเลี้ยวรถยนต์	3
2.1.3 ระบบบังคับเลี้ยว	4
2.1.4 ส่วนประกอบของระบบบังคับเลี้ยว	4
2.1.5 เขียนแบบส่วนประกอบของระบบบังคับเลี้ยว	6
2.1.6 กลไกปรับเอนและปรับความสูงพวงมาลัย	6
2.1.7 การเลือกระบบบังคับเลี้ยว	7
2.2 ทฤษฎีมุมล้อ	8
2.2.1 มุมแคสเตอร์ (Caster angle)	8
2.2.1.1 ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดมุมแคสเตอร์	9
2.2.1.2 ลักษณะของมุมแคสเตอร์	9
2.2.2 มุมแคมเบอร์ (Camber angle)	10
2.2.2.1 หน้าที่มุมแคมเบอร์	11
2.2.2.2 ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดมุมแคมเบอร์	11
2.2.2.3 ลักษณะของมุมแคมเบอร์	11
2.2.2.4 ผลของมุมแคมเบอร์ขณะรถแล่นตรง	11
2.2.3 ระยะโท	13
2.2.3.1 วัตถุประสงค์ของการจัดระยะโทของล้อหน้า	14
2.2.3.2 ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดระยะโทของล้อหน้า	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.3 ลักษณะของระยะโทล้อหน้า 14
2.2.4 มุมเอียงของสลักล้อหน้า 15
2.2.5 รัศมีหมุนเลี้ยวและแกนหมุนเลี้ยว 16
2.2.6 มุมแกนหมุนเลี้ยว 17
2.2.6.1 หน้าที่มุมแกนหมุนเลี้ยว 17
2.2.6.2 พวงมาลัยกลับคืนเองหลังจากเลี้ยว 17
2.2.7 การลื่นไถลของล้อรถขณะเร่งรถเข้าโค้ง 17
2.2.8 รัศมีการเลี้ยวและการไถลด้านข้าง 18
บทที่ 3 การออกแบบและคำนวณ
3.1 เงื่อนไขพื้นฐานสำหรับการกลิ้งอย่างแท้จริงของล้อ 20
3.2 กลไกบังคับเลี้ยวแบบอัคเคมานน์ (Ackermann) 21
3.2 การหาฐานล้อและ ระยะหน้าล้อ 24
3.3 วิธีการเลี้ยว 25
3.4 แรงกระทำเมื่อรถจอดนิ่งบนพื้นระดับ 26
3.5 การทรงตัวบนทางโค้ง (Cornering) 27
บทที่ 4 การออกแบบชิ้นส่วนพิเศษ
4.1 ชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์ (Caster adjuster) 33
4.2 ชิ้นส่วนปรับมุมแคมเบอร์ (Camber Adjuster) 34
4.3 ชิ้นส่วนปรับตั้งมุมโท (Toe Adjuster) 34
4.4 ชิ้นส่วนปรับตั้งตำแหน่งวางเฟืองบรรทัด (Rack Adjuster) 35
4.5 ชิ้นส่วนกลไกปรับเอนและปรับความสูงพวงมาลัย 36
บทที่ 5 การใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์
5.1 โปรแกรมอดัมส์คาร์(MSC.ADAMS/Acar) 38
5.2 โปรแกรม MSC.ADAMS-View 61
5.3 โปรแกรม ABAQUS 70
บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุป
6.1 สรุปผลการทดลอง 104
6.2 ผลการทดลอง 105
6.3 วิจารณ์การทำงาน 105
6.4 วิจารณ์ผลการทดลอง 106
6.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 106
ภาคผนวก 108
บรรณานุกรม 114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงชิ้นส่วนของระบบบังคับเลี้ยวและน้ำหนักโดยประมาณ 6
ตารางที่ 2.2 มุมล้อที่ติดตั้งก่อนปรับตั้งค่า 19
ตารางที่ 3.2 ระยะฐานล้อและระยะหน้าล้อที่เลือก 25
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงชนิดของข้อต่อ 40
ตารางที่ 5.2 จุดอ้างอิงชิ้นส่วนเสื้อเฟืองพวงมาลัย 41
ตารางที่ 5.3 จุดอ้างอิงชิ้นส่วนเฟืองบรรทัด 44
ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงคู่สัมผัสและชนิดการยึดติด 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 การทำงานของระบบบังคับเลี้ยว 3
รูปที่ 2.2 รูปชิ้นส่วนของระบบบังคับเลี้ยว 6
รูปที่ 2.3 รูปลักษณะมุมแคสเตอร์ที่เป็นบวก 8
รูปที่ 2.4 รูปลักษณะมุมแคสเตอร์ 9
รูปที่ 2.5 เส้นผ่านศูนย์กลางกลิ้ง (Rolling diameter) 12
รูปที่ 2.6 แสดงระยะโทอิน 13
รูปที่ 2.7 มุมเอียงของสลักล้อหน้า 15
รูปที่ 2.8 รัศมีมุมเลี้ยว (Scrub Radius) 16
รูปที่ 3.1 แสดงการเลี้ยวแบบทฤษฎีอัคเคมานน์ 21
รูปที่ 3.2 แสดงการเคลื่อนที่ของคันส่งและรัศมีแขนก้านต่อบังคับเลี้ยว 22
รูปที่ 3.3 แสดงการพิสูจน์สูตรที่ 3 22
รูปที่ 3.4 ระยะฐานล้อและระยะหน้าล้อ 24
รูปที่ 3.5 การจอดนิ่งบนพื้นระดับ 26
รูปที่ 3.6 แสดงเส้น Free body diagram ในการเลี้ยวโค้ง 27
รูปที่ 3.7 แสดงมุมเลี้ยวล้อ 31
รูปที่ 4.1 ชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์ 33
รูปที่ 4.2 ตำแหน่งติดตั้งชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์ 34
รูปที่ 4.3 ชิ้นส่วนปรับมุมแคมเบอร์ในรถอี-20 34
รูปที่ 4.4 ชิ้นส่วนปรับมุมแคมเบอร์ในรถอีวี 34
รูปที่ 4.5 ชิ้นส่วนปรับระยะโทของรถทั้ง 2 คัน 35
รูปที่ 4.6 ชิ้นส่วนปรับตำแหน่งวางเฟืองบรรทัด 35
รูปที่ 4.7 กลไกปรับเอนและปรับความสูงพวงมาลัย 36
รูปที่ 5.1 ส่วนประกอบระบบบังคับเลี้ยว 38
รูปที่ 5.2 ระบบบังคับเลี้ยวเมื่อประกอบสมบูรณ์ 40
รูปที่ 5.3 การเปิด MSC.Licensing 9.2 40
รูปที่ 5.4 หน้าต่างเริ่มต้นใช้โปรแกรม 40
รูปที่ 5.5 การเริ่มสร้างชิ้นงานต้นแบบ 41
รูปที่ 5.6 การสร้างจุดอ้างอิงเฟืองพวงมาลัย 41
รูปที่ 5.7 การกำหนดชิ้นส่วนเสื้อเฟืองพวงมาลัย 42
รูปที่ 5.8 การกำหนดโครงสร้างสมมุติ 42
รูปที่ 5.9 การสร้างชิ้นส่วนเสื้อเฟืองพวงมาลัย 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.10 ชิ้นส่วนเสื้อเฟืองพวงมาลัย (Rack Housing) 43
รูปที่ 5.11 การสร้างจุดอ้างอิงเฟืองบรรทัด 44
รูปที่ 5.12 การสร้างชิ้นส่วนเฟืองบรรทัด 45
รูปที่ 5.13 ชิ้นส่วนเฟืองบรรทัด 45
รูปที่ 5.14 การสร้างจุดอ้างอิงเฟืองกลม 45
รูปที่ 5.15 ชิ้นส่วนเฟืองกลม 46
รูปที่ 5.16 การสร้างจุดอ้างอิงแกนพวงมาลัย 46
รูปที่ 5.17 การกำหนดชิ้นส่วนแกนพวงมาลัย 47
รูปที่ 5.18 การสร้างชิ้นส่วนแกนพวงมาลัย 48
รูปที่ 5.19 ชิ้นส่วนแกนพวงมาลัย 48
รูปที่ 5.20 การสร้างจุดอ้างอิงแกนพวงมาลัยส่วนที่ 2 48
รูปที่ 5.21 การกำหนดชิ้นส่วนแกนพวงมาลัยส่วนที่ 2 49
รูปที่ 5.22 การสร้างชิ้นส่วนแกนพวงมาลัยส่วนที่ 2 49
รูปที่ 5.23 ชิ้นส่วนแกนพวงมาลัยส่วนที่ 2 49
รูปที่ 5.24 การสร้างจุดอ้างอิงพวงมาลัย 50
รูปที่ 5.25 การกำหนดโครงสร้างสมมุติพวงมาลัย 51
รูปที่ 5.26 การสร้างพวงมาลัย 51
รูปที่ 5.27 การสร้างคอพวงมาลัย 51
รูปที่ 5.28 การสร้างพวงมาลัย 52
รูปที่ 5.29 การสร้างข้อต่อและจุดยึด 52
รูปที่ 5.30 แสดงตำแหน่งข้อต่อและจุดยึด 52
รูปที่ 5.31 แสดงตำแหน่งข้อต่อและจุดยึด (Solid Shade) 53
รูปที่ 5.32 แสดงจุดเชื่อมต่อแบบ Revolute joint คู่ที่ 1 Inner rack กับ Pinion 53
รูปที่ 5.33 แสดงจุดเชื่อมต่อแบบ Hooke joint คู่ที่ 2 Steering_shaft_front กับ Steering_shaft_rear 53
รูปที่ 5.34 แสดงจุดเชื่อมต่อแบบ Hooke joint คู่ที่ 3.Steering_shaft_rear 54
รูปที่ 5.35 แสดงจุดเชื่อมต่อแบบ Cylindricaljoint คู่ที่ 4 Steering column กับ Steering_shaft_rear 54
รูปที่ 5.36 แสดงจุดเชื่อมต่อแบบ Revolute joint คู่ที่ 5.Steering_shaft_rear กับ wheel_center 54
รูปที่ 5.37 แสดงจุดเชื่อมต่อแบบ Spherical 54
รูปที่ 5.38 ส่วนประกอบระบบบังคับเลี้ยวแบบสมบูรณ์ 55
รูปที่ 5.39 ส่วนประกอบระบบบังคับเลี้ยวแบบสมบูรณ์พร้อมทำการจำลองการเคลื่อนที่ 55
รูปที่ 5.40 ส่วนประกอบระบบบังคับเลี้ยวแบบสมบูรณ์พร้อมทำการจำลองการเคลื่อนที่ 55
รูปที่ 5.41 Assembly Dialog Box 56
รูปที่ 5.42 ระบบช่วงล่างแบบดับเบิ้ลวิชโบน 56
รูปที่ 5.43 ระบบบังคับเลี้ยวแบบแร็คแอนด์พีเนียน (Rack and pinion) 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.44 ส่วนประกอบต่างของระบบบังคับเลี้ยว (Rack and pinion) พร้อมพิจารณาการหมุนเลี้ยว 57
รูปที่ 5.45 การประมวลผลโปรแกรมพิจารณาการหมุนเลี้ยว 58
รูปที่ 5.46 การประมวลผลโปรแกรมพิจารณาการหมุนเลี้ยว 58
รูปที่ 5.47 Assembly Dialog Block 59
รูปที่ 5.48 ระบบช่วงล่างที่เราเลือกใช้แบบแมคเฟอสันสตรัท (Macpherson) 59
รูปที่ 5.49 ระบบบังคับเลี้ยวที่เราเลือกใช้แบบแร็คแอนด์พีเนียน (Rack and pinion) 60
รูปที่ 5.50 ส่วนประกอบต่างของระบบบังคับเลี้ยว 60
รูปที่ 5.51 การประมวลผลโปรแกรมพิจารณาการหมุนเลี้ยวของรถอีวี 61
รูปที่ 5.52 แสดงการเข้าโปรแกรมADAMS-View 62
รูปที่ 5.53 แสดงการวาดชิ้นส่วนปลอกครอบเฟืองบรรทัด 63
รูปที่ 5.54 แสดงภาพปลอกเฟืองบรรทัดที่เจาะรูแล้ว 63
รูปที่ 5.55 แสดงการเคลื่อนเฟืองบรรทัดมาประกอบกับปลอกครอบเฟืองบรรทัด 64
รูปที่ 5.56 แสดงการหมุนแขนคันส่ง 64
รูปที่ 5.57 แสดงการประกอบแขนของคันส่ง 65
รูปที่ 5.58 แสดงการประกอบชุดคอม้าสมมติ 65
รูปที่ 5.59 แสดงการประกอบดุมล้อ 66
รูปที่ 5.60 แสดงการวาดล้อ 66
รูปที่ 5.61 แสดงการประกอบล้อทั้งสองข้าง 67
รูปที่ 5.62 แสดงภาพระบบบังคับเลี้ยว 67
รูปที่ 5.63 แสดงการกำหนดการเคลื่อนที่ 68
รูปที่ 5.64 แสดงการกำหนดการเคลื่อนที่ที่จุดต่างๆ 69
รูปที่ 5.65 แสดงการกำหนดการเคลื่อนที่ 69
รูปที่ 5.66 แสดงการ Simulate 70
รูปที่ 5.67 แสดงวิธีเปิด ABAQUS licensing 71
รูปที่ 5.68 แสดงการเปิดโปรแกรมอบาคัส (ABAQUS) 71
รูปที่ 5.69 แสดงวิธีนำเข้าชิ้นงาน 72
รูปที่ 5.70 แสดง Part ที่เป็น Deformable 72
รูปที่ 5.71 แสดง Part ที่เป็น Rigid body 73
รูปที่ 5.72 แสดงการกำหนดค่า Elastic 73
รูปที่ 5.73 แสดงการสร้างและกำหนด Section 74
รูปที่ 5.74 แสดงการ Instance Part 74
รูปที่ 5.75 แสดง Part ที่ประกอบกันเรียบร้อยแล้ว 75
รูปที่ 5.76 แสดงการกำหนด Step 75
รูปที่ 5.77 แสดงบริเวณที่ผิวสัมผัสกัน 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.78 แสดงการสร้าง Interaction 76
รูปที่ 5.79 แสดงการกำหนดตำแหน่งที่เกิดการสัมผัส 77
รูปที่ 5.80 แสดงการสร้าง Contact Property 77
รูปที่ 5.81 แสดง 9 ตำแหน่งที่มีการสัมผัส 78
รูปที่ 5.82 แสดงการกำหนด BC ที่ด่านล่างของ Deformable 79
รูปที่ 5.83 แสดงการ Deactivate BC 79
รูปที่ 5.84 แสดงการกำหนด BC ที่ 2 80
รูปที่ 5.85 แสดงการ Modified ค่า BC2 ที่ Step 2 80
รูปที่ 5.86 แสดงตำแหน่ง Boundary Condition และกำหนดค่า 81
รูปที่ 5.87 แสดงการกำหนด Load 81
รูปที่ 5.88 แสดงการกำหนด Mesh แบบ 3 เหลี่ยม 82
รูปที่ 5.89 แสดงการทำ Seed Part Instance 82
รูปที่ 5.90 แสดงการทำ Mesh Part 83
รูปที่ 5.91 แสดงการสร้าง Job 83
รูปที่ 5.92 แสดงการรันข้อมูล 84
รูปที่ 5.93 แสดงผลที่ได้ 84
รูปที่ 5.94 แสดงผลการเปลี่ยนรูปและตำแหน่งที่เกิดความเสียหาย 85
รูปที่ 5.95 แสดง Part Rigid 85
รูปที่ 5.96 แสดงชิ้นงาน 86
รูปที่ 5.97 แสดงการกำหนดค่า Elastic 86
รูปที่ 5.98 แสดงการกำหนด Section 87
รูปที่ 5.99 แสดงภาพชิ้นส่วนที่ประกอบแล้ว 87
รูปที่ 5.100 แสดงการสร้าง Step 88
รูปที่ 5.101 แสดงการ Create Interaction 88
รูปที่ 5.102 แสดงการกำหนด Interaction ที่ Part 89
รูปที่ 5.103 แสดงการกำหนด Contact Property 89
รูปที่ 5.104 แสดงการกำหนด BC ที่ชิ้น Deformable 90
รูปที่ 5.105 แสดงการ Deactivate ใน step ที่ 2 90
รูปที่ 5.106 แสดงการกำหนด BC ที่ชิ้น Rigid 91
รูปที่ 5.107 แสดงการ Modified BC ที่ Step 2 91
รูปที่ 5.108 แสดงการกำหนด BC ที่ขอบของ Deformable 92
รูปที่ 5.109 แสดงการกำหนด Load ในชิ้น Deformable 92
รูปที่ 5.110 แสดงการตี Mesh ชิ้น Rigid 93
รูปที่ 5.111 แสดงการตี Mesh ที่ชิ้น Deformable 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.112 แสดงภาพระหว่างรันโปรแกรม 94
รูปที่ 5.113 แสดงตำแหน่งต่างๆที่เกิดความเสียหาย 94
รูปที่ 5.114 แสดง Part คอม้า ที่ Import มาจาก SolidWorks 2005 95
รูปที่ 5.115 แสดงการกำหนดค่า Elastic 96
รูปที่ 5.116 แสดงการกำหนด Section ลงใน Part คอม้า 96
รูปที่ 5.117 แสดงรูปคอม้าที่กำหนด Section แล้วจะเป็นสีเขียว 97
รูปที่ 5.118 แสดงขั้นตอนการสร้าง Step 97
รูปที่ 5.119 แสดงชิ้นส่วนที่แบ่ง Partition แล้ว 98
รูปที่ 5.120 แสดงตำแหน่งและกำหนดค่า BC 99
รูปที่ 5.121 แสดงตำแหน่งและขนาดของ Load ที่ตำแหน่งแรก 99
รูปที่ 5.122 แสดงตำแหน่งและขนาดของ Load ที่ตำแหน่งที่ 2 100
รูปที่5.123 แสดงตำแหน่งและขนาดของ Load ที่ตำแหน่งที่ 3 100
รูปที่ 5.124 แสดง Part ที่แบ่ง Partition แล้วแต่ยังไม่สามารถตี Mesh ได้ 101
รูปที่ 5.125 แสดงขั้นตอนการเลือก Mesh แบบ 3 เหลี่ยม 101
รูปที่ 5.126 แสดงชิ้นงานที่ต้องกานตี Mesh 3 เหลี่ยมจะมีสีชมพู 102
รูปที่ 5.127 แสดงการใช้ Seed Part Instance 102
รูปที่ 5.128 แสดง Part ที่ตี Mesh เรียบร้อยแล้ว 103
รูปที่ 5.129 แสดงภาพขณะรันโปรแกรม 103
รูปที่ 5.130 แสดงการเสียรูปและตำแหน่งที่เกิดความเสียหาย 104
รูปที่ ก -1 ขนาดชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์ (Caster Adjuster) 108
รูปที่ ก -2 ขนาดชิ้นส่วนปรับมุมแคมเบอร์ (Camber Adjuster) 108
รูปที่ ก -3 กระปุกเฟืองพวงมาลัยที่เลือกใช้ 109
รูปที่ ก -4 การตรวจสอบโดยตัวแทนของสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ไทย 109
รูปที่ ก -5 การวางตำแหน่งติดตั้งพวงมาลัยในรถอี-20 110
รูปที่ ก -6 การวางตำแหน่งติดตั้งพวงมาลัยในรถไฟฟ้า 110
รูปที่ ก -7 การปรับตั้งศูนย์ล้อในรถอี-20 111
รูปที่ ก -8 การปรับตั้งศูนย์ล้อในรถไฟฟ้า 111
รูปที่ ก -9 การเลี้ยวในรถอี-20 112
รูปที่ ก -10 การเลี้ยวในรถไฟฟ้า 112
รูปที่ ก -11รางวัลรองชนะเลิศอันดับที่ 1 รถไฟฟ้า 113
รูปที่ ก -12 ประสบความสำเร็จ ได้รับรางวัลในการเข้าร่วมแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2006 113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เมื่อพูดถึงหลักของความปลอดภัยในการใช้รถยนต์ ไม่มีอะไรสำคัญไปกว่าระบบบังคับเลี้ยวและระบบเบรคที่ทำงานได้เหมาะสมตามหน้าที่ เพื่อรักษารถยนต์ให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัย ระบบบังคับเลี้ยว คือ ตัวนำให้รถแล่นไปยังทิศทางที่ผู้ขับขี่ต้องการ โดยถ้าต้องการให้มีความสามารถในการควบคุมได้สูงสุดนั้น จำเป็นต้องออกแบบให้ชิ้นส่วน กลไก มุมและศูนย์ล้อต่างๆ (Wheel alignment) สัมพันธ์กัน การทำงานของระบบเลี้ยว เมื่อหมุนพวงมาลัยกระปุกเฟืองพวงมาลัย (Steering gear component) จะทำให้แขนแกว่งไปทางซ้ายและขวา การเคลื่อนที่นี้จะส่งไปยังแขนเลี้ยวล้อโดยผ่านคันส่ง (Steering Linkage) ขณะที่แขนเลี้ยวล้อเคลื่อนที่ จะเป็นเหตุให้ล้อบิดเลี้ยวไปทางด้านใดด้านหนึ่งรถยนต์จึงถูกบังคับให้แล่นไปยังทิศทางที่ต้องการ

การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAE) คอมพิวเตอร์ช่วยในขั้นตอนการสร้างชิ้นส่วน นอกจากนั้นแล้วสิ่งหนึ่งที่ขาดไม่ได้ในการออกแบบชิ้นส่วน (Part design) คือการทดสอบการใช้งานผลิตภัณฑ์ก่อนทำการติดตั้งจริง ซึ่งโดยทั่วไปในอดีตได้มีการสร้างต้นแบบ (Prototype) ขึ้นมาเพื่อทดสอบ โดยการสร้างและทดสอบแต่ละครั้งต้องสูญเสียทั้งเวลาและต้นทุนเป็นจำนวนมาก กว่าที่จะได้ผลเป็นที่น่าพอใจ เราจึงได้มีการเอาเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ทางวิศวกรรม

จากการที่เราศึกษาระบบบังคับเลี้ยวในการแข่งขัน Auto Challenge City Car 2005 ยังขาดการคำนวณมุมล้อ และไม่สามารถปรับตั้งศูนย์ล้อต่างๆ(Wheel alignment)ได้ ก่อให้เกิดปัญหาต่อการควบคุมการเลี้ยวขณะเข้าโค้งเช่น พวงมาลัยไม่คืนกลับ และยังขาดการคำนวณความเสียหายของชุดควบคุมบังคับเลี้ยวอาจก่อให้เกิดอันตรายในระหว่างการขับขี่ ดังนั้นในโครงการนี้จะทำการออกแบบและปรับปรุงข้อผิดพลาดโดยการใช้วิธีคำนวณทางทฤษฎี จากนั้นจะนำไปทดสอบในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Simulate) เพื่อให้ได้มุมล้อและการควบคุมที่เหมาะสมกับรถขนาดเล็กที่จะใช้ร่วมแข่งขันในปีนี้ โดยเราจะแบ่งพิจารณาการออกแบบและปรับปรุงออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ

(1) แรงในการเลี้ยวโค้ง (Cornering) พิจารณาจากมุมล้อ รัศมีการเลี้ยว (Track and turning circle) แรงย่อยผิวสัมผัสหน้ายาง (Lateral force and friction coefficients) ฐานล้อ (Tread width on the front ,*bf*) จากนั้นนำไปพิจารณาการเคลื่อนที่โดยใช้โปรแกรมMSC. ADAMS

(2) ทฤษฎีความเสียหายของอุปกรณ์ คือ แกนพวงมาลัย (Steering shaft) ข้อต่อกากบาท (Universal joint) จากนั้นนำไปพิจารณาศึกษาความเสียหายโดยใช้โปรแกรม ABAQUS

(3) การออกแบบชิ้นส่วน ให้สามารถปรับตั้งศูนย์ล้อต่างๆ(Wheel alignment)ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เข้าใจเกี่ยวกับส่วนประกอบต่างๆในระบบขับเลี้ยว
2. เพื่อออกแบบระบบบังคับเลี้ยวโดยนำโปรแกรม ADAMS และ ABAQUS มาช่วยในการวิเคราะห์ และออกแบบ
3. ศึกษาและคำนวณความเสียหายของส่วนประกอบต่างๆ ในระบบขับเลี้ยว
4. คำนวณและเลือกค่าเพื่อช่วยในการทดกำลังของระบบบังคับเลี้ยวให้เหมาะสมที่สุด
5. เลือกใช้ค่ามุมล้อ (Wheel alignment) ใช้ค่ามุมล้อที่สัมพันธ์กับทฤษฎีระบบรองรับ (Suspension)
6. พัฒนาระบบบังคับเลี้ยวเพื่อใช้ในการแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2006

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ระบบบังคับเลี้ยวที่นำมาพิจารณาในระบบขับเลี้ยวนี้ เป็นกระปุกพวงมาลัยเฟืองบรรทัด (Rack and pinion) แบบปกติ (Manual steering system)
2. ระบบบังคับเลี้ยวจะนำไปใช้ในการแข่งขัน Auto challenge 2006 ซึ่งเป็นรถยนต์ 4 ล้อขนาดเล็ก บรรทุกผู้โดยสาร 2 คน ความเร็วทางราบสูงสุดไม่ต่ำกว่า 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง ภาระแบกรับ (Load) 600-1000 กิโลกรัม ระยะทางอย่างน้อย 25 กิโลเมตร
3. ระบบบังคับเลี้ยวถูกจำกัดโดยมิติของรถที่ถูกออกแบบขนาดจากระบบเฟรม ดังนี้ มีฐานล้อ (Tread width on the front ,*bf*) ยาว 1300 มิลลิเมตร ระยะจากล้อหน้าถึงล้อหลัง (wheel base,*l*) ยาว 1900 มิลลิเมตร ขนาดยาง R14 165 / 65 หน้ายาง 170 มิลลิเมตร รัศมีขอบยาง (Outer diameter) 570 มิลลิเมตร ความยาวแกนพวงมาลัย 690 มิลลิเมตร

1.4 วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาของเราจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ส่วนแรก เราจะทำการศึกษาหาข้อมูลและพื้นฐานความรู้ จากนั้นทำความเข้าใจในส่วนประกอบต่างๆของระบบบังคับเลี้ยวและศึกษาทางด้านการออกแบบและปรับตั้งศูนย์ล้อ การติดตั้งระบบบังคับเลี้ยวในส่วนที่ 2 ทำการออกแบบและทำการจำลองการเคลื่อนที่ของระบบบังคับเลี้ยวและดูผลของแรงต่างๆที่ออกมาเทียบกับค่ามาตรฐาน หลังจากนั้นทำการเขียนโปรแกรม ADAMS เพื่อใช้ในการ Simulation เพื่อดูค่าต่างๆที่มีผลต่อรัศมีวงเลี้ยว และมุมเลี้ยวเขียนโปรแกรม ABAQUS เพื่อดูความเสียหายของระบบบังคับเลี้ยวที่เราออกแบบ

ส่วนที่ 3 เมื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์เสร็จเรียบร้อยแล้วจึงลงมือสร้างระบบบังคับเลี้ยวตามที่ได้ออกแบบไว้แล้วเปรียบเทียบผลเชิงวิเคราะห์กับเชิงปฏิบัติว่าได้ผลการออกแบบถูกต้องหรือไม่ ก่อนนำรถเข้าแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2006

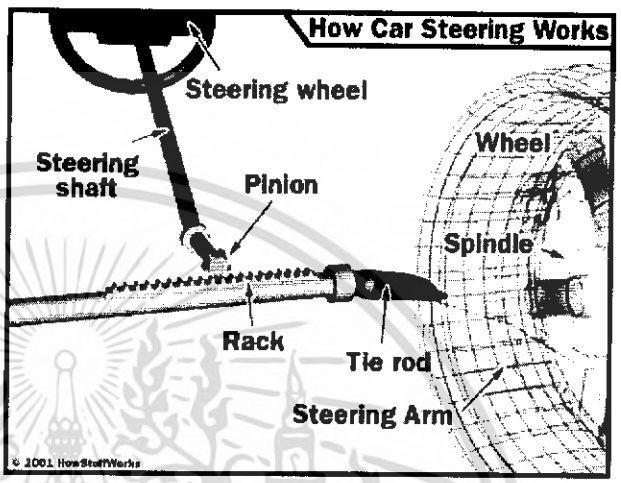
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีระบบบังคับเลี้ยว (Steering theory)

2.1.1 การทำงานของระบบเลี้ยว

เมื่อเราหมุนพวงมาลัย กระปุกเฟือง พวงมาลัย (Steering gear Component) จะทำให้แขน(Tie rod) แกว่งไปทางซ้ายและขวา การเคลื่อนที่นี้จะส่งไปยังแขนเลี้ยวล้อ โดยผ่านคันส่ง (Steering Linkage) ขณะที่แขนเลี้ยวล้อเคลื่อนที่ จะเป็นเหตุให้ล้อบิดเลี้ยวไปทางด้านใดด้านหนึ่งรถยนต์จึงถูกบังคับให้แล่นไปยังทิศทางที่ต้องการ การออกแบบตำแหน่งการจัดวางเฟืองบรรทัดเมื่ออยู่ในตำแหน่งหน้าตรงเฟืองตัวหนอน Drive pinion ต้องถูกควบคุมให้อยู่ในตำแหน่งปกติ (Neutral position) เมื่อไม่มีการหมุนพวงมาลัย การออกแบบการจัดวางเฟืองบรรทัดเมื่อหมุนเลี้ยวซ้ายหรือขวาเมื่อหมุนพวงมาลัยไปทางซ้ายหรือขวา ออกแบบให้เฟืองตัวหนอนรองรับไว้ด้วยเฟืองบรรทัด ให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งความสัมพันธ์ไปในรัศมีบังคับ



รูปที่ 2.1 การทำงานของระบบบังคับเลี้ยว

2.1.2 ความสำคัญของระบบบังคับเลี้ยวรถยนต์

หน้าที่สำคัญของระบบบังคับเลี้ยว พร้อมด้วยระบบรองรับก็คือ ช่วยให้หารขับขี่ เกิดความสะดวกสบายในทุกสภาวะ จากย่านความเร็วต่ำไปย่านความเร็วสูง ระบบส่งกำลังจะส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปขับล้อ เพื่อให้รถยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ระบบบังคับเลี้ยงจะบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถตามความต้องการ และระบบเบรกจะช่วยทำให้เกิดความมั่นใจในเสถียรภาพการทรงตัว การชะลอความเร็วและการหยุด ความสำคัญของระบบบังคับเลี้ยวมีดังนี้

ความคล่องตัวสูง เมื่อรถยนต์มีการหันเลี้ยวไปในที่แคบๆ หรือถนนที่คดเคี้ยว ระบบบังคับเลี้ยวต้องสามารถควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของล้อหน้าได้อย่างง่ายและคล่องตัว

การคืนตัวหลังจากหันเลี้ยว ขณะรถยนต์กำลังเลี้ยว ผู้ขับขี่จะต้องถือพวงมาลัยไว้อย่างมั่นคง หลังจากการเลี้ยวอย่างสมบูรณ์แล้ว พวงมาลัยต้องมีแรงหมุนคืนตัวกลับมาสู่แนวตรงไปข้างหน้าของล้อหน้าทั้งสอง ต้องเกิดขึ้นอย่างคล่องตัวเสมอ เมื่อผู้ขับขี่ผ่อนแรงคลายพวงมาลัย หลังการหันเลี้ยวบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ระบบบังคับเลี้ยว

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ระบบบังคับเลี้ยวแบบธรรมดา (Manual steering)
2. ระบบบังคับเลี้ยวแบบเพิ่มกำลังหรือเพาเวอร์ (Power steering)

2.1.4 ส่วนประกอบของระบบบังคับเลี้ยว

ส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบเลี้ยว ประกอบด้วย

1. พวงมาลัย (Steering wheel) พวงมาลัยทำเป็นรูปกลม มีซี่พวงมาลัยเป็นตัวยึดส่วนต่างๆ ตรงกลางของพวงมาลัยทำร่องฟันเฟือง สำหรับสวมกับร่องที่แกนพวงมาลัย

2. แกนพวงมาลัย(Steering shaft) แกนพวงมาลัยเป็นเพลาส่งกำลัง จากพวงมาลัยไปยังกระปุกพวงมาลัย มักออกแบบให้เป็นหลายท่อน เพื่อความสะดวกสบาย และความปลอดภัยในการขับขี่ คุณลักษณะของแกนพวงมาลัยธรรมดาเป็นกลไกการบังคับเลี้ยวพวงมาลัยประกอบด้วย แกนพวงมาลัย ส่งแรงหมุนจากพวงมาลัยไปกระปุกเฟือง แกนพวงมาลัยประกอบด้วย กลไกดูดกลืนแรงกระแทก เพื่อดูดกลืนแรงกระแทกที่เกิดขึ้น ไม่ให้ไปกระทบกระเทือนผู้ขับขี่ในขณะที่รถเกิดการชนกัน

ส่วนล่างสุดของแกนพวงมาลัยต่ออยู่กับกระปุกเฟืองพวงมาลัย โดยทั่วไปจะใช้ข้อต่ออ่อนหรือข้อต่อกากบาท เพื่อลดอาการสั่นสะเทือนจากสภาพถนนที่ส่งผ่านกระปุกพวงมาลัยมายังพวงมาลัยให้น้อยที่สุดเท่าจะเป็นไปได้

นอกจากนี้ กลไกดูดกลืนแรงกระแทกที่แกนพวงมาลัยของรถยนต์บางรุ่น อาจจะมีระบบควบคุมพวงมาลัยอื่น ๆ อีก เช่น กลไกการล็อกพวงมาลัย ซึ่งทำให้ผู้ขับขี่ปรับระดับความสูงต่ำของพวงมาลัยได้ หรือกลไกปรับตั้งพวงมาลัย ซึ่งจะทำให้ผู้ขับขี่ปรับระดับความสูงต่ำของพวงมาลัยได้ หรือกลไกปรับอาการยืดหยุ่นระยะฟรีตามแนวแกนพวงมาลัย ซึ่งจะช่วยให้เกิดความเหมาะสมในสภาพการถือพวงมาลัย

3. เฟืองพวงมาลัย (Steering gear) มีหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากพวงมาลัยเป็นการเคลื่อนที่โยกคันชักหรือคันส่ง และลดแรงกระทบกลับขณะล้อหน้ากระทบสิ่งกีดขวาง

3.1 คุณลักษณะกระปุกเฟืองพวงมาลัยรถยนต์

เฟืองต่างๆในกระปุกพวงมาลัย ไม่เพียงแต่ทำหน้าที่บังคับทิศทางการเลี้ยวที่ล้อหน้าเท่านั้น กระปุกพวงมาลัยยังทำหน้าที่ทดรอบของเฟือง เพื่อทดแรงการหมุนของพวงมาลัย โดยเพิ่มแรงบิดส่งออกให้มากขึ้น จะช่วยลดแรงในการหมุนพวงมาลัย แต่จำเป็นในการหมุนพวงมาลัยมากรอบขึ้น เมื่อใช้รถยนต์ในทางโค้ง

อัตราทดเฟืองพวงมาลัย = จำนวนองศาหมุนของพวงมาลัย/องศาการเคลื่อนที่ของแขนบังคับเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ประเภทกระปุกพวงมาลัย

-กระปุกพวงมาลัยเฟืองบรรทัด (Rack and pinion)

-กระปุกพวงมาลัยลูกปืนหมุนเวียน (Recirculating ball)

-กระปุกพวงมาลัยตัวหนอน (Worm tyre)

-กระปุกพวงมาลัยเกลียวสกรู (Worm and Roller)

กระปุกพวงมาลัยแบ่งออกได้หลายแบบ แต่แบบที่นิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันในรถนั่งเป็นแบบเฟืองสะพาน และแบบลูกปืนหมุนวน

4. คันชักคันส่ง(Linkage element)

คันชัก (Drag Link) เป็นก้านต่อที่ต่อระหว่างขาไก่พวงมาลัยและคันส่งซ้ายและขวาส่งการเคลื่อนที่จากขาไก่ไปยังคันส่ง

คันส่ง (Tie Rod) เป็นก้านต่อส่งกำลังจากคันชักไปยังแขนบังคับเลี้ยวที่ล้อรถทั้ง 2 ข้าง ตรงกลางคันส่งเป็นปลอกคันส่งสำหรับปรับระยะศูนย์ล้อ

5. ลูกหมากคันส่ง ลูกหมากคันส่งยึดติดอยู่ที่ปลายคันส่งเพื่อต่อกับคันชัก หรือแขนบังคับเลี้ยว ลูกหมากคันส่งที่ใช้ในรถยนต์นั่งใช้ชนิดที่ไม่ต้องมีการหล่อลื่น วัสดุที่ใช้ทำเป็นเบาะรองเป็นวัสดุทนต่อการสึกหรอ การป้องกันฝุ่นของยางกันฝุ่น จะต้องดีและจาระบีที่ใช้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ที่หัวลูกหมากคันส่งจะมีสปริงขันเบาะรองไว้ด้วย สำหรับชดเชยการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับเบาะรอง และความฝืดขั้นต้น

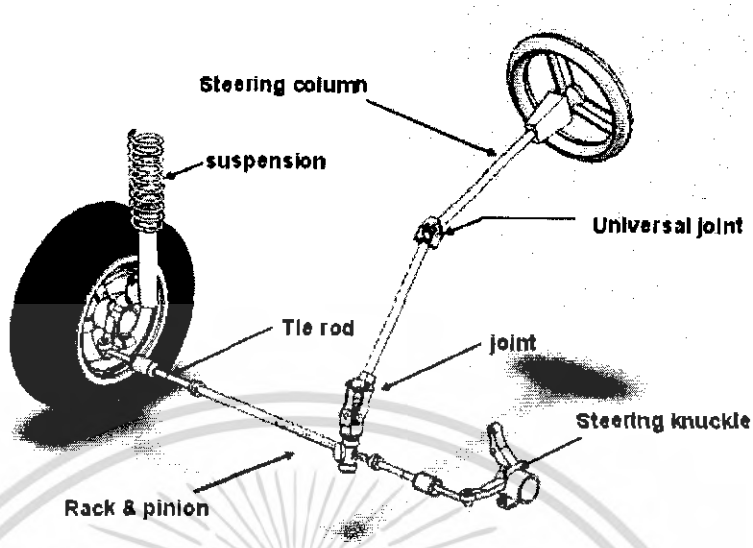
6. ปลอกคันส่ง (Adjust tube) ปลอกคันส่งเป็นท่อกลมมีเกลียวในหัวท้าย ด้านหนึ่งเป็นเกลียวซ้ายอีกด้านเป็นเกลียวขวา ตรงปลายปลอกคันส่งผ่าตามยาวเพื่อให้หมุนเกลียวปรับง่าย เมื่อปรับแล้วรัดแน่นด้วยปลอกรัดเกลียวที่ปลายคันส่งต่อเข้าปลายเฟืองสะพานปรับระยะตั้งศูนย์ล้อ แต่ปลอกคันส่งรถที่ใช้กระปุกพวงมาลัยแบบลูกปืนหมุนวนลูกหมากอยู่หัวท้าย

7. แขนบังคับเลี้ยว (Steering arms) แขนบังคับเลี้ยวส่งถ่ายกำลังการเคลื่อนตัวของคันส่ง หรือก้านดึงไปยังล้อหน้าโดยผ่านแกนบังคับเลี้ยว

8. แกนบังคับเลี้ยว (Steering knuckles) แกนบังคับเลี้ยวเป็นตัวส่งกำลังจากแขนบังคับเลี้ยว หน้าที่อีกอย่างหนึ่งคือหมุนเพลาของล้อแกนบังคับเลี้ยวจะหมุนโดยลูกหมาก หรือ คิงพินของระบบรองรับล้อหน้าแบบคานแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 เขียนแบบส่วนประกอบของระบบบังคับเลี้ยว



รูปที่ 2.2 รูปชิ้นส่วนของระบบบังคับเลี้ยว

NO.	PART NAME	Q TY	EST.MASS (กิโลกรัม)
1	Steering column	1	2.109 กิโลกรัม
2	Universal Joint	1	0.1464 กิโลกรัม
3	Arm Rack Steering	1	0.728 กิโลกรัม
4	Rack Steering	1	0.885 กิโลกรัม
5	Rod Tie	1	0.61 กิโลกรัม
6	HUB RH	1	1.56 กิโลกรัม
7	HUB LH	1	1.56 กิโลกรัม

ตารางที่ 2.1 แสดงชิ้นส่วนของระบบบังคับเลี้ยวและน้ำหนักโดยประมาณ

2.1.6 กลไกปรับเอนและปรับความสูงพวงมาลัย

กลไกปรับเอนพวงมาลัย (Tilt Steering)

กลไกปรับเอนพวงมาลัย ยอมให้เลือกตำแหน่งของพวงมาลัย(ในทิศทางแนวตั้ง) เพื่อให้เหมาะสมกับท่าทางการขับขี่ของผู้ขับ กลไกปรับเอนพวงมาลัยแบ่งตามตำแหน่งของจุดหมุนปรับเอนได้ ข้อต่อของแกนพวงมาลัยอยู่ภายในฝาครอบแกนพวงมาลัยใช้เป็นตัวปรับแต่งจุดหมุนขึ้นและลงของมุมแกนพวงมาลัย จำนวนการปรับเอนสามารถเลือกได้อิสระผ่านกานขบกันของขั้นตอนล้อเลื่อน สามารถปรับเอนขึ้นได้มุมปรับ 9 องศา จากตำแหน่งสูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 การเลือกระบบบังคับเลี้ยว

การบังคับเลี้ยว คือ การเปลี่ยนอาการหมุนของพวงมาลัยเป็นการเคลื่อนที่หันไปมาของล้อโดยอาศัยข้อต่อบังคับเลี้ยวต่างๆ เป็นตัวส่งแรงไปเลี้ยวล้อ ทิศทางการหมุนของพวงมาลัยกับทิศทางการเลี้ยวล้อต้องสอดคล้องไปในทางเดียวกัน คุณสมบัติบังคับเลี้ยว คือ

- มุมของการเลี้ยวต้องน้อยที่สุด
- รถต้องมีการทรงตัวที่ดี ขณะเลี้ยวโค้งและขณะรถมีความเร็วสูง
- ระหว่างการเลี้ยว ไม่ต้องออกแรงหมุนพวงมาลัยมาก
- เลี้ยวรถได้อย่างสะดวกสบาย โดยหมุนพวงมาลัยเพียงเล็กน้อย
- มีแรงสะเทือนน้อยขณะรถผ่านสิ่งกีดขวาง

ข้อดีของกระปุกพวงมาลัยแบบเฟืองสะพาน

- โครงสร้างเล็กกะทัดรัด ง่าย และน้ำหนักเบา เนื่องจากกระปุกเฟืองมีขนาดเล็ก และเฟืองสะพานยังทำหน้าที่เป็นคันชักและคันส่งในตัว ไม่ต้องใช้คันชัก-คันส่งเหมือนแบบอื่น
- เนื่องจากฟันเฟืองขบกันโดยตรง ดังนั้นการตอบสนองในการบังคับเลี้ยวจึงมีความคล่องตัวดีมาก
- มีความต้านทานในการหมุน และอาการสั่นไถลมีน้อย รวมทั้งการส่งถ่ายแรงบิดดีดังนั้นการบังคับเลี้ยวจึงเบากว่าแบบอื่น
- การผนึกป้องการกันรั่วซึมของจาระบีทำอย่างง่ายๆจึงบำรุงรักษาง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

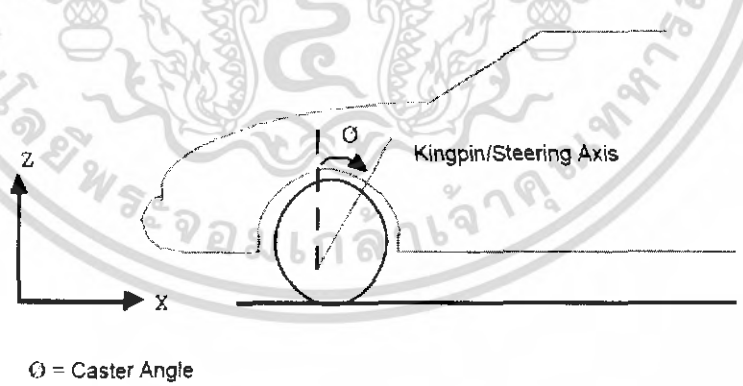
2.2 ทฤษฎีมุมล้อ

(Wheel alignment)

การจัดตั้งมุมล้อหน้า (Wheel alignment) ล้อหน้าจะต้องได้ศูนย์อย่างถูกต้อง การบังคับเลี้ยวจะใช้ทฤษฎีของ Ackerman system การเลี้ยวโดยคานล้อหน้าไม่หมุนเลี้ยวขณะเลี้ยวล้อ ทำโดยล้อหน้าแต่ละล้อจะมีจุดหมุนเลี้ยวเป็นของตัวเอง เพื่อให้เลี้ยวได้ง่าย มีการทรงตัวในขณะเลี้ยวที่ดีเยี่ยม มีผลทำให้การขับเลี้ยวง่าย การขับเลี้ยวทรงตัวได้ดี รถมีคุณภาพในการขับขี่ ทำให้ยางสึกหรอน้อยที่สุดมีผลต่ออายุของยางด้วย มุมต่างๆจะเปลี่ยนไปตามระบบแขวนล้อ การเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของตัวรถเมื่อเปรียบเทียบกับล้อน้ำหนักบรรทุกและความเร็วของรถด้วยแรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นเมื่อรถเข้าทางโค้งมุมล้อหน้าคือมุมที่เปรียบเทียบหรือสัมพันธ์กันของล้อหน้า และล้อหน้าที่จุดสัมผัสกับผิวถนนกับพื้นถนน มุมต่างๆของล้อหน้ารถยนต์แบ่งออกหลายอย่างคือ มุมแคมเบอร์ การเอียงสลักล้อหน้า มุมแคสเตอร์ มุมโท และมุมล้อของรถยนต์ มุมต่างๆเหล่านี้จะสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ถ้ามุมหนึ่งมุมใดเปลี่ยนไปก็จะทำให้มุมอื่นๆผิดพลาดตามไปด้วย ศูนย์ของล้อหน้าสามารถตั้งได้โดยปรับตั้งมุมเหล่านี้คือ มุมคาสเตอร์ (Caster) มุมแคมเบอร์ (Camber) มุมเอียงของสลักล้อหน้า (King-pin inclination) โทว์อิน (Toe-in) โทว์เอาต์ออนเทิร์น (Toe-out-on-turns) โดยโครงงานนี้ได้ทำการศึกษามุมล้อ 3 มุม

2.2.1 มุมแคสเตอร์ (Caster angle)

มุมแคสเตอร์ (Caster angle) คือ องศาของการเอียงของแกนเลี้ยวล้อทางส่วนปลายบนที่เอียงออกจากแนวดิ่งไปทางด้านหน้าหรือหลัง ถ้ามุมเอียงไปด้านหน้าของรถมุมแคสเตอร์จะเป็นลบ และถ้ามุมเอียงไปทางด้านหลังมุมแคสเตอร์จะเป็นบวก ลักษณะของมุมแคสเตอร์ที่เป็นบวก (θ) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 รูปลักษณะมุมแคสเตอร์ที่เป็นบวก

หน้าที่มุมแคสเตอร์

- เพื่อให้รถขับขี่ได้สบาย โดยรถพยายามเคลื่อนที่คงทิศทางเอง
- เพื่อให้พวงมาลัยหมุนกลับคืนเองได้ หลังจากบังคับเลี้ยว
- เพื่อชดเชยความเอียงของถนน ป้องกันการเคลื่อนที่สั่น

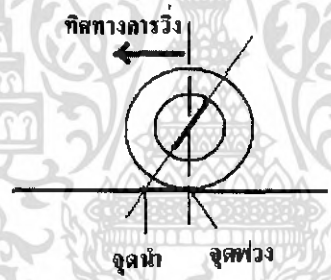
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.1 ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดมุมแคสเตอร์

รถยนต์ปัจจุบันได้รับการออกแบบสร้างจากบริษัทผู้ผลิต โดยใช้เครื่องมือกลพิเศษที่ออกแบบเฉพาะแต่ละงานหรือชิ้นส่วนและข้อเลี้ยวล้อ (Steering knuckle) ซึ่งทำขึ้นโดยวิธีกดขึ้นรูป (forging) แล้วจึงนำไปผ่านเครื่องมือกล ดังนั้นในการออกแบบติดตั้งตัวยึดข้อเลี้ยวล้อและเพลาล้อหน้าเข้ากับคานหน้าโดยใช้สลักล้อหน้าหรือลูกหมากปีกนก จึงสามารถทำได้เที่ยงตรง เพราะมีเครื่องมือกลและเครื่องมือวัดที่ทันสมัย ในรถยนต์ที่ใช้ปีกนกการยึดติดปีกนกเข้ากับคานหน้าก็สามารถปรับตั้งตำแหน่งเพื่อปรับมุมแคมเบอร์ได้ ถ้าไม่อยู่ที่ปีกนกตัวบนก็จะอยู่ที่ปีกนกตัวล่างตัวใดตัวหนึ่ง ในการปรับตำแหน่งของปีกนกอาจจะใช้แผ่นชิมรอง ลูกเบี้ยวหรือหนวดกุ้ง (Strut rod) ยึดปีกนกตัวล่าง ส่วนในรถยนต์ที่คานหน้าเป็นแบบคานแข็งก็มีลิ่มรองอยู่ใต้แผ่นแหนบ แต่จากการออกแบบ เราได้สร้าง**ชิ้นส่วนพิเศษ**เพื่อเป็นชิ้นส่วนช่วยในการปรับตั้งค่ามุมแคสเตอร์ได้ ประมาณบวกลบ 3 องศา

2.2.1.2 ลักษณะของมุมแคสเตอร์

มุมแคสเตอร์มีลักษณะเป็นทั้งบวก ศูนย์และลบขึ้นอยู่การออกแบบรถ ที่จะใช้ตามลักษณะหรือแบบของรถ เช่น รถยนต์นั่งขนาดเล็ก รถยนต์นั่งมีระบบพวงมาลัยกำลัง หรือรถบรรทุก



รูปที่ 2.4 รูปลักษณะมุมแคสเตอร์

- มุมแคสเตอร์ศูนย์ (Zero caster)

จากรูปที่ 2.4 ถ้ามุมแคสเตอร์เป็นศูนย์ จุดนำกับจุดพ่วงจะอยู่ที่เดียวกันมีผลทำให้ล้อไม่เกิดการโน้มเอียงที่จะเลี้ยวไปในทิศทางใด ดังนั้นล้อก็ไม่มีความมั่นคงในทิศทางด้วยเหมือกันแต่ในการใช้แรงหมุนพวงมาลัยไม่จำเป็นต้องออกแรงมากนัก

- มุมแคสเตอร์บวก (Positive caster)

เป็นมุมของแกนเลี้ยวล้อที่เอียงไปทางด้านหลังของรถ ขณะที่ล้อเลี้ยวออกจากแนวเส้นตรง จุดนำหรือจุดศูนย์นำจะไม่อยู่บนเส้นทิศทางแล่นของรถ ทำให้เกิดแรงจากการเลี้ยว (Turning force) ขึ้นซึ่งเป็นผลให้เกิดโมเมนต์ที่จะทำให้เกิดการจัดตั้งศูนย์ล้อด้วยตัวเอง (Self aligning torque) อันทำให้ล้อมีแนวโน้มที่จะรักษาล้อให้อยู่ในตำแหน่งแล่นตรงไปข้างหน้า แต่ต้องใช้แรงพยายามในการหมุนพวงมาลัยหรือขับรถเกินความเป็นจริงเช่น เมื่อขณะรถแล่นทางโค้งจะต้องใช้แรงจับยึดพวงมาลัยมาก โดยการที่รถมีมุมแคสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากเกินไปจนเป็นสาเหตุให้รถยนต์เกิดการเต้น และกระดอนจากการไม่เรียบของถนน แต่ก็เป็นผลดีในกรณีที่รถยนต์แล่นที่ความเร็วสูงๆ เพราะจะไม่ทำให้หัวรถส่ายไปมาทางด้านข้าง

- มุมแคสเตอร์ลบ (Negative caster)

เป็นมุมของแกนเลี้ยวล้อที่เอียงไปทางด้านหน้าของรถ การที่รถยนต์มีมุมแคสเตอร์เป็นลบนี้จะทำให้แรงเลี้ยวล้อและจุดพ่วงอยู่นำหน้าจุดนำ เป็นผลทำให้ล้อพยายามที่จะเลี้ยวอยู่ตลอดเวลาเพราะแรงเลี้ยวล้อที่เกิดขึ้นจะพยายามไปอยู่ด้านหลัง ประเภทของรถยนต์ที่ใช้มุมแคสเตอร์ลบได้แก่รถยนต์ที่มีความมั่นคงในทิศทางมากเกินไป คือ รถที่พวงมาลัยกลับที่เดิมเร็วเกินไปเมื่อผ่านทางโค้ง และรถยนต์ที่ขับเคลื่อนล้อหน้าเพราะจุดสัมผัสของบางกับพื้นถนนเป็นจุดที่ล้อหมุนตะกุยให้เกิดการขับเคลื่อนหรือจุดนำนั่นเอง

ผลของมุมแคสเตอร์ขณะรถแล่นบนทางเอียง

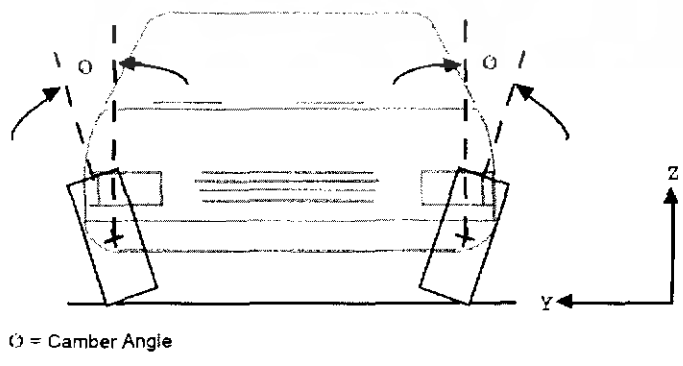
ขณะที่รถยนต์แล่นบนทางเอียง รถจะถูกดึงไปทางที่เอียงต่ำกว่าหรือให้รถตกจากถนน ดังนั้นการจัดมุมแคสเตอร์ก็สามารถที่จะช่วยแก้อาการที่รถถูกดึงได้ โดยการปรับตั้งมุมแคสเตอร์ของล้อหน้าซ้ายให้มากกว่ามุมแคสเตอร์ของล้อหน้าขวาประมาณ 0.5 องศา โดยการแก้ปัญหานี้ด้วยมุมแคสเตอร์จะดีกว่าการแก้โดยมุมแคมเบอร์ซึ่งจะมีผลต่อการสึกหรอของดอกยาง

ผลของมุมแคสเตอร์ไม่ถูกต้อง

- มุมแคสเตอร์ไม่เท่ากันเป็นสาเหตุให้รถแล่นดึงออกไปทางด้านข้างหรือแล่นเฉไปทางที่มีมุมแคสเตอร์เป็นบวกน้อยกว่า
- มุมแคสเตอร์น้อยเกินไปเป็นสาเหตุให้รถแล่นหัวรถส่ายไปมา หรือเฉไปเฉมา ไม่ตรงทิศทาง
- มุมแคสเตอร์น้อยเกินไปเป็นสาเหตุให้รถยนต์แล่นไม่มีความมั่นคงในทิศทาง ที่ความเร็วสูงๆ
- มุมแคสเตอร์มากเกินไปเป็นสาเหตุให้พวงมาลัยหนัก
- มุมแคสเตอร์มากเกินไปเป็นสาเหตุให้รถเต้น และกระดอนตามสภาพของถนน

2.2.2.มุมแคมเบอร์ (Camber angle)

มุมแคมเบอร์ (Camber Angle) คือ จำนวนองศาที่ล้อหน้ารถยนต์เอียงจากแนวดิ่งเมื่อมองจากหน้ารถเข้าไปแสดงดังรูปที่ 2.4 มุมเอียงแกนเลี้ยวล้อ (Steering-Axis inclination angle) คือจำนวนองศาที่วัดได้ระหว่างเส้นแนวดิ่งกับเส้นแกนเลี้ยวล้อเมื่อมองจากด้านหน้ารถยนต์เข้าไป มุมรวม (Included Angle) คือการบวกมุมแคมเบอร์เข้ากับมุมเอียงแกนเลี้ยวล้อ



รูปที่ 2.4 รูปลักษณะมุมแคสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 หน้าที่มุมแคมเบอร์

- ต้านการเอียงข้างของรถขณะขับขี่ในทางโค้ง
- ลดรัศมีหมุนเลี้ยวลง เพื่อทำให้หมุนพวงมาลัยเบา
- ไม่ให้เกิดการคลอนตัวลูกปืนล้อรถที่ระยะฟรี
- ลดอาการล้อสั่น

2.2.2.2 ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดมุมแคมเบอร์

การเอียงของล้อหน้าทำได้โดยการเอียงเพลาล้อหน้า (Wheel spindle) ในรถยนต์ที่ใช้ระบบคานหน้าเป็นคานแข็งจะไม่มีการออกแบบจัดเตรียมเพื่อการปรับตั้งมุมแคมเบอร์ไว้ เพราะฉะนั้นถ้าเกิดว่ามุมแคมเบอร์เกิดการผิดพลาดขึ้น แสดงว่าเกิดการชำรุดหรือสึกหรอขึ้นที่ชิ้นส่วนดังต่อไปนี้คือ คานหน้าคด ข้อเลี้ยวล้อคด เพลาล้อคด บูชสลักล้อหน้าหลวมคลอน ส่วนในกรณีที่ระบบช่วงล่างเป็นแบบชนิดอิสระต่อกัน จะมีการออกแบบจัดเตรียมเพื่อการปรับตั้งมุมแคมเบอร์ไว้ โดยการออกแบบชิ้นส่วนที่จะปรับตั้งระยะของปีกนกตัวบนหรือตัวล่างของรถโดยการใช้ลูกเบี้ยว แผ่นชิม หรือร่องสกรูยึด เป็นต้น

2.2.2.3 ลักษณะของมุมแคมเบอร์

สำหรับรถยนต์ส่วนมากในปัจจุบันและกฎเกณฑ์โดยทั่วไป การปรับตั้งมุมแคมเบอร์หรือโดยทั่วไปเรียกกันแต่เพียงว่าแคมเบอร์ ของล้อหน้าทั้งสองจาก 0 องศา ถึง 0.5 องศา ซึ่งถ้าแคมเบอร์ของรถได้ปรับตั้งถูกต้องตามนี้หรือถูกต้องตามที่บริษัทผลิตรถยนต์กำหนดไว้ ยางรถจะได้รับการรักษาให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้นลักษณะมุมแคมเบอร์มีอยู่ 3 ลักษณะ คือมุมแคมเบอร์เป็นศูนย์ แคมเบอร์เป็นบวก (Positive camber) และแคมเบอร์เป็นลบ (Negative camber) ตามรูปที่ 2.4

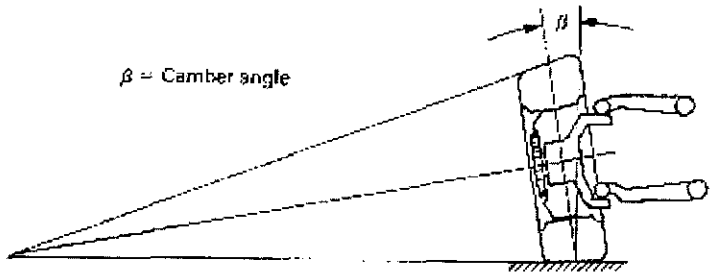
2.2.2.4 ผลของมุมแคมเบอร์ขณะรถแล่นตรง

นอกจากมุมแคมเบอร์ของล้อหน้าทั้งสองจะทำงานสัมพันธ์ซึ่งกันและกันแล้ว ก็ยังจะต้องทำงานสัมพันธ์กับมุมอื่นๆของล้อมันเองด้วย ดังนั้นมุมแคมเบอร์จึงต้องได้รับการปรับตั้งอย่างถูกต้อง แต่ถ้าไม่ถูกต้องจะมีผลดังนี้คือ พวงมาลัยดึง ยางสึกหรอเร็วและลูกปืนล้อหรือลูกหมากกันส่งสึกหรอเร็ว

- พวงมาลัยดึงหรือรถแล่นแฉจากทิศทางตรง

การเอียงของล้อในขณะที่รถแล่นจะมีผลต่อการกลิ้งของล้อรถที่กลิ้งไปบนพื้นผิวถนน เพราะถ้าล้อเกิดการเอียงทำให้ยางรถอ่อนตัวมีผลให้ขนาดของยางมีรัศมีที่ไม่เท่ากันตลอดทั้งหน้ายาง ดังนั้นผลของเส้นผ่านศูนย์กลางกลิ้ง (Rolling diameter, รูปที่ 7) ของล้อในแต่ละจุดที่มีขนาดไม่เท่ากันเกิดการกลิ้งไปในลักษณะของกรวย คือการหมุนของกรวยจะกลิ้งไปเป็นวงกลมรอบจุดยอดของกรวย ในทำนองเดียวกันการเอียงของล้อจะทำให้ล้อหมุนกลิ้งไปในทิศทางที่ไม่ตรงกับทิศทางตรงของรถ ยิ่งล้อรถมีมุมแคมเบอร์มากขึ้นเท่าใดหรือมีมุมแคมเบอร์โตเกินไป จะทำให้ล้อเกิดการดึงออกจากทิศทางตรงมากขึ้นเท่านั้นดังนั้นถ้าล้อหน้าทั้งสองของรถมีมุมแคมเบอร์ไม่เท่ากัน ล้อที่มีมุมแคมเบอร์มากกว่าจะดึงให้รถยนต์แฉไปทางด้านนั้น ทำให้คนขับรถจะต้องดึงพวงมาลัยเพื่อให้รถแล่นตรงตลอดเวลาหรือถ้าปล่อยมือจากพวงมาลัยรถยนต์จะแล่นแฉไปทางด้านล้อหน้าที่มีมุมแคมเบอร์มากกว่าเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 เส้นผ่านศูนย์กลางกลิ้ง (Rolling diameter)

- ยากสึกหรอเร็วผิดปรกติ

ผลอีกอย่างหนึ่งจากการที่ล้อรถยนต์มีมุมแคมเบอร์โตเกินไปจะทำให้เส้นผ่าศูนย์กลางกลิ้งของล้อรถ ณ จุดที่ดอกยางสัมผัสกับผิวถนนต่างกันมาก เช่น ถ้าล้อรถยนต์มีมุมแคมเบอร์บวกมากเกินไป ดอกยางด้านในจะมีเส้นผ่าศูนย์กลางกลิ้งโตกว่าดอกยางด้านนอก เป็นผลให้ความเร็วขอบที่จุดสัมผัสของดอกยางมีความเร็วขอบไม่เท่ากัน แต่ดอกยางทั้งด้านนอกและด้านในอยู่ในล้ออันเดียวกันที่จะหมุนไปด้วยความเร็วรอบเท่ากัน ในทิศทางตรง ดังนั้นดอกยางด้านนอกซึ่งเล็กกว่าจะต้องพยายามที่จะกลิ้งเร็วกว่า อันเป็นสาเหตุให้ดอกยางส่วนนี้กลิ้งไปบนผิวถนนโดยการลื่นไถลไปหรือถูไป ทำให้ขอบดอกยางด้านนอกสึกเร็วกว่าด้านใน ในทางตรงกันข้ามถ้ามุมแคมเบอร์เป็นลบมากเกินไปขอบดอกยางด้านในจะสึกหรอเร็วมากกว่าด้านนอก

- ลูกปืนและลูกหมากคันส่งสึกหรอเร็วผิดปรกติ

จากการที่ล้อรถยนต์ที่มีมุมแคมเบอร์โตเกินกว่าปรกติ ทำให้ล้อกลิ้งไปในทิศทางที่โค้งออกจากแนวตรง จึงมีผลให้ลูกหมากคันส่งต้องรับแรงที่จะต้องบังคับล้อสูงขึ้นกว่าปรกติจึงทำให้ลูกหมากเกิดการสึกหรอเร็วยิ่งขึ้น พร้อมกันนั้นการที่ล้อเอียงเกินปรกติทำให้ลูกปืนล้อต้องรับแรงไม่ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ จึงมีโอกาสสึกหรอเร็วขึ้นด้วย

ผลของมุมแคมเบอร์ขณะรถแล่นบนทางเอียง

จากการที่ถนนรถยนต์ได้รับการออกแบบสร้างให้เอียงลาดเป็นหลังเต่าเพื่อให้น้ำที่เกิดจากฝนซึ่งตกลงบนถนนสามารถไหลออกจากพื้นถนนโดยเร็ว ดังนั้นจึงมีผลหลายอย่างต่อรถยนต์ที่แล่นไปบนทางลาดเอียงเช่น จุดศูนย์ถ่วงของรถจะเลื่อนตำแหน่งไปยังด้านเอียงของถนน เป็นผลให้ตัวรถยนต์เอียงมากยิ่งขึ้น ทำให้ล้อหน้าของรถถูกดึงให้ล้อบิดเลี้ยวไปทางที่ลาดเอียงนั้น คนขับรถจะต้องใช้มือที่จับพวงมาลัยดึงต้านไว้เพื่อให้รถแล่นตรงไปด้านหน้า ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวในประเทศที่มีการจราจรขับรถชิดซ้าย เช่น ประเทศไทย มุมแคมเบอร์ของล้อหน้าขวาจะต้องตั้งให้เป็นบวกมากกว่าล้อหน้าซ้าย 0.25 องศา เพื่อเป็นการต้านกับการเอียงของพื้นผิวถนนและทำให้รถยนต์แล่นตรงไปข้างหน้า

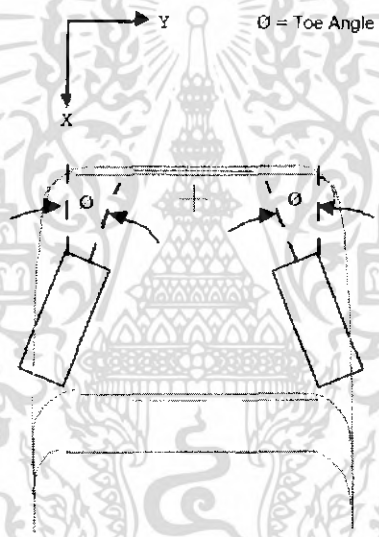
ผลของมุมแคมเบอร์ขณะรถแล่นทางโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรถยนต์แล่นบนทางโค้งด้วยความเร็วสูง จุดศูนย์ถ่วงของรถจะเลื่อนไปทางล้อด้านนอกของรถ รถยนต์ส่วนมากจะเกิดการเอียงของตัวรถขึ้นคือตัวรถด้านนอกของทางโค้งจะเอียงต่ำลง ทำให้ล้อด้านนอกมีมุมแคมเบอร์โตขึ้น (เมื่อเทียบกับตัวรถยนต์) และขณะเดียวกันล้อด้านในก็จะเกิดมุมแคมเบอร์เป็นลบ (เมื่อเทียบกับตัวรถ) อันเป็นผลให้ล้อหน้าพยายามถลิ้งออกนอกทางโค้ง หรือทำให้ตัวรถเกิดแหกโค้งได้ง่ายขึ้น

2.2.3 ระยะโท

ระยะโท แสดงในรูปที่ 3 คือ ระยะช่วงล้อทางด้านหน้าและทางด้านหลังของยาง ของล้อหน้าทั้ง 2 ข้าง อาจเท่ากันหรือไม่เท่ากัน ถ้าเท่ากันระยะโทเท่ากับ 0 แต่ถ้าไม่เท่ากันแบ่งเป็น โทอิน (Toe in) และ โทเอาท์ (Toe out) โทเอาท์จะใช้ในการเลี้ยวโค้งระยะของล้อทางด้านหลังจะแคบกว่าระยะล้อทางล้อหน้ามุมล้อด้านในจะมากกว่ามุมล้อด้านนอกเพื่อให้มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่เดียวกัน



รูปที่ 2.6 แสดงระยะโทอิน

หน้าที่ โท-อิน

- แรงดันยางด้านข้าง ทำให้รักษา โท-อิน ไว้ได้ป้องกันยางสึก
- ไม่ให้ล้อสั่นจากความต้านทานกลิ้ง
- ลดระยะหลวมตัวลูกหมากคันส่ง
- ล้อรถเคลื่อนที่ขนานคงที่

หน้าที่มุม โท-เอาท์

- เพื่อล้อทุกล้อหมุนเลี้ยวราบรื่น
- เพื่อให้จุดศูนย์กลางการหมุนเลี้ยวของแต่ละล้อร่วมกัน ป้องกันยางสึกหรอและมีเสียงดังขณะเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.1 วัตถุประสงค์ของการจัดระยะโทของล้อหน้า

ระยะโทของล้อหน้าจัดว่าเป็นการปรับตั้งตำแหน่งของล้อหน้าอย่างหนึ่งเมื่อพูดถึงศูนย์ล้อหน้ารถยนต์ ดังนั้นการที่รถยนต์มีระยะโทเกิดขึ้นก็เพื่อ การหลีกเลี่ยงการสึกหรอของยางเร็วกว่าปรกติและ การทำงานร่วมกันกับมุมแคมเบอร์

- การหลีกเลี่ยงการสึกหรอของยางเร็วกว่าปรกติ

เพื่อให้ล้อหมุนกลิ้งไปข้างหน้าในทิศทางเดียวกัน เพื่อหลีกเลี่ยงการที่ยางถูไปบนทางแล่น และเพื่อเป็นการรักษาระยะโทของล้อหน้าขณะรถแล่นให้เป็นศูนย์ จึงจำเป็นที่จะต้องตั้งให้ล้อเอียงเข้าหากันเล็กน้อยในขณะที่รถอยู่กับที่ อันเป็นการแก้หรือการทดแทนสำหรับการหันเหของล้อที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานของล้อบนผิวถนนและแรงที่เกิดจากการเบรก ซึ่งแรงเสียดทานของล้อบนผิวถนนและแรงเบรกนี้จะทำให้เกิดเป็นโมเมนต์ อันเป็นแนวโน้มที่ทำให้ล้อหน้าเกิดการออกทางข้างหน้าให้ล้อแล่นแยกออกจากกัน

- การทำงานร่วมกันกับมุมแคมเบอร์

ดังที่ทราบแล้วว่าล้อหน้ารถยนต์ถ้ามุมแคมเบอร์มีค่าเป็นบวกจะทำให้ล้อหน้าแล่นออกจากัน เปรียบเสมือนการกลิ้งของกรวยดังนั้นเมื่อจัดตั้งระยะโทให้ข้างหน้าแคบเข้าก็จะเป็นผลให้ล้อแล่นเข้าหากัน เมื่อปรับตั้งระยะโทสัมพันธ์กับมุมแคมเบอร์ก็จะเป็นผลให้ล้อแล่นตรงไปข้างหน้าตามทิศทางแล่นของรถ

2.2.3.2 ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดระยะโทของล้อหน้า

โดยปรกติล้อหน้าทั้งสองจะทำงานในการเลี้ยวล้อไปด้วยกันเพื่อเลี้ยวรถ โดยมีคันส่ง (Steering rack) เป็นตัวต่อเชื่อมให้ล้อทั้งสองทำงานไปพร้อมๆกัน ณ ที่คันส่งนี้จะสามารถปรับความสั้นยาวของคันส่งได้ ดังนั้นในการปรับให้คันส่งยาวออกหรือสั้นเข้า หมายถึงการปรับระยะโทของล้อตามลักษณะที่ต้องการ

2.2.3.3 ลักษณะของระยะโทล้อหน้า

โดยทั่วไประยะโทของล้อหน้าเป็นโทอิน แต่ในรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยล้อหน้าจะกำหนดให้ล้อหน้ามีโทเป็นศูนย์หรืออาจจะเป็นโทเอาท์

- โทอิน (Toe-in)

ระยะโทของล้อหน้าเป็นโทอินหมายถึงลักษณะของล้อหน้าทั้งสองที่มีระยะห่างด้านหน้าสุดน้อยกว่าระยะห่างหลังสุดของล้อหน้า ตามรูปที่ 12

- โทเป็นศูนย์ (Toe Zero)

หมายถึงระยะระหว่างความห่างของล้อหน้าทั้งด้านหน้าสุดและหลังสุดมีค่าเท่ากัน ซึ่งความต้องการอันแท้จริงคือรถยนต์จะต้องมีระยะโทของล้อหน้าขณะรถแล่นเป็นศูนย์ เพื่อต้องการให้ล้อรถยนต์ทุกๆ ล้อขนานแก่กันและกัน แต่ในทางปฏิบัติจะทำการปรับตั้งระยะโทของล้อหน้าให้เป็นโทอินเมื่อรถหยุดอยู่กับที่ โดยปรกติรถยนต์ที่ขับเคลื่อนล้อหน้าจะตั้งระยะโทเป็นศูนย์หรือเป็นโทอินเพียงเล็กน้อย

- โทเอาท์ (Toe-out)

คือล้อหน้าของรถยนต์ที่มีระยะห่างของล้อหน้า ด้านหน้าสุดกว้างกว่าด้านหลังสุด ปรกติโทเอาท์จะเกิดขึ้นจากการชำรุดเสียหายของชิ้นส่วนของระบบขับเลี้ยวและระบบช่วงล่างด้านหน้า อันซึ่งไม่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

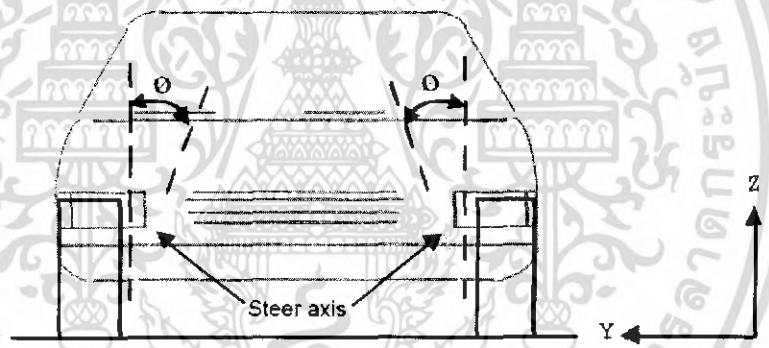
ปรารถนาของรถยนต์ เพราะจะมีผลทำให้รถแล่นแล้วหัวรถส่ายไป-มาไม่สามารถแล่นตรงทางไปข้างหน้าได้คนขับจะต้องคอยควบคุมให้รถแล่นตรงไปข้างหน้าตลอดเวลา

ผลจากระยะโทไม่ถูกต้อง

- ทำให้ดอกยางสึกเร็วเกินไป
- รถมีระยะโทเอาท์ทำหัวรถแล่นแฉไปทางด้านข้าง

2.2.4 มุมเอียงของสลักล้อหน้า

มุมเอียงของสลักล้อหน้า (King pin) คือมุมที่สลักล้อหน้าหรือแนวศูนย์กลางของลูกหมากเอียงออกจากแนวดิ่งเข้าไปข้างใน มุมเอียงของสลักล้อหน้าจะร่วมกับมุมคาสเตอร์ช่วยทำให้เกิดเสถียรภาพในการบังคับทิศทาง มุมเอียงของสลักล้อหน้ากับมุมคาสเตอร์จะร่วมกันช่วยทำให้จุดศูนย์กลางการเลี้ยวของยางอยู่บนถนน และทำให้แรงดันขึ้นข้างบนที่กระทำกับแกนล้อ (Stub axle) ใกล้เคียงกับจุดศูนย์กลางของสลักล้อหน้ามาก ผลรวมของมุมแคมเบอร์กับมุมเอียงของสลักล้อหน้าเรียกว่ามุมรวม (Included angle) มุมเอียงของสลักล้อหน้าของรถยนต์สมัยใหม่มีค่าอยู่ระหว่าง 4 ถึง 8 องศา



รูปที่ 2.7 มุมเอียงของสลักล้อหน้า

วัตถุประสงค์ของการจัดมุมเอียงแกนเลี้ยวล้อ

- ลดความต้องการมุมแคมเบอร์มากเกินไป

จากการที่มุมแคมเบอร์มากเกินไป จะมีผลเสียต่อการสึกหรอของดอกยางรถยนต์ และการหมุนในลักษณะกรวยของล้อทำให้แล่นไปในแนวทางโค้งซึ่งเป็นผลให้เกิดแรงดึงพวงมาลัย อันเป็นผลเสียของมุมแคมเบอร์ที่มากเกินไป ดังนั้นเมื่อทำการเอียงแกนเลี้ยวล้อแล้วก็ไม่จำเป็นต้องมีความต้องการที่จะออกแบบให้มีมุมแคมเบอร์มากๆ

- กระจายน้ำหนักรถที่ตกบนพื้นถนนให้ใกล้จุดศูนย์กลางของผิวสัมผัสของยางกับผิวถนน

จากการที่สามารถลดมุมแคมเบอร์ลงหรือให้มุมแคมเบอร์เป็นศูนย์ได้นั้น ทำให้ยางรถยนต์ตั้งอยู่ในแนวดิ่งดอกยางก็จะสัมผัสอย่างเต็มหน้ากับผิวถนน ดังนั้นจุดรวมของน้ำหนักของรถที่ดอกยางสัมผัสกับผิวถนนจะกระจายอยู่ ณ จุดศูนย์กลางของดอกยางหรือใกล้จุดศูนย์กลางมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

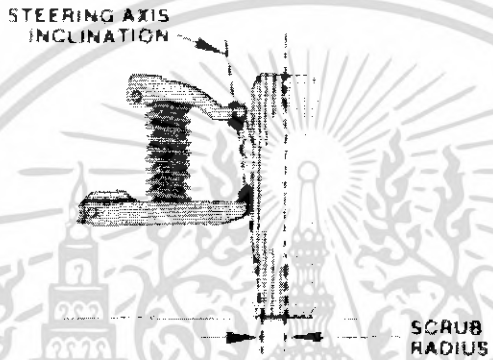
ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดมุมเอียงแกนเลี้ยวล้อ

เส้นศูนย์กลางของสลักล้อหน้าหรือเส้นตรงที่ผ่านจุดศูนย์กลางของลูกหมากปีกนกทั้งตัวบนและตัวล่าง เรียกว่า แกนเลี้ยวล้อ เพราะเป็นเส้นแกนอันเป็นจุดหมุนของล้อขณะที่บิดเลี้ยวเพื่อการบังคับเลี้ยว

2.2.5 รัศมีหมุนเลี้ยวและแกนหมุนเลี้ยว

รัศมีมุมเลี้ยว (Scrub Radius)

รัศมีหมุนเลี้ยวหรือรัศมีถู คือระยะห่างระหว่างเส้นศูนย์ยางสัมผัสถึงเส้นศูนย์กลางแกนหมุนเลี้ยวที่ลากลงสัมผัสพื้นนั้น ถ้ารัศมีหมุนเลี้ยวยิ่งยาวแขนของแรงหมุนเลี้ยวจะยิ่งยาวขึ้น แรงกดที่จุดสัมผัสแกนบังคับเลี้ยวกับหัวคานจะมาก บังคับเลี้ยวหนัก ล้อที่มีมุมแคมเบอร์ลบรัศมีหมุนเลี้ยวสั้นบังคับเลี้ยวเบา



รูปที่ 2.8 รัศมีมุมเลี้ยว (Scrub Radius)

หน้าที่รัศมีหมุนเลี้ยว

- ลดแรงบังคับเลี้ยวลง
- ป้องกันล้อสั่น
- ให้รถเคลื่อนที่ตงทิศทางตรง

รัศมีหมุนเลี้ยวบวก ทำให้ขับขี่ตงทิศทางตรงหากประสิทธิภาพเบรกทุกล้อไม่เท่ากัน เบรกปัดจะมีผลกระทบต่อระบบบังคับเลี้ยว เพราะแขนของแรงยาว เมื่อแรงกะทำ รถจะแฉลบได้ง่าย

รัศมีหมุนเลี้ยวลบ ประสิทธิภาพเบรกไม่มีผลกระทบต่อระบบบังคับเลี้ยว เพียงแต่ถือพวงมาลัยให้คงที่ไว้เท่านั้น ไม่มีแรงตีกระทบ

รัศมีหมุนเลี้ยวเป็นศูนย์ ประสิทธิภาพเบรกแต่ละล้อหรือยางชำรุด ไม่มีผลต่อระบบบังคับเลี้ยวการขับรถเพียงแต่ประคองพวงมาลัยที่ได้รับผลกระทบต่อความต้านทานกลิ้งของยางที่ไม่เท่ากันนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 มุมแกนหมุนเลี้ยว

มุมแกนหมุนเลี้ยวก็คือมุมเอียงสลักล้อหน้า (King Pin Inclination) หรือมุมเอียงลูกหมากปีกนกบนล่าง ที่เอียงจากแนวดิ่งเอียงเข้าหารถแนวขวาง

การบังคับให้รถหมุนเลี้ยว มุมแกนหมุนจะมีผลทำให้รถถูกยกขึ้นระหว่างที่ล้อเลี้ยว เพราะปลายเพลานั้นจะกดลงต่ำตามแนวแกนหมุนเลี้ยวที่ด้านบนเอียงเข้าหาตัวรถ พวงมาลัยจึงหมุนกลับเองหลังจากเลี้ยว คือน้ำหนักตัวรถกดลงให้ล้อกลับที่เดิม

2.2.6.1 หน้าที่มุมแกนหมุนเลี้ยว

- ลดรัศมีหมุนเลี้ยว (มุมแคมเบอร์ขึ้นอยู่กับระยะรัศมีหมุนเลี้ยว)
- ทำให้พวงมาลัยหมุนกลับเองด้วยแรงน้ำหนักตัวรถและขับขี่คงทิศทาง
- เพื่อให้น้ำหนักรถลงใกล้จุดกึ่งกลางยางที่สุด
- เพื่อให้ความฝืดจุดหมุนของยางน้อยลง จะได้บังคับเลี้ยวเบา

2.2.6.2 พวงมาลัยกลับคืนเองหลังจากเลี้ยว

ขณะที่ล้อเคลื่อนที่ทางตรงปลายแกนเพลาล้อหน้าอยู่สูงจากพื้นดิน เป็นระยะทางจำนวนหนึ่ง ขณะเลี้ยวรถนั้นปลายแกนล้อหน้า จะถูกกดให้ต่ำลงเพราะแนวแกนสลักล้อหน้าเอียงเข้าข้างใน ปลายแกนเพลาจะถูกกดให้ต่ำลง ไม่ว่าจะเลี้ยวซ้ายหรือขวา เนื่องจากที่แกนเพลามีล้ออยู่ด้วย แกนเพลาจึงต่ำลงไม่ได้ ผลก็คือ ตัวถังจึงถูกยกขึ้นทั้งสองข้างขณะเลี้ยว เมื่อปล่อยพวงมาลัยหลังจากเลี้ยวน้ำหนักของรถจะกดให้ตัวถังกลับมาอยู่ระดับเดิมทำให้ล้อต้องหมุนกลับตำแหน่งเดิม คือตำแหน่งทางตรง

2.2.7 การลื่นไถลของล้อรถขณะเร่งรถเข้าโค้ง

การลื่นไถลของล้อ

ความสัมพันธ์มุมต่างๆที่ช่วยให้ขับขี่คงตัวด้วยความปลอดภัย ยางรถเกาะถนนได้ดีขณะเลี้ยวโค้ง และยางสึกหรอไม่ผิดปกติ ขณะเร่งล้อหน้าเลี้ยวโค้ง มีแรงดันข้างทำให้ยางบิดตัวไปจากรอยสัมผัสผิวถนน เป็นมุมไถลลื่น (Slip Angle) ล้อหน้าและล้อหลัง เกิดไม่เท่ากันลักษณะดังนี้

- ไถลลื่นล้อหน้า (Under Steer) คือล้อหน้าไถลลื่นมากกว่าล้อหลัง
- ไถลลื่นล้อหลัง (Over Steer) คือล้อหลังไถลลื่นมากกว่าล้อหน้า
- ไกลลื่นสมดุล (Neutral Steer) คือล้อหน้าและล้อหลังไกลลื่นเท่ากัน

การไถลลื่นล้อหน้า

การไถลลื่นล้อหน้า หรือเรียกว่าหลุดโค้ง คือ อาการที่เกิดขึ้นเมื่อรถยนต์เลี้ยวได้น้อยกว่าที่ผู้ขับขี่คาดการณ์ไว้หรือกล่าวอีกอย่างว่า รถจะพยายามไถลออกนอกทางโค้ง เมื่อขับด้วยความเร็วสูงน้ำหนักกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงล้อหล้ามาก เป็นคุณสมบัติของระบบขับล้อหน้า จะผลักจุดศูนย์ถ่วงในแนวตรงซึ่งทำให้เกิดการหมุนไถลมากขึ้นที่ล้อหน้า มากกว่าล้อหลังเป็นเหตุให้ล้อหน้าลื่นออกนอกโค้ง

การไถลลื่นล้อหลัง

รถไถลลื่นล้อหลังหรือเรียกว่าเข้าโค้งมาก คือ อาการที่จะเกิดการเลี้ยวมากว่าที่ตั้งใจเลี้ยว ล้อหลังพยายามไถลลื่นออกนอกทางโค้ง เป็นเหตุให้ล้อหน้าเลี้ยวมากเกินไป อันเป็นคุณสมบัติของระบบขับล้อหลัง

2.2.8 รัศมีการเลี้ยวและการไถลด้านข้าง

รัศมีการเลี้ยว (Turning Radius)

ถ้าล้อหน้าด้านซ้ายและขวาหันเลี้ยวด้วยรัศมีเลี้ยวเท่ากัน (นั้นคือมุมเลี้ยวของล้อด้านซ้ายและด้านขวาเท่ากัน) ล้อแต่ละล้อจะหมุนรอบจุดหมุนเลี้ยวคนละจุด ทำให้การเลี้ยวเป็นไปอย่างไม่คล่องตัวอันเนื่องมาจากการลื่นไถลด้านข้าง (Side Slip) ของยาง

เพื่อป้องกันการเลี้ยวไม่คล่องตัว แขนสลักล้อและคันส่งจึงจัดเอาไว้เพื่อทำให้เกิดเป็นมุมโท-เอาท์เล็กน้อยในขณะเลี้ยว ทำให้ล้อด้านในเลี้ยวด้วยมุมเลี้ยวที่มากว่าล้อด้านนอก ล้อทั้งสองจึงมีจุดศูนย์กลางของการเลี้ยวเป็นจุดเดียวกันแต่รัศมีการเลี้ยวต่างกัน

การลื่นไถลด้านข้าง

การลื่นไถลด้านข้าง คือระยะทางที่ล้อซ้ายและล้อขวาเลื่อนออกด้านข้างขณะที่ขับขี่รถยนต์การลื่นไถลวัดได้ด้วยเครื่องทดสอบการลื่นไถลในระหว่างขับขี่ทางตรงไปข้างหน้า ด้วยความเร็วต่ำ โดยทั่วไปการลื่นไถลแสดงเป็นปริมาณการเลื่อนออกด้านข้างเป็นมิลลิเมตรต่อ 1 เมตร ของการเคลื่อนตัวไปข้างหน้า โดยทั่วไปจะอยู่ที่ 0.3 มิลลิเมตร

การตรวจการลื่นไถลด้านข้าง

จุดประสงค์ของการตรวจการลื่นไถลเพื่อให้สามารถพิจารณาศูนย์ล้อ โดยรวมทั้งหมดได้ในขณะที่ขับขี่ทางตรงไปข้างหน้า

สาเหตุของความผิดปกติของการลื่นไถล ส่วนใหญ่เกิดจากมุมแคมเบอร์ หรือโท-อินไม่ถูกต้องและมีผลถึงมุมแคสเตอร์และมุมแกนล้อหน้าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มุมล้อที่เลือก

	มุมแคสเตอร์ (องศา)	มุมแคมเบอร์(องศา)	มุมโท (องศา)	มุมคิงพิน (องศา)
รถอี-20 ด้านหน้า	15	0	0	17
รถอี-20 ด้านหลัง	0	0	0	-
รถอีวี ด้านหน้า	23.5	0	0	20
รถอีวี ด้านหลัง	-	0	0	-

ตารางที่ 2.2 มุมล้อที่ติดตั้งก่อนปรับตั้งค่า

โดยที่ รถอี-20 และรถอีวี ด้านหน้าสามารถปรับค่ามุม แคสเตอร์ แคมเบอร์และโท ให้เพิ่ม-ลดได้ประมาณ 3 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและคำนวณ

3.1 เงื่อนไขพื้นฐานสำหรับการกลิ้งอย่างแท้จริงของล้อ

ในขณะที่รถยนต์เลี้ยว ล้อหน้าจะหมุนในลักษณะที่แน่นอนทั้งคู่และสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน นอกจากนี้ แนวแกนล้อหน้าทั้งคู่จะต้องไปตัดกับแนวแกนล้อหลังที่จุดเดียวกันเพื่อขจัดการลื่นไถลทางด้านข้างและทำให้ล้อทั้งหมดเกิดการกลิ้งไปอย่างแท้จริง ตามเงื่อนไขพื้นฐานดังกล่าวมานี้ ล้อหน้าทั้ง 2 จะต้องหมุนรอบจุดศูนย์กลางร่วมจุดเดียวกัน ซึ่งจุดศูนย์กลางนี้เป็นจุดศูนย์กลางการหมุนชั่วขณะ (Instantaneous center) เนื่องจากแนวแกนล้อหลังอยู่คงที่ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าจุดศูนย์กลางร่วมจุดนี้จะต้องยื่นออกไปอยู่นอกตัวรถ

O คือ จุดศูนย์กลางการหมุนชั่วขณะในขณะที่รถยนต์เลี้ยว

θ คือ มุมของ Inside lock

ϕ คือ มุมของ Outside lock

c คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของสลักล้อทั้ง 2 ข้าง

d คือ ความยาวของคันชักคันส่ง

a คือ ระยะห่างระหว่างล้อแต่ละข้างบนเพลาล้อเดียวกัน

b คือ ระยะฐานล้อของรถยนต์

x คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางของสลักด้านในโค้งถึงจุด O

จากตรีโกณมิติ เราจะได้

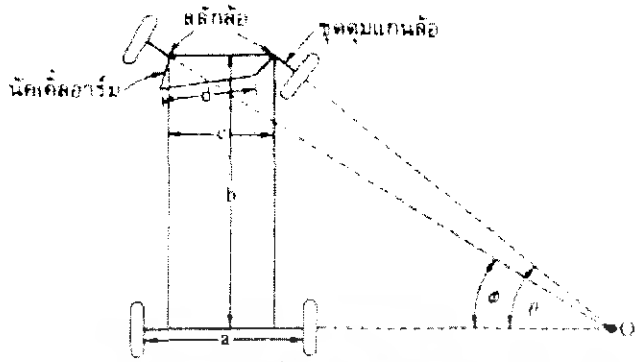
$$\cot\phi = \frac{c+x}{b}$$

$$= \frac{c}{b} + \frac{x}{b}$$

$$= \frac{c}{b} + \cot\theta$$

$$\therefore \cot\phi - \cot\theta = \frac{c}{b} \qquad (3\text{-}1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงการเลี้ยวแบบทฤษฎีอัคเคมานน์

สมการนี้ให้เงื่อนไขพื้นฐานซึ่งกลไกในระบบเลี้ยวทุกแบบต้องทำได้ ถ้าต้องการให้ได้การกลิ้งอย่างแท้จริงของล้อทุกล้อ โดยไม่เกิดการลื่นไถลไปทางด้านข้างก้านต่อหรือกลไกในระบบเลี้ยวที่ใช้ในรถยนต์จะต้องทำให้ล้ออยู่ในมุมที่ถูกต้องเมื่อวิ่งในทางโค้งแต่ในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถทำให้ล้ออยู่ในมุมที่ถูกต้องได้อย่างแท้จริงสำหรับการเลี้ยวทุกมุมเลี้ยว

3.2 กลไกบังคับเลี้ยวแบบอัคเคมานน์ (Ackermann)

รูปที่ 3.1 แสดงกลไกบังคับเลี้ยวแบบอัคเคมานน์ แขนก้านต่อบังคับเลี้ยว (Track arm) หรือที่เรียกว่า นัคเคิ้ลอาร์ม (Knuckle arm) เป็นชิ้นเดียวกับชุดดุมแกนล้อ และทำมุมกับแนวศูนย์กลางของรถเป็นมุมเท่ากันทั้ง 2 ข้าง เมื่อล้อหน้าอยู่ในแนวตรง PQMN ประกอบกันขึ้นเป็นกลไก 4-bar ก้านต่อของกลไกนี้จะต้องเป็นสัดส่วนกันและสอดคล้องกับเงื่อนไขพื้นฐานสำหรับการกลิ้งย่างแท้จริงในตำแหน่งต่างๆ 3 ตำแหน่ง คือเมื่อรถเลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และวิ่งในแนวเส้นตรง หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งได้ว่าจุดศูนย์กลางชั่วขณะ O จะอยู่บนแกนเพลาล้อหลังเฉพาะใน 3 ตำแหน่งนี้เท่านั้น

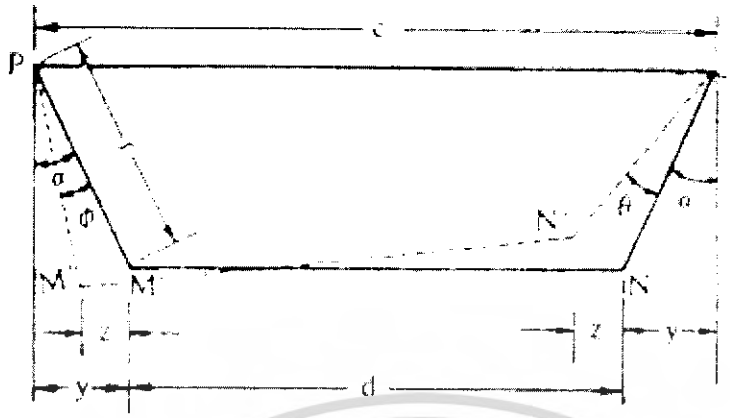
(ก) วิธีคำนวณ ดูรูปที่ 3.2 ถ้าไม่คิดการเอียงเล็กน้อยของคันชักคันส่งการเคลื่อนที่ของ M และ N ในทิศทางขนานกับเพลา คาน PQ จะมีค่าเท่ากันคือ เท่ากับ Z ให้ M' N' เป็นตำแหน่งที่ถูกต้องในขณะเลี้ยว และ γ เป็นรัศมีของแขนก้านต่อบังคับเลี้ยวหรือนัคเคิ้ลอาร์ม

$$\sin(\alpha+\theta)=\frac{y+Z}{r}$$

และ $$\sin(\alpha-\phi)=\frac{y-Z}{r}$$

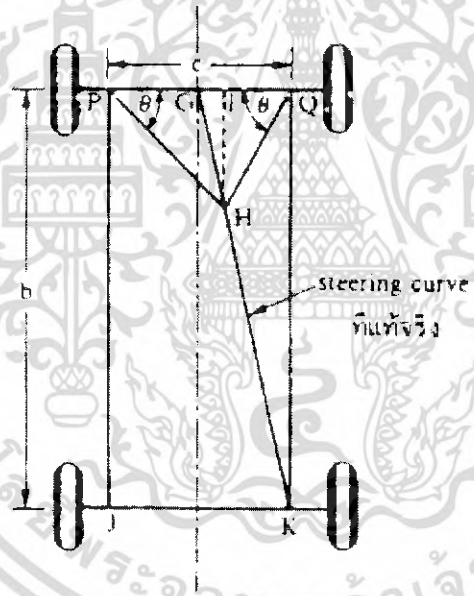
$$\therefore \sin(\alpha+\theta)+\sin(\alpha-\theta)=\frac{2y}{r}=2\sin\alpha \qquad (3\text{-}2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงการเคลื่อนที่ของคันส่งและรัศมีแขนก้านต่อบังคับเลี้ยว

โดยการใช้สมการข้างต้นนี้ ตัวแปร θ และ ϕ สำหรับการเลี้ยวที่ถูกต้องจะสามารถหาออกมาได้ ปัญหานี้สามารถด้วยวิธีกราฟได้ด้วย ดูวิธีทำในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการพิสูจน์สูตรที่ (3-3)

(ข) วิธีกราฟ ในรูปที่ 3.3 P และ Q คือสลักล้อ เขียนเส้นตรงจาก G ซึ่งอยู่ที่กึ่งกลางระหว่าง P กับ Q ไปยังจุด K เลือกจุด H เป็นจุดใดๆ บนเส้นตรง GK ลากเส้น PH และ QH มุมที่เส้นทั้ง 2 ตัดกับเส้น PQ คือมุม ϕ และมุม θ ตามลำดับ ซึ่งจะสามารถพิสูจน์ได้ดังนี้

$$\cot\phi = \frac{PI}{HI} = \frac{PG + IG}{HI}$$

$$\cot\theta = \frac{QI}{HI} = \frac{PG - IG}{HI}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \cot\phi - \cot\theta = \frac{2IG}{HI} = \frac{2QG}{QK} \tag{3-3}$$

เนื่องจากสามเหลี่ยม QGK กับสามเหลี่ยม IGH เป็นสามเหลี่ยมที่คล้ายคลึงกัน ซึ่ง

$$\frac{QG}{QK} = \frac{IG}{HI} = \frac{PQ}{QK} = \frac{c}{b} \tag{3-4}$$

รถอี-20

เพลาล้อหน้าอันหนึ่งมีสลักแกนล้อ (Pivot pin) อยู่ห่างกัน 1165 มิลลิเมตร ความยาวของนัคเคิ้ลอาร์มแต่ละอันมีค่าเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และคันชักดันส่งซึ่งอยู่หลังเพลาล้อหน้ามีความยาว 1050 มิลลิเมตร มุมเลี้ยวล้อใน 26.5 จงหาระยะฐานล้อซึ่งจะทำให้เกิดการกลิ้งอย่างแท้จริงของทุก

วิธีทำ

$$\sin\alpha = \frac{c-d}{2r}$$

$$= \frac{1165-1050}{2\times 150}$$

$$= 0.383$$

$$\alpha = 22.5°$$

เนื่องจาก $\sin(\alpha+\theta)+\sin(\alpha-\phi) = 2\sin\alpha$

$$\sin(22.5°+26.5°)+\sin(22.5°-\phi) = 2\times 0.383$$

$$\sin(22.5°-\phi) = 0.01129$$

$$22.5°-\phi = 0.65°$$

$$\phi = 21.85°$$

สำหรับการเลี้ยวที่ถูกต้อง

$$\cot\phi - \cot\theta = \frac{c}{b}$$

$$\cot 21.85° - \cot 26.5° = \frac{1165}{b}$$

$$2.494 - 2.005 = \frac{1165}{b}$$

ระยะฐานล้อ b = 2386.75 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การหาฐานล้อและ ระยะหน้าล้อ

ระยะฐานล้อ (Wheelbase) หมายถึงระยะที่วัดจากจุดศูนย์กลางล้อหลังถึงจุดศูนย์กลางล้อหน้า ในด้านเดียวกัน โดยฐานล้อมีผลกับความยากง่ายและความสะดวกสบายในการทรงตัวของรถเมื่อมีโหลดมากระทำที่ด้านหน้า (Axle load distributions) ช่วยลดระยะรัศมีวงเลี้ยวหากมีระยะแคบหรือกว้างเมื่อเทียบกับตัวบอดี้ และมีผลต่อระบบการสั่นสะเทือน สามารถทำให้ระบบช่วงล่างมีความนุ่มนวล

ถ้าระยะฐานล้อสั้นทำให้มีการเข้าโค้งง่ายเหมาะสำหรับรถขนาดเล็กที่ต้องการวงเลี้ยวแคบๆ ซึ่งจะทำให้สามารถเลี้ยวได้ด้วยรัศมีวงเลี้ยวที่น้อยว่าเมื่อเทียบกับรถที่มีขนาดฐานล้อยาวกว่า โดยหมุนพวงมาลัยด้วยจำนวนรอบที่เท่ากัน

ถ้าระยะฐานล้อกว้างเหมาะสำหรับรถสปอร์ต รถนั่งเก๋งขนาดใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับรูปร่างของบอดี้ ฐานล้อแบบนี้จะเหมาะกับรถประเภทอเนกประสงค์มากกว่ารถขนาดเล็ก

เราสามารถออกแบบฐานล้อได้จากสัดส่วนดังนี้

$$i = \frac{\text{wheel base}}{\text{vehicle length}} \qquad (3\text{-}5)$$

โดยใช้ค่าอ้างอิงตามขนาดของรถที่เป็นไปได้ดังนี้

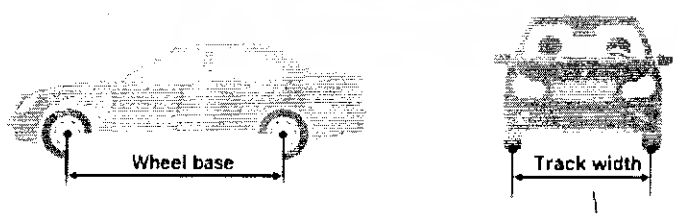
i_l = 0.57 ถึง 0.67 สำหรับรถขนาดใหญ่

i_s = 0.56 ถึง 0.61 สำหรับรถขนาดเล็ก

แต่สำหรับรถสปอร์ตูเป้ อาจมีค่า i ได้เพียง 0.56 แต่สำหรับรถขนาดเล็กมากๆอาจมีค่าได้มากกว่า 0.72

ระยะหน้าล้อ (Track, i_b) หมายถึงระยะความยาวที่วัดจากกลางล้อซ้ายถึงกลางล้อขวา มีผลต่อการเข้าโค้งด้วยความคล่องตัวและมีเสถียรภาพ การเลี้ยวโค้งมีผลให้เกิดความไม่เสถียรต่อตัวบอดี้ โดยทั่วไปควรมีขนาดใหญ่ เมื่อเทียบกับความยาวด้านหน้ารถ และมีความกว้างเพียงพอเมื่อทำการเลี้ยวสุด (ซ้ายสุดหรือขวาสุด) แต่ไม่ชนกับส่วนของโครงรถ ระยะหน้าล้อจะเปลี่ยนเมื่อมีการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของล้อและระบบช่วงล่าง (Bump and rebound) โดยระยะหน้าล้อสามารถหาได้จากสูตร

$$i_b = \frac{\text{Tread width}}{\text{vehicle width}} = 0.84 \text{ ถึง } 0.87$$



รูปที่ 3.4 ระยะฐานล้อและระยะหน้าล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	รถไฟฟ้า	รถอี-20
ฐานล้อ (มิลลิเมตร)	1750	2390
ระยะหน้าล้อด้านหน้า (มิลลิเมตร)	1200	1165
ระยะหน้าล้อด้านหลัง (มิลลิเมตร)	1210	1200

ตารางที่ 3.2 ระยะฐานล้อและระยะหน้าล้อที่เลือก

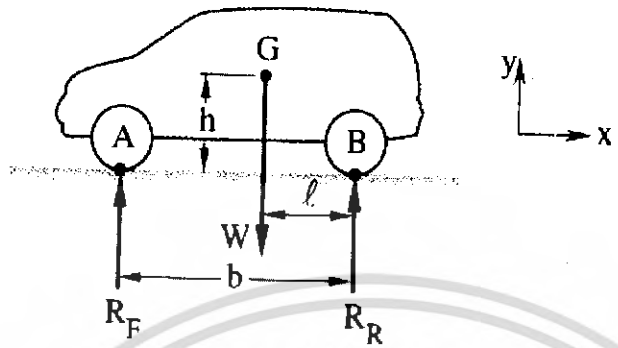
3.3 วิธีการเลี้ยว

1. การบังคับให้เลี้ยวนั้นเป็นการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ซึ่งแต่เดิมเป็นใช้ล้อที่ห้า (Fifth wheel steering) หรือระบบจดหมุนจุดเดียว ซึ่งเหมาะกับรถม้าและรถพ่วง หากนำมาใช้กับรถยนต์ก็จะไม่เหมาะสมนัก เพราะในการออกแบบระบบบังคับเลี้ยวมีส่วนสำคัญต่อการบังคับรถยนต์ทั้งหมด ระบบบังคับเลี้ยวจึงต้องออกแบบอย่างระมัดระวังเพื่อให้เป็นชุดเดียวกันกับระบบรองรับน้ำหนัก เพื่อใช้รับแรงที่ล้อหน้า ในการออกแบบระบบบังคับเลี้ยวนั้นส่วนใหญ่จะเป็นแบบอัคเคมานน์ (Ackermann)

2. แบบอัคเคมานน์ กลไกบังคับเลี้ยวแบบนี้เป็นแบบแขน 4 แขน ประกอบด้วยคันส่ง (Cross link) CD ที่ต่ออยู่กับแขน AE และ BF ของล้อหน้าทั้งสอง ทั้งนี้แขน AC และ BD ด่างก็เป็นส่วนหนึ่งของแขนโค้ง (Bell-crank) CAE และ DBF ตามลำดับ โดยงอเป็นมุม 90 + α ดังรูปที่ 3.1 ทั้งนี้ ABCD จะเป็นแขน 4 แขน โดยมีแขน AC และ BD เอียงทำมุม α กับแนวโครงรถ ฉะนั้นแขน CD จึงขนานกับแนว AB เมื่อรถเคลื่อนที่เดินหน้าตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แรงกระทำเมื่อรถจอดนิ่งบนพื้นระดับ



รูปที่ 3.5 การจอดนิ่งบนพื้นระดับ

อี-20

$$R_F = \frac{Wl}{b} \tag{3-6}$$

$$= \frac{(280kg \times 9.81m/s^2) \times (0.91)}{2.39m}$$

= 1045.85 นิวตัน

$$R_R = W\left(1 - \frac{l}{b}\right) \tag{3-7}$$

$$= \left(280kg \times 9.81m/s^2\right)\left(1 - \frac{0.91}{2.39}\right)$$

= 1700.94 นิวตัน

อีวี

$$R_F = \frac{Wl}{b} \tag{3-8}$$

$$= \frac{(298kg \times 9.81m/s^2) \times (0.85)}{1.75m}$$

= 1419.92 นิวตัน

$$R_R = W\left(1 - \frac{l}{b}\right) \tag{3-9}$$

$$= \left(298kg \times 9.81m/s^2\right)\left(1 - \frac{0.85}{1.75}\right)$$

= 1503.45 นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

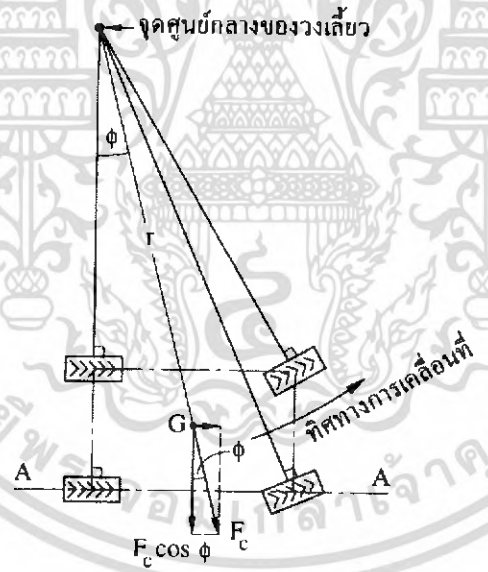
3.5 การทรงตัวบนทางโค้ง (Cornering)

3.5.1 แรงย่อยผิวสัมผัสหน้ายาง

(Lateral Force and Friction coefficients)

ขณะเข้าโค้ง (Cornering) ตัวแปรสำคัญ คือ ผลจากความเร็ว (v,m/s) และมุมเลี้ยว (Radian of Bend,r) การที่รถเลี้ยวไปบนทางโค้งหรือถนนได้นั้นก็เนื่องจากมีแรงมากระทำทางด้านข้างกระทำที่ศูนย์กลางของการเลี้ยวตามแนวรัศมี เรียกว่า แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง (Centripetal force) และอัตราเร่งที่เกิดขึ้น เรียกว่า อัตราเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง (Centripetal accleration) แสดงดังรูปที่ 5. ส่วนแนวโน้มที่ล้อจะหลุดโค้งเป็นเหตุมาจากแรงรบกวน ($F_{c,v}$) เป็นแรงเหวี่ยงออกจากศูนย์กลาง (Centrifugal force)กระทำต่อจุดศูนย์กลางโน้มถ่วง (Center of gravity) มีผลให้ล้อหมุนหลุดจากเส้นทางการเคลื่อนที่ (Slip) จะเกิดแรงนี้ก็ต่อเมื่อรถวิ่งไปถึงมุม α = Slip angle เมื่อสมมติแรงกระทำที่ศูนย์กลางผิวหน้ายาง พิจารณาแรงเหวี่ยงจากสมการ

$$F_{c,v} = m_{v,t} \times \frac{V^2}{R} \tag{3-10}$$



รูปที่ 3.6 แสดงเส้น Free body diagram ในการเลี้ยวโค้ง

3.5.2 ความเร็วในการเลี้ยวโค้งบนถนนระดับ

กรณีที่ 1: การเริ่มพลิกคว่ำของรถยนต์เมื่อหักเลี้ยวบนถนนระนาบรอบแกน A-A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติรถทุกคันจะต้องได้รับการออกแบบไม่ให้พลิกคว่ำได้ง่าย อย่างไรก็ตามเมื่อหักเลี้ยวที่ความเร็วสูงๆรถก็อาจจะพลิกคว่ำได้ ในบางครั้งขณะที่รถเลี้ยว ล้ออาจจะไปกระแทกกับฟุตบาธหรือทับก้อนหิน ก็จะเกิดแรงกระแทกซึ่งเป็นผลทำให้รถพลิกคว่ำได้เช่นกัน

$$v = \sqrt{\frac{gD_s t}{2h}} \tag{3-11}$$

กรณีที่ 2: รถยนต์เริ่มลื่นไถลออกนอกถนนเมื่อหักเลี้ยว

เมื่อแรงหนีศูนย์กลางมากเกินกว่าแรงเสียดทานในขณะเลี้ยว คือมากเกินกว่า $F_A + F_B$ รถจะไถลหรือแฉลบออกนอกทาง แรงเสียดทานก็คือแรงต้านทานที่เท่ากับน้ำหนักของรถยนต์คูณด้วยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างยางกับถนน

$$v = \sqrt{\mu g D_S} \tag{3-12}$$

เมื่อ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

μ คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับพื้น

D_s คือ รัศมีการเลี้ยว

h คือ ความสูงรถยนต์

การเลี้ยวโค้ง

อี-20

สมมุติให้เลี้ยวโค้งบนถนนที่มีรัศมีความโค้ง 30 เมตร ระยะห่างระหว่างล้อเท่ากับ 1.165 เมตร

การเลี้ยวโค้งบนถนนระดับ

ความเร็วที่ทำให้รถเริ่มพลิกคว่ำ $v = \sqrt{\frac{grl}{2h}}$ (3-13)

$$= \sqrt{\frac{9.81 \times 30 \times 1.165}{2(0.345)}}$$

$$= 22.29 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

$$= 80.24 \text{ กิโลเมตรต่อชั่วโมง}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วที่ทำให้รถเริ่มไถล $v = \sqrt{\mu g r}$ (3-14)

$= \sqrt{0.75(9.81)(30)}$

= 14.85 เมตรต่อวินาที

= 53.48 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

อีวี

สมมุติให้เลี้ยวโค้งบนถนนที่มีรัศมีความโค้ง 30 เมตร ระยะห่างระหว่างล้อเท่ากับ 1.2 เมตร

การเลี้ยวโค้งบนถนนระดับ

ความเร็วที่ทำให้รถเริ่มพลิกคว่ำ $v = \sqrt{\frac{grl}{2h}}$

$= \sqrt{\frac{9.81 \times 30 \times 1.165}{2(0.345)}}$

= 22.29 เมตรต่อวินาที

= 80.24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ความเร็วที่ทำให้รถเริ่มไถล $v = \sqrt{\mu g r}$

$= \sqrt{0.75(9.81)(30)}$

= 14.85 เมตรต่อวินาที

= 53.48 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ในกรณีที่รถไม่พลิกคว่ำหรือลื่นไถล เราสามารถหาแรงปฏิกิริยาที่ล้อได้ดังนี้

ปฏิกิริยาที่ล้อด้านใน $R_i = m\left(\frac{g}{2} - \frac{v^2 h}{rt}\right)$ (15)

$= 1302\left(\frac{9.81}{2} - \frac{14.85^2(0.975)}{30(1.65)}\right)$

= 7309.10 นิวตัน

ปฏิกิริยาที่ล้อด้านนอก $R_o = m\left(\frac{g}{2} + \frac{v^2 h}{rt}\right)$ (16)

$= 1302\left(\frac{9.81}{2} + \frac{14.85^2(0.975)}{30(1.65)}\right)$

= 12041.70 นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลี้ยวโค้งบนถนนเอียง

ความเร็วที่ทำให้รถเริ่มพลิกคว่ำ $v = \sqrt{\dfrac{gr(h\sin\theta + \frac{t}{2}\cos\theta)}{h\cos\theta - \frac{t}{2}\sin\theta}}$ (3-17)

$$= \sqrt{\frac{9.81(30)(0.975\sin 36.86° + \frac{1.65}{2}\cos 36.86°)}{0.975\cos 36.86° - \frac{1.65}{2}\sin 36.86°}}$$

= 24.61 เมตรต่อวินาที

= 88.63 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ความเร็วที่ทำให้รถเริ่มไถล $v = \sqrt{\dfrac{gr(\sin\theta + \mu\cos\theta)}{\cos\theta - \mu\sin\theta}}$

$$= \sqrt{\frac{9.81(30)(\sin 36.86° + 0.75\cos 36.86°)}{\cos 36.86° - 0.75\sin 36.86°}}$$

= 31.75 เมตรต่อวินาที

= 114.32 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ในกรณีที่รถไม่พลิกคว่ำหรือลื่นไถล เราสามารถหาแรงปฏิกิริยาที่ล้อได้ดังนี้

ปฏิกิริยาที่ล้อด้านใน $R_i = m\left(\frac{g}{2}\cos\theta + \frac{v^2}{2r}\sin\theta + \frac{gh}{t}\sin\theta - \frac{v^2 h}{rt}\cos\theta\right)$ (3-18)

$$= 1302\left(\frac{9.81}{2}\cos 36.86° + \frac{30^2}{2(30)}\sin 36.86° + \frac{9.81(0.975)}{1.65}\sin 36.86° - \frac{30^2 \times 0.975}{30(1.65)}\cos 36.86°\right)$$

= 2877.42 นิวตัน

ปฏิกิริยาที่ล้อด้านนอก $R_o = m\left(\frac{g}{2}\cos\theta + \frac{v^2}{2r}\sin\theta - \frac{gh}{t}\sin\theta + \frac{v^2 h}{rt}\cos\theta\right)$ (3-19)

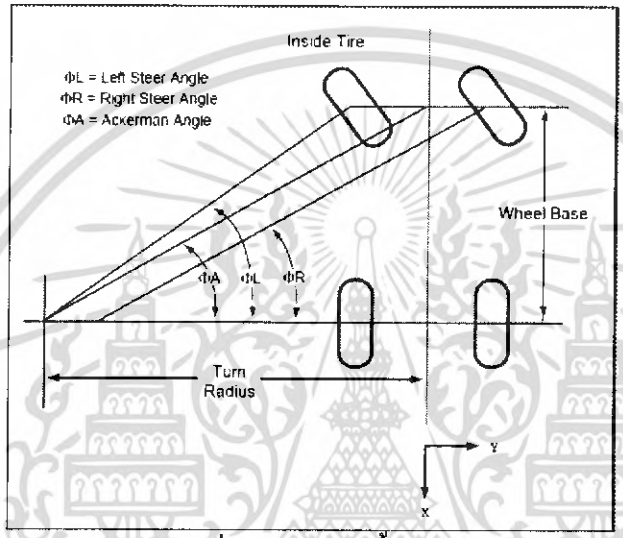
$$= 1302\left(\frac{9.81}{2}\cos 36.86° + \frac{30^2}{2(30)}\sin 36.86° - \frac{9.81(0.975)}{1.65}\sin 36.86° + \frac{30^2 0.975}{30(1.65)}\cos 36.86°\right)$$

= 8632.26 นิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.3 มุมเลี้ยวล้อ (Steering angle)

พิจารณาเมื่อปราศจาก Lateral force แกนเลี้ยวของทั้ง 4ล้อ จะมาผ่านที่จุดศูนย์กลางจุดเดียวกัน (Center of the bend ,M) โดยแกนเลี้ยวของ 2 ล้อหน้าตัดผ่านกันที่แกนเลี้ยงล้อหลังที่ถูกยึดอยู่กับที่ โทเอาต์ออนเทิร์น เนื่องจากการออกแบบมุมเลี้ยวเพื่อสามารถเลี้ยวได้ตามหลักอัคเคมานต์ (Ackerman) ล้อด้านในต้องมีรัศมีการเลี้ยวน้อยกว่าล้อด้านนอก นั้นคือมุมเลี้ยวด้านในต้องมีขนาดมุมเลี้ยวด้านนอก ส่งผลให้เมื่อวิ่งเข้าโค้งล้อด้านในจึงวิ่งเร็วกว่าล้อด้านนอก แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงมุมเลี้ยวล้อ

สูตรคำนวณค่ามุมเลี้ยว

$$\cot\phi_A = \cot\phi_L + \frac{j}{l} \tag{3-20}$$

เมื่อ l คือ ฐานล้อหน้าถึงล้อหลัง (Wheel base)

j คือ ระยะระหว่างแกนเลี้ยว

อี-20

มุมล้อนอก $\phi_A = 26.5$ องศา มุมล้อใน $\phi_A = 30$ องศา

อีวี

มุมล้อนอก $\phi_A = 31$ องศา มุมล้อใน $\phi_A = 34.69$ องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.4. รัศมีการเลี้ยว (Track and turning circle)

ศึกษาโดยใช้ค่าของผลต่างขนาดมุมเลี้ยวด้านนอกและด้านใน เส้นผ่านศูนย์กลางการเลี้ยวควรมีค่าน้อยๆ เพื่อง่ายต่อการเลี้ยวในมุมแคบหรือการเข้าจอด

$$D_s = 2\left(\frac{1}{\sin\phi_{A,\sigma,max}} + r_\sigma\right) - 0.1\Delta\phi_F \qquad (3\text{-}21)$$

$$\Delta\phi_F = \phi_L - \phi_A \qquad (3\text{-}22)$$

เมื่อ $\Delta\phi_F$ คือ มุมเลี้ยวเฉลี่ย (Ackerman angle)

D_s คือ รัศมีการเลี้ยว

อี-20

มุมล้อนอก $\phi_A = 26.5$ องศา มุมล้อใน $\phi_A = 30$ องศา

$$D_s = 2\left(\frac{l}{\sin\phi_A} + r_\sigma\right) - 0.1\Delta\phi_F$$

$$D_s = 2\left(\frac{2390}{\sin 26.5^\circ} + 110\right) - 0.1\left(30^\circ - 26.5^\circ\right)$$

$= 10952.3874$ มิลลิเมตร

$= 10.95$ เมตร

รัศมีวงเลี้ยว $= 5.475$ เมตร

อีวี

มุมล้อนอก $\phi_A = 31$ องศา มุมล้อใน $\phi_A = 34.69$ องศา

$$D_s = 2\left(\frac{l}{\sin\phi_A} + r_\sigma\right) - 0.1\Delta\phi_F$$

$$D_s = 2\left(\frac{1750}{\sin 31^\circ} + 110\right) - 0.1\left(34.69^\circ - 31^\circ\right)$$

$= 7015.231$ มิลลิเมตร

$= 7.015$ เมตร

รัศมีวงเลี้ยว $= 3.507$ เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบชิ้นส่วนพิเศษ

จากการแข่งขัน TSAE Autochallenge 2005 ทำให้เราพบปัญหาต่างๆมากมาย โดยเฉพาะปัญหาสำคัญที่เป็นโจทย์ให้เราต้องแก้ไข คือ ผลการไม่คืนกลับของพวงมาลัยเมื่อเลี้ยวซึ่งปัญหาส่วนหนึ่งมาจากการสร้างรถโดยไม่ได้สร้างแบบจำลองขึ้นมาก่อน และไม่ได้มีการวางระบบบังคับเลี้ยว ทำการตั้งเฟืองพวงมาลัยและมุมล้อแบบตายตัวไม่สามารถปรับตั้งค่าใดๆได้ เป็นผลกระทบสำคัญต่อการปรับแต่งให้เหมาะกับสภาพการแข่งขันและเป็นปัญหาสำคัญต่อการบังคับเลี้ยว

กลุ่มเราได้ทำการพัฒนาและออกแบบชิ้นส่วนพิเศษ เพื่อให้สามารถปรับตั้งมุมล้อได้ทุกค่าทุกกรณี แม้รถรุ่นปกติที่ใช้กันทั่วไปจะผลิตขึ้นมาให้สามารถปรับมุมล้อได้เพียงบางมุม นั้นเพราะว่าทางผู้ผลิตได้มีเวลาในการทดสอบขับมานานกว่าปี และเพียงเพื่อใช้ในการเดินทางทั่วไปเท่านั้น แต่ในส่วนของเราต้องมีการเผื่อความเป็นไปได้ เพื่อให้สามารถปรับตั้งมุมได้มากและง่ายที่สุด เพื่อเหมาะสมกับการแข่งขันเพื่อชิงความเป็นที่ 1

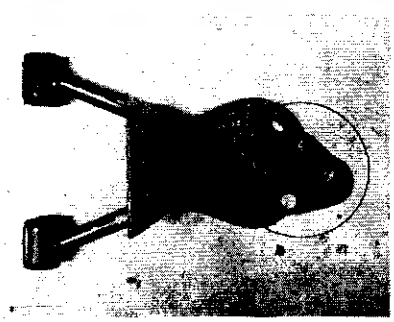
เราจึงได้ขอความร่วมมือสนับสนุนข้อมูลและร่วมพัฒนา การออกระบบปรับตั้งมุมล้อจากบริษัทเดมเลอร์ไครส์เลอร์ ไทยแลนด์ (Daimler Chrysler Thailand) และการวิเคราะห์จากการใช้โปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ (Simulation) เพื่อให้ได้ชิ้นส่วนที่ใช้งานได้จริง พร้อมทั้งวิเคราะห์ความเสียหายโดยวิธีทางไฟไนท์อิลิเมนต์ (Finite Element) เพื่อความเหมาะสมต่อการสร้าง

4.1 ชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์ (Caster adjuster)

โดยปกติแล้วรถรุ่นต่างๆไม่ได้ออกแบบมาให้ปรับตั้งมุมแคสเตอร์ (Caster) ได้ โดยรถที่ต้องการเปลี่ยนมุมองศา Caster ต้องทำการเปลี่ยนเบ้าหัวโช๊คอัพซึ่งเป็นเรื่องยากต่อผู้ไม่ชำนาญ

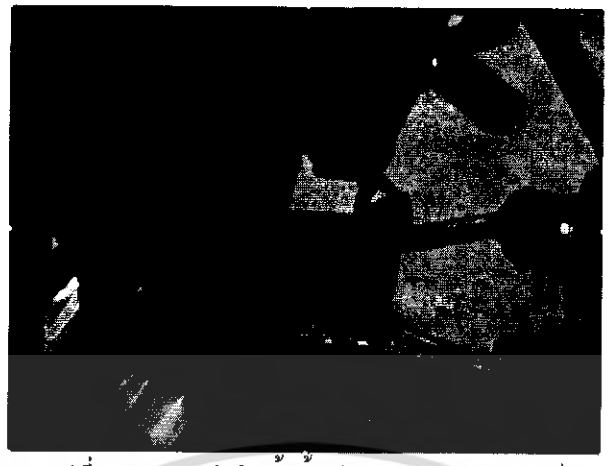
แต่สำหรับรถของเราซึ่งอาจมีปัญหาในอนาคต แม้ผลจำลองการเคลื่อนที่จะได้ผล แต่หากมีสภาพการณ์ไม่เหมาะสมจนอาจส่งผลให้ต้องมีการปรับตั้งมุมแคสเตอร์ให้เหมาะสม เช่น น้ำหนักที่ไม่อาจจะคาดได้แม่นยำก่อนสร้างเสร็จ

ซึ่งมุมแคสเตอร์เป็นมุมที่มีผลสำคัญต่อการคืนกลับ และเสถียรภาพของการบังคับเลี้ยวพวงมาลัยและทิศทางการเคลื่อนที่ ฉะนั้นกลุ่มของเราจึงทำการคิดค้นชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์นี้ขึ้นให้ปรับมุมได้อย่างน้อย 3 องศา เพื่อประโยชน์ในการแก้ไขปัญหาไม่ถูกจำกัดตายตัว มีผลต่อการเลี้ยวอย่างสมบูรณ์



รูปที่ 4.1 ชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ตำแหน่งติดตั้งชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์

4.2 ชิ้นส่วนปรับมุมแคมเบอร์ (Camber Adjuster)

ในปกติรถทั่วไปไม่ได้ลงแข่งขันเซอร์กิตควรตั้งมุมแบบปกติ (ค่าประมาณ 0 องศา ถึง 0.5 องศา) เมื่อเวลาน้ำหนักกดลงมา มุมแคมเบอร์ของล้อมักจะเป็นลบโดยอัตโนมัติ มีผลต่อการยึดเกาะถนน และการทรงตัวในการเลี้ยวโค้งแต่หากมุมลบเกินไป นอกจากทำให้จุดยึดต่างๆทำงานหนักแล้วยังทำให้ดอกยางสึกไม่เท่ากันและดอกยางหมดเร็วกว่าปกติ

เราจึงออกแบบชิ้นส่วนพิเศษให้สามารถปรับตั้งมุมแคมเบอร์ได้ -5 ถึง +5 องศา ทั้งในรถ อี-20 และ อีวี เพื่อให้ได้จุดสัมผัสยางและการยึดเกาะที่สมบูรณ์สูงสุด

รูปที่ 4.3 ชิ้นส่วนปรับมุมแคมเบอร์ในรถอี-20

รูปที่ 4.4 ชิ้นส่วนปรับมุมแคมเบอร์ในรถอีวี

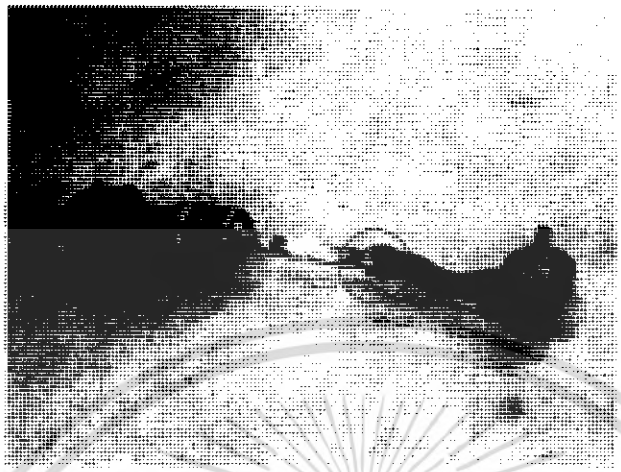
4.3 ชิ้นส่วนปรับตั้งมุมโท (Toe Adjuster)

ปกติการปรับตั้งระยะโทสามารถทำได้โดยการเลื่อนลูกหมากเข้าออกเพื่อปรับค่า โท-อิน, โท-เอาท์

เพื่อให้รถเข้าโค้งได้อย่างปกติเป็นไปตามหลัก โทว์เอาท์ออนเทิร์น (Toe out on turn) ให้เกิดแรงไถลที่หน้ายางน้อยที่สุดทำให้เข้าโค้งได้อย่างนุ่มนวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นการปรับตั้งระยะโท จึงเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งที่เราต้องทำการออกแบบ แม้จะปรับค่าได้อยู่แล้ว แต่เราก็ต้องทำการตัดต่อแขนคันส่ง (Tie rod) เพื่อให้ได้ระยะโทในช่วงที่เหมาะสมกับระยะล้อหน้าของรถทั้ง 2 คันของเรา



รูปที่ 4.5 ชิ้นส่วนปรับระยะโทของรถทั้ง 2 คัน

4.4 ชิ้นส่วนปรับตั้งตำแหน่งวางเฟืองบรรทัด (Rack Adjuster)

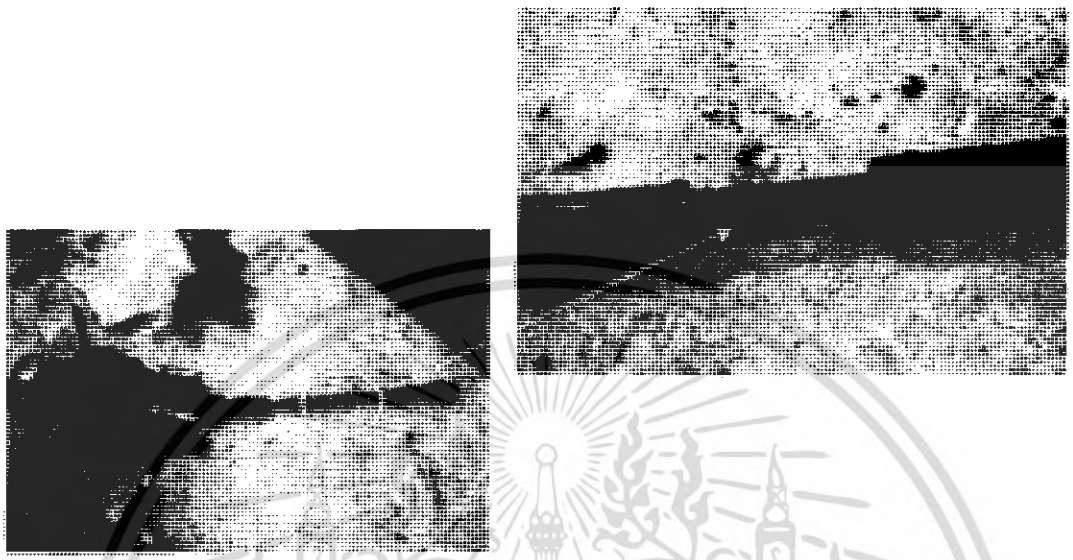
เนื่องจากการส่งแรงในการวางตำแหน่งเฟืองบรรทัดที่ต่างกัน ทำให้มีผลต่อมุมและระยะการปัดเลี้ยว เราจึงทำการออกแบบชิ้นส่วน ปรับตั้งตำแหน่งวางเฟืองบรรทัดให้สามารถปรับค่าได้ 0 – 5 เซนติเมตร

รูปที่ 4.6 ชิ้นส่วนปรับตำแหน่งวางเฟืองบรรทัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ชิ้นส่วนกลไกปรับเอนและปรับความสูงพวงมาลัย

เป็นกลไกเพื่ออำนวยความสะดวกในการขับขี่ของผู้ขับขี่ในทุกสรีระซึ่งเราได้สร้างชิ้นส่วนพิเศษขึ้นมาเพื่อใช้ในการปรับความสูงของพวงมาลัย



รูปที่ 4.7 กลไกปรับเอนและปรับความสูงพวงมาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์

Overview

ภาพรวมของการวาดโปรแกรม

- เริ่มจากการ Drawing ขนาดจริง โดยใช้โปรแกรม Solid work เพื่อดูลักษณะการเชื่อมต่อชิ้นส่วน ทุกส่วนที่เรามีตามขนาดจริง

- ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนที่โดยใช้โปรแกรม ADAMS-CAR เพื่อดูมุมเลี้ยวล้อที่เปลี่ยนไปเมื่อเกิดการบิดเลี้ยวที่มีผลให้เกิดการเลี้ยวแบบ Ackermann มีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างชื่อชิ้นงาน(Creating a template)และต้องทำการกำหนดจุดอ้างอิง(Creating hard point)
2. สร้างชิ้นส่วนระบบบังคับเลี้ยว ตามรูปร่างและขนาดจริง(Building steering parts)
3. กำหนดจุดเชื่อมต่อ(Attachment) หรือข้อต่อ (Joint) ให้กับชิ้นส่วน (Part) 2 ชิ้นที่ยึดติดกัน(Creating and defining attachments and parameters)
4. ทำการประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน เพื่อเราจะได้ทำการสร้างแบบจำลอง (Simulation) การบิดเลี้ยวของล้อ (Assembling the model for analysis)
5. ทราบขนาดแรงและมุมล้อที่ได้จากผลการประมวลผลทางโปรแกรม(Finished up)

- ทำการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของเฟืองบรรทัด (Rack) ในแนวแกน x – y และสามารถดูแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละชิ้นส่วนได้ พร้อมทั้งดูระยะการกระจัด (Displacement) เมื่อเคลื่อนที่ไปตามมุมต่างที่ได้จากโปรแกรม ADAMS CAR

- นำผลของแรงใน ADAMS View ไปวิเคราะห์ความเสถียรภาพ วิเคราะห์ความเสียหายโดยใช้โปรแกรม ABAQUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MSC.ADAMS®

โปรแกรมอดัมส์(ADAMS) เป็นโปรแกรมที่ใช้จำลองการเคลื่อนที่ (Simulation Software) กับชิ้นส่วนทางวิศวกรรม โดยทำการสร้างชิ้นส่วนต้นแบบ(Prototype)โดยสามารถปรับแต่งและแก้ไขได้ ตามชิ้นงานที่เราออกแบบ เพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลสังเกตการณ์เคลื่อนไหว(Motion) และสามารถปรับแต่งแก้ค่าการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้จนเป็นที่พึงพอใจ

โปรแกรมอดัมส์(ADAMS) ที่เราเลือกนำมาใช้ คือ

1. โปรแกรมอดัมส์คาร์ (MSC.ADAMS/Acar)
2. โปรแกรมอดัมส์วิว (MSC.ADAMS/View)

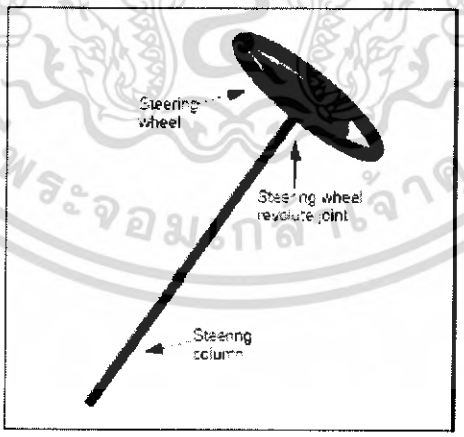
5.1 โปรแกรมอดัมส์คาร์ (MSC.ADAMS/Acar)

การสร้างชิ้นงานต้นแบบ (Template)

งานที่สร้างได้จะเป็น File template (.tpl) การสร้างจะแบ่งขั้นตอนเป็น

1. สร้างชื่อชิ้นงาน (Creating a template)และต้องทำการกำหนดจุดอ้างอิง (Creating hard point) เป็นตัวกำหนดตำแหน่งของชิ้นงาน Hard point สร้างได้โดยกำหนดจุดในแกน หรือการชี้ตำแหน่งบนหน้าจอ Creating part

   เมื่อสร้าง Hard point เสร็จคุณสามารถสร้างชิ้นส่วน (Part) ได้โดยวางไว้บนจุดนั้นๆ
2. สร้างชิ้นส่วนระบบบังคับเลี้ยว ตามรูปร่างและขนาดจริง(Building Steering Parts)



รูปที่ 5.1 ส่วนประกอบระบบบังคับเลี้ยว

2.1 ชิ้นส่วนที่คุณจะสร้างประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก

- General Parts คือ ชิ้นส่วน Rigid กำหนดบนตำแหน่งมีค่าน้ำหนัก inertia, center at gravity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mount Parts คือ ชิ้นส่วนเสมือน กำหนดสมมติขึ้นเพื่อเป็นจุดรองรับ หรือจุดยึดต่อ ไม่พิจารณาน้ำหนัก

2.2 ลักษณะชิ้นงานที่เราสร้าง

2.2.1 Arm geometry สร้างชิ้นส่วนของแข็งลักษณะแบบแท่ง

2.2.2 Link and cylinder geometry สร้างชิ้นส่วนของแข็งลักษณะแบบทรงกระบอก

2.2.3 Ellipsoid geometry สร้างชิ้นส่วนรูปวงรี

2.2.4 Outline geometry สร้างเส้นตรงเชื่อมต่อระหว่าง จุดอ้างอิง 2 จุด

3. Create attachments

เป็นการสร้างจุดกำหนดจุดเชื่อมต่อ (Attachment) หรือข้อต่อ (Joint) รวมชิ้นส่วน 2 ชิ้นที่ยึดติดกัน (Creating and Defining Attachments and Parameters) ตัวอย่างเช่น joint, bushing ถ้าเป็น complaint mode ใช้ bushing แต่ถ้าเป็น Kinematics mode ใช้ joint โดยมีลักษณะของจุดเชื่อมแบบต่างดังนี้

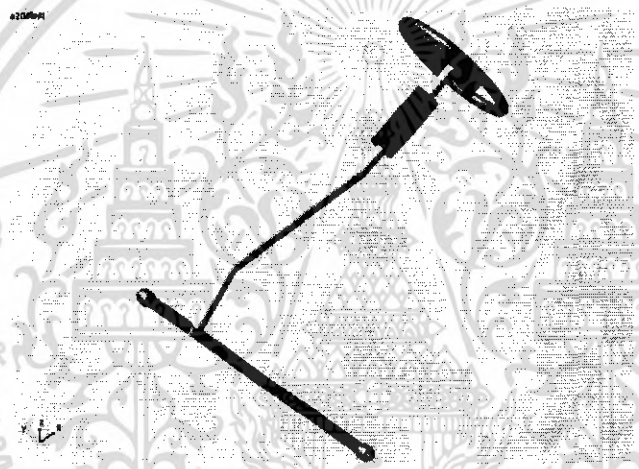
ชื่อข้อต่อ (JointName)	**จำนวนแกนการเคลื่อนที่ (Degree Of Freedom)**	**ลักษณะการเคลื่อนไหว**
Translational	1	การเคลื่อนที่แบบเลื่อนตามแนวตรงของชิ้นส่วนที่กำหนด
Revolute	1	การเคลื่อนที่แบบหมุนตามแกนที่เลือก
Cylindrical	2	การเคลื่อนที่แบบเลื่อนตามแนวตรงและหมุน
Spherical	3	การเคลื่อนที่แบบหมุนอิสระ 3 แกน
Planar	3	การเคลื่อนที่แบบลื่นบนระนาบ x-y
Fixed	0	ไม่มีการเคลื่อนที่
Inline	4	การเคลื่อนที่แบบเลื่อนตามแนวตรงพร้อมทั้งหมุนอิสระได้ทั้ง 3 แกน
Inplane	5	เคลื่อนที่แบบเลื่อนตามแนวตรง 3 แกนและหมุนได้ 2แกน
Orientation	3	บังคับให้เคลื่อนที่แบบเลื่อนทั้ง 3 แกนแต่กำหนดบังคับมุมการเลื่อน
Parallel axes	4	การเคลื่อนที่แบบเลื่อนได้ทั้ง 3 แกนและหมุนตามแกนที่เลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		ได้ 1 แกน
Perpendicular	5	เคลื่อนที่หมุนอิสระได้3แกนและเลื่อนตามแนวตรง2 แกน
Convel	2	การเคลื่อนที่แบบเลื่อน 2 แกน แต่บังคับการเชื่อมต่อแบบสนิทและหมุนบนแกนด้วยความเร็วคงที่
Hooke	2	การเคลื่อนที่แบบเลื่อน 2 แกนบังคับการเชื่อมต่อแบบสนิท

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงชนิดของข้อต่อ

4. ทำการประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน เพื่อเราจะได้ทำการสร้างแบบจำลอง (Simulation) การบิดเลี้ยวของล้อ (Assembling the Model for Analysis)
5. ทราบขนาดแรงและมุมล้อที่ได้จากผลการประมวลผลทางโปรแกรม (Finished up)

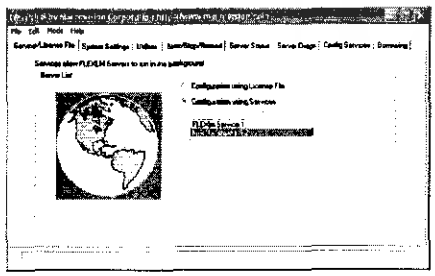


รูปที่ 5.2 ระบบบังคับเลี้ยวเมื่อประกอบสมบูรณ์

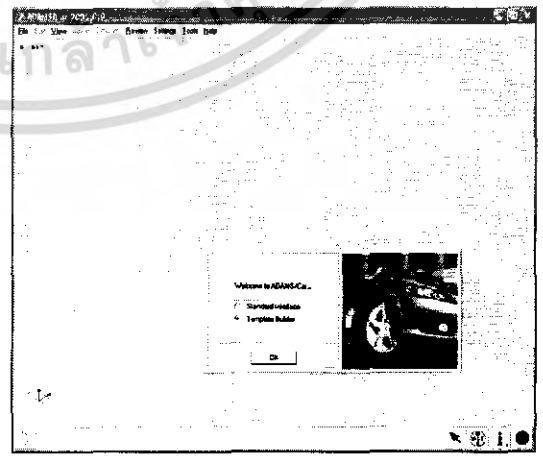
ขั้นตอนการใช้โปรแกรมอดัมส์(ADAMS-car)

1. เปิด LMTOOL MSC.Licensing 9.2

- →คลิ๊กที่ปุ่ม START SERVER



รูปที่ 5.3 การเปิด MSC.Licensing 9.2



รูปที่ 5.4 หน้าต่างเริ่มต้นใช้โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เข้าไปที่ Menu Start บน Window

- คลิ๊ก File→Select Directory→ MSC.Software
- →MSC.ADAMS2005→Acar→ADAMS-Car

3. เมื่อหน้าต่างโปรแกรมปรากฏ

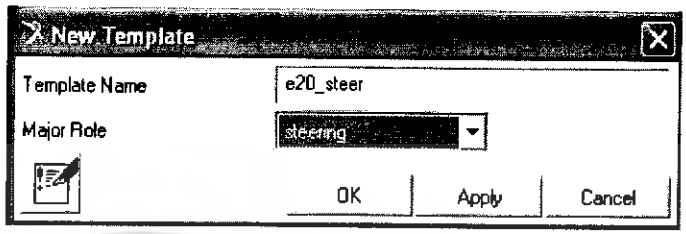
เลือก Template Builder

1. Create a template

- จาก File >> new
- ในช่วง Template name

: เลือก e20 steer

- 3. เลือก Major Role ตั้ง Steering
- OK



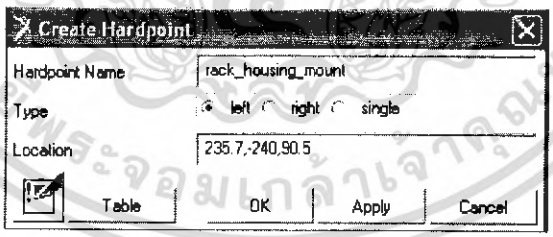
รูปที่ 5.5 การเริ่มสร้างชิ้นงานต้นแบบ

2. Building Steering parts

2.1 สร้างเสื้อเฟืองพวงมาลัย (Rackhousing)

1. ทำการสร้างจุดอ้างอิง (Hardpoint) 2 จุดเป็นตำแหน่งอ้างอิง

- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Hardpoint เลือก New
- ในช่อง Hardpoint Name พิมพ์ Rack _Housing_mount
- ในช่อง Location พิกัด 235.7,-240,90.5 ดังรูปที่ 5.6
- ทำการสร้างจุดอ้างอิง (Hardpoint) อีกจุดด้วยวิธีเดียวกัน แต่เปลี่ยนค่าในช่อง Location พิกัด 235.7,0,90.5



รูปที่ 5.6 การสร้างจุดอ้างอิงเฟืองพวงมาลัย

Hardpoint Name	Location
Rack_housing_mount	235.7,-240, 90.5
Rack_housing_mid	235.7,0, 90.5

ตารางที่ 5.2 จุดอ้างอิงชิ้นส่วนเสื้อเฟืองพวงมาลัย

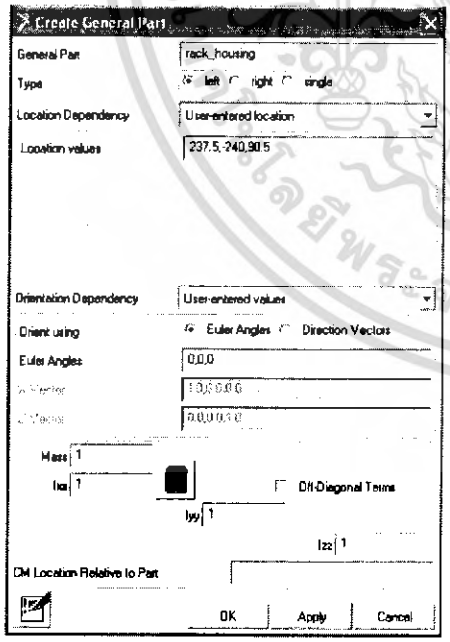
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กำหนดชิ้นส่วนเสื้อเฟืองพวงมาลัย (General Part)

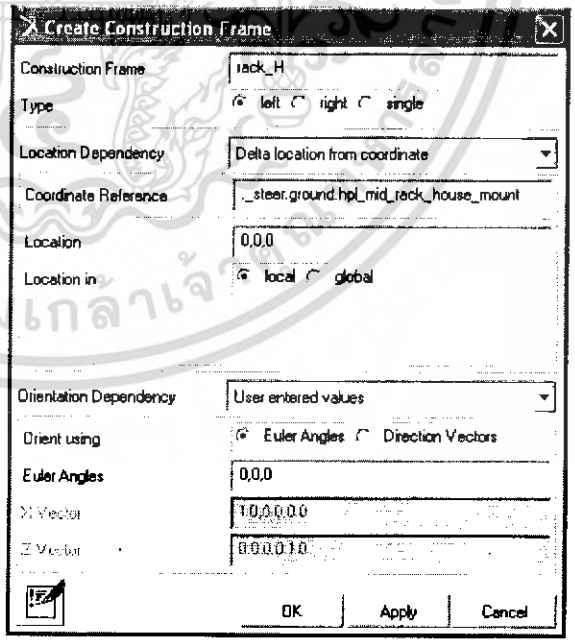
- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Part ชี้ไปที่ General Part เลือก New
- พิมพ์ชื่อ : Rack _Housing ดังรูปที่ 5.7
- ในช่อง Location Value คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- ชี้ไปที่ Hardpoint ที่เราสร้าง Rack _Housing_Mount
- ในช่อง Euler Angle ใส่ค่า 0,0,0
- ในช่อง Mass ใส่ค่าเท่ากับ 1

3. กำหนดโครงสร้างสมมุติ (Construction Frame)

- เนื่องจากคำสั่งสร้างทรงกระบอกกลวง(Cylinder) ในโปรแกรม (ADAMS) ต้องการโครงสร้างสมมุติเพื่อใช้เป็นแกนอ้างอิงของทรงกระบอก
- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Construction Frame เลือก New
- ในช่อง Location dependency คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- ชี้ไปที่ Hardpoint ที่เราสร้าง Rack _Housing_Mount จะปรากฏชื่อในช่องคำสั่งดังรูปที่ 5.7
- ในช่อง Coordinate Reference คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- ชี้ไปที่ Hardpoint ที่เราสร้าง Rack _Housing_Mount จะปรากฏชื่อในช่องคำสั่งดังรูปที่ 5.8
- ในช่อง Euler angle ใส่ค่า 0,0,0



รูปที่ 5.7 การกำหนดชิ้นส่วนเสื้อเฟืองพวงมาลัย

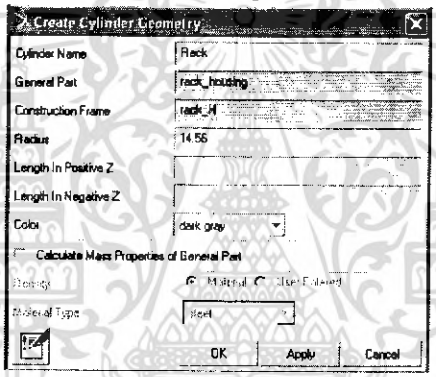


รูปที่ 5.8 การกำหนดโครงสร้างสมมุติ

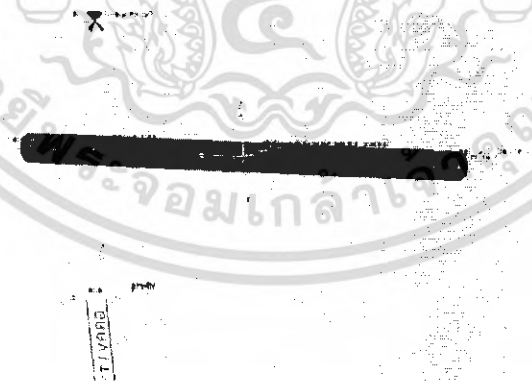
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สร้างชิ้นส่วนเสื้อเฟืองพวงมาลัย (Geometry)

- สร้าง Rack House เป็นแบบทรงกระบอกกลวง (Cylinder)
- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Geometry ชี้ไปที่ Cylinder เลือก New
- พิมพ์ชื่อ Link Name : Rack
- ในช่องGeneral Part คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- เลือกไปยังจุด Hardpoint จุดที่ 1(พิกัด 235.7,-240,90.5)
- ในช่อง Construction Frame คลิ๊กเมาท์ข้างขวาเลือก Pick Location
- เลือกไปยัง Construction Frame ที่เราสร้างไว้ในขั้นที่ 3
- กำหนดรัศมี 14.35 มิลลิเมตร
- กำหนดสีของชิ้นส่วนเสื้อเฟืองพวงมาลัย
- คลิ๊ก OK จะปรากฏชิ้นส่วนเสื้อเฟืองพวงมาลัยดังรูป



รูปที่ 5.9 การสร้างชิ้นส่วนเสื้อเฟืองพวงมาลัย



รูปที่ 5.10 ชิ้นส่วนเสื้อเฟืองพวงมาลัย (Rack Housing)

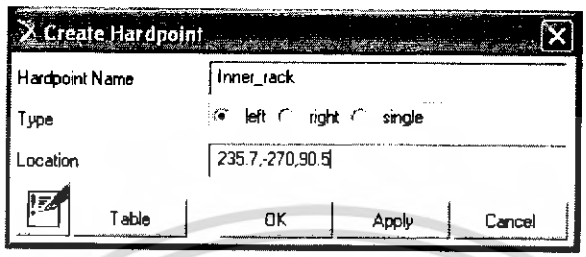
2.2 สร้างเฟืองบรรทัด (Rack)

1. ทำการสร้างจุดอ้างอิง (Hardpoint) 2 จุดเป็นตำแหน่งอ้างอิง

- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Hardpoint เลือก New

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ในช่อง Hardpoint Name พิมพ์ Inner_Rack _mount
- ในช่อง Location พิกัด 235.7,-270,90.5
- ทำการสร้างจุดอ้างอิง (Hardpoint) อีกจุดด้วยวิธีเดียวกัน แต่เปลี่ยนค่าในช่อง Location พิกัด 235.7,0,90.5



รูปที่ 5.11 การสร้างจุดอ้างอิงเฟืองบรรทัด

Hardpoint Name	Location
Inner_rack_mount	235.7,-270, 90.5
Inner_rack_mid	235.7,0, 90.5

ตารางที่ 5.3 จุดอ้างอิงชิ้นส่วนเฟืองบรรทัด

2. กำหนดชิ้นส่วนเฟืองบรรทัด (General Part)

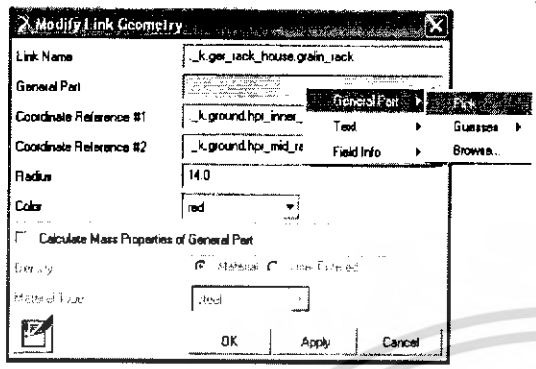
- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Part ชี้ไปที่ General Part เลือก New
- พิมพ์ชื่อ : Inner_Rack_mount
- ในช่อง Location Value คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- ชี้ไปที่ Hardpoint ที่เราสร้าง Inner_Rack_mount
- ในช่อง Euler Angle ใส่ค่า 0,0,0
- ในช่อง Mass ใส่ค่าเท่ากับ 1

3. สร้างชิ้นส่วนเฟืองบรรทัด (Geomatry)

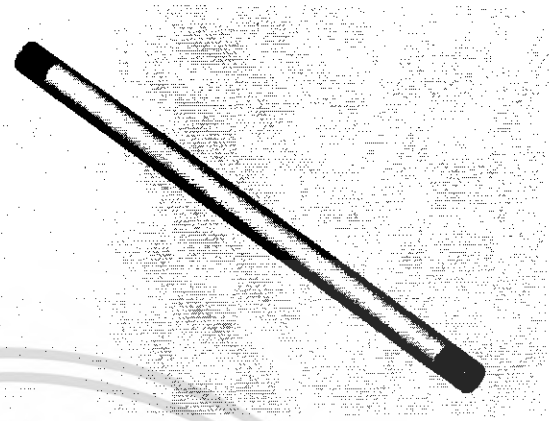
- สร้าง **Inner rack** เป็นแบบทรงกระบอก
- จากเมนูใช้คำสั่ง **Build** ชี้ไปที่คำสั่ง **Geometry** ชี้ไปที่ **Link** เลือก **New**
- พิมพ์ชื่อ **Link Name : Inner_Rack**
- ในช่อง**General Part** คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- เลือกไปยังจุด **Hardpoint** จุดที่ 1(พิกัด 235.7,-270,90.5)
- กำหนดรัศมี 12.5 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กำหนดสีของชิ้นส่วนเฟืองบรรทัด **: red**
- คลิ๊ก OK จะปรากฏชิ้นส่วนเฟืองบรรทัดดังรูป



รูปที่ 5.12 การสร้างชิ้นส่วนเฟืองบรรทัด

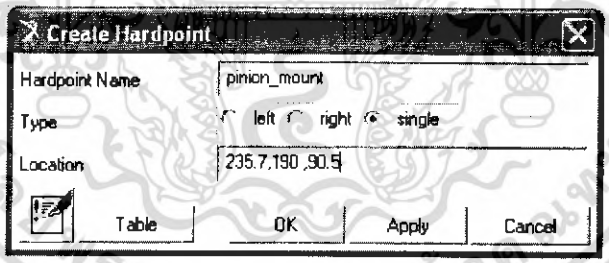


รูปที่ 5.13 ชิ้นส่วนเฟืองบรรทัด

2.3 สร้างเฟืองกลม (Pinion)

1. ทำการสร้างจุดอ้างอิง (Hardpoint) 1 จุดเป็นตำแหน่งอ้างอิง

- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Hardpoint เลือก New
- ในช่อง Hardpoint Name พิมพ์ Pinion_mount
- Type : Single
- ในช่อง Location พิกัด 235.7,190 ,90.5



รูปที่ 5.14 การสร้างจุดอ้างอิงเฟืองกลม

2. กำหนดชิ้นส่วนเฟืองกลม (General Part)

- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Part ชี้ไปที่ General Part เลือก New
- พิมพ์ชื่อ : Pinion
- ในช่อง Location Value คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- ชี้ไปที่ Hardpoint ที่เราสร้าง Pinion_mount
- ในช่อง Euler Angle ใส่ค่า 0,0,0
- ในช่อง Mass ใส่ค่าเท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.สร้างชิ้นส่วนเฟืองกลม (Geomatry)

- สร้าง Pinion เป็นแบบทรงกระบอก
- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Geometry ชี้ไปที่ Link เลือก New
- พิมพ์ชื่อ Link Name : Pinion
- ในช่องGeneral Part คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- เลือกไปยังจุด Hardpoint จุดที่ 1(พิกัด 235.7,-190,90.5)
- กำหนดรัศมี 20 มิลลิเมตร
- กำหนดสีของชิ้นส่วนเฟือง : dark gray

คลิ๊ก OK จะปรากฏชิ้นส่วนเฟืองบรรทัดดังรูป

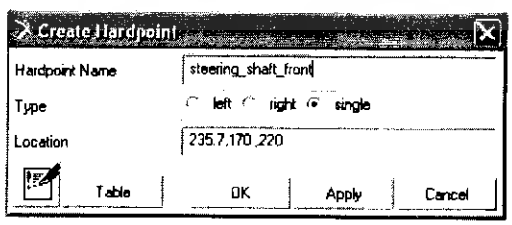
รูปที่ 5.15 ชิ้นส่วนเฟืองกลม

2.4 สร้างแกนพวงมาลัย (Steering shaft front)

ส่วนที่ 1

1. ทำการสร้างจุดอ้างอิง (Hardpoint) 1 จุดเป็นตำแหน่งอ้างอิง

- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Hardpoint เลือก New
- ในช่อง Hardpoint Name พิมพ์ Steering_shaft_front_mount
- Type : Single
- ในช่อง Location พิกัด 235.7,170 ,220

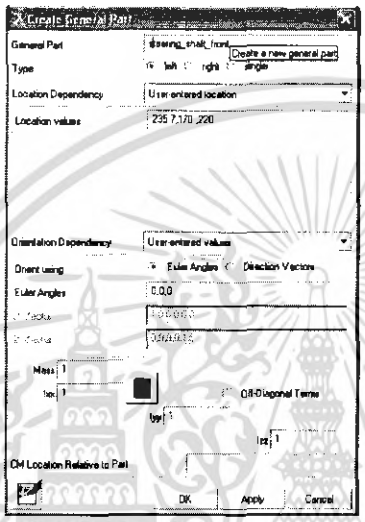


รูปที่ 5.16 การสร้างจุดอ้างอิงแกนพวงมาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กำหนดชิ้นส่วนแกนพวงมาลัย (General Part)

- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Part ชี้ไปที่ General Part เลือก New
- พิมพ์ชื่อ : Steering_shaft_front
- ในช่อง Location Value คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- ชี้ไปที่ Hardpoint ที่เราสร้าง Steering_shaft_front_mount
- ในช่อง Euler Angle ใส่ค่า 0,0,0
- ในช่อง Mass ใส่ค่าเท่ากับ 1



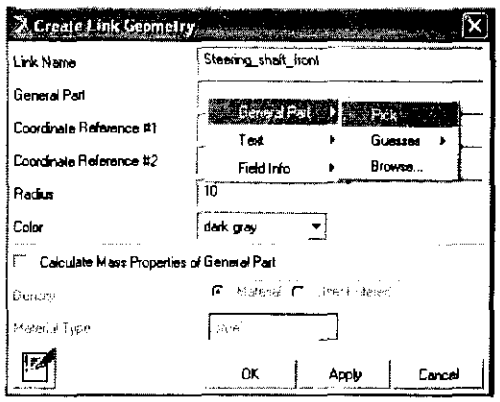
รูปที่ 5.17 การกำหนดชิ้นส่วนแกนพวงมาลัย

3. สร้างชิ้นส่วนแกนพวงมาลัย (Geomatry)

- สร้าง แกนพวงมาลัย (Steering_shaft_front) เป็นแบบทรงกระบอก
- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Geometry ชี้ไปที่ Link เลือก New
- พิมพ์ชื่อ Link Name : Steering_shaft_front
- ในช่องGeneral Part คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- เลือกไปยังจุด Hardpoint (พิกัด 235.7,170,220)
- กำหนดรัศมี 10 มิลลิเมตร
- กำหนดสีของชิ้นส่วนเฟือง : yellow

คลิ๊ก OK จะปรากฏชิ้นส่วนเฟืองบรรทัดดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 การสร้างชิ้นส่วนแกนพวงมาลัย

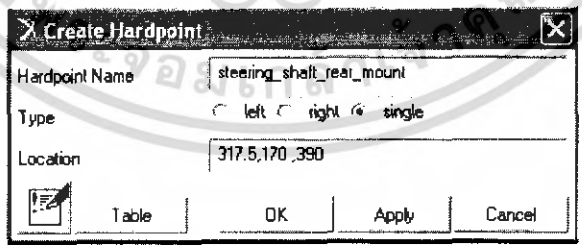
รูปที่ 5.19 ชิ้นส่วนแกนพวงมาลัย

2.5 สร้างแกนพวงมาลัย (Steering shaft rear)

ส่วนที่ 2

1. ทำการสร้างจุดอ้างอิง (Hardpoint) 1 จุดเป็นตำแหน่งอ้างอิง

- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Hardpoint เลือก New
- ในช่อง Hardpoint Name พิมพ์ Steering_shaft_rear_mount
- Type : Single
- ในช่อง Location พิกัด 317.5,170 ,390



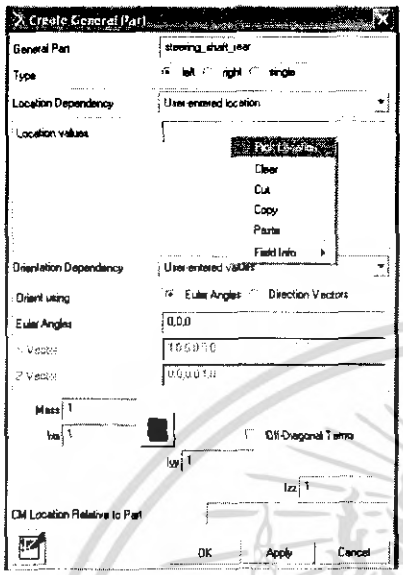
รูปที่ 5.20 การสร้างจุดอ้างอิงแกนพวงมาลัยส่วนที่ 2

2. กำหนดชิ้นส่วนแกนพวงมาลัย (General Part)

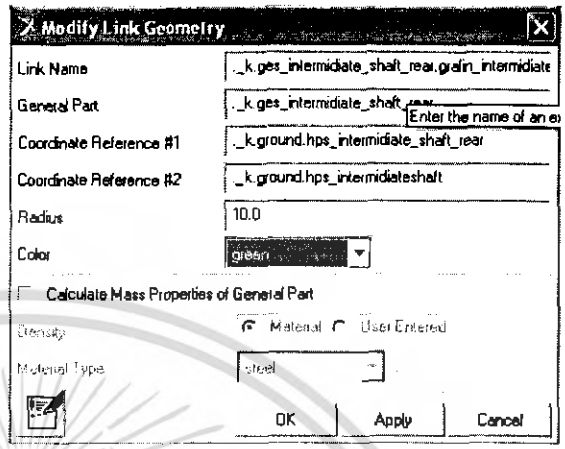
- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Part ชี้ไปที่ General Part เลือก New
- พิมพ์ชื่อ : Steering_shaft_rear
- ในช่อง Location Value คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชี้ไปที่ Hardpoint ที่เราสร้าง Steering_shaft_rear _mount
- ในช่อง Euler Angle ใส่ค่า 0,0,0
- ในช่อง Mass ใส่ค่าเท่ากับ 1



รูปที่ 5.21 การกำหนดชิ้นส่วนแกนพวงมาลัยส่วนที่ 2



รูปที่ 5.22 การสร้างชิ้นส่วนแกนพวงมาลัยส่วนที่ 2

3. สร้างชิ้นส่วนแกนพวงมาลัย (Geomatry)

- สร้าง แกนพวงมาลัย(Steering_shaft_rear) เป็นแบบทรงกระบอก
- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Geometry ชี้ไปที่ Link เลือก New
- พิมพ์ชื่อ Link Name : Steering_shaft_rear
- ในช่องGeneral Part คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- เลือกไปยังจุด Hardpoint (พิกัด317.5,170,390)
- กำหนดรัศมี 10 มิลลิเมตร
- กำหนดสีของชิ้นส่วนเฟือง : green คลิ๊ก OK จะปรากฏชิ้นส่วนเฟืองบรรทัดดังรูป

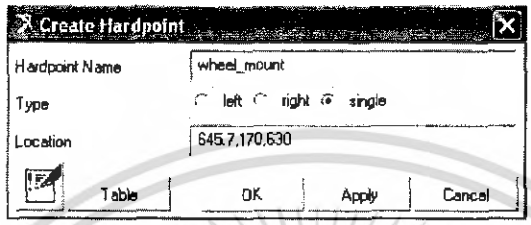
รูปที่ 5.23 ชิ้นส่วนแกนพวงมาลัยส่วนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 สร้างพวงมาลัย (Wheel)

1. ทำการสร้างจุดอ้างอิง (Hardpoint) 1 จุดเป็นตำแหน่งอ้างอิง

- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Hardpoint เลือก New
- ในช่อง Hardpoint Name พิมพ์ Wheel_mount
- Type : Single
- ในช่อง Location พิกัด 645.7,170 ,630



รูปที่ 5.24 การสร้างจุดอ้างอิงพวงมาลัย

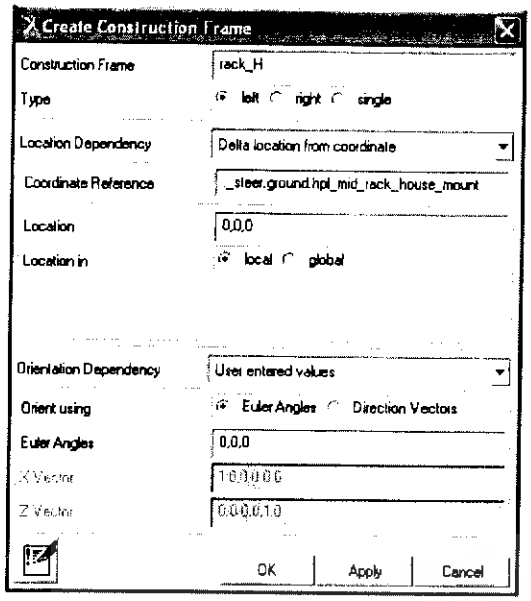
2. กำหนดชิ้นส่วนพวงมาลัย (General Part)

- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Part ชี้ไปที่ General Part เลือก New
- พิมพ์ชื่อ : Wheel
- ในช่อง Location Value คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- ชี้ไปที่ Hardpoint ที่เราสร้าง Wheel_mount
- ในช่อง Euler Angle ใส่ค่า 0,0,0
- ในช่อง Mass ใส่ค่าเท่ากับ 1

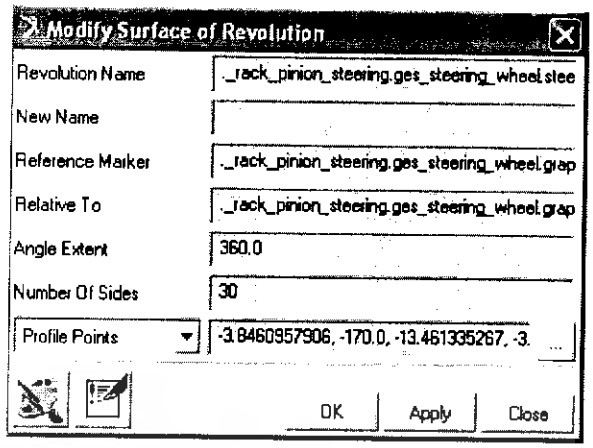
3. กำหนดโครงสร้างสมมุติ (Construction Frame)

- เนื่องจากคำสั่งสร้างทรงกระบอกกลวง(Cylinder) ในโปรแกรมอดัมส์ (ADUMS) ต้องการโครงสร้างสมมุติ เพื่อใช้เป็นแกนอ้างอิงของแกนทรงกระบอก
- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Construction Frame เลือก New
- ในช่อง Location Dependency คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- ชี้ไปที่ Hardpoint ที่เราสร้าง Wheel_mount จะปรากฏชื่อในช่องคำสั่งดังรูป
- ในช่อง Coordinate Reference คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- ชี้ไปที่ Hardpoint ที่เราสร้าง Wheel_mount จะปรากฏชื่อในช่องคำสั่งดังรูป
- ในช่อง Euler Angle ใส่ค่า 0,0,0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



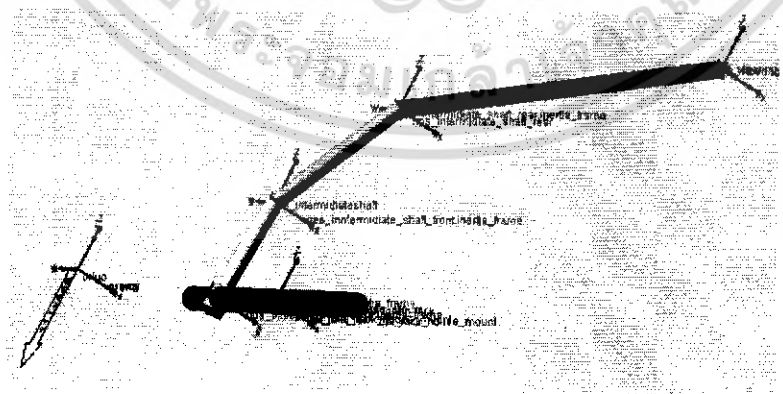
รูปที่ 5.25 การกำหนดโครงสร้างสมมุติพวงมาลัย



รูปที่ 5.26 การสร้างพวงมาลัย

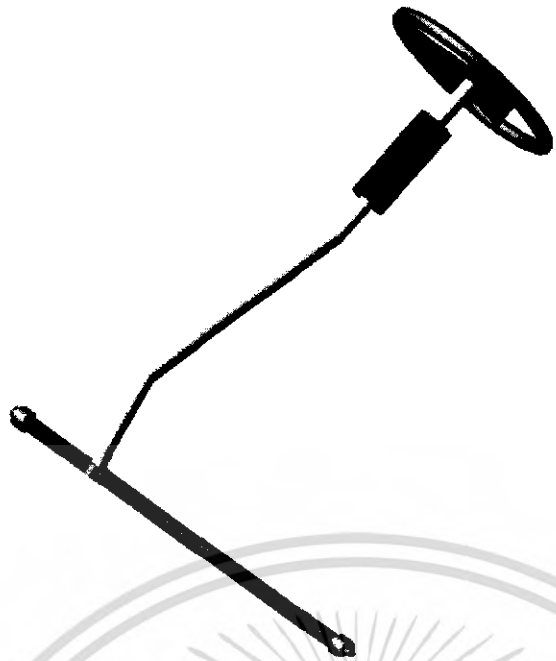
4. สร้างชิ้นส่วนพวงมาลัย

- สร้าง Wheel เป็นแบบ Surface revolution
- จากเมนูใช้คำสั่ง Build ชี้ไปที่คำสั่ง Geometry ชี้ไปที่ Surface เลือก New
- พิมพ์ชื่อ Name : Wheel
- ในช่องGeneral Part คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Pick Location
- เลือกไปยังจุด Hardpoint จุดที่ 1(พิกัด 645.7,170 ,390)
- ในช่อง Construction Frame คลิ๊กเมาท์ข้างขวาเลือก Pick Location
- เลือกไปยัง Construction Frame ที่เราสร้างไว้ในขั้นที่ 3
- Angle Extent : 360
- กำหนดสีของชิ้นส่วนเสื้อเฟืองพวงมาลัย green
- คลิ๊ก OK จะปรากฏชิ้นส่วนเสื้อเฟืองพวงมาลัยดังรูป



รูปที่ 5.27 การสร้างคอพวงมาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.28 การสร้างพวงมาลัย

3. Creating and Defining Attachments and Parameters

- จากเมนูใช้คำสั่ง **Build** ชี้ไปที่คำสั่ง **Attachments** ชี้ไปที่ **Joint** เลือก **New**

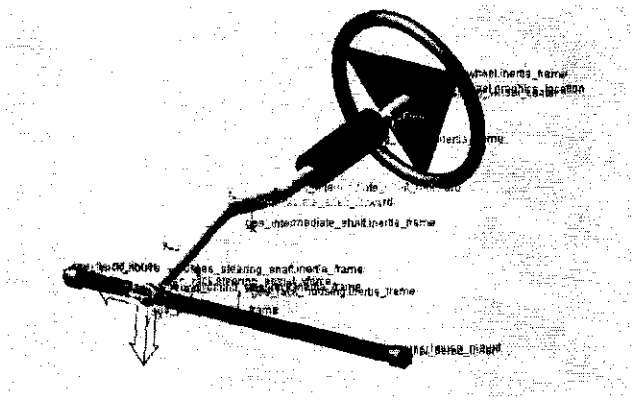
  -เลือก จุดยึดติดตามคุณลักษณะจริง

  กำหนดจุดเชื่อมต่อ

รูปที่ 5.29 การสร้างข้อต่อและจุดยึด

รูปที่ 5.30 แสดงตำแหน่งข้อต่อและจุดยึด

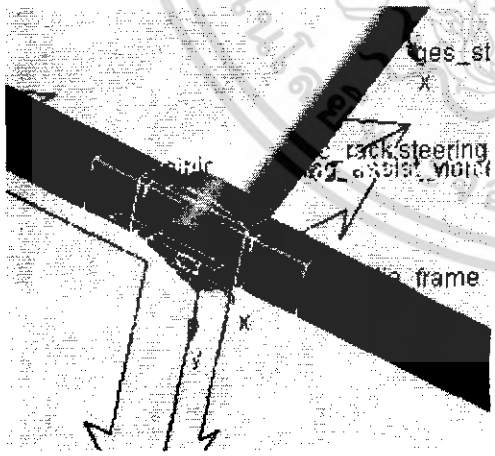
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



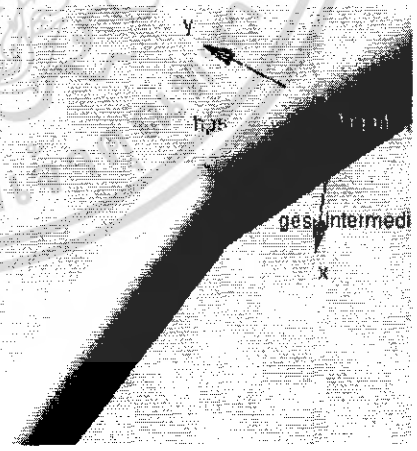
รูปที่ 5.31 แสดงตำแหน่งข้อต่อและจุดยึด (Solid Shade)

คู่พาร์ทที่ยึดกัน	ยึดติดกันแบบ	ฮาร์ดพอยท์ที่เกี่ยวข้อง
1.Inner_rack กับ Pinion	Bushing และ Revolute joint	Inner_Rack _mount, pinion_mount
2.Steering_shaft_front กับ Steering_shaft_rear	Hooke joint	Steering_shaft_mount
3.Steering_shaft_rear	Hooke joint	Steering_shaft_rear_mount
4.Steering column กับ Steering_shaft_rear	Cylindrical joint	Steering column_mount
5.Steering_shaft_rear กับ wheel_center	Revolute joint	wheel_mount

ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงคู่สัมผัสและชนิดการยึดติด

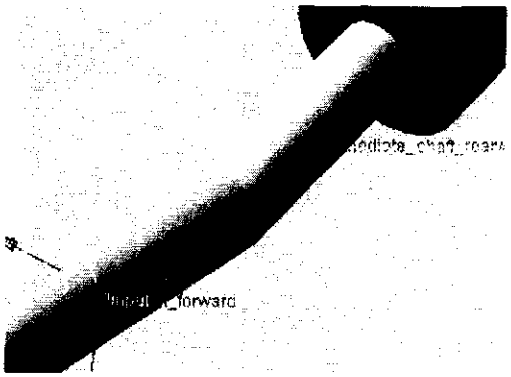


รูปที่ 5.32 แสดงจุดเชื่อมต่อแบบ Revolute joint
คู่ที่ 1 Inner_rack กับ Pinion



รูปที่ 5.33 แสดงจุดเชื่อมต่อแบบ Hookejoint
คู่ที่ 2 Steering_shaft_front กับ Steering_shaft_rear

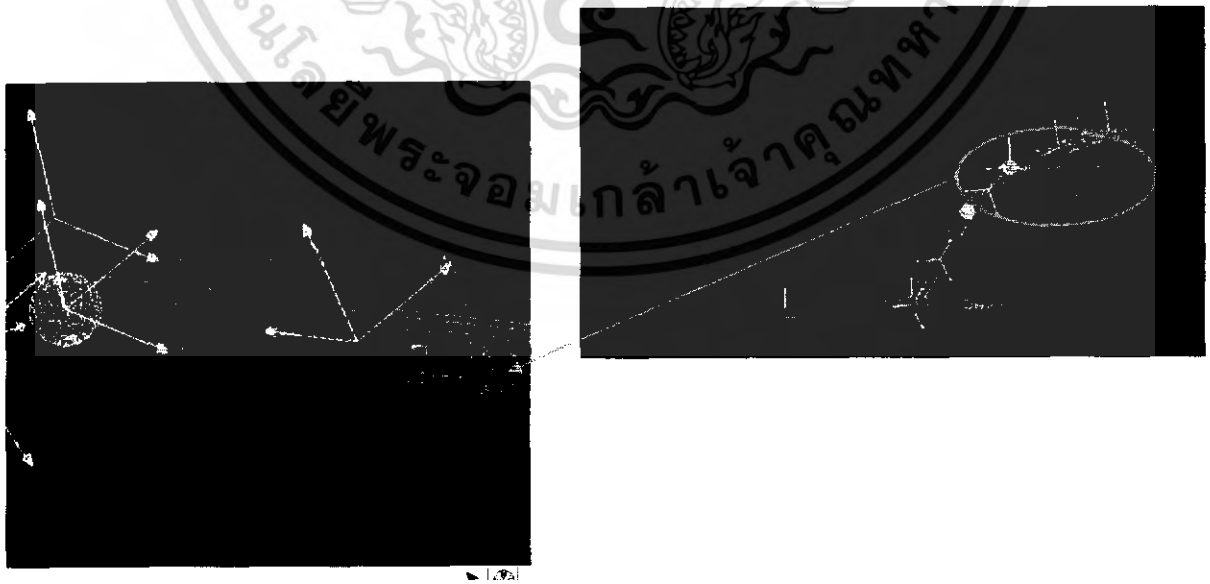
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.34 แสดงจุดเชื่อมต่อแบบ Hooke joint
คู่ที่ 3 Steering_shaft_rear

รูปที่ 5.35 แสดงจุดเชื่อมต่อแบบ Cylindricaljoint
คู่ที่ 4 Steering column กับ Steering_shaft_rear

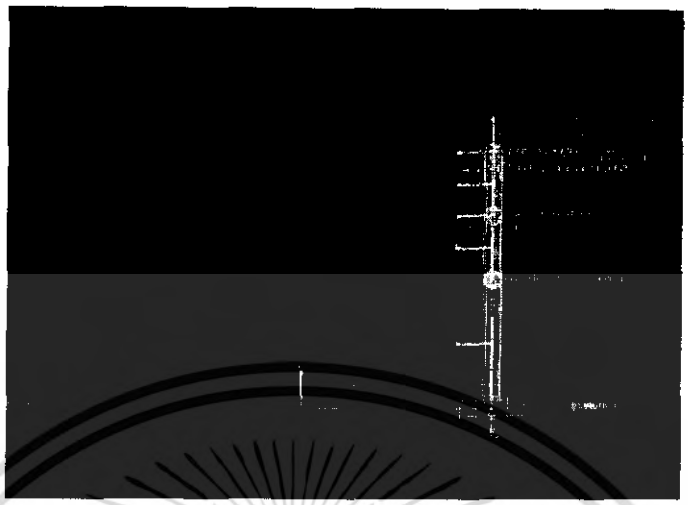
รูปที่ 5.36 แสดงจุดเชื่อมต่อแบบ Revolute joint คู่ที่ 5 Steering_shaft_rear กับ wheel_center



รูปที่ 5.37 แสดงจุดเชื่อมต่อแบบ spherical

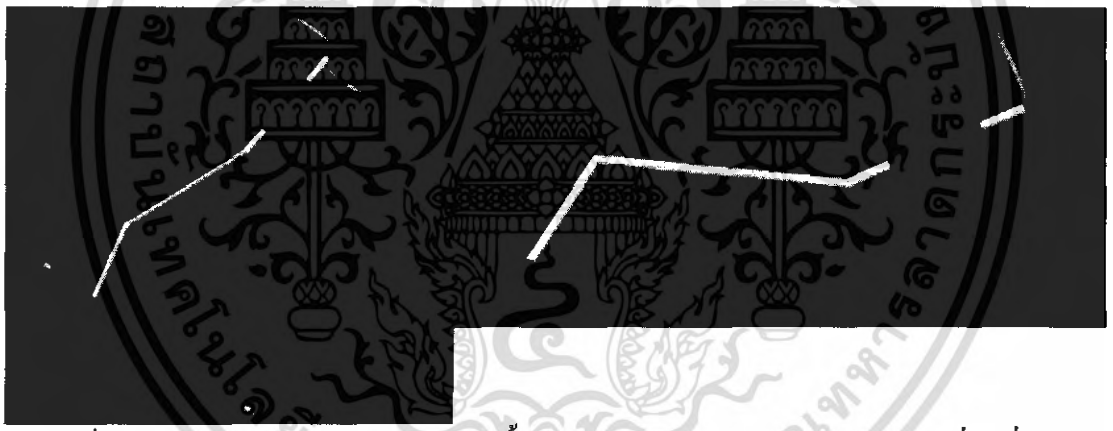
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Assembling the Model for Analysis



รูปที่ 5.38 ส่วนประกอบระบบบังคับเลี้ยวแบบสมบูรณ์

5. Finished up



รูปที่ 5.39, 5.40 ส่วนประกอบระบบบังคับเลี้ยวแบบสมบูรณ์พร้อมทำการจำลองการเคลื่อนที่

การประมวลผลในโปรแกรมอดัมส์ (ADAMS Analysis Assembly : Part Steering System_E20)

เราจะทำการสร้างชุดต้นแบบทดสอบ (Prototype) โดยการเลือกข้อมูล (Open Assembly) ที่เราได้ทำการสร้างไว้ใน Template Builder โดยนำเข้ามาเป็น subsystem และนำมาประกอบใน File assembly

- ทดสอบโดยเลือกที่ Simulation menu จะเกิดช่องข้อความประมวลผล
- โดยการ Input ค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ตามข้อมูลพื้นฐาน โดยชนิดของการวิเคราะห์ (Type of analysis) เป็นแบบ Dynamic Vehicle
- ใส่ค่าการบิดเลี้ยวเป็นองศา (Rotate Steering Wheel) โดยให้บิดจากซ้ายสุดมาขวาสุดแล้วทำการวัดค่ามุมเลี้ยว (Steering Angles) ของล้อเพื่อให้เป็นไปตามหลักอัคเคอร์มาน (Ackermann) โดยเปรียบเทียบมุมเลี้ยวของล้อซ้ายเทียบกับล้อขวา

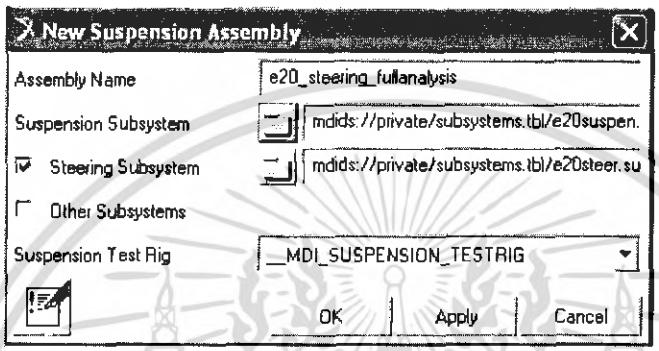
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมวลผลแบบจำลอง (Simulation) รถอี-20

เราจะทำการสร้างแบบจำลอง (Simulation) การบิดเลี้ยวของล้อ เมื่อทำการหมุนพวงมาลัยในโปรแกรม MSC.ADAMS-CAR ในส่วน Standard มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการประกอบระบบบังคับเลี้ยวส่วนหน้าจากชิ้นส่วน (Part) ที่เราสร้างมาจาก Template Builder

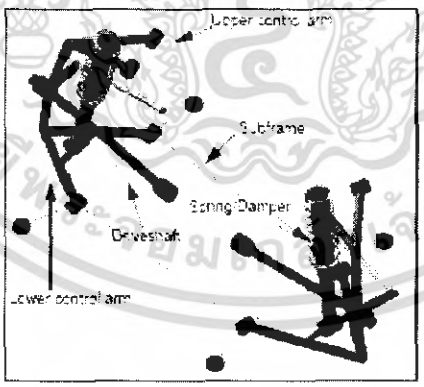
- จากคำสั่ง File → New → Suspension Assembly
- ปรากฏหน้าต่าง ในช่อง Assembly dialog Box ใส่ค่าดังนี้



รูปที่ 5.41 Assembly dialog Box

- พิมพ์ Name : e20_steering_fullanalysis
- Suspension System : คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Search → private/subsystem → e20_suspension

โดยระบบช่วงล่างที่เราเลือกใช้เป็นแบบดับเบิ้ลวิชโบน(Double Wishbone)

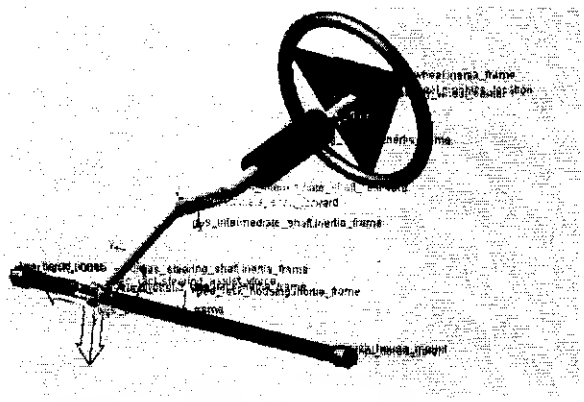


รูปที่ 5.42 ระบบช่วงล่างแบบดับเบิ้ลวิชโบน

- Steering System : คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Search → private/subsystem → e20_steering

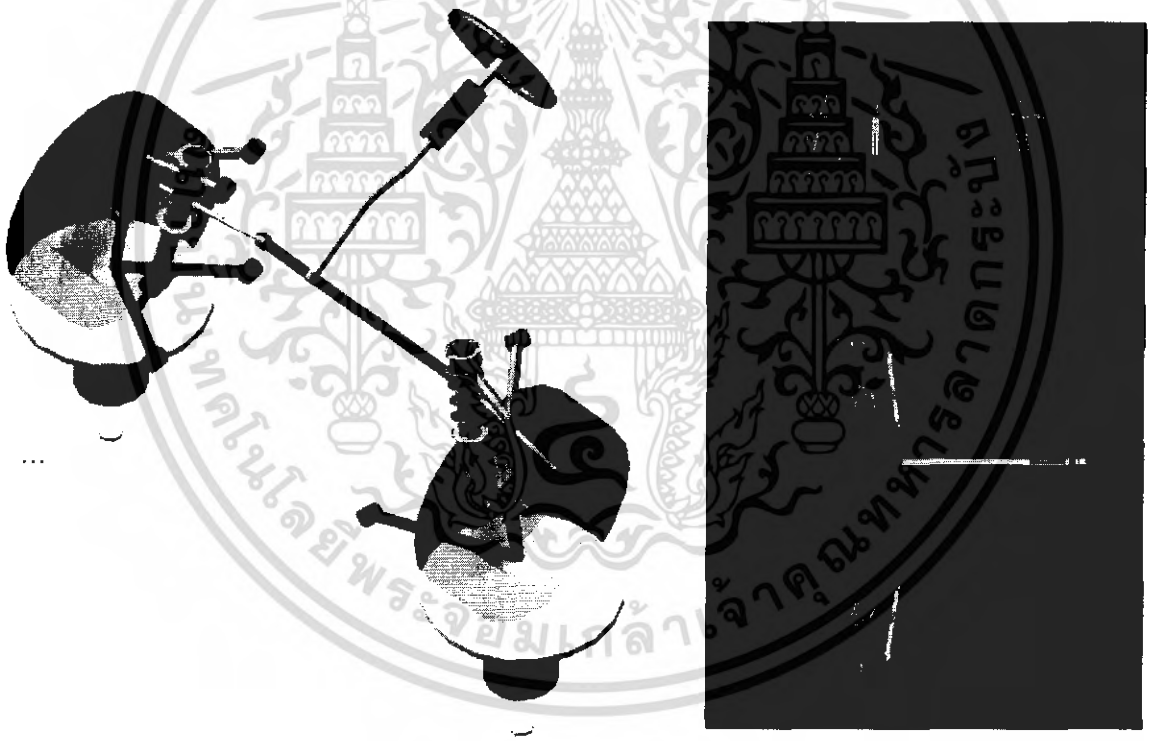
โดยระบบบังคับเลี้ยวที่เราเลือกใช้เป็นแบบแร็คแอนด์พีเนียน(Rack and pinion) ที่เราได้ทำการสร้างขึ้นมาจากขั้นตอนที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.43 ระบบบังคับเลี้ยวแบบแร็คแอนด์พีเนียน (Rack and pinion)

- จะปรากฏส่วนประกอบต่างของระบบบังคับเลี้ยว บนข้อมูลการวิเคราะห์ (Analysis)

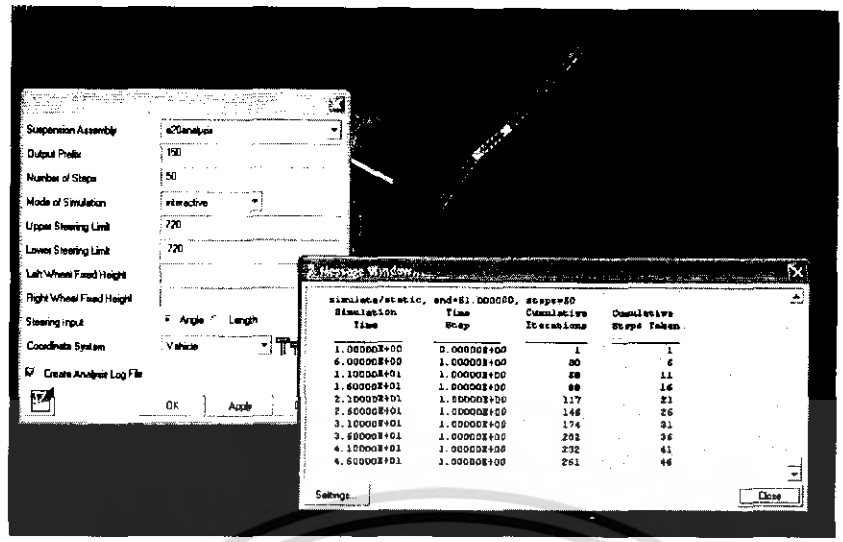


รูปที่ 5.44 ส่วนประกอบต่างของระบบบังคับเลี้ยว (Rack and pinion) พร้อมพิจารณาการหมุนเลี้ยว

2. ทำการกำหนด Parameter โดยการใส่ข้อมูลต่างๆในตารางดังรูปพิจารณาการหมุนเลี้ยวจากซ้ายสุดไปขวาสุดเท่ากับ 720 องศา หรือการหมุนพวงมาลัย 2 รอบ

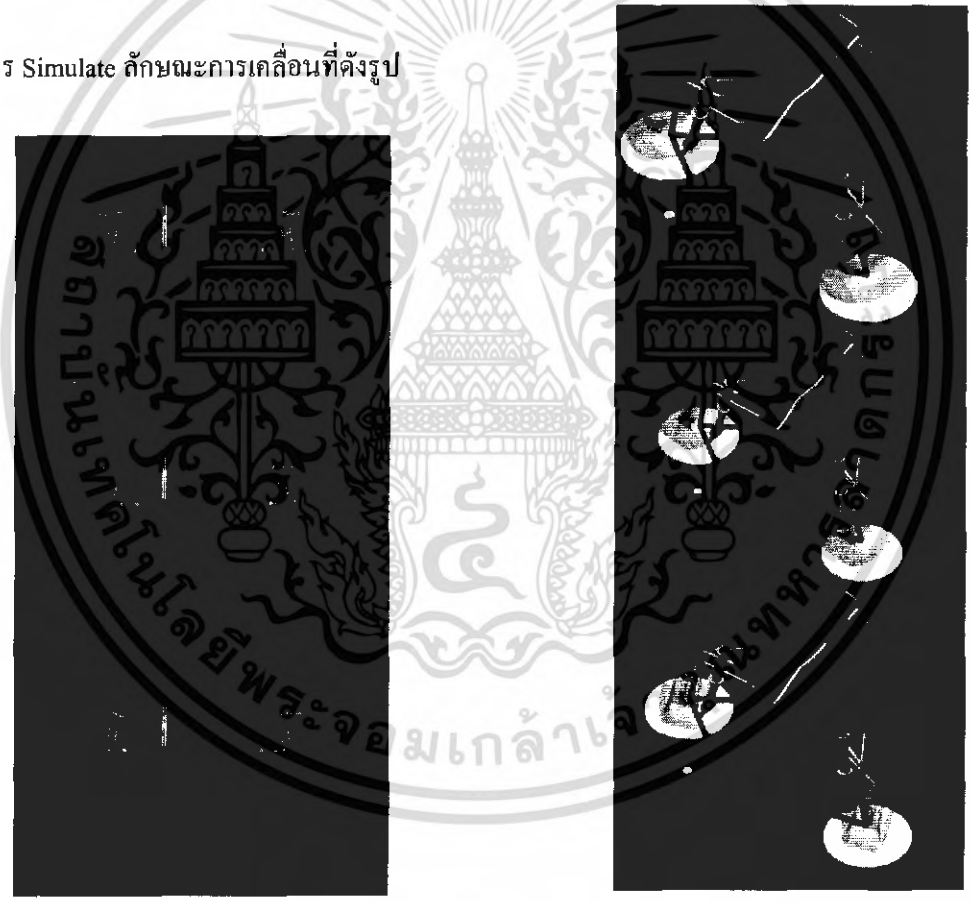
3. ทำการรันโปรแกรมเพื่อรอดูผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.45 การประมวลผลโปรแกรมพิจารณาการหมุนเลี้ยว

4. ผลการ Simulate ลักษณะการเคลื่อนที่ดังรูป



รูปที่ 5.46 การประมวลผลโปรแกรมพิจารณาการหมุนเลี้ยว

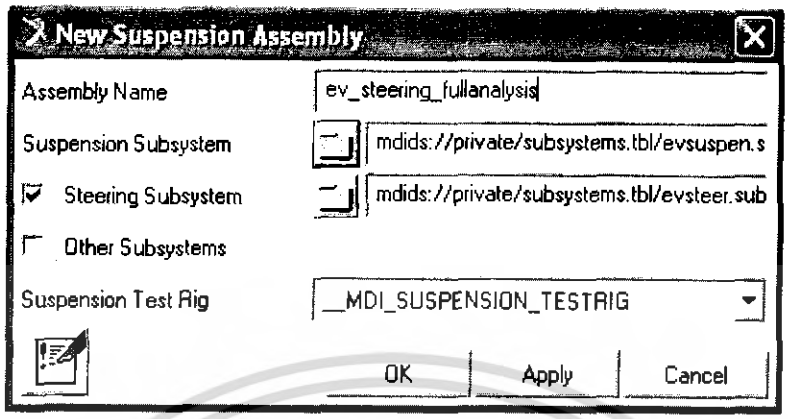
การประมวลผลแบบจำลอง (Simulation) รถอีวี

เราจะทำการสร้างแบบจำลอง (Simulation) การบิดเลี้ยวของล้อ เมื่อทำการหมุนพวงมาลัยใน โปรแกรม MSC.ADAMS-CAR ในส่วน Standard มีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการประกอบระบบบังคับเลี้ยวส่วนหน้าจากชิ้นส่วน(Part) ที่เราสร้างมาจาก Template Builder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

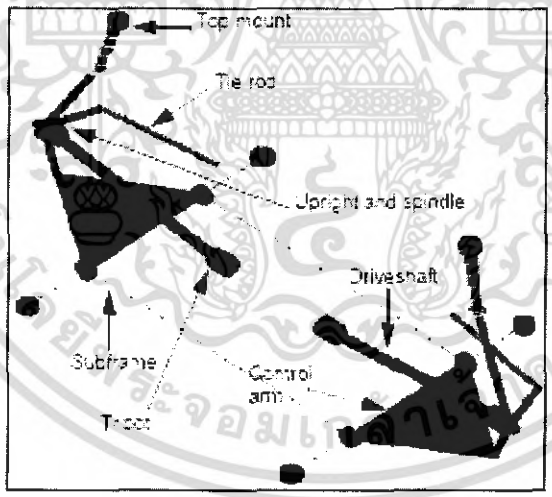
- จากคำสั่ง File → New → Suspension Assembly
- ปรากฏหน้าต่าง ในช่อง Assembly dialog Box ใส่ค่าดังนี้



รูปที่ 5.47 Assembly Dialog Box

- พิมพ์ Name : ev_steering_fullanalysis
- Suspension System : คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Search → private/subsystem → e20_suspension

โดยระบบช่วงล่างที่เราเลือกใช้เป็นแบบแมคเฟอสันสตรัท(Macpherson)

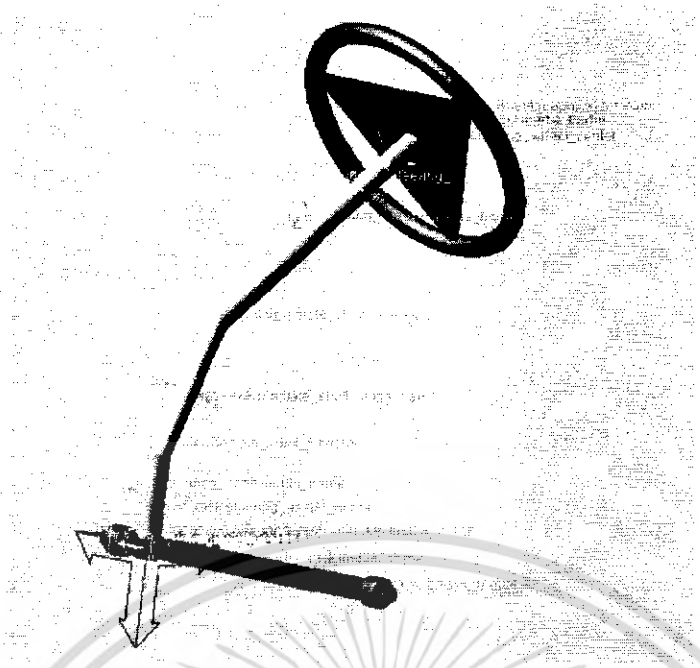


รูปที่ 5.48 ระบบช่วงล่างที่เราเลือกใช้แบบแมคเฟอสันสตรัท (Macpherson)

- Steering System : คลิ๊กเมาท์ข้างขวา เลือก Search → private/subsystem → c20_steering

โดยระบบบังคับเลี้ยวที่เราเลือกใช้เป็นแบบแร็คแอนด์พีเนียน(Rack and pinion) ที่เราได้ทำการสร้างขึ้นมาจากขั้นตอนที่ผ่านมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.49 ระบบบังคับเลี้ยวที่เราเลือกใช้แบบแร็คแอนด์พีเนียน (Rack and pinion)

- จะปรากฏส่วนประกอบต่างของระบบบังคับเลี้ยว บนข้อมูลการวิเคราะห์ (Analysis)

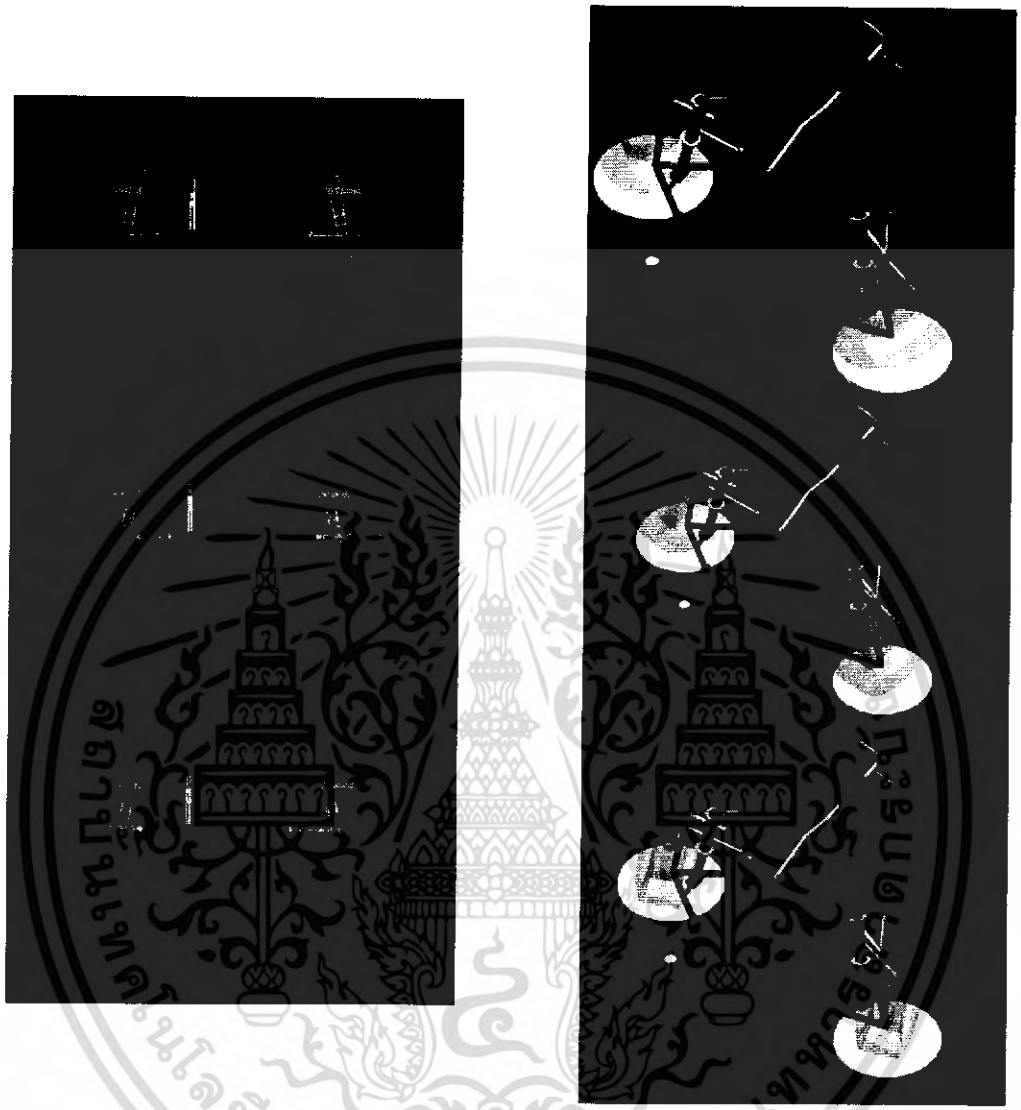
รูปที่ 5.50 ส่วนประกอบต่างของระบบบังคับเลี้ยว

2. ทำการกำหนด Parameter โดยการใส่ข้อมูลต่างๆในตารางดังรูปพิจารณาการหมุนเลี้ยวจากซ้ายสุดไป ขวาสุดเท่ากับ 720 องศา หรือการหมุนพวงมาลัย 2 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ทำการรันโปรแกรมเพื่อรอดูผล

4. ผลการ Simulate ลักษณะการเคลื่อนที่ดังรูป



รูปที่ 5.51 การประมวลผลโปรแกรมพิจารณาการหมุนเลี้ยวของรถอีวี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การใช้โปรแกรม MSC.ADAMS-View ในการวาดแบบจำลองการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนระบบบังคับเลี้ยวและวิเคราะห์ค่าต่างๆในโปรแกรม

โปรแกรม MSC.ADAMS-View เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการออกแบบชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ต่างๆเพื่อทำการจำลองการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนระบบบังคับเลี้ยวแล้วดูค่าผลลัพธ์ต่างๆ ออกมาบนชิ้นส่วนแต่ละชิ้น เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่ มุม แรง การกระจัด ความเร็ว และ ความเร็วรอบ เป็นต้น

การที่เลือกใช้ MSC.ADAMS-View สาเหตุเนื่องจากเป็นภาษาที่เหมาะสมกับการออกแบบง่ายต่อการเรียนรู้ เป็นโปรแกรมเฉพาะทางด้านการออกแบบจำลองการเคลื่อนที่ต่างๆสามารถคำนวณค่าผลลัพธ์ที่เราต้องการและจำลองการเคลื่อนที่ได้สะดวกและรวดเร็ว

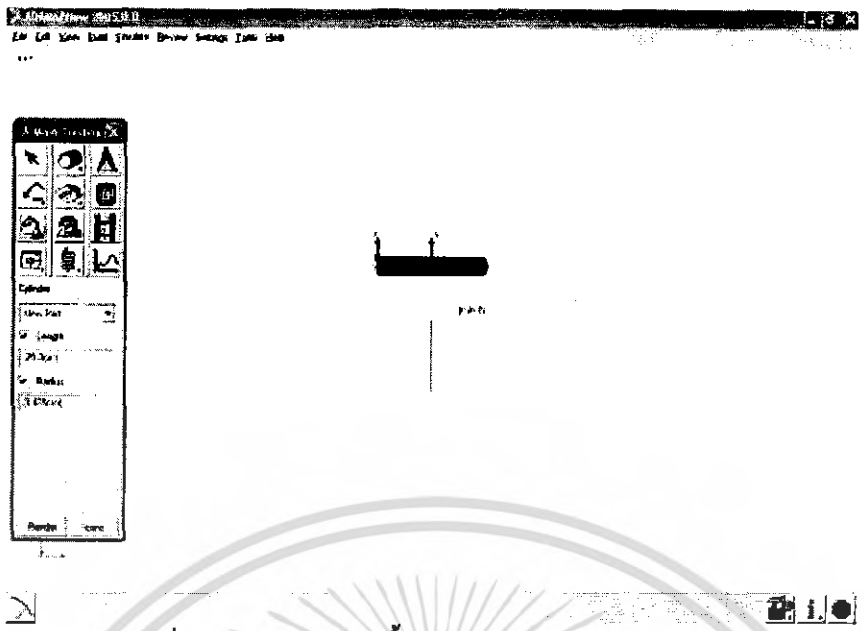
1. การเข้าโปรแกรมและการวาดรูปชิ้นงาน

โดยเริ่มจาก เปิดโปรแกรมแล้วเลือกที่ Start เลือก Programs เลือกไปที่ MSC.Software เลือก MSC.ADAMS เลือก ADAMS-View เลือก Create a new model จากนั้นเราจะเลือกหน่วยในการพิจารณา ในที่นี้เราจะใช้หน่วยเป็นมิลลิเมตร กิโลกรัม นิวตัน วินาที องศา (MMKS-mm,kg,N,s,deg) กด OK

รูปที่ 5.52 แสดงการเข้าโปรแกรม ADAMS-View

ทำการวาดรูปชิ้นงานโดยเลือกที่ Main Toolbox ตรง Rigid Body: สามารถวาดทรงกระบอกด้วยคำสั่ง Cylinder โดยวาดปลอกครอบชุดเฟืองบรรทัด ให้มีขนาดความยาว 20 เซนติเมตร รัศมี 1.435 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



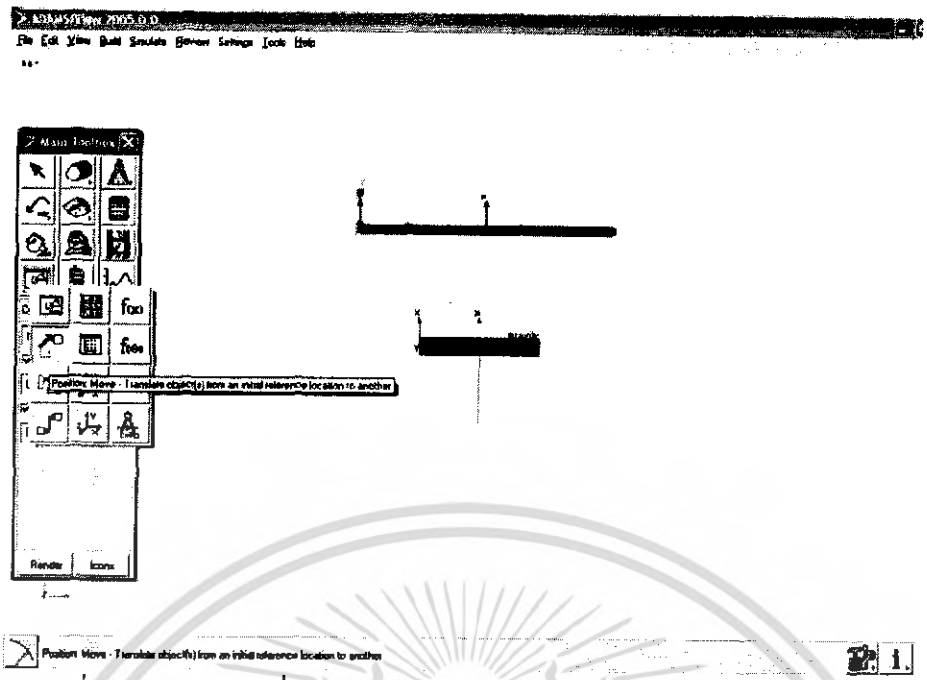
รูปที่ 5.53 แสดงการวาดชิ้นส่วนปลอกครอบเฟืองบรรทัด

และจะทำการเจาะรูเพื่อใส่เฟืองบรรทัด (Rack) ด้วยคำสั่ง Add a hole โดยเลือกที่ชิ้นส่วนก่อน แล้วเลือกพื้นผิวที่ต้องการเจาะเราจะเจาะให้ทะลุเป็นความยาว 20 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5.54

รูปที่ 5.54 แสดงภาพปลอกเฟืองบรรทัดที่เจาะรูแล้ว

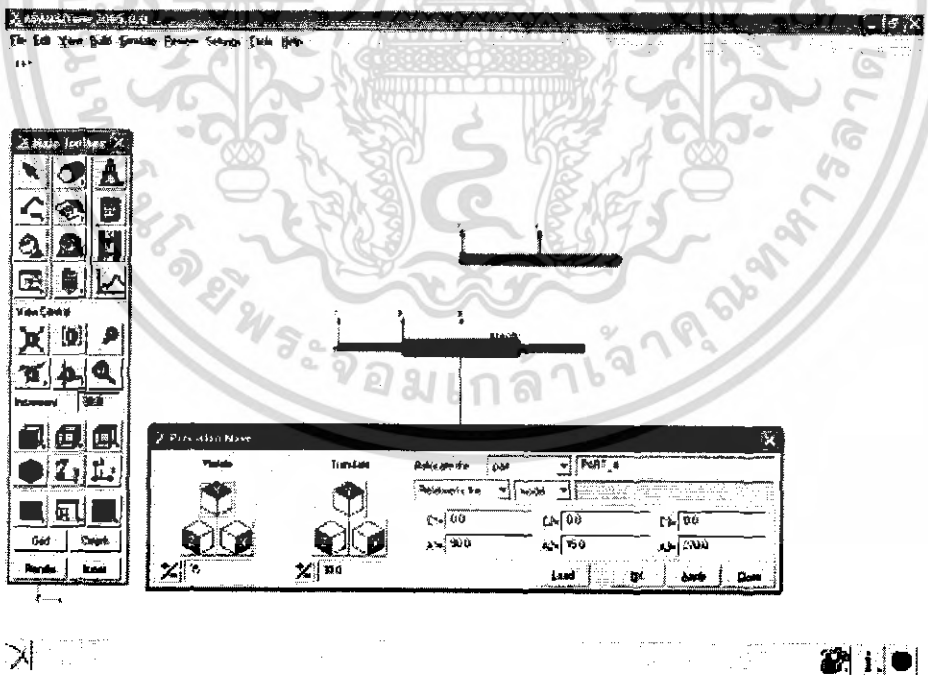
วาดเฟืองบรรทัด (Rack) ด้วยคำสั่ง Cylinder ความยาว 42 เซนติเมตร รัศมี 0.72 เซนติเมตร แล้วใช้คำสั่ง Translate นำเฟืองบรรทัด (Rack) มาใส่ไว้ในปลอกเฟืองบรรทัดโดยเราจะเลือกที่ชิ้นส่วนเฟืองบรรทัด แล้วเลือกจุดตรงกลางที่ต้องการเคลื่อนที่นำมาต่อกับจุดตรงกลางของปลอกครอบเฟืองบรรทัด ดังรูปที่ 5.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.55 แสดงการเคลื่อนเฟืองบรรทัดมาประกอบกับปลอกครอบเฟืองบรรทัด

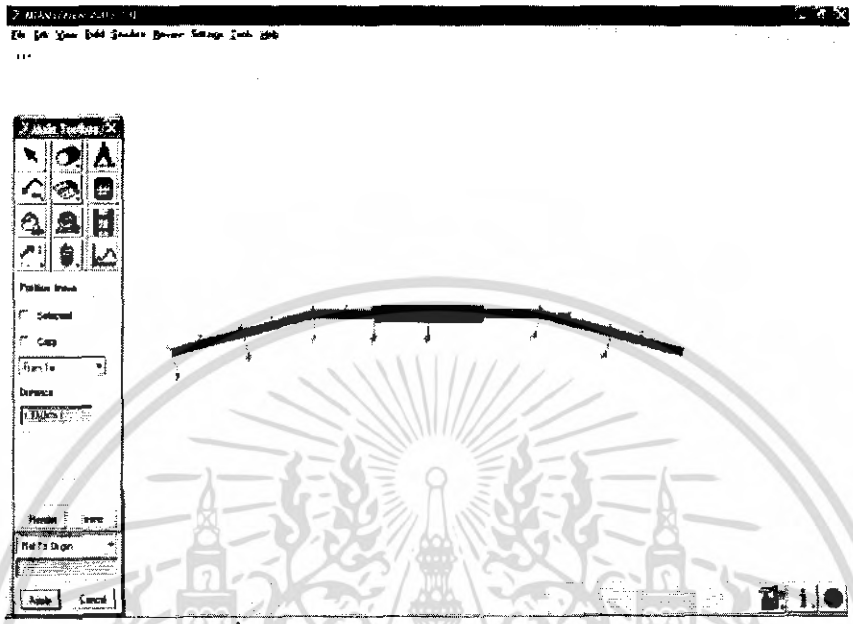
ทำการวาดแขนคันส่ง (Tie rod) ด้วยคำสั่ง Cylinder ขนาดความยาว 27.5 เซนติเมตร รัศมี 0.72 เซนติเมตร และหมุนมุมในแนวแกน y โดยใช้คำสั่ง Position: Reposition objects relative to coordinates เลือกที่ Rotation ทำการหมุนแขนคันส่ง (Tie rod) เป็นมุม 15 องศา



รูปที่ 5.56 แสดงการหมุนแขนคันส่ง

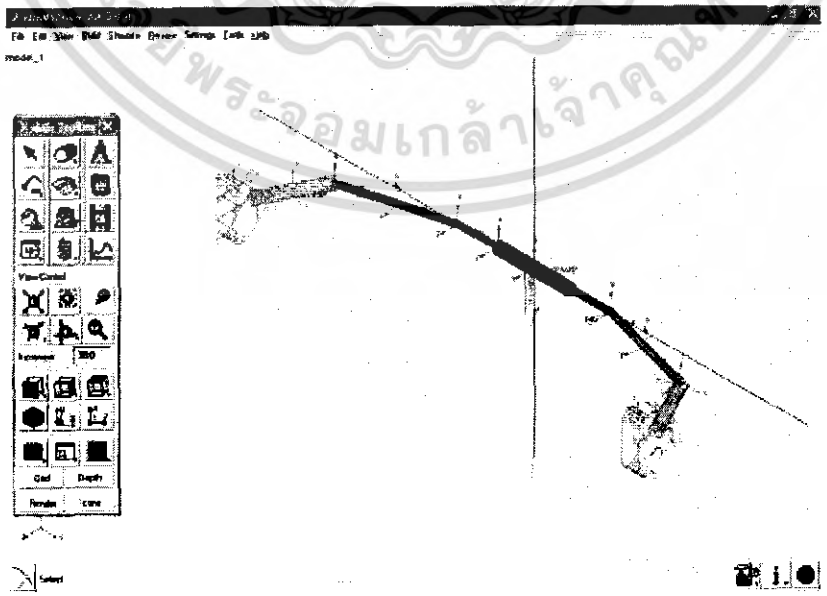
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการสร้างแขนคันส่งอีกข้างและทำการหมุนแขนคันส่งแล้วนำเข้าประกอบกับชิ้นส่วนของเฟืองบรรทัด (Rack) ทั้งสองข้าง โดยเลือกใช้คำสั่ง Translate นำแขนคันส่ง (Tie rod) ที่ได้ทำการหมุน 15 องศาจากแกน y แล้วนำมาต่อที่ปลายทั้งสองข้างของเฟืองบรรทัดดังรูปที่ 5.57



รูปที่ 5.57 แสดงการประกอบแขนของคันส่ง

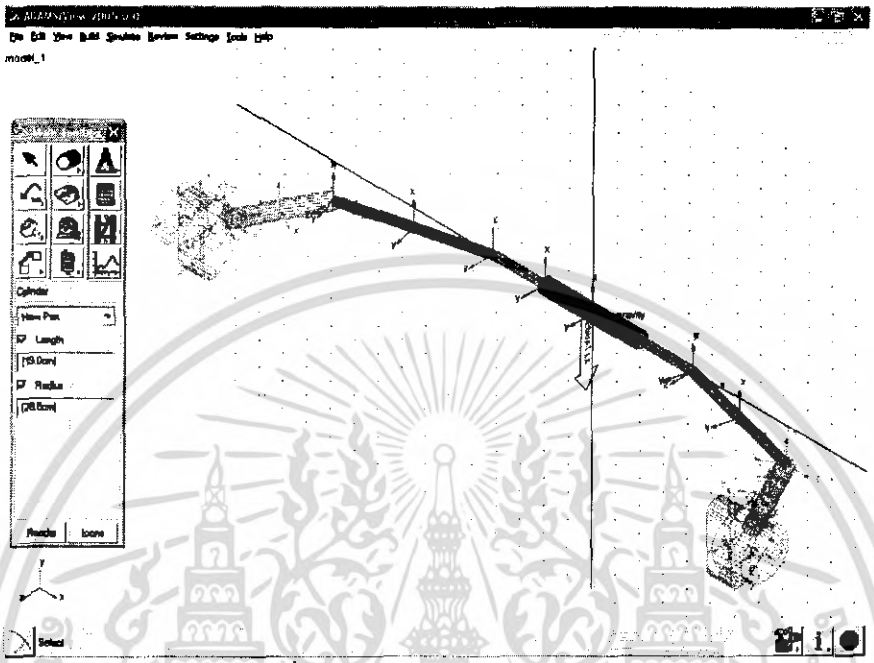
ทำการวาดคอม้าสมมติ โดยประกอบด้วย ก้านสำหรับต่อวาดด้วยคำสั่ง Cylinder ขนาดความยาว 17 เซนติเมตร รัศมี 1.5 เซนติเมตร ทำการหมุนในแนวแกน y เป็นมุม 62 องศากับตัวคอม้าที่วาดด้วยคำสั่ง Rigid Body Plate หนา 5 เซนติเมตร นำก้านคอม้าสมมติมาติดที่ปลายแขนคันส่ง (Tie rod) ทั้งสองข้างด้วยคำสั่ง Translate และนำคอม้ามาต่อที่ปลายของก้านคอม้าสมมติอีกข้างด้วยคำสั่ง Translate ดังรูป



รูปที่ 5.58 แสดงการประกอบชุดคอม้าสมมติ

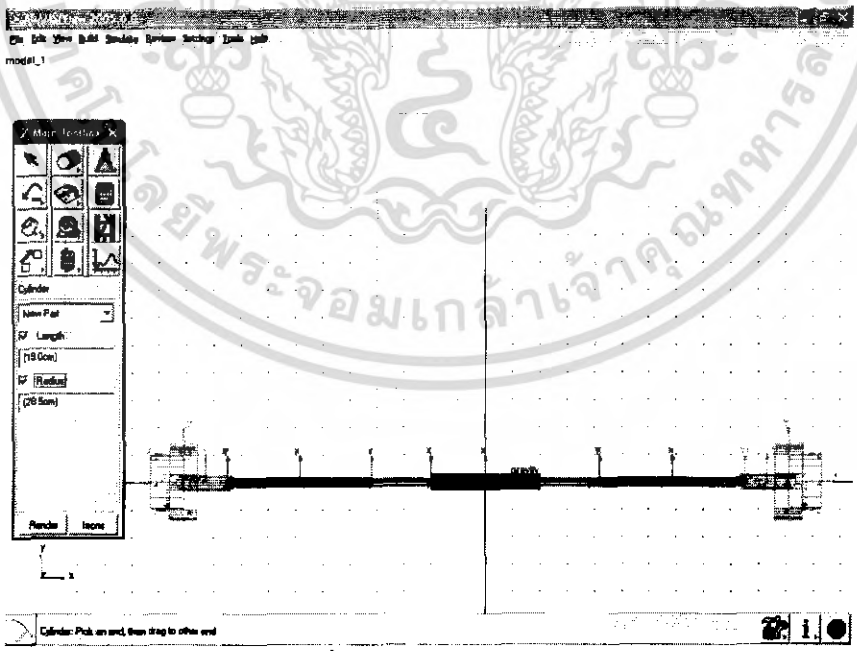
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวาดดุมล้อ ด้วยคำสั่ง Cylinder ขนาดความยาว 6 เซนติเมตร รัศมี 5 เซนติเมตร จำนวน 2 ชิ้น และนำมาติดที่ปลายค้อม้าด้วยคำสั่ง Translate



รูปที่ 5.59 แสดงการประกอบดุมล้อ

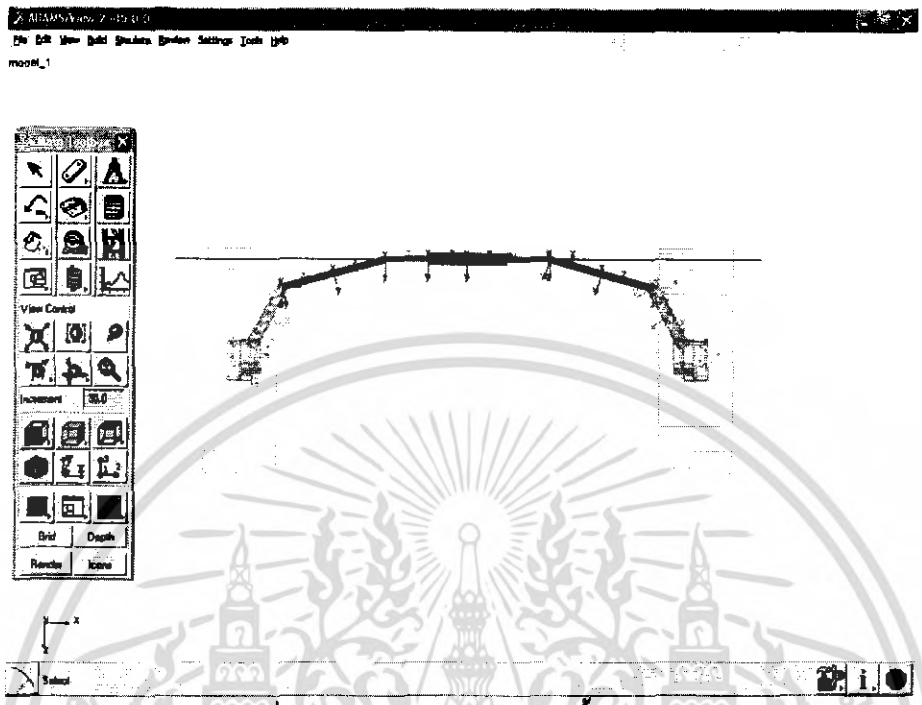
ทำการวาดล้อด้วยคำสั่ง Cylinder ขนาดความยาว 19 เซนติเมตร รัศมี 28.5 เซนติเมตร



รูปที่ 5.60 แสดงการวาดล้อ

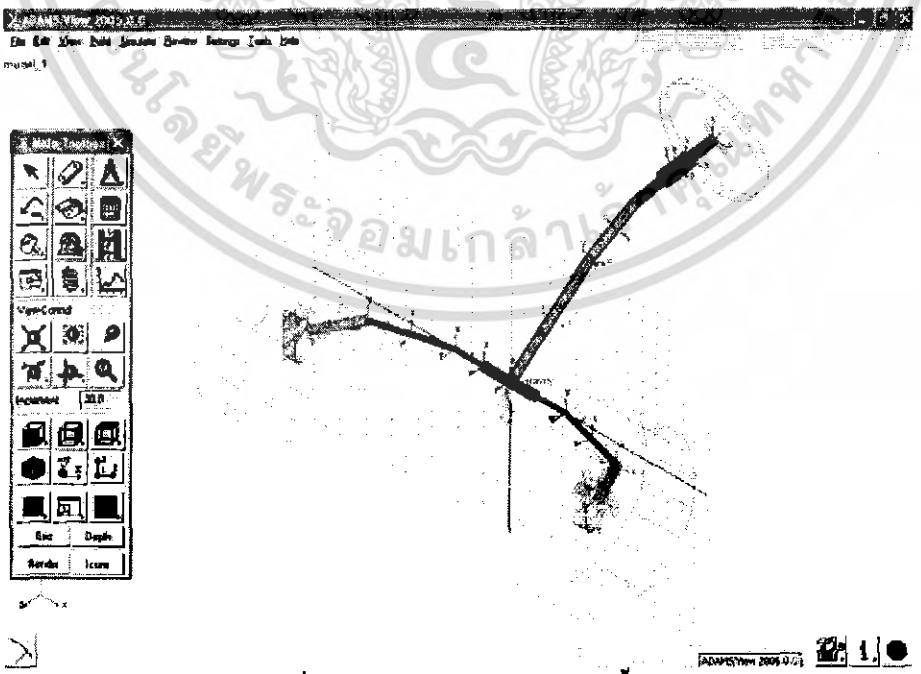
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวาดล้ออีกข้างแล้วนำมาประกอบใส่เข้าที่คุมล้อด้วยคำสั่ง Translate โดยจะติดที่กลางดุมล้อทั้งสองข้าง



รูปที่ 5.61 แสดงการประกอบล้อทั้งสองข้าง

ทำการวาดก้านพวงมาลัย คอพวงมาลัย พวงมาลัยด้วยคำสั่ง Cylinder นำมาประกอบเข้ากับเฟืองบรรทัดดังรูปที่ 5.62



รูปที่ 5.62 แสดงภาพระบบบังคับเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกำหนดลักษณะการเคลื่อนที่

ในการจะทำการเคลื่อนที่เพื่อศึกษาเราจะต้องกำหนดลักษณะการเคลื่อนที่ที่จุดต่างๆ ดังนี้

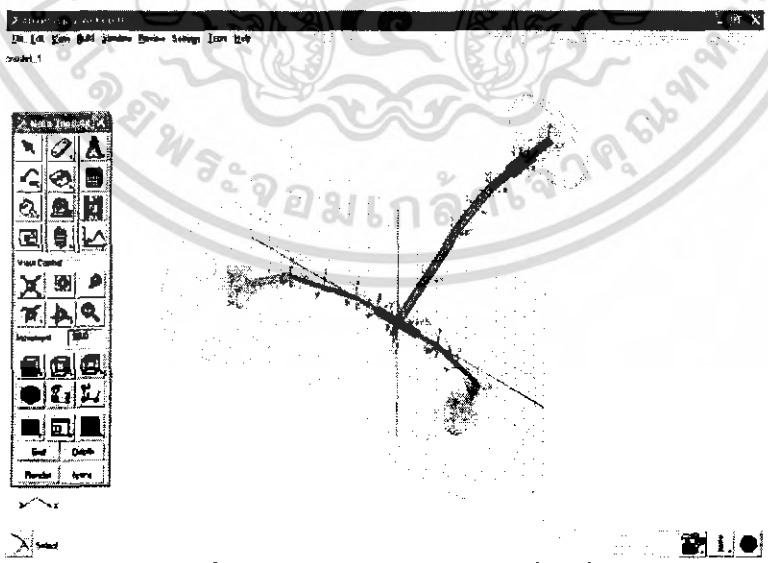
2.1. Revolute Joint คือ การตั้งค่าให้สามารถหมุนรอบแกนซึ่งมีลักษณะคล้ายบานพับ การตั้งค่าเริ่มต้นของของ Revolute Joint คือ One location และ Normal to grid (ตั้งฉากกับจุด) ซึ่งเป็นการอธิบายการหมุนของ Joint ถ้าเลือก One location หมายความว่า ชิ้นส่วน (Part) จะถูกผูกติดไว้กับ Ground ถ้าเลือก 2 Bod-1Loc จะเป็นการให้ชิ้นส่วน (Part) ทั้งสองชิ้นหมุนรอบซึ่งกันและกัน

2.2. Hooke Joint คือ การตั้งค่าให้สามารถหมุนเยื้องแกนระหว่างสองแกนได้มีลักษณะคล้ายข้ออ่อน

2.3. Fixed Joint คือ การตั้งค่าให้สามารถจับยึดชิ้นส่วน 2 ชิ้นเข้าด้วยกัน ดังนั้นชิ้นส่วนทั้งสองจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เมื่อเทียบกันเอง ผลที่เกิดขึ้นคล้ายกับการรวมชิ้นส่วน (Part) ทั้งสองชิ้นเข้าด้วยกันเป็นชิ้นเดียว

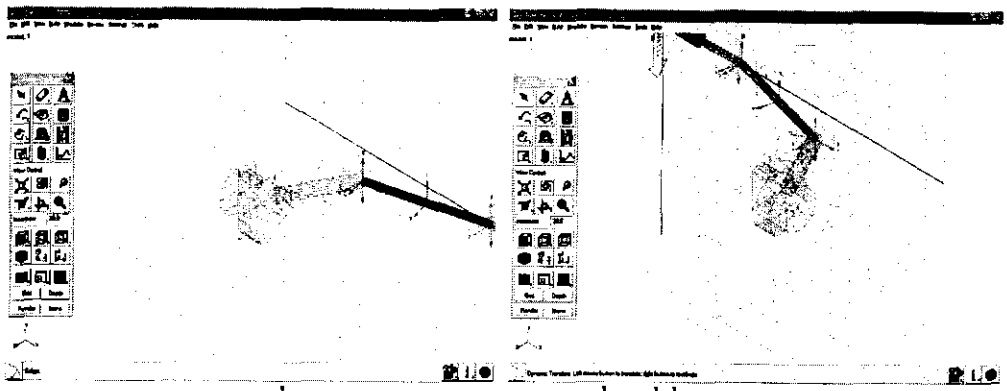
2.4. Translational Joint คือ การตั้งค่าให้มีการเคลื่อนที่ไปทางตรงตามเวกเตอร์ที่กำหนดโดยเคลื่อนที่สัมพัทธ์เมื่อเทียบกับชิ้นส่วนอื่น โดยชิ้นส่วน (Part) นั้นจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงเท่านั้น ไม่มีการหมุนเกิดขึ้น ทิศทางการเคลื่อนที่ของ Translational Joint นั้นจะขนานไปในทิศทางเดียวกับเวกเตอร์ที่กำหนดไว้ในตอนสร้าง

2.5. Cylindrical Joint คือ การตั้งค่าให้มีการเคลื่อนที่ไปทางตรงตามเวกเตอร์ที่กำหนดโดยเคลื่อนที่สัมพัทธ์เมื่อเทียบกับชิ้นส่วนอื่น โดยชิ้นส่วน (Part) นั้นจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงและสามารถหมุนรอบแกนได้ ทิศทางการเคลื่อนที่จะขนานไปในทิศทางเดียวกับเวกเตอร์และหมุนได้ ซึ่งเราได้กำหนดการเคลื่อนที่จุดต่างๆดังรูปที่ 5.63



รูปที่ 5.63 แสดงการกำหนดการเคลื่อนที่

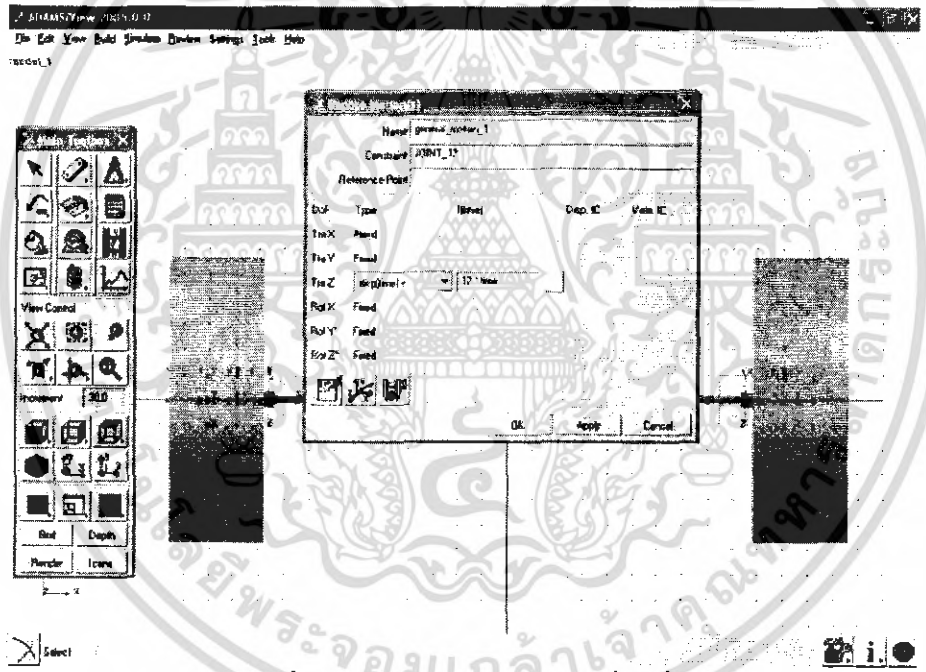
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.64 แสดงการกำหนดการเคลื่อนที่ที่จุดต่างๆ

3. การประมวลผล (Simulation)

ทำการกำหนดให้มีการเคลื่อนที่ตรงเฟืองบรรทัด (Rack) โดยเลือกที่เฟืองบรรทัด (Rack) แล้วคลิ๊กขวาเข้า Modify กำหนดฟังก์ชันโดยเราจะให้เฟืองบรรทัดนั้นเคลื่อนที่เป็นระยะทางที่เฟืองบรรทัดที่ได้จริง ดังรูปที่ 5.65



รูปที่ 5.65 แสดงการกำหนดการเคลื่อนที่

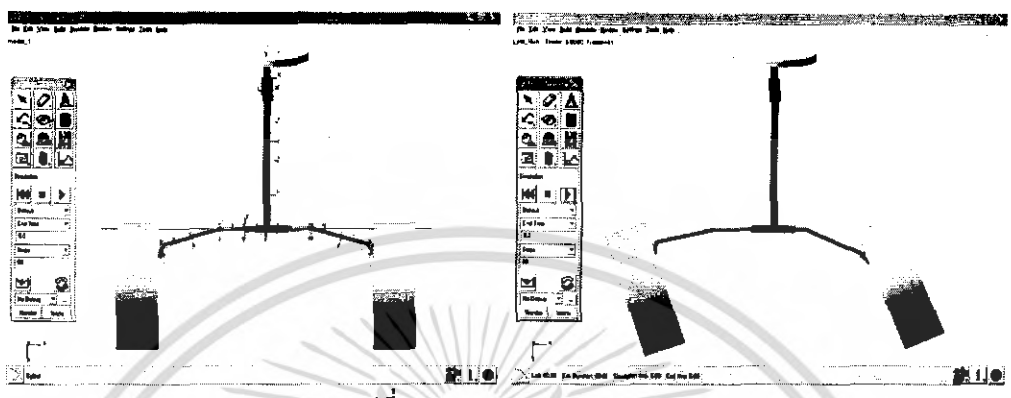
เราสามารถ Simulation model ได้โดยเลือกที่ Simulation Tool ซึ่งจะปรากฏ Simulation Panel ซึ่งสามารถใช้คำสั่งในนี้ควบคุมการ Simulation ได้ทั้งหมด ปุ่มแรกของ Simulation panel คือ Rewind stop play จากนั้นก็ทำการเลือกรูปแบบของการ Simulation ซึ่งมี Default, Dynamic, Kinematic, Static โดยเราจะกำหนดให้เป็น Default

การตั้งค่า End time สำหรับการ Simulation เลือกใช้ End time ตามที่เราต้องการศึกษา เมื่อเริ่มต้นจากเวลาศูนย์ในที่นี้เราได้กำหนดที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งค่าTime Step ถูกใช้ใน ADAMS/View เพื่อแสดงว่าจะให้แสดงการ Simulation อย่างไร Step size ซึ่งเป็นจำนวนที่ผ่านไประหว่างแต่ละภาพ Steps คือจำนวนภาพที่เกิดขึ้นระหว่างการ Simulation ทั้งหมดเราได้ใช้ 50 Step

ผลจากการ Simulation



รูปที่ 5.66 แสดงการ Simulate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การวิเคราะห์ทาง ABAQUS

การวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นส่วนบังคับเลี้ยวโดยวิธีทาง Finite Element

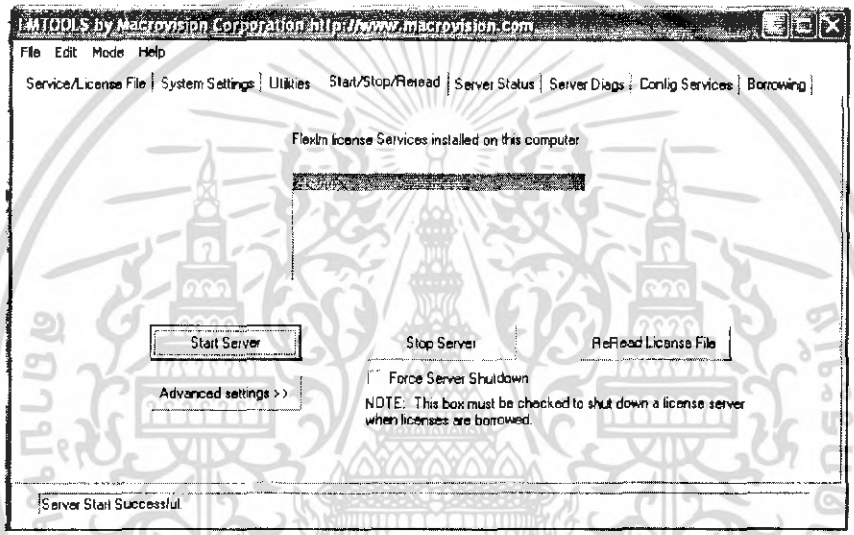
5.3.1 ชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์ (Caster)

5.3.2 ชิ้นส่วนปรับมุมแคมเบอร์ (Camber)

5.3.3 ชิ้นส่วนคอม้า (Steering knuckle)

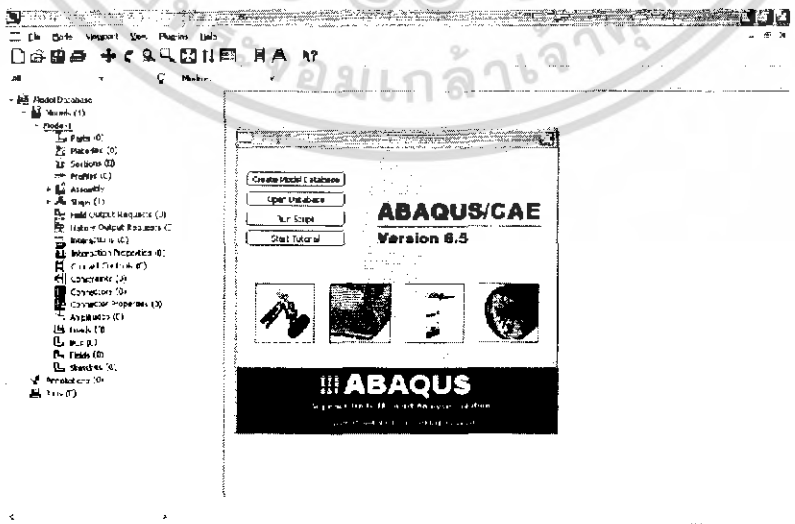
5.3.1 การวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์

5.3.1.1 เริ่มจากการเปิดโปรแกรมอบาคัส (ABAQUS) โดยเปิดที่ตัว ABAQUS Licensing และไปที่ Start/Stop/Reread และเลือก ABAQUS แล้วกด Start Sever



รูปที่ 5.67 แสดงวิธีเปิด ABAQUS licensing

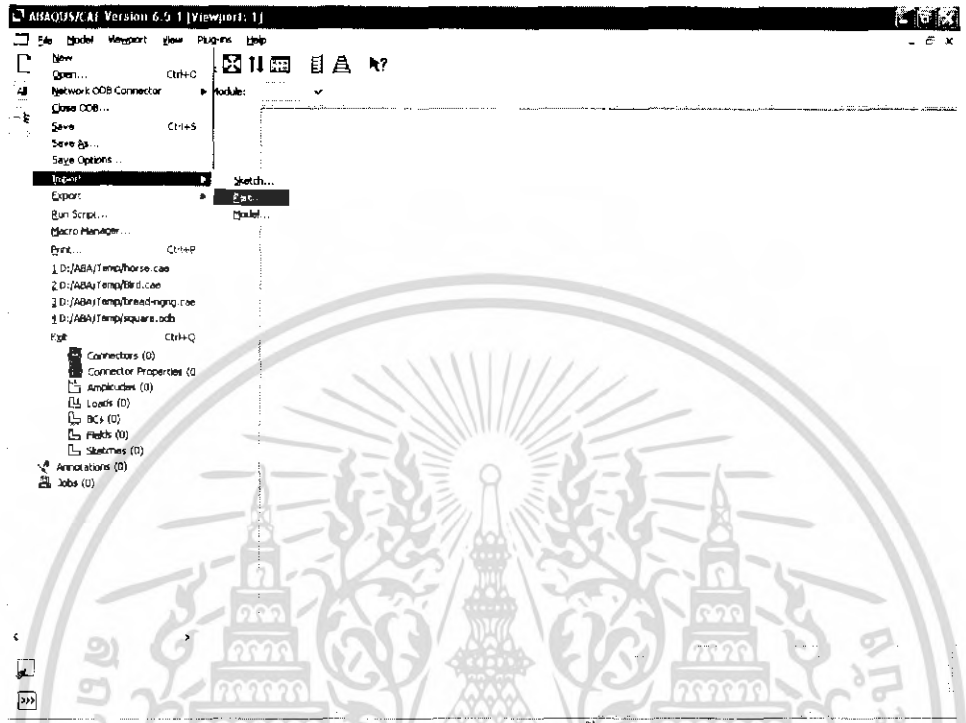
5.3.1.2 เปิดโปรแกรมอบาคัส (ABAQUS)



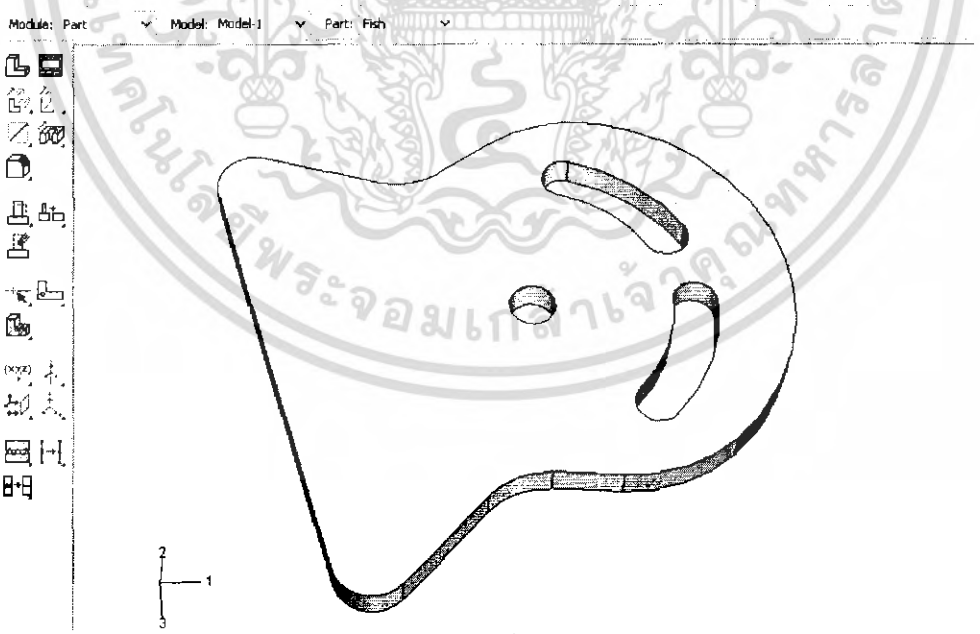
รูปที่ 5.68 แสดงการเปิดโปรแกรมอบาคัส (ABAQUS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.3 สร้าง Part ขึ้นมาหรือ Import เข้ามาจากโปรแกรมวาดรูปอื่นๆก็ได้ ในที่นี้จะ Import เข้ามาจากโปรแกรม SolidWorks 2005 โดยไปที่ file แล้ว Import และ Part ในที่นี้จะมี 2 Part คือ Part ที่เป็น Deformable และ Rigidbody

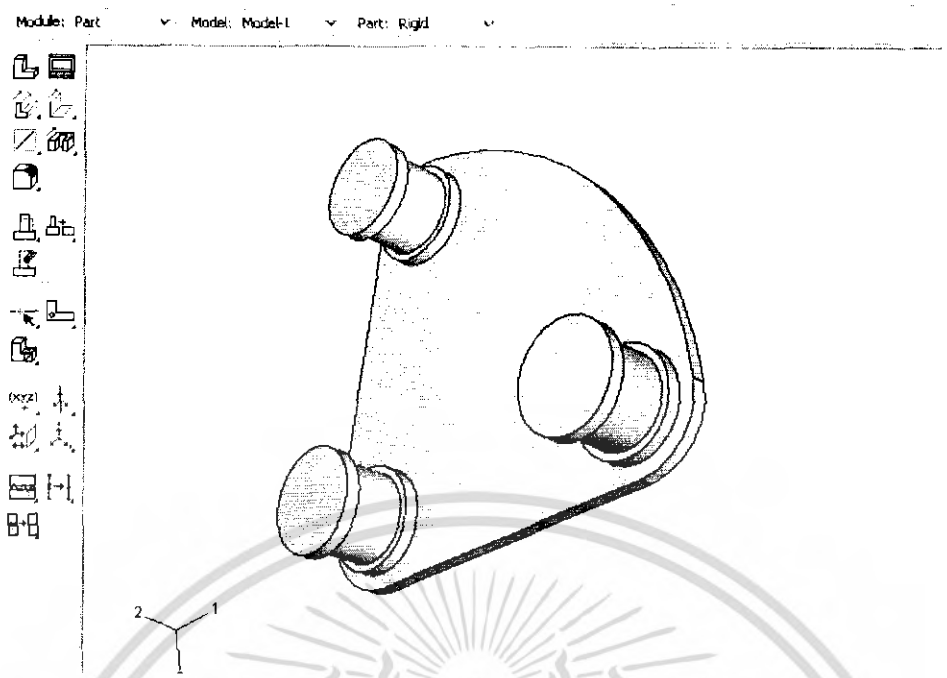


รูปที่ 5.69 แสดงวิธีนำเข้าชิ้นงาน



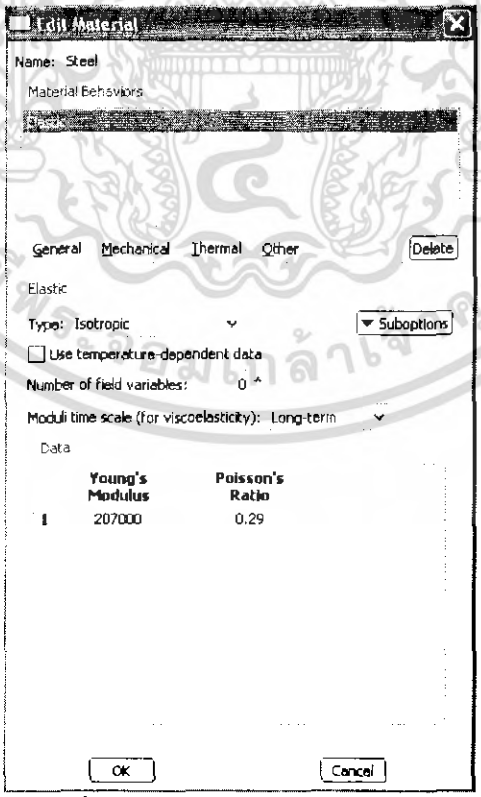
รูปที่ 5.70 แสดง Part ที่เป็น Deformable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.71 แสดง Part ที่เป็น Rigid body

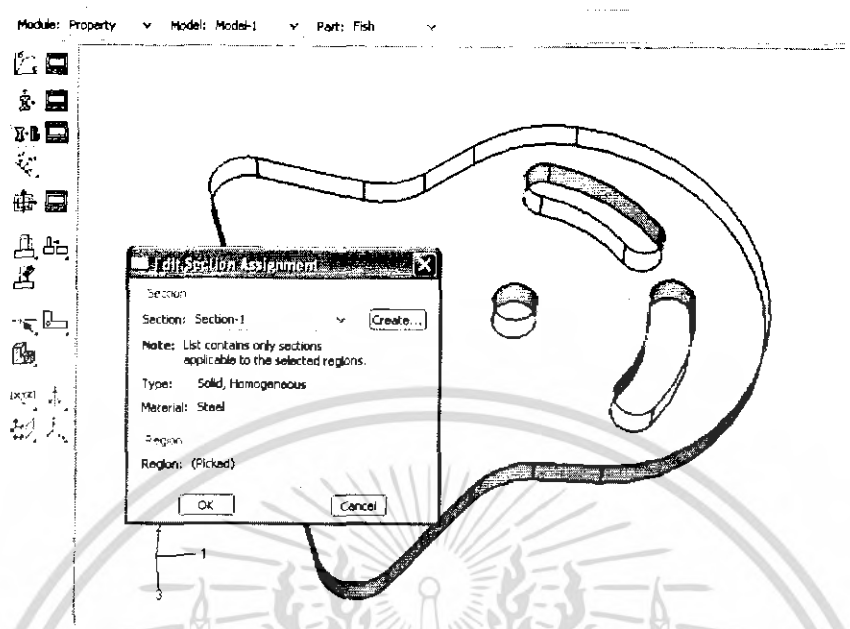
5.3.1.4 ไปที่ Module แล้วเลือก Property เพื่อกำหนดชนิดของวัสดุที่เราใช้ในชิ้นงานนี้ โดยไปที่ Create material โดยเราจะกำหนดให้มีค่า Young's Modulus เท่ากับ 2.07 x 10^5 N/mm^2 และค่า Poisson Ratio เท่ากับ 0.29



รูปที่ 5.72 แสดงการกำหนดค่า Elastic

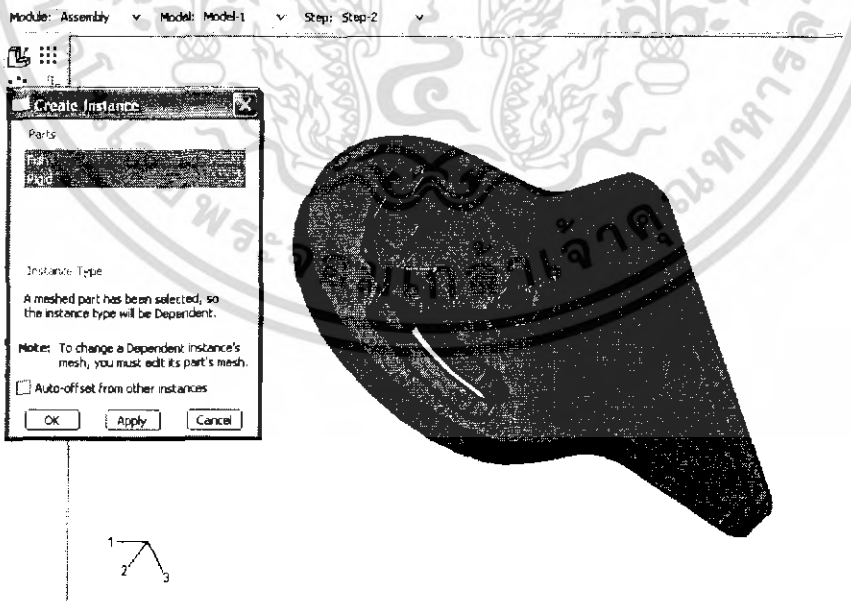
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.5 สร้าง Section และกำหนด Section ให้ชิ้นงาน



รูปที่ 5.73 แสดงการสร้างและกำหนด Section

5.3.1.6 ขั้นต่อไปเป็นการนำ ชิ้นส่วนมาประกอบกันโดยที่ Module Assembly เลือก Instance Part แล้วเลือก Part ทั้ง 2 ถ้าเราประกอบกันมาจากในโปรแกรม SolidWorks แล้วเมื่อเลือกเข้ามาจะประกอบกันให้เลย แต่ถ้ายังไม่ประกอบกันก็ต้องใช้ Icon ช่วยในการประกอบ

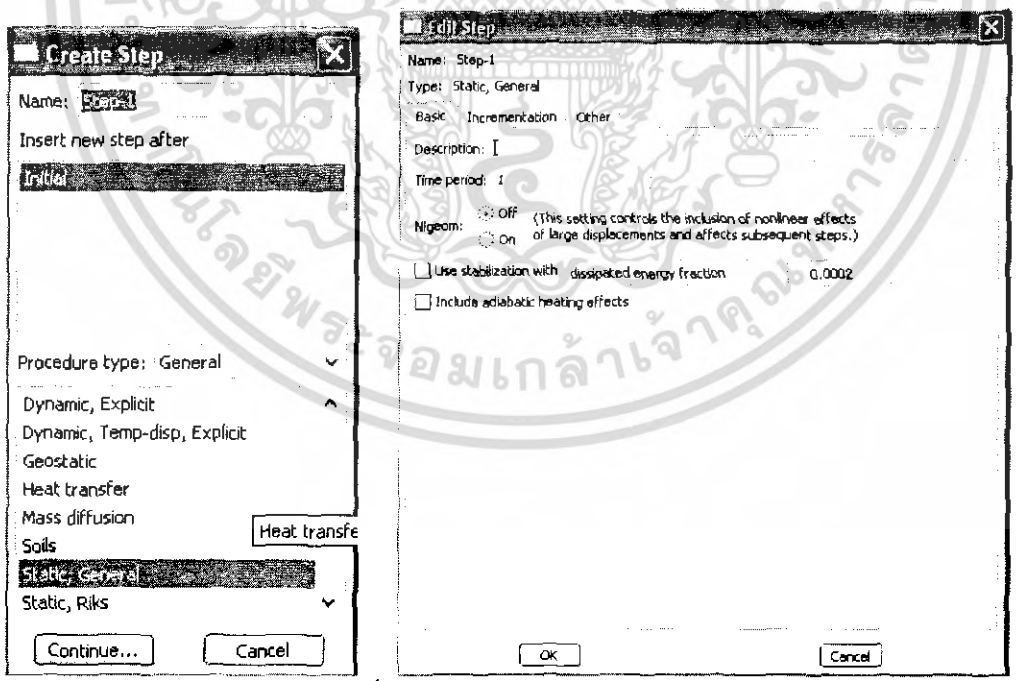


รูปที่ 5.74 แสดงการ Instance Part

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.75 แสดง Part ที่ประกอบกันเรียบร้อยแล้ว

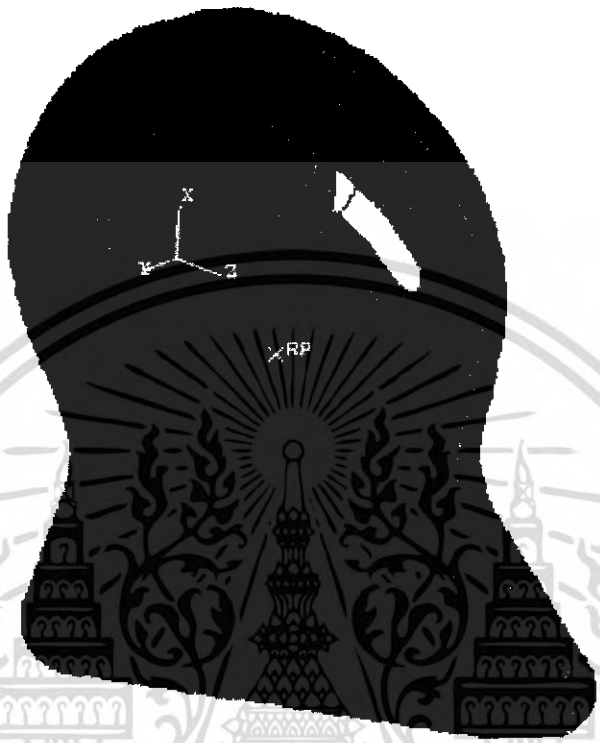
5.3.1.7 เราจะกำหนด Step การทำงานโดยไปที่ Module Step แล้วเลือก Create Step โดยเราจะกำหนด Step เป็น 2 Step ให้ทั้ง 2 Step เป็นแบบ Static, General เพราะไม่มีการเคลื่อนไหว



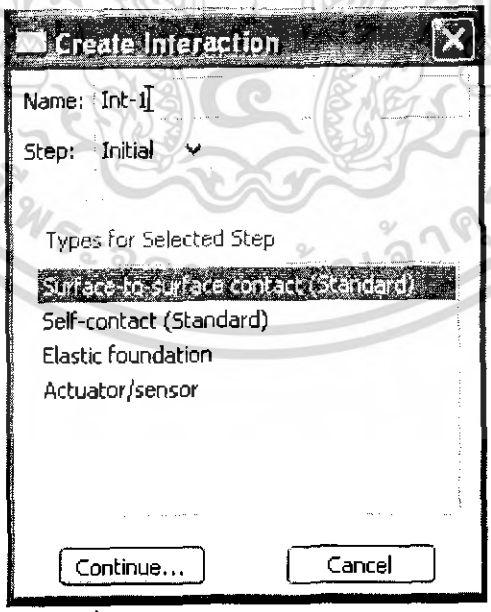
รูปที่ 5.76 แสดงการกำหนด Step

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.8 กำหนดค่า Interaction หรือบริเวณที่มีการสัมผัสกันของ Part ทั้ง 2 ก็จะมีด้วยกัน 3 บริเวณใหญ่ๆและแต่ละบริเวณจะมีส่วนที่สัมผัสกัน 3 ตำแหน่งรวมแล้ว 9 ตำแหน่งที่ต้องกำหนดค่า โดยเราจะสร้างที่ Create Interaction เลือกแบบ Surface to Surface Contact (Standard) แล้วเลือกบริเวณผิวที่สัมผัสกัน

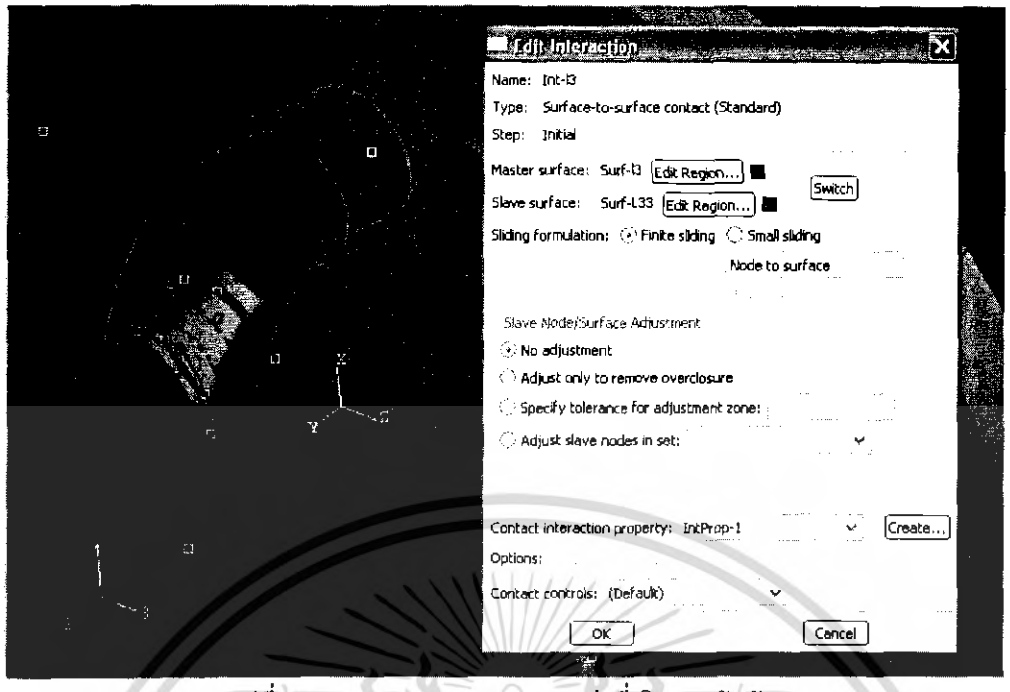


รูปที่ 5.77 แสดงบริเวณที่ผิวสัมผัสกัน

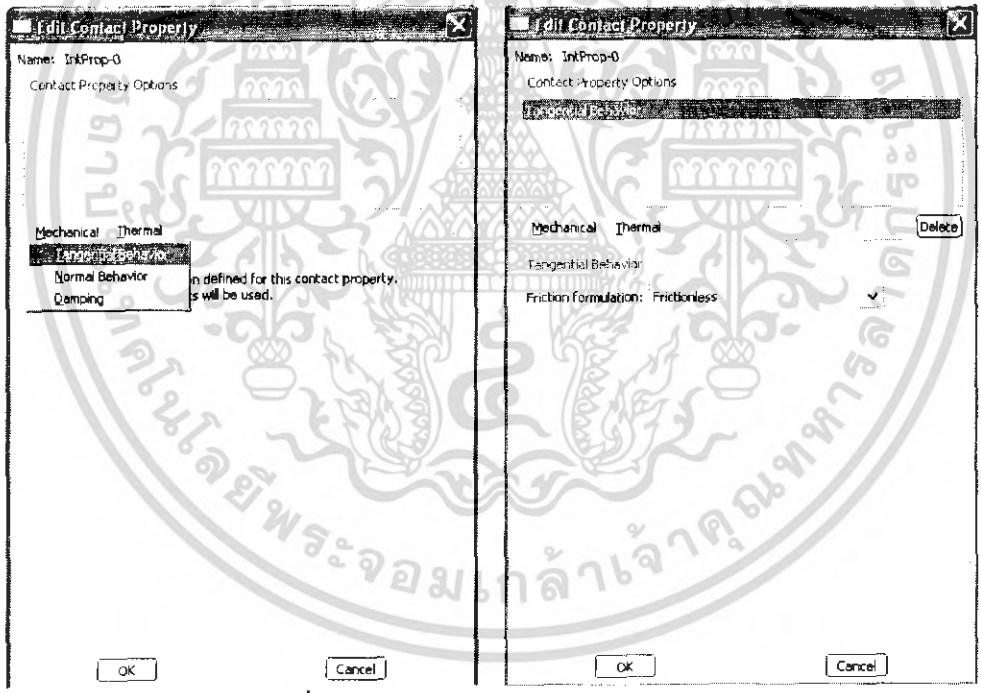


รูปที่ 5.78 แสดงการสร้าง Interaction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

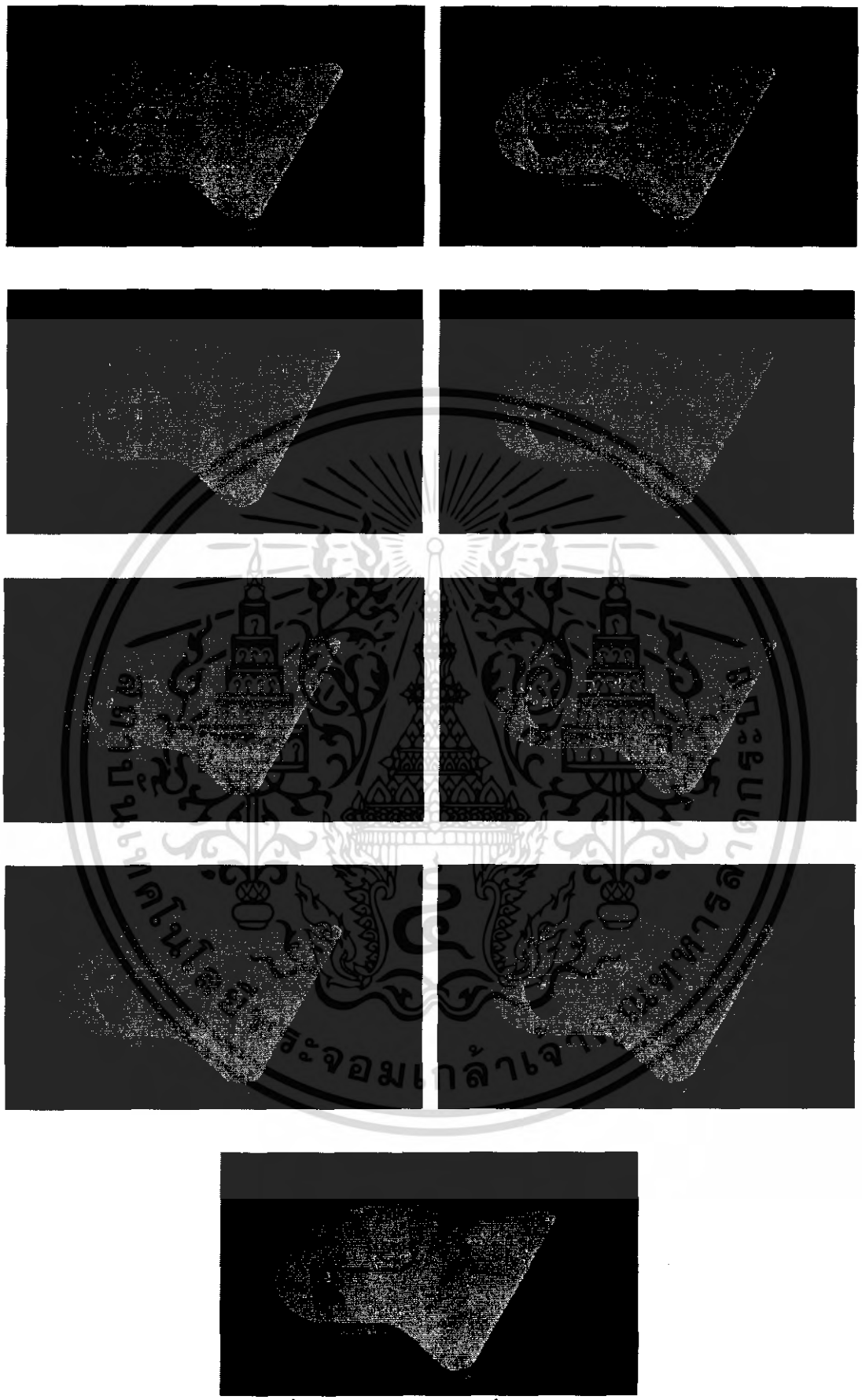


รูปที่ 5.79 แสดงการกำหนดตำแหน่งที่เกิดการสัมผัส



รูปที่ 5.80 แสดงการสร้าง Contact Property

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.81 แสดง 9 ตำแหน่งที่มีการสัมผัส

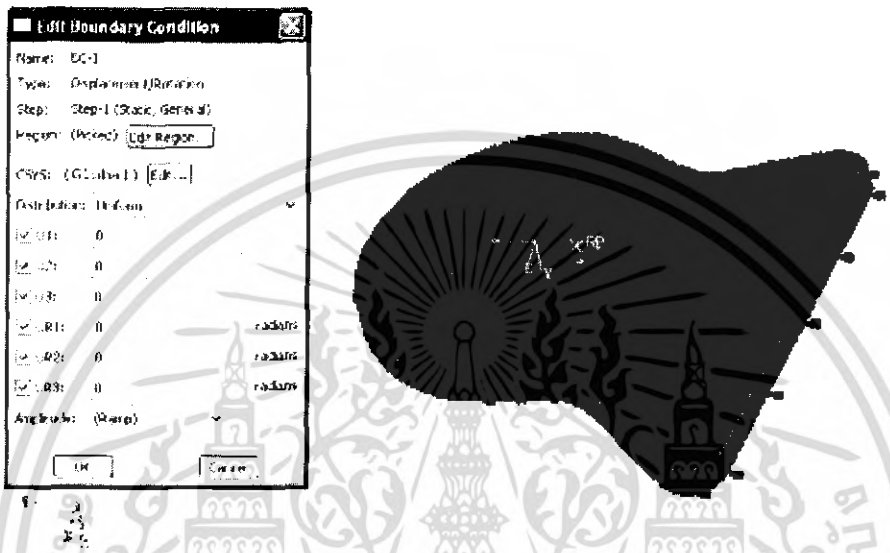
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.9 กำหนดภาระต่างๆที่เกิดขึ้นในชิ้นงานนี้ โดยเราจะแบ่งเป็น 2 อย่างคือ

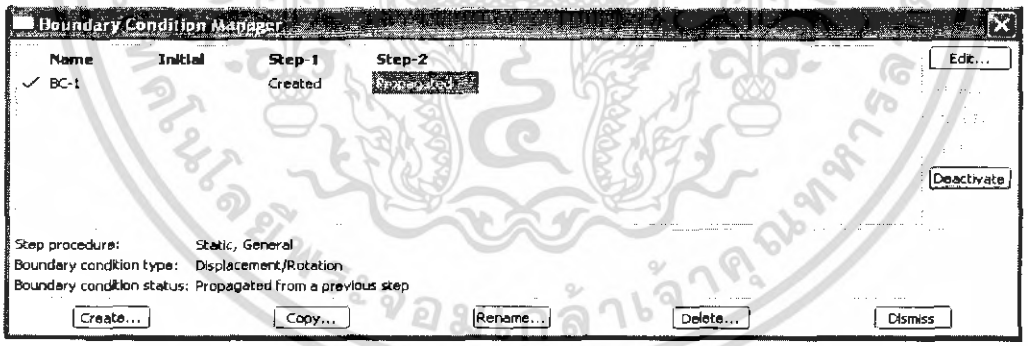
- Load

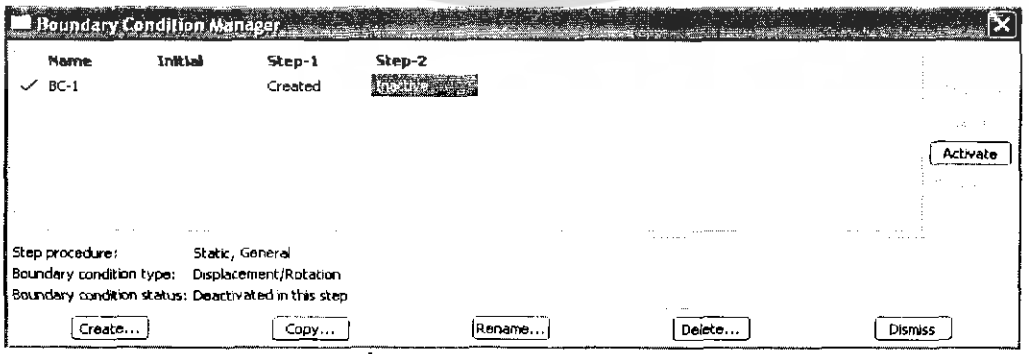
- Boundary Condition

สร้าง Boundary Condition ก่อนมี 3 ค่าค่าแรกกำหนดที่ผิวล่างของชิ้น Deformable เป็นแบบ Displacement/Rotation ที่ setp1 ทุกค่าเป็น 0 และเมื่อถึง Step2 ให้ Deactivate เพื่อไม่ให้ทำงานต่อ



รูปที่ 5.82 แสดงการกำหนด BC ที่ด่านล่างของ Deformable

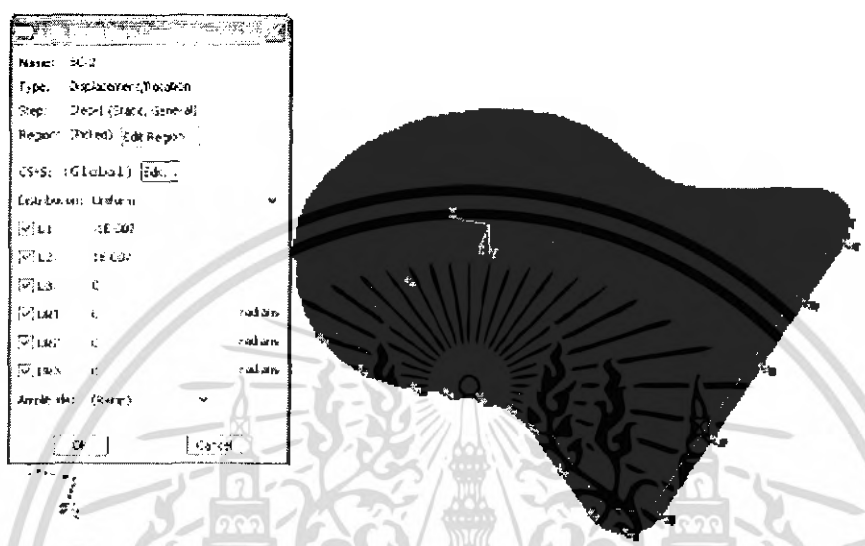




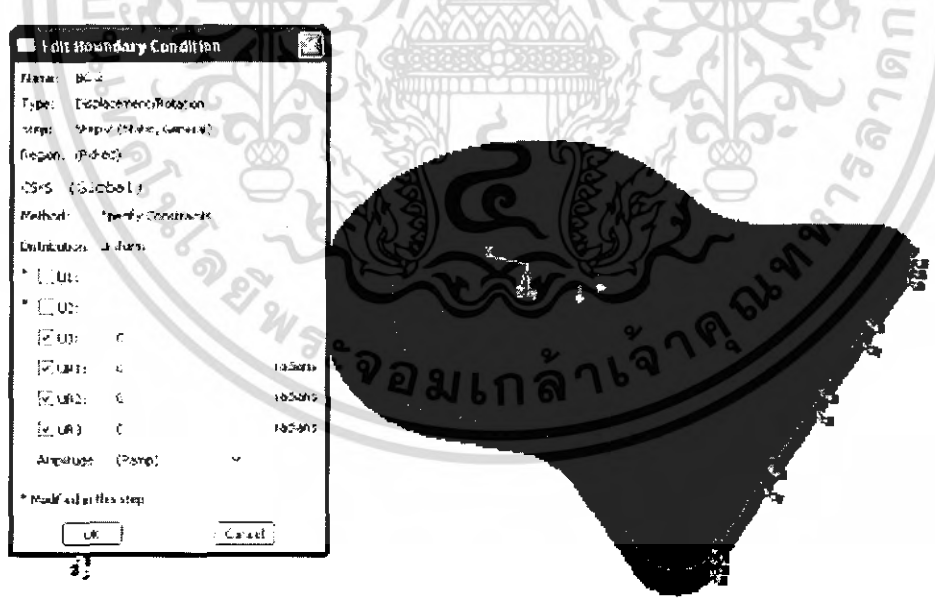
รูปที่ 5.83 แสดงการ Deactivate BC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Boundary Condition ตัวที่2 กำหนดที่ตัว Rigid ที่ตำแหน่ง RP โดยเป็นแบบ Displacement/Rotation ให้ค่า U1 และ U2 เป็น -1E-007 และ 1E-007 เพื่อให้ชิ้น Rigid ไปติดกับชิ้น Deformable พอถึง Step 2 ก็ให้ที่ U1 และ U2 เอาเครื่องหมายถูกออก เพื่อปล่อยให้อิสสระในแกน 1 และแกน 2



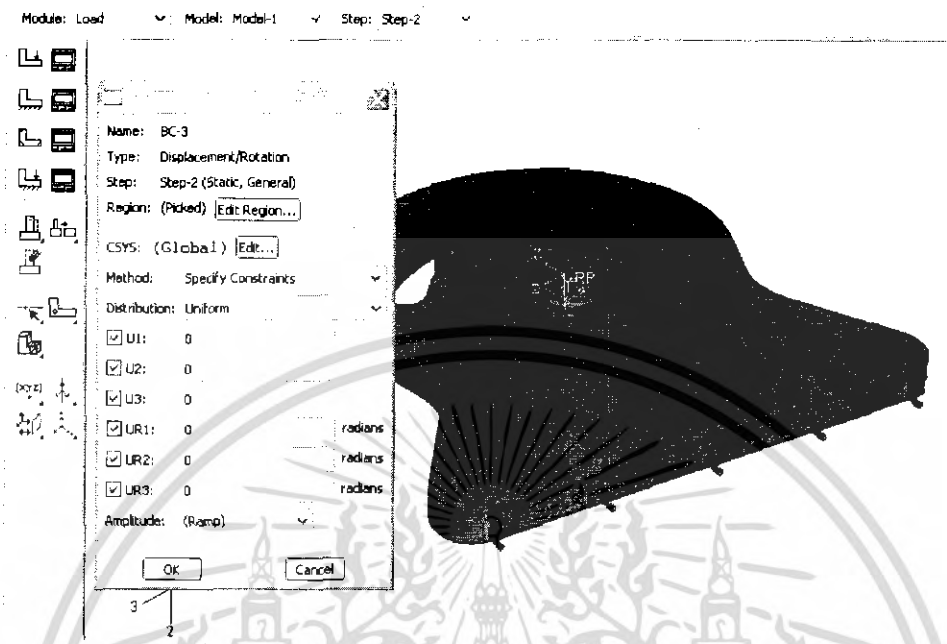
รูปที่ 5.84 แสดงการกำหนด BC ที่ 2



รูปที่ 5.85 แสดงการ Modified ค่า BC2 ที่ Step 2

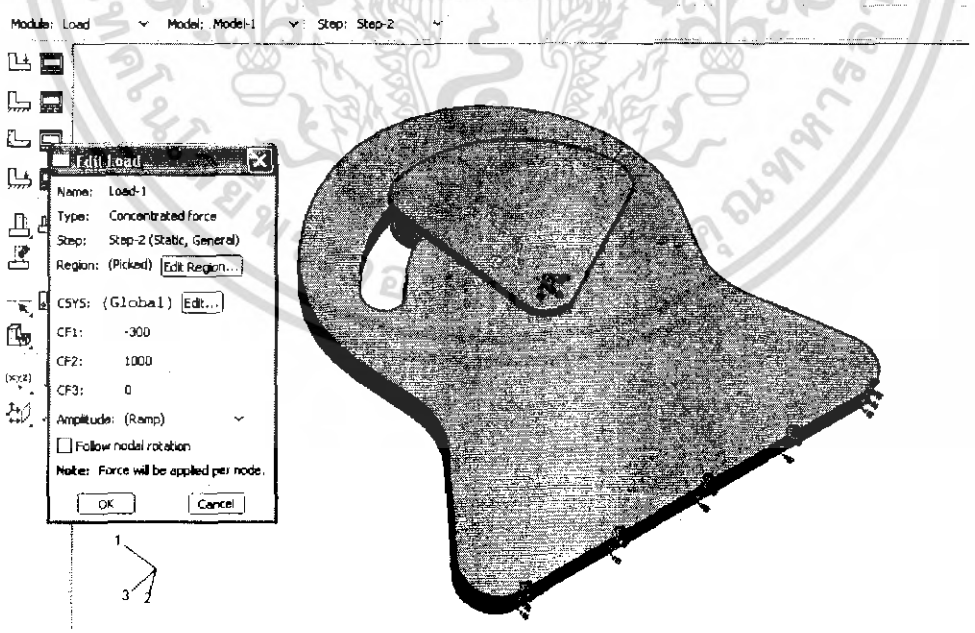
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Boundary Condition ที่ 3 จะกำหนดที่ท้ายแผ่นของ Deformable ใน Step 2 เป็นแบบ Displacement/Rotation ให้ทุกค่าเป็น 0



รูปที่ 5.86 แสดงตำแหน่ง Boundary Condition และกำหนดค่า

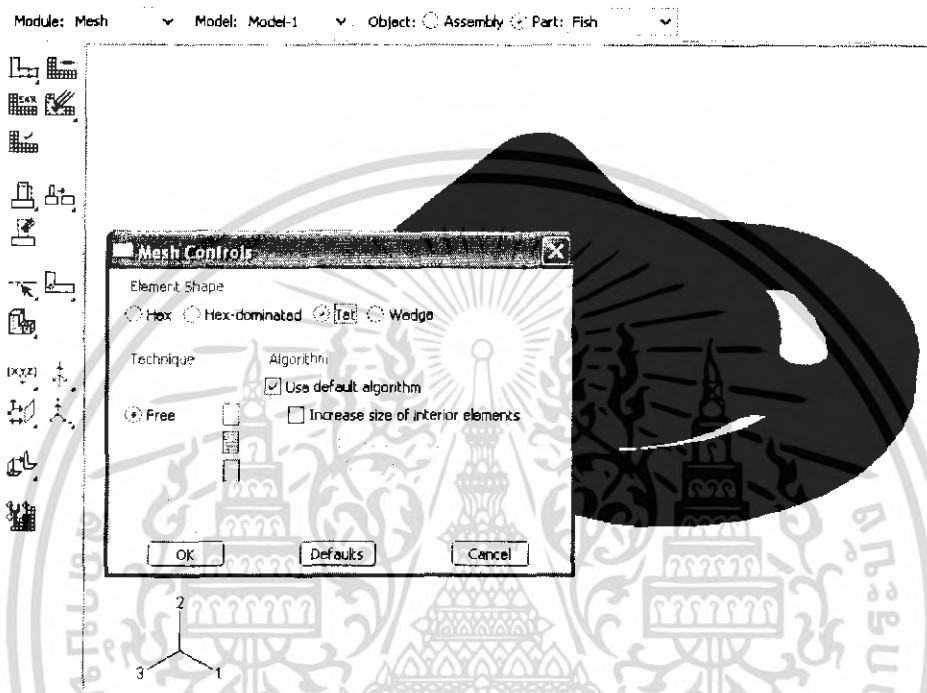
สุดท้ายจะเป็นการกำหนด Load โดยเป็นแบบ Concentrate Force จะกำหนดที่ Step 2 ที่จุด RP ให้แรงในแนวแกน 1 และแกน 2 มีค่าเท่ากับ -300 และ 1000 ตามลำดับ



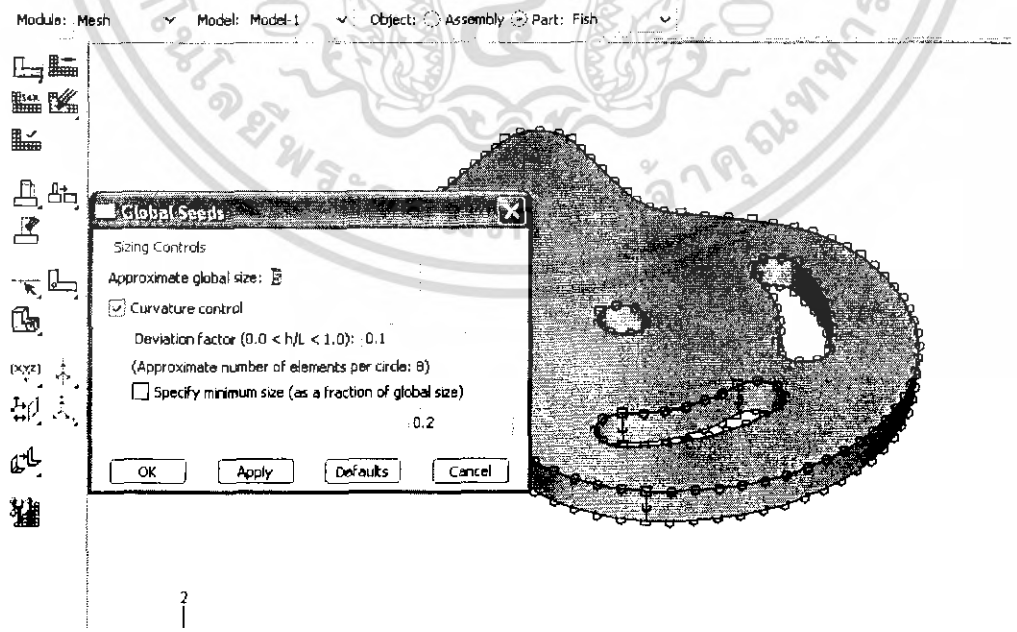
รูปที่ 5.87 แสดงการกำหนด Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1.10 ที่ Module Mesh เราจะแบ่งชิ้นงานของเราเป็นชิ้นย่อยๆเพื่อวิเคราะห์ในขั้นต่อไป ยิ่งแบ่งละเอียดมากค่าที่ได้ก็ยิ่งแม่นยำ เราจะตี Mesh แบบ 3เหลี่ยม โดยไปที่ Icon Assign Mesh controls แล้วเลือกชิ้นที่ต้องการจากนั้นเลือกที่ Tet แล้ว OK ชิ้นที่เลือกไว้จะกลายเป็นสีชมพู และเราจะ Seed Part Instance โดยเราจะกำหนดค่า Approximate size เป็น 5 และ Deviation factor เท่ากับ 0.1 หลังจากนั้นเราก็จะให้ตี Mesh ลงไปโดยกด Mesh Part

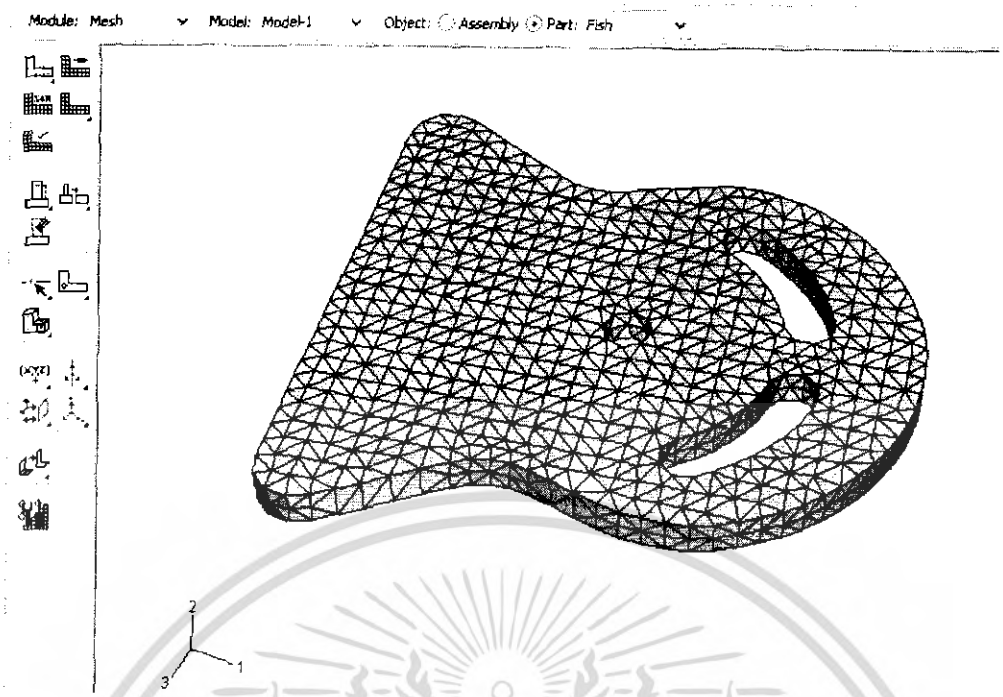


รูปที่ 5.88 แสดงการกำหนด Mesh แบบ 3 เหลี่ยม



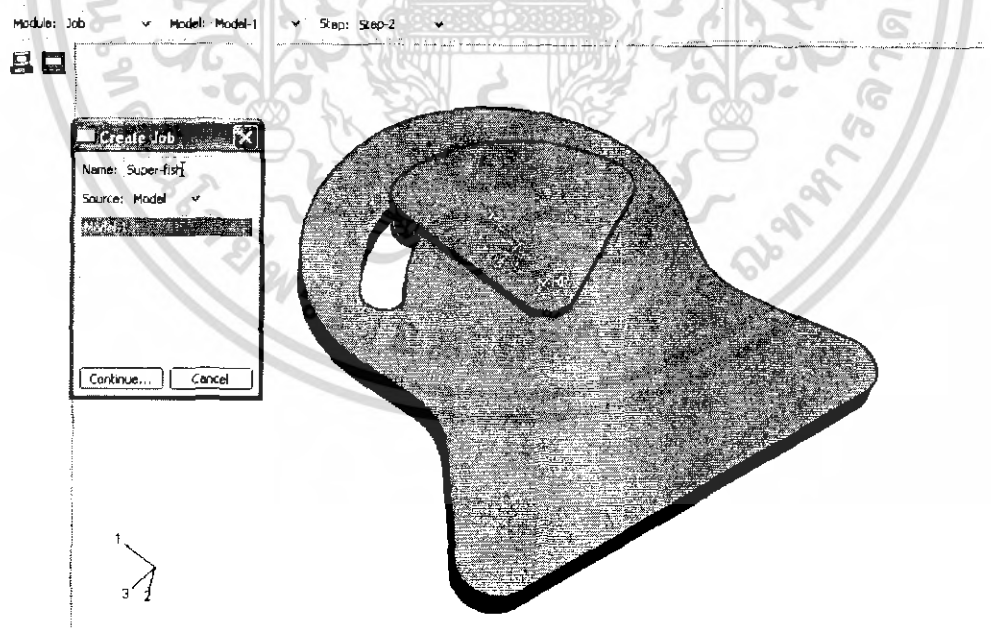
รูปที่ 5.89 แสดงการทำ Seed Part Instance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



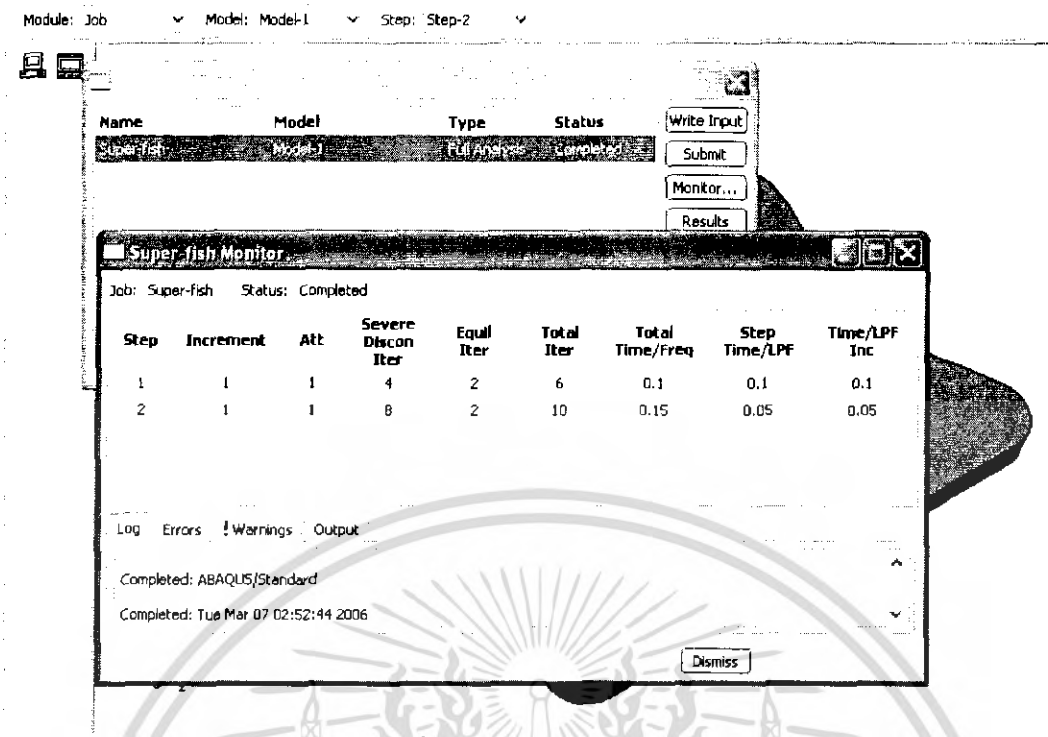
รูปที่ 5.90 แสดงการทำ Mesh Part

5.3.1.11 หลังจากตี Mesh เสร็จแล้วเราก็นำไปวิเคราะห์โดยเลือกที่ Module Job แล้ว create job แล้วตั้งชื่อ ok แล้ว ไปที่ Job Manager แล้วกด Summit เราสามารถดูการขั้นตอนขณะโปรแกรมกำลังรับข้อมูลโดยการกด Monitor เมื่อรันเสร็จแล้วเราก็กด Results เพื่อดูผลการวิเคราะห์ได้

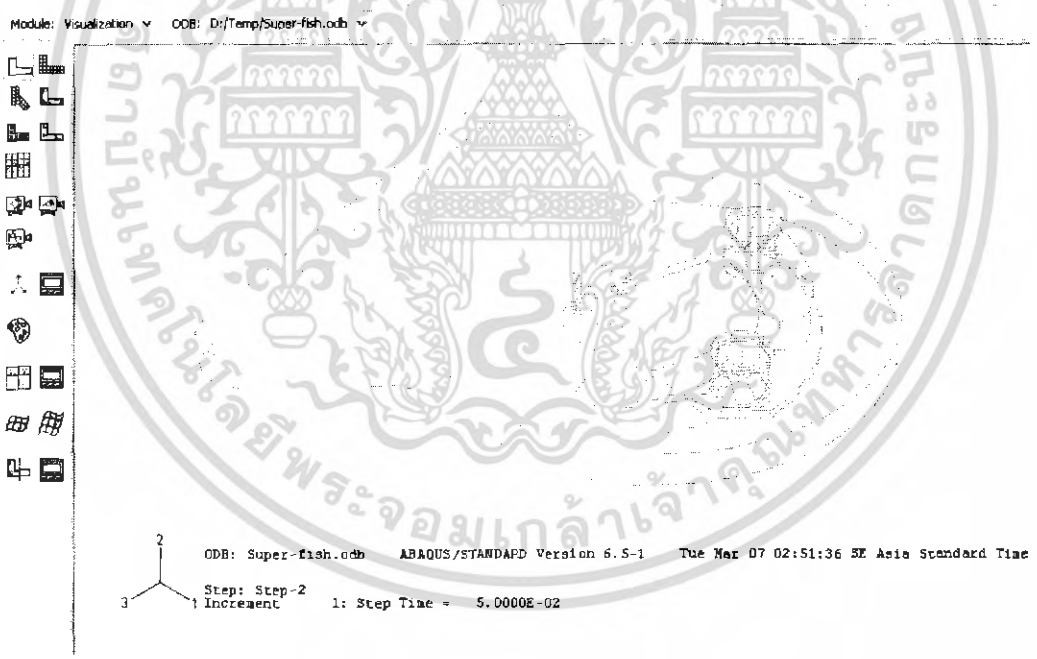


รูปที่ 5.91 แสดงการสร้าง Job

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

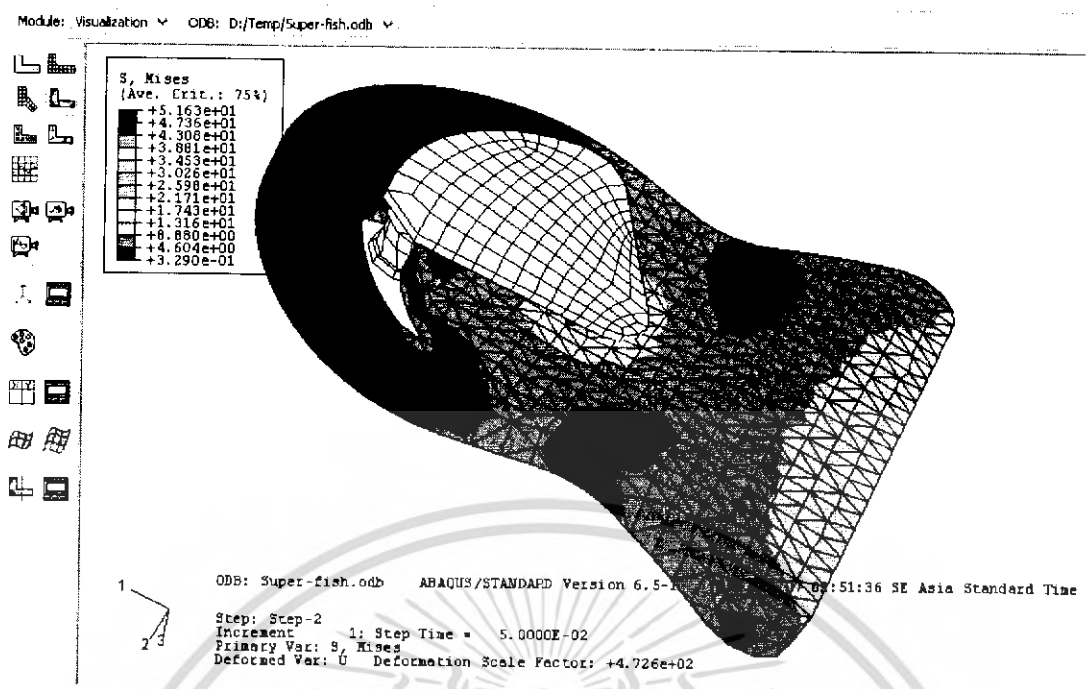


รูปที่ 5.92 แสดงการรันข้อมูล



รูปที่ 5.93 แสดงผลที่ได้

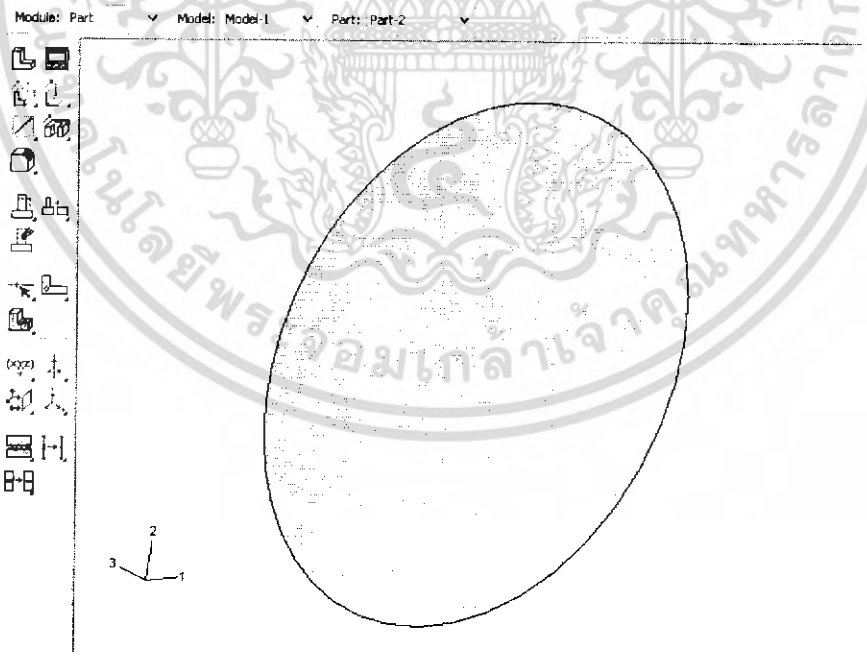
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.94 แสดงผลการเปลี่ยนรูปและตำแหน่งที่เกิดความเสียหาย

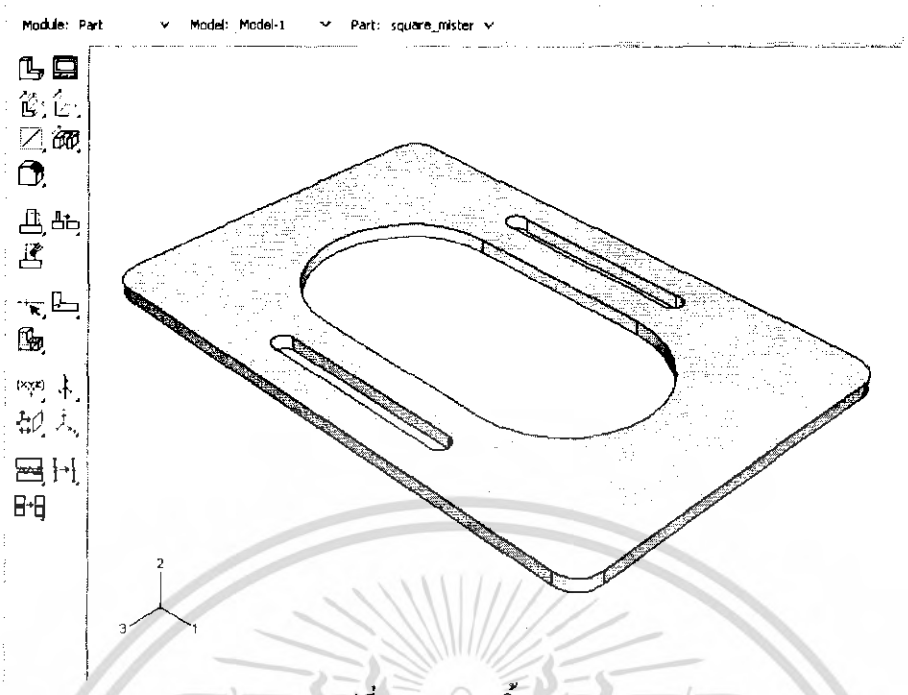
5.3.2 การวิเคราะห์ชิ้นส่วนปรับมุมแคมเบอร์ (Camber)

5.3.2.1 เราจะ Import Part จาก SolidWorks 2005 มี 2 Part โดย Part แรกจะเป็นแผ่นกลมซึ่งทำงานแทนหัวโช๊ค และกำหนดเป็น Discrete Rigid และ Part ที่ 2 เป็น Deformable



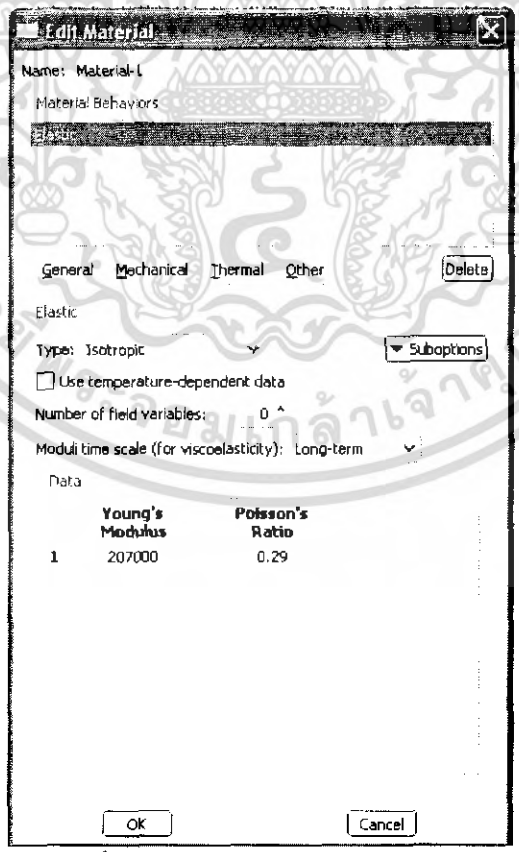
รูปที่ 5.95 แสดง Part rigid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.96 แสดงชิ้นงาน

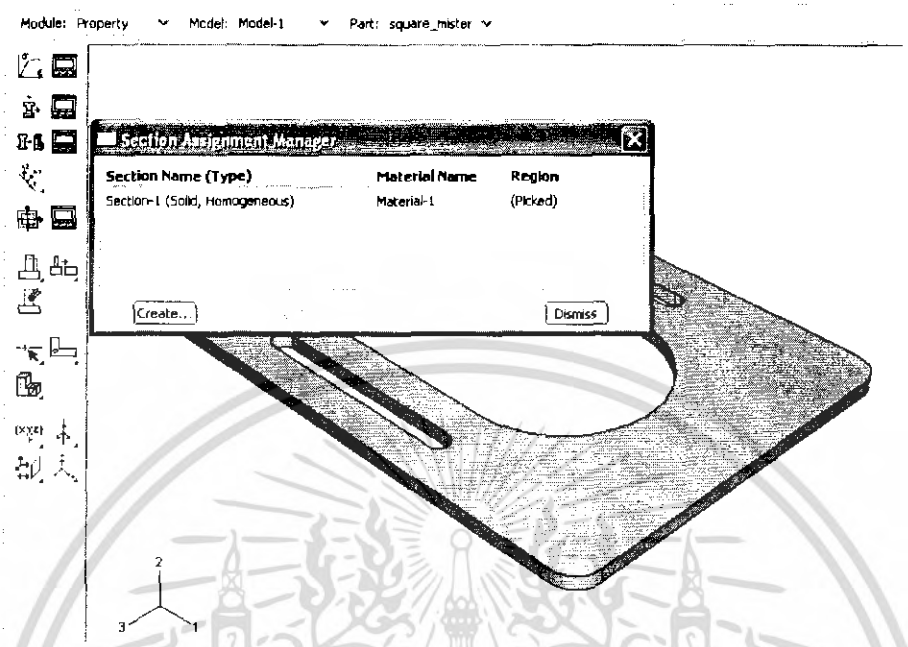
5.3.2.2 กำหนดวัสดุโดยไปที่ Module แล้วเลือก Property เพื่อกำหนดชนิดของวัสดุที่เราใช้ในชิ้นงานนี้ โดยไปที่ create material โดยเราจะกำหนดให้ ค่า Young's Modulus เท่ากับ 2.07 x 10^5 N/mm^2 และค่า Poisson Ratio เท่ากับ 0.29



รูปที่ 5.97 แสดงการกำหนดค่า Elastic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2.3 Create Section และ Assign Section ให้ชิ้นให้ Part ของเรา ส่วนที่เป็น Rigid ไม่ต้องกำหนด



รูปที่ 5.98 แสดงการกำหนด Section

5.3.2.4 ที่ Module Assembly เริ่มที่ Instance Part เข้ามาและนำมาประกอบกันโดยใช้ Icon Translate Instance และ Rotate Instance ช่วยในการเคลื่อนย้าย

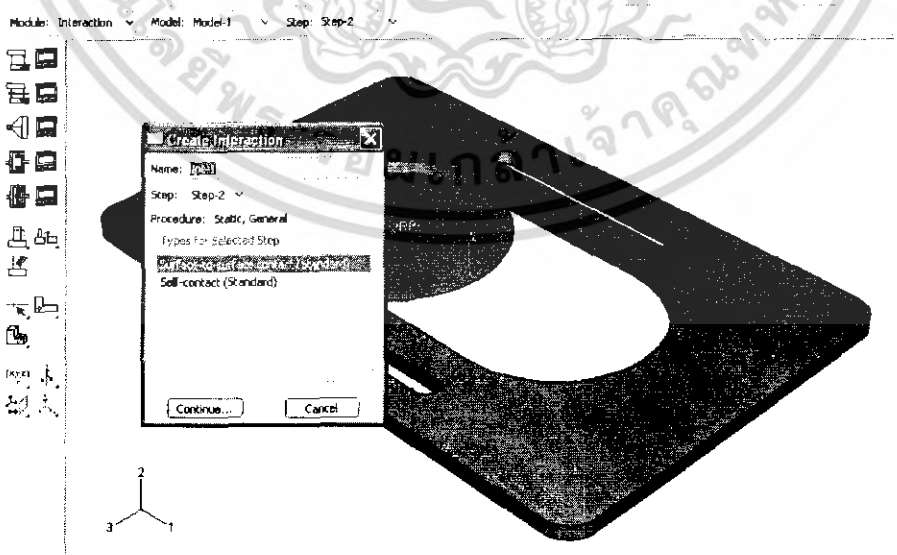
รูปที่ 5.99 แสดงภาพชิ้นส่วนที่ประกอบแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2.5 หลังจากประกอบกันเสร็จแล้วก็สร้าง Step กำหนดให้เป็นแบบ Static, General และมี 2 Step

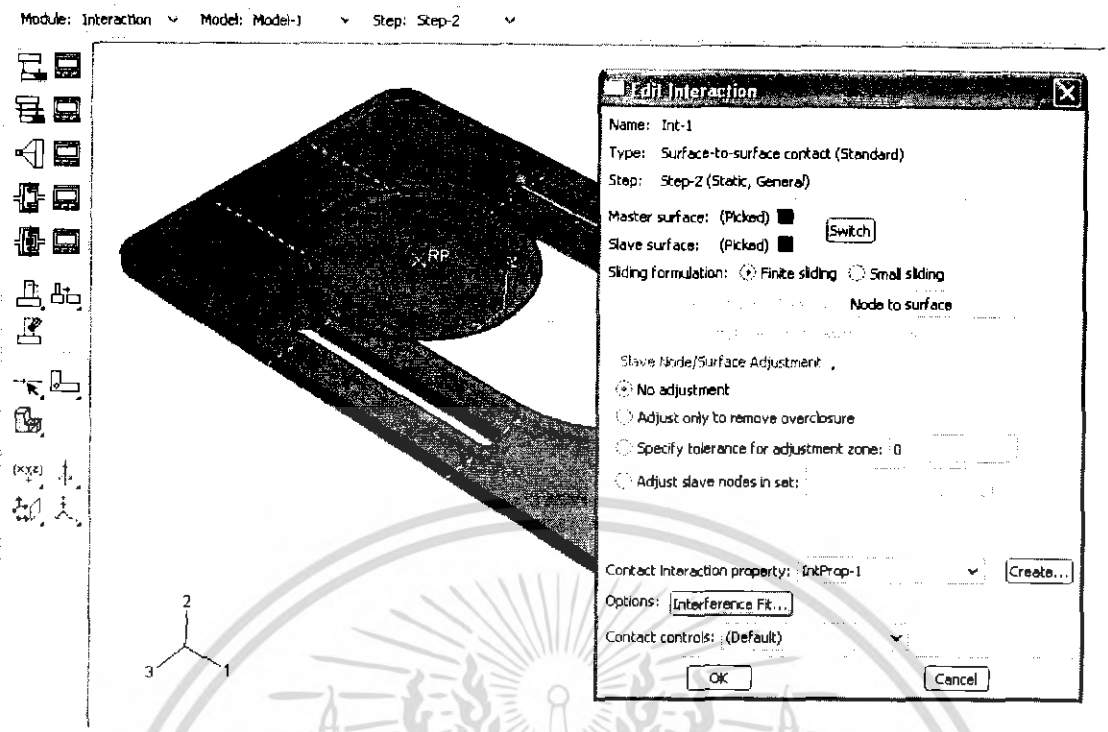
รูปที่ 5.100 แสดงการสร้าง Step

5.3.2.6 หลังจากกำหนด Step เสร็จแล้วเราก็มาที่ Module Interaction แล้ว Create Interaction เพื่อกำหนดผิวสัมผัสระหว่างผิวสัมผัสแล้วเลือก Surface-to-surface contact โดยเลือกไปที่ให้ชิ้น rigid เป็น First surface และชิ้นงานเป็น Second surface ที่ Contact interaction property กด create แล้วเลือก contact แล้ว ok ต่อจากนั้น ที่ Mechanical เลือก Tangential Behavior >> Frictionless แล้ว ok



รูปที่ 5.101 แสดงการ Create Interaction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

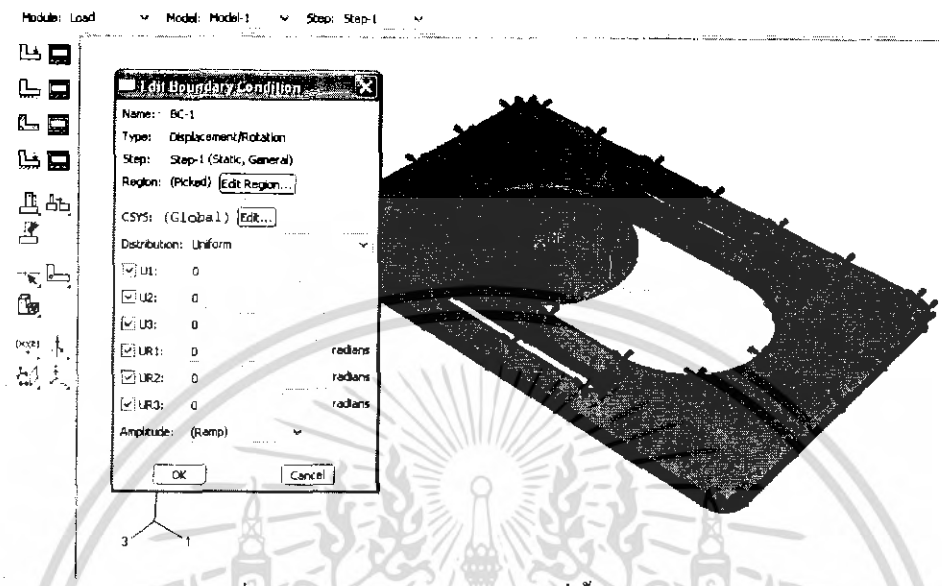


รูปที่ 5.102 แสดงการกำหนด Interaction ที่ Part

รูปที่ 5.103 แสดงการกำหนด Contact Property

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2.7 หลังจากนั้นไปที่ Module Load โดยเราจะกำหนด Boundary condition ที่ผิวล่างของชิ้น Deformable เป็นแบบ Displacement/Rotation ที่ Step1 ทุกค่าเป็น 0 และเมื่อถึง Step2 ให้ Deactivate เพื่อไม่ให้ทำงานต่อ

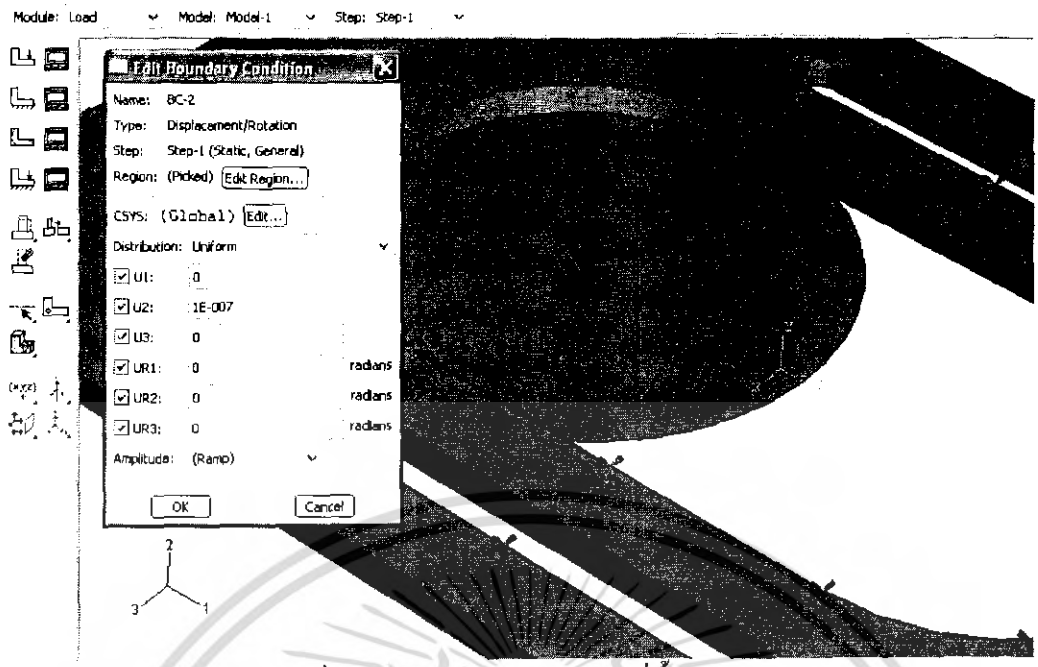


รูปที่ 5.104 แสดงการกำหนด BC ที่ชิ้น Deformable

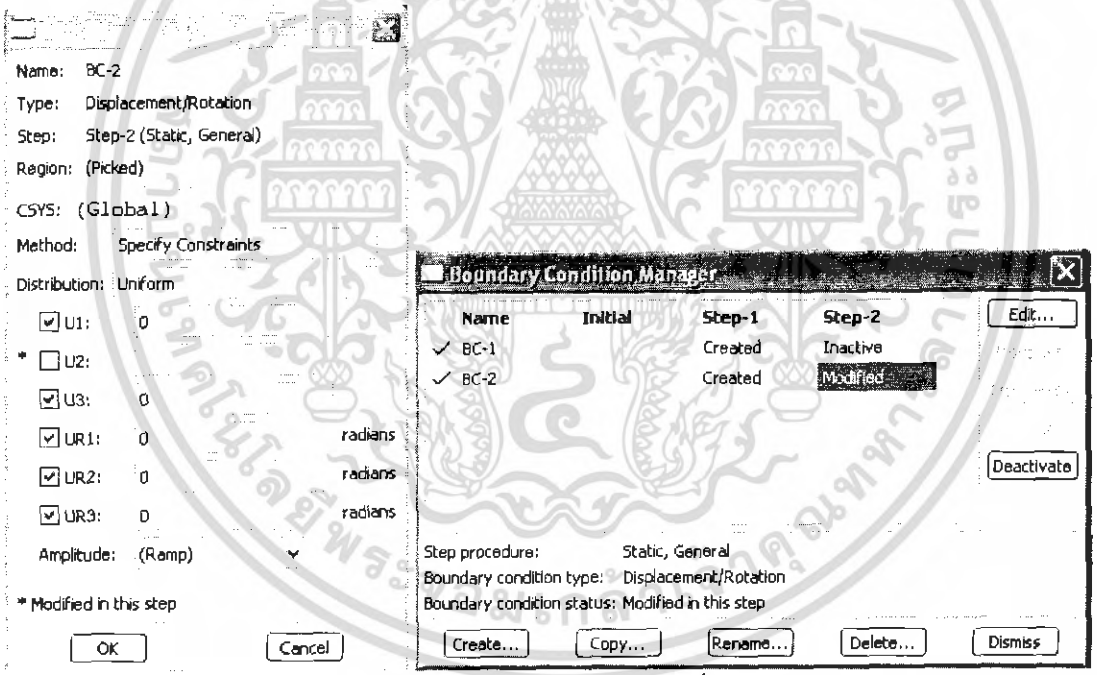
รูปที่ 5.105 แสดงการ Deactivate ใน Step ที่ 2

ต่อไปเป็น Boundary condition ที่ Rigid โดยให้เป็นแบบ Displacement/Rotation ให้ทุกค่ายกเว้น U2 เป็น 0 และให้ U2 มีค่าเป็น 10^{-8} เพื่อให้ไปแตะกับชิ้น Deformable ใน Step 1 พอถึง Step 2 ก็ Modified ให้เคลื่อนที่อิสระในแนวแกน 2 โดยเอาเครื่องหมายถูกหน้า U2 ออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



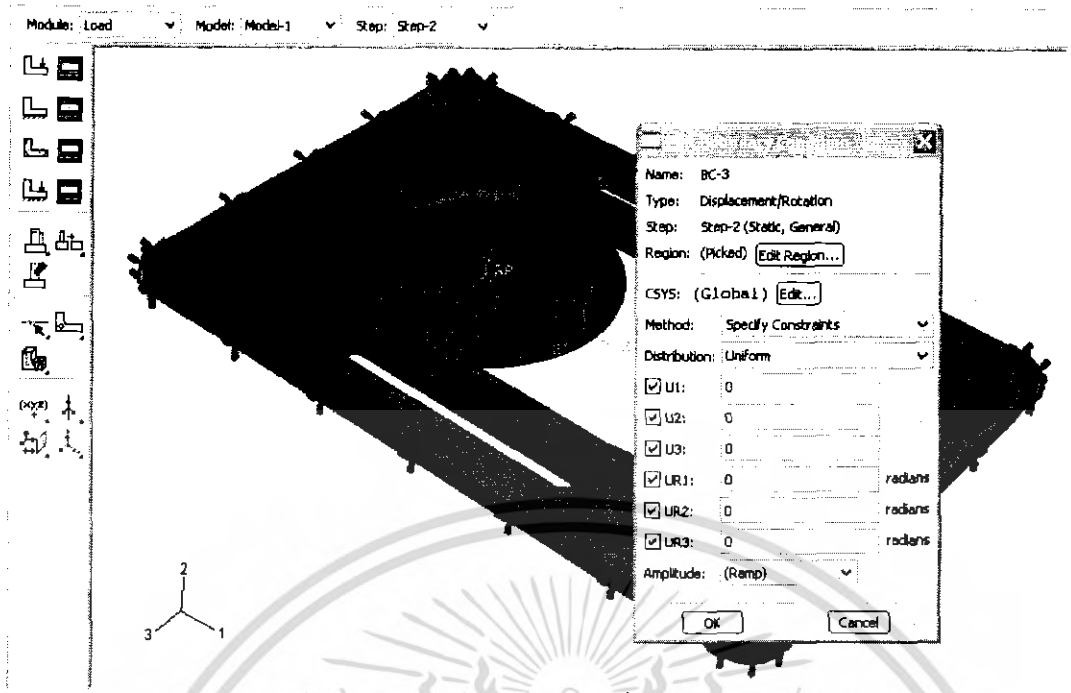
รูปที่ 5.106 แสดงการกำหนด BC ที่ชิ้น Rigid



รูปที่ 5.107 แสดงการ Modified BC ที่ Step 2

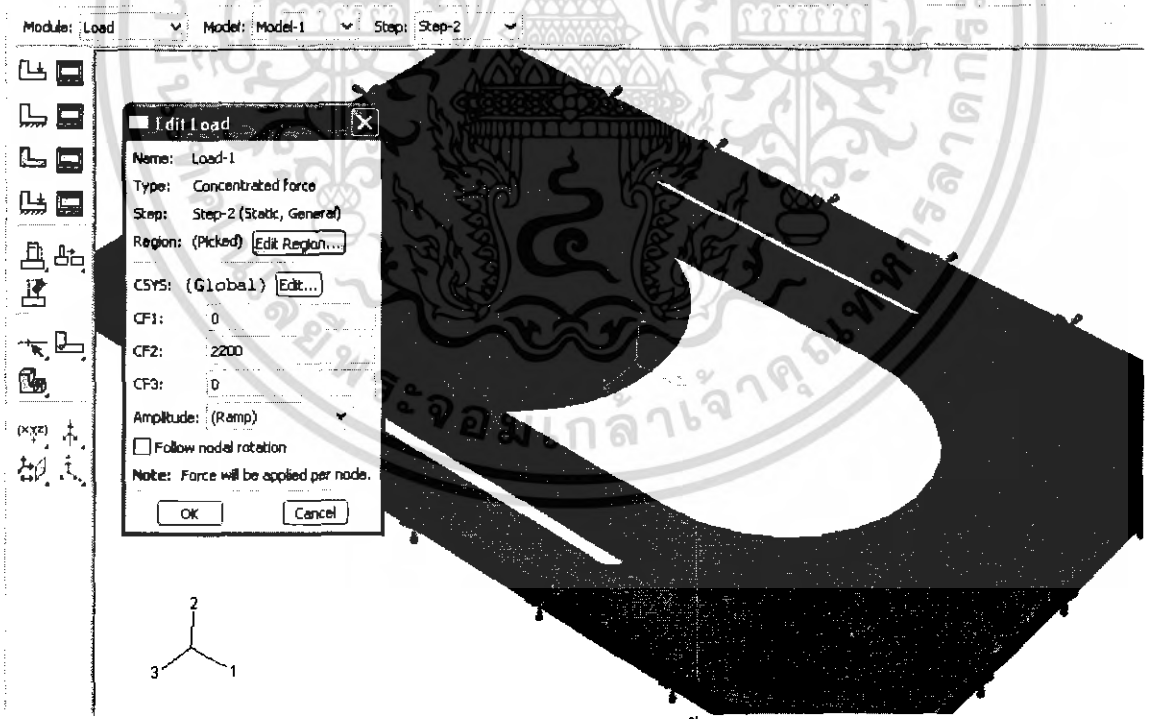
Boundary Condition ตำแหน่งสุดท้ายจะอยู่ที่ขอบของชิ้น Deformable เป็นแบบ Displacement/Rotation ให้เป็น 0 ทุกค่า โดยเรากำหนดใน Step ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.108 แสดงการกำหนด BC ที่ขอบของ Deformable

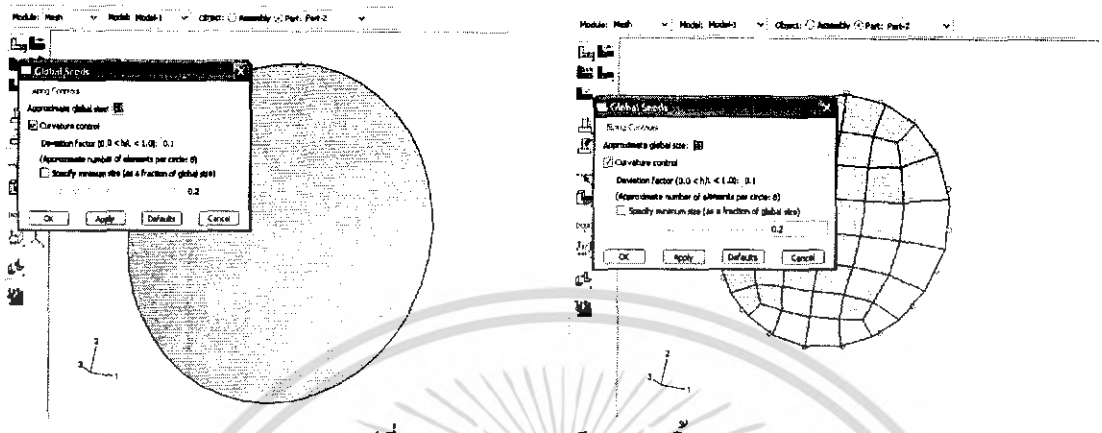
เมื่อเรากำหนด Boundary Condition เสร็จหมดแล้วก็จะกำหนด Load ที่ตัว Rigid เป็นแรงแบบ Concentrate Force ในแนวแกน 2 เท่ากับ 2200 N ที่ Step 2



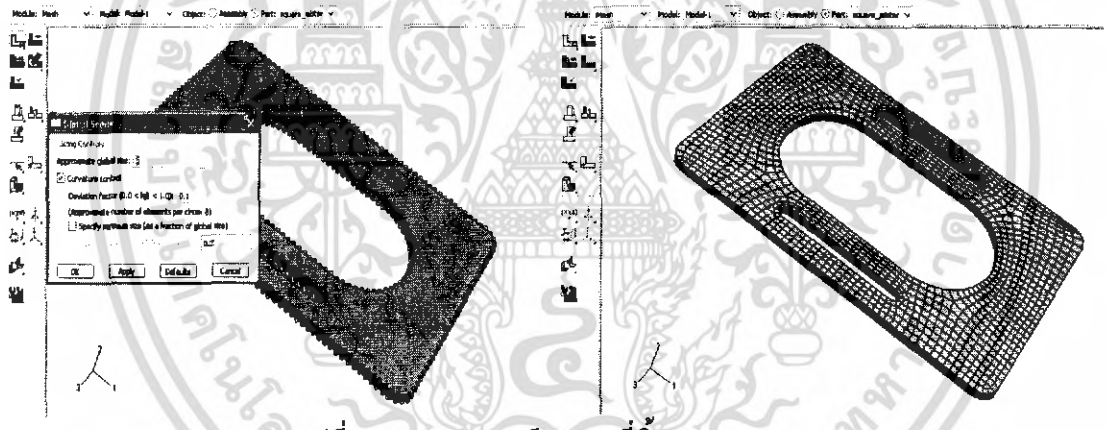
รูปที่ 5.109 แสดงการกำหนด Load ในชิ้น Deformable

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2.8 ต่อจากนั้นก็ ตี Mesh ที่ Seed Part Instance เพื่อกำหนดความละเอียดของ Mesh โดยที่ชิ้น rigid แล้ว Mesh Part Instance โดยให้ค่า Approximate size เป็น 11 และ Deviation factor เท่ากับ 0.1 แล้วตี Mesh ลงไป ส่วนชิ้นงาน Approximate size เป็น 4 และ Deviation factor เท่ากับ 0.1 แล้วตี Mesh



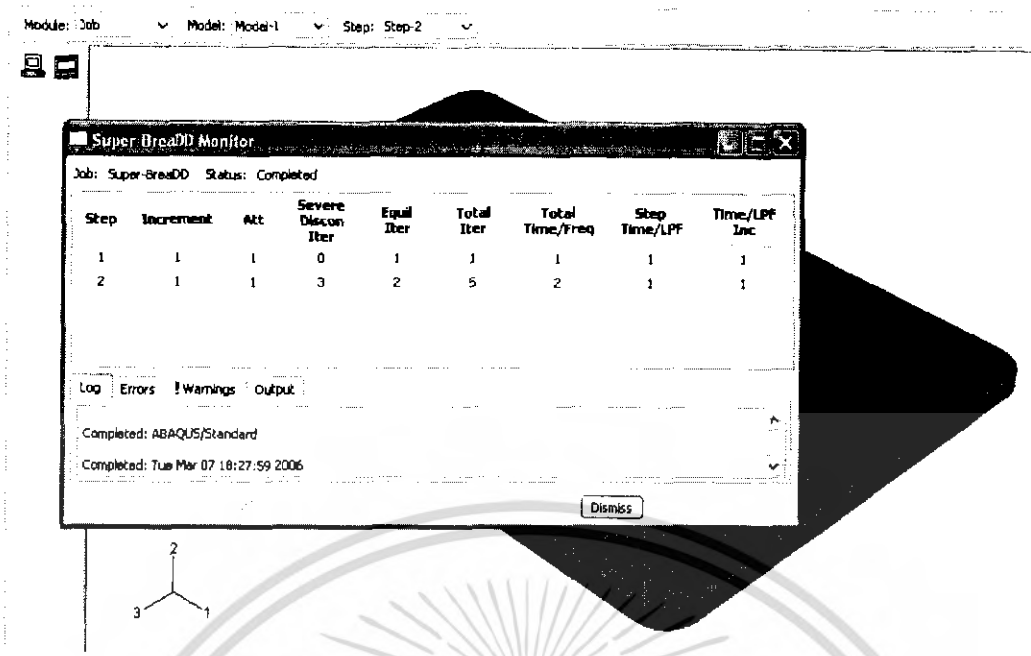
รูปที่ 5.110 แสดงการตี Mesh ชิ้น rigid



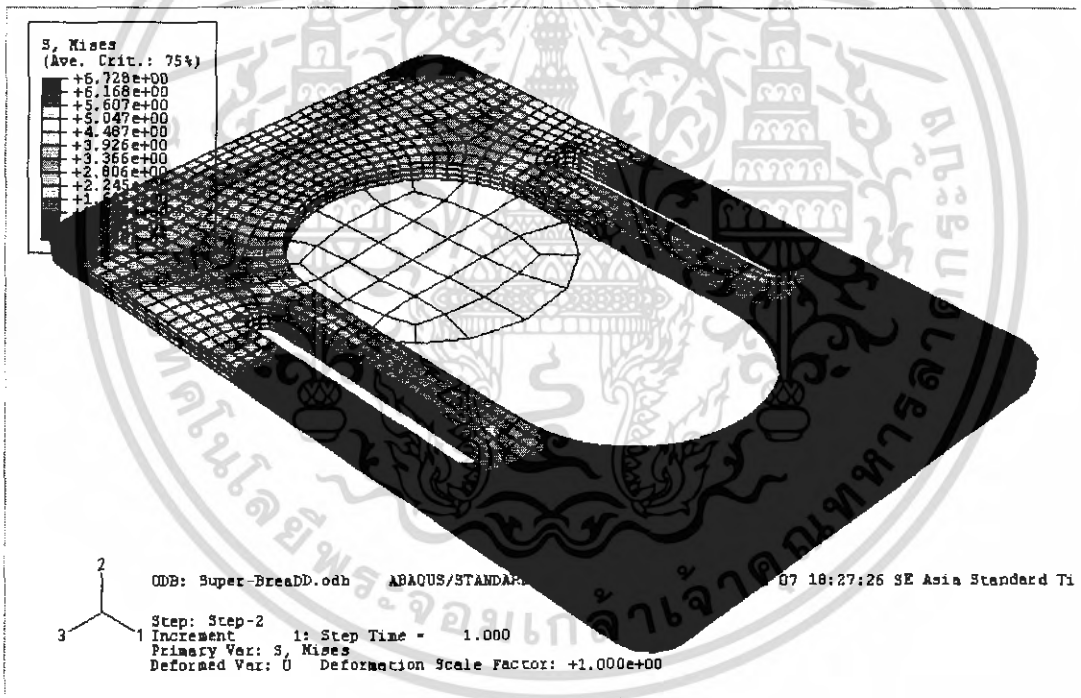
รูปที่ 5.111 แสดงการตี Mesh ที่ชิ้น Deformable

5.3.2.9 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ที่ Module Job >> Create Job แล้ว Summit เพื่อรันโปรแกรมเมื่อวิเคราะห์เสร็จแล้วกด Result เพื่อดูผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.112 แสดงภาพระหว่างรันโปรแกรม

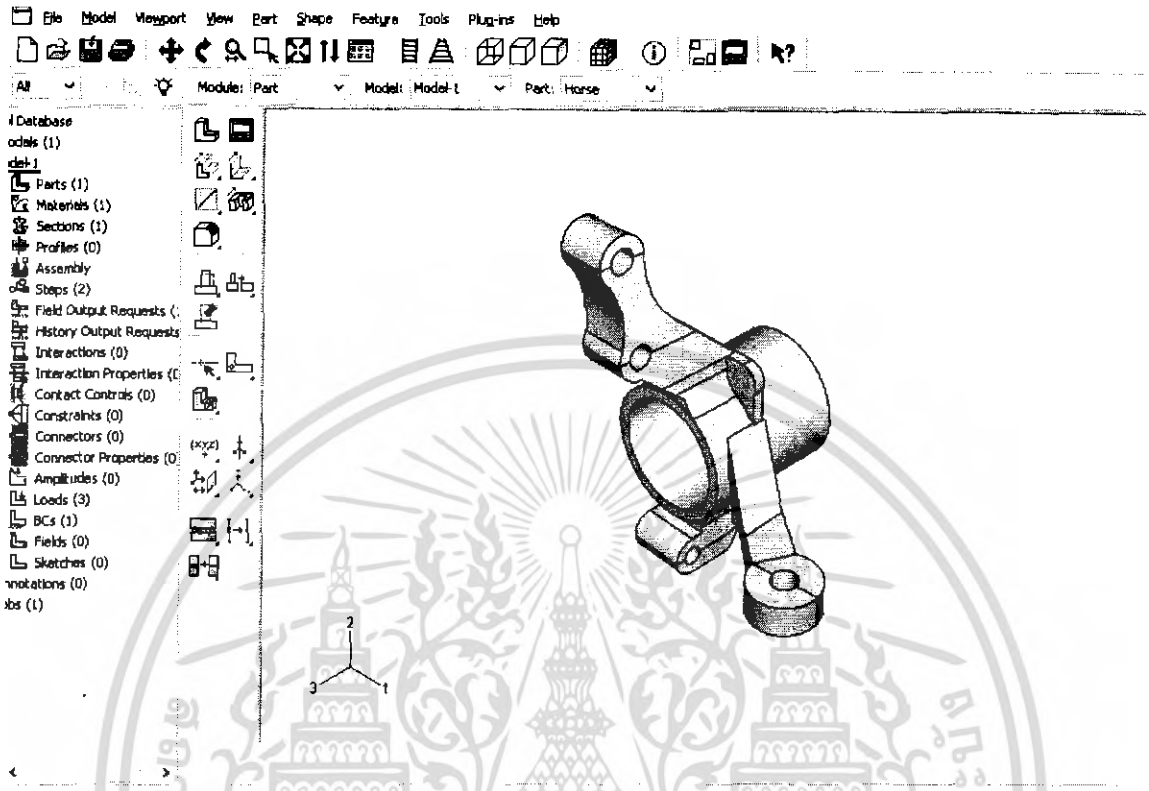


รูปที่ 5.113 แสดงตำแหน่งต่างๆที่เกิดความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 การวิเคราะห์ความเสียหายของคอม้า

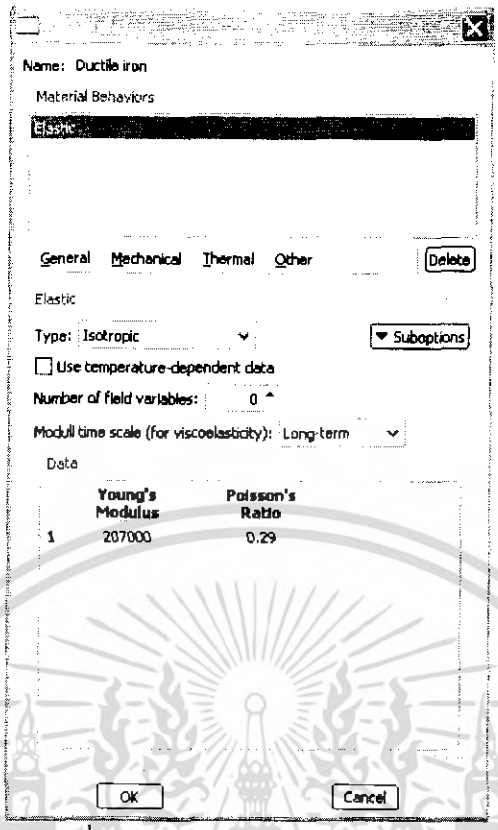
5.3.3.1 Import Part คอม้าจากโปรแกรม SolidWorks 2005



รูปที่ 5.114 แสดง Part คอม้า ที่ Import มาจาก SolidWorks 2005

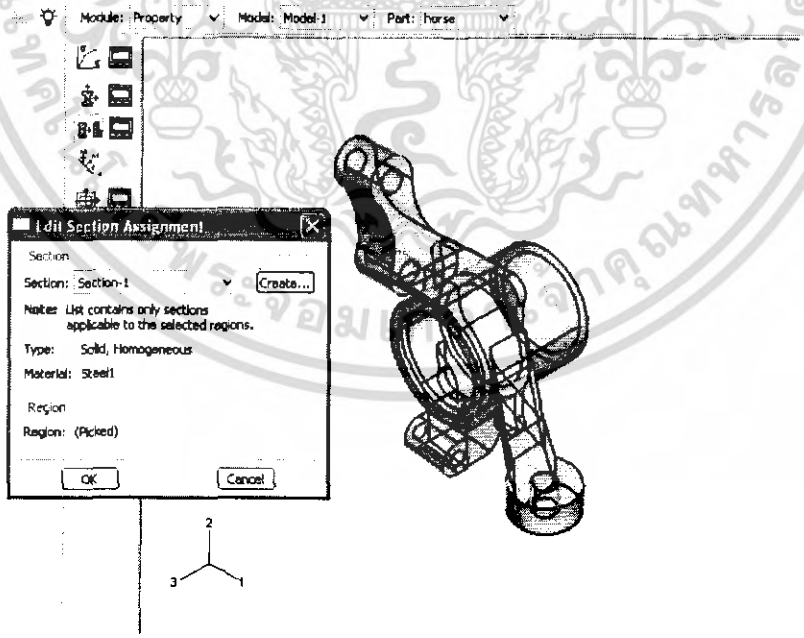
5.3.3.2 ต่อจากนั้นที่ Property เรากำหนดวัสดุที่ Icon ซึ่งมีค่า Young's Modulus เท่ากับ 2.07×10^5 N/mm^2 และค่า Poisson Ratio เท่ากับ 0.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



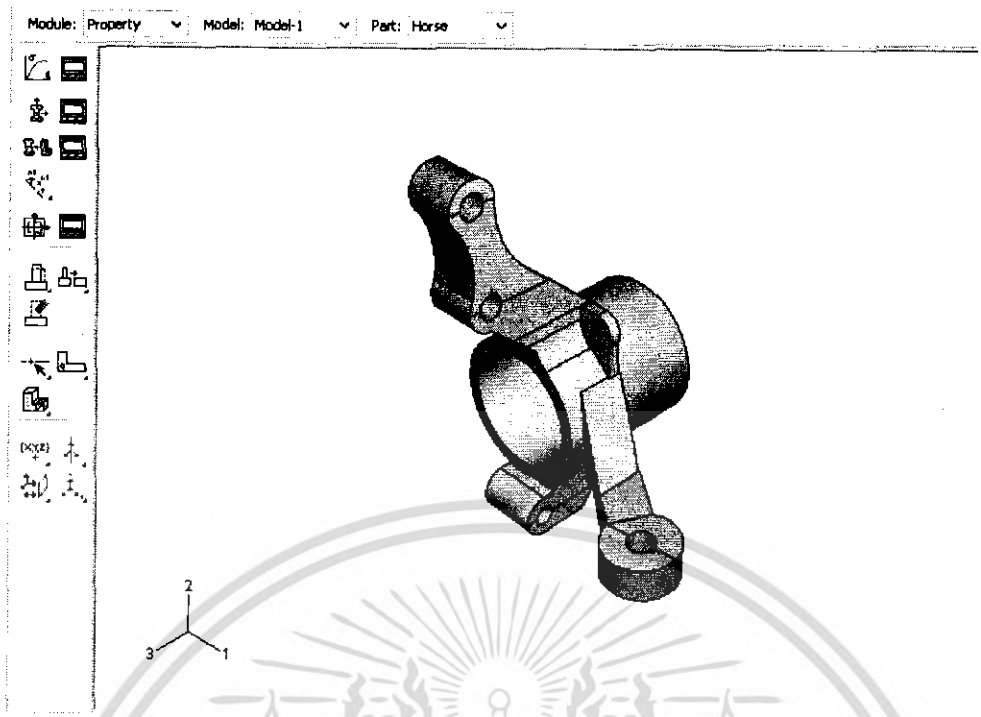
รูปที่ 5.115แสดงการกำหนดค่า Elastic

กำหนด Section ให้ Part โดยใช้ Icon Assign Section



รูปที่ 5.116 แสดงการกำหนด Section ลงใน Part คอม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



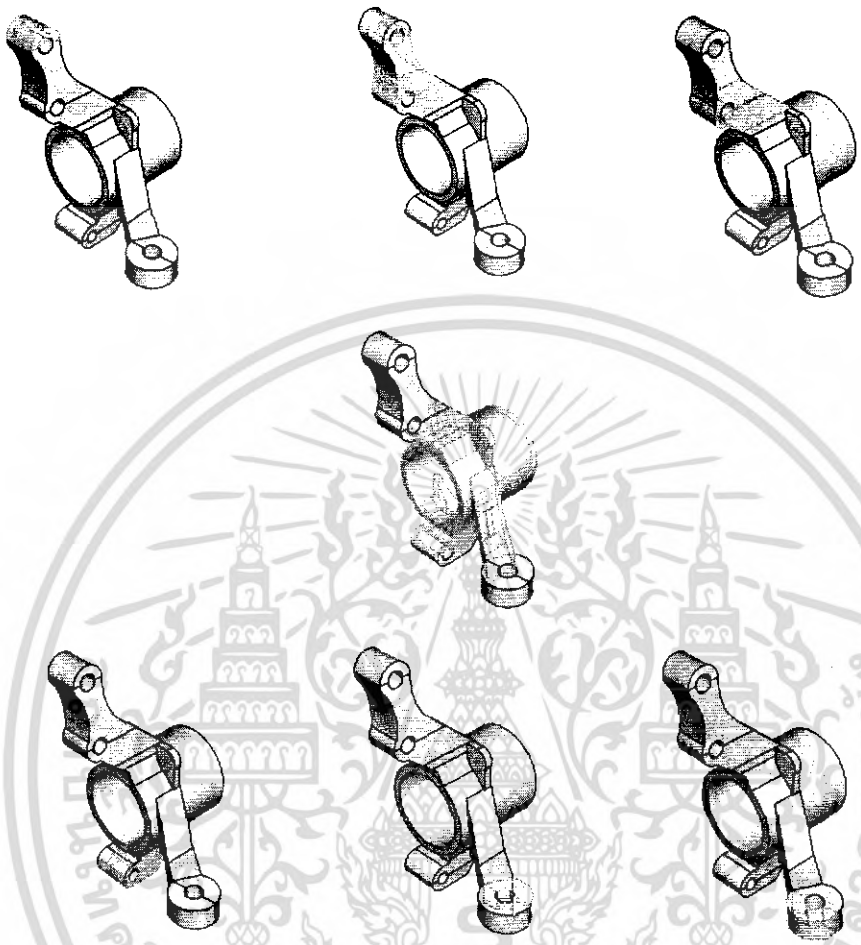
รูปที่ 5.117 แสดงรูปคอม้าที่กำหนด Section แล้วจะเป็นสีเขียว

5.3.3.3 สร้าง Step ขั้นตอนการวิเคราะห์โดยไปที่ Icon Create Step โดยเราจะให้เป็นแบบ Static, General แล้ว ok เราจะให้ Time period เท่ากับ 1

รูปที่ 5.118 แสดงขั้นตอนการสร้าง Step

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

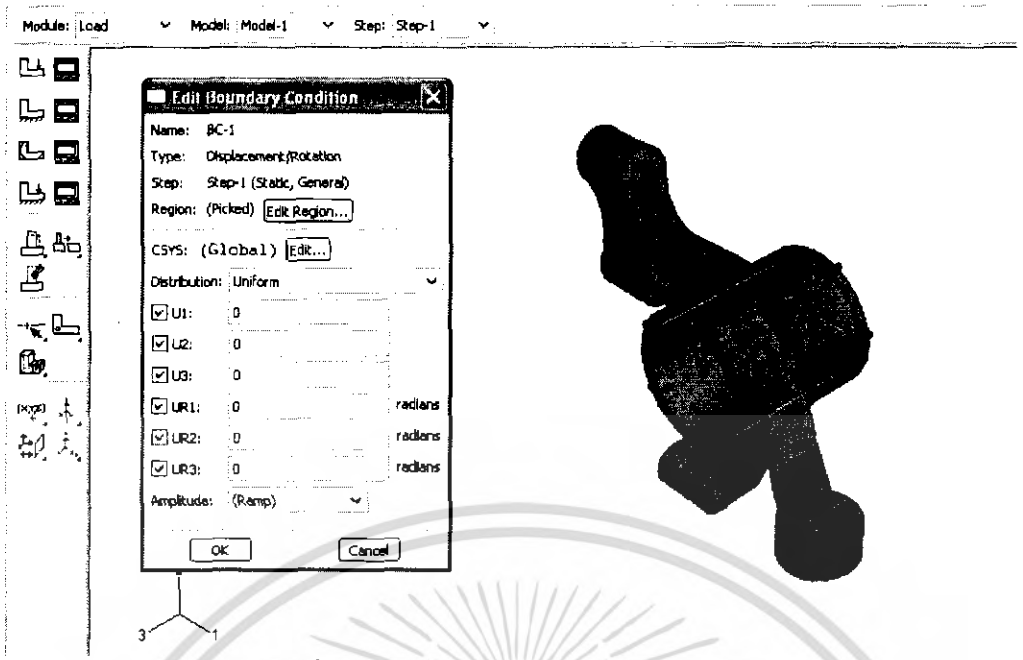
5.3.3.4 ก่อนที่เราจะกำหนดโหลดเราจะแบ่ง Partition ในชิ้นส่วนของเราก่อนแล้วจึงค่อยกำหยด โหลด การแบ่ง Partition จะใช่ Icon Partition cell ช่วยในการแบ่ง โดยมีส่วนย่อยๆดังนี้



รูปที่ 5.119 แสดงชิ้นส่วนที่แบ่ง Partition แล้ว

5.3.3.5 เมื่อแบ่ง Partition เสร็จแล้วจะมากำหนด Load ให้ Part ซึ่งเริ่มจาก Boundary Condition โดยกดที่ Icon แล้วเลือก Displacement/Rotation แล้วเลือกตำแหน่ง หลังจากนั้นกำหนดทุกค่าเท่ากับ 0 เพื่อไม่ให้เคลื่อนที่หรือหมุนในแกนใดๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



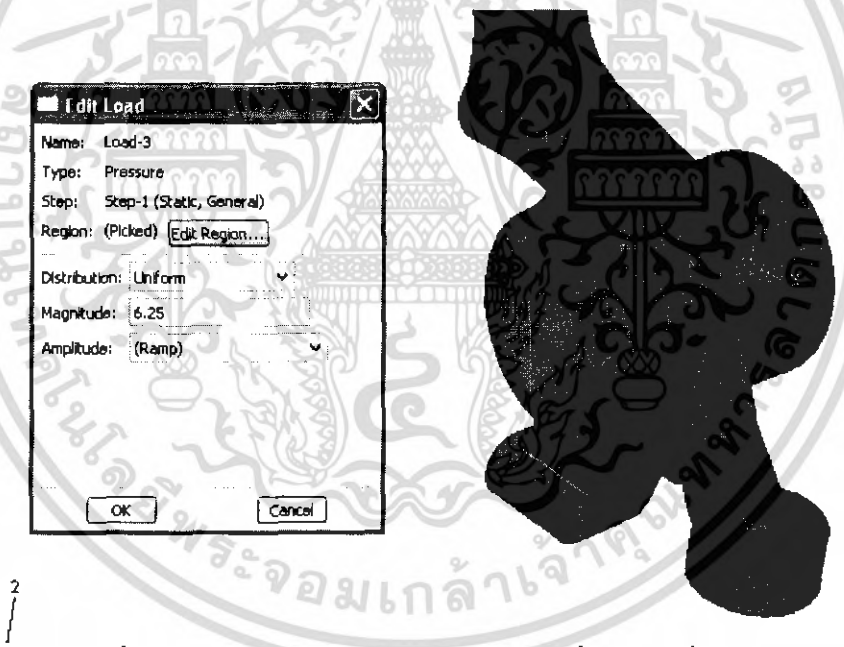
รูปที่ 5.120 แสดงตำแหน่งและกำหนดค่า BC

หลังจากกำหนด Boundary Condition แล้วก็กำหนด Load แต่เราจะใส่แรงเป็น Pressure โดยสร้างโหลดที่ Icon Create Load เราจะกำหนดแรงทั้งหมด 3 ค่า ที่ตำแหน่งแรกจะให้ค่า Magnitude เท่ากับ 3.205 ตำแหน่งที่ 2 Magnitude เท่ากับ 2.403 และตำแหน่งที่ 3 Magnitude เท่ากับ 6.25 Pa

รูปที่ 5.121 แสดงตำแหน่งและขนาดของ Load ที่ตำแหน่งแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.122 แสดงตำแหน่งและขนาดของ Load ที่ตำแหน่งที่ 2

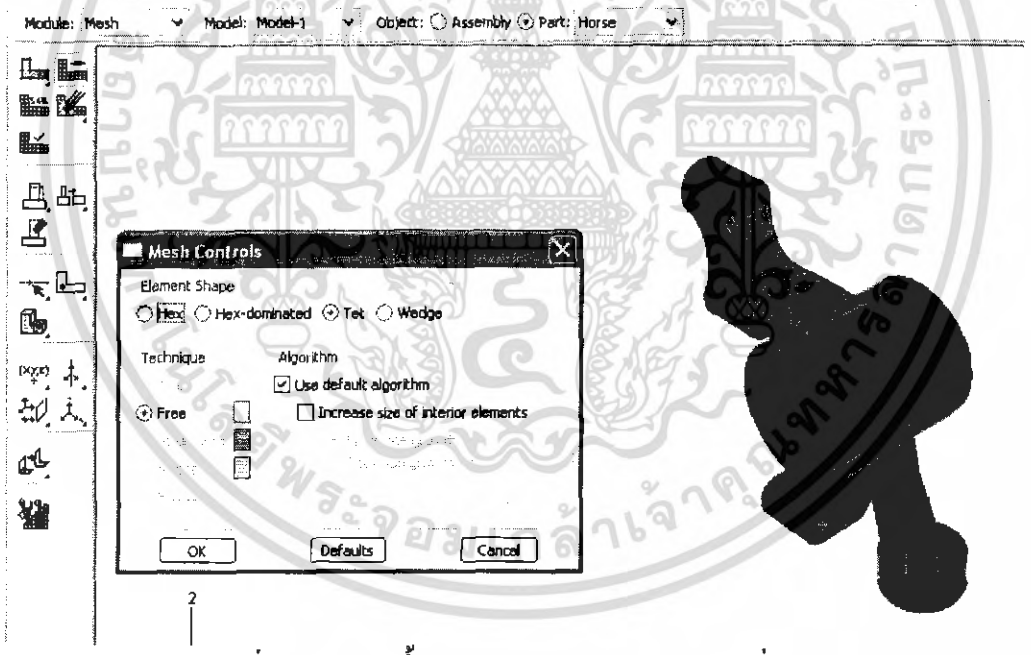


รูปที่5.123 แสดงตำแหน่งและขนาดของ Load ที่ตำแหน่งที่ 3

5.3.3.6 เมื่อเรากำหนด Load ต่างๆเสร็จแล้วเราก็นำมาตี Mesh ที่ Module Mesh เพื่อแบ่งชิ้นงานของเราเป็นชิ้นย่อยๆเพื่อวิเคราะห์ในขั้นต่อไป เราจะตี Mesh แบบ 3เหลี่ยม โดยไปที่ Icon Assign Mesh controls แล้วเลือกชิ้นที่ต้องการจากนั้นเลือกที่ Tet แล้ว OK ชิ้นที่เลือกไว้จะกลายเป็นสีชมพู

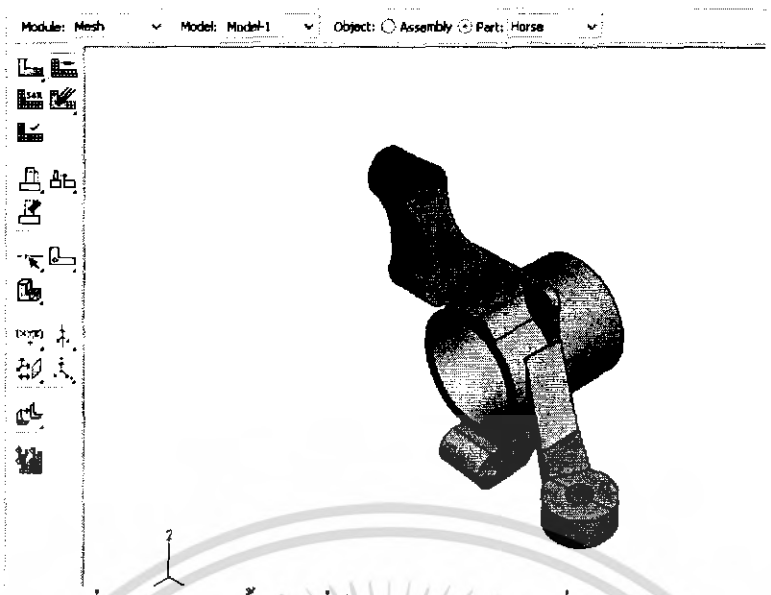
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.124 แสดง Part ที่แบ่ง Partition แล้วแต่ยังไม่สามารถตี Mesh ได้



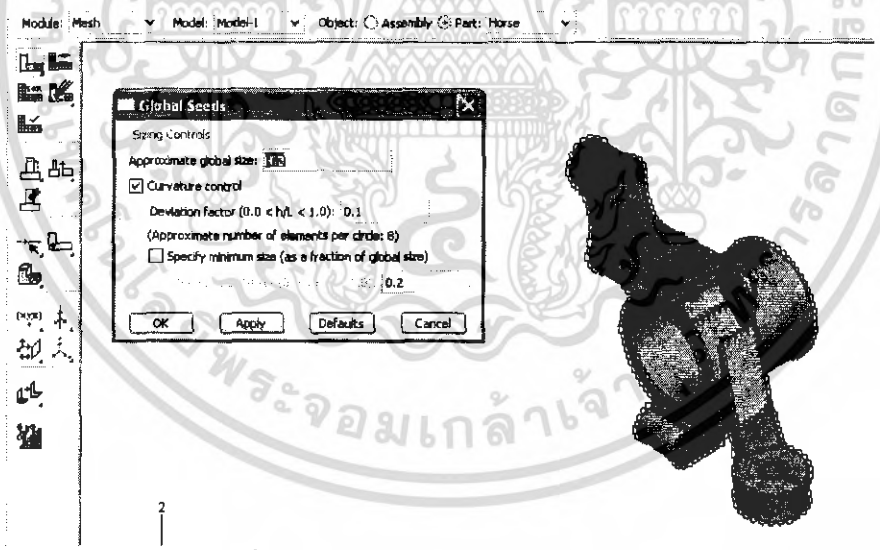
รูปที่ 5.125 แสดงขั้นตอนการเลือก Mesh แบบ 3 เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



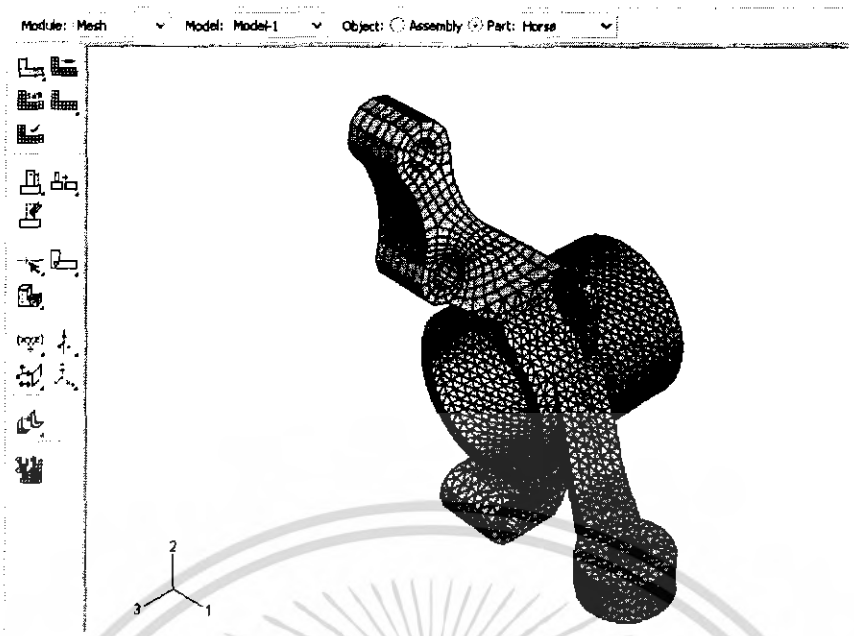
รูปที่ 5.126 แสดงชิ้นงานที่ต้องกานดี Mesh 3 เหลี่ยมจะมีสีชมพู

5.3.3.7 หลังจากแบ่ง Partition และ เลือกแบบของ Mesh แล้วเราก็จะทำการตี Mesh ตามปกติ โดยใช้ Icon Seed Part Instance ในการตีตารางลงบนชิ้นงานของเราโดยกำหนดค่า Approximate size เป็น 4.3 และ Deviation factor เท่ากับ 0.1 เมื่อแบ่งเสร็จแล้วก็ตี Mesh โดยใช้ Icon Seed Part



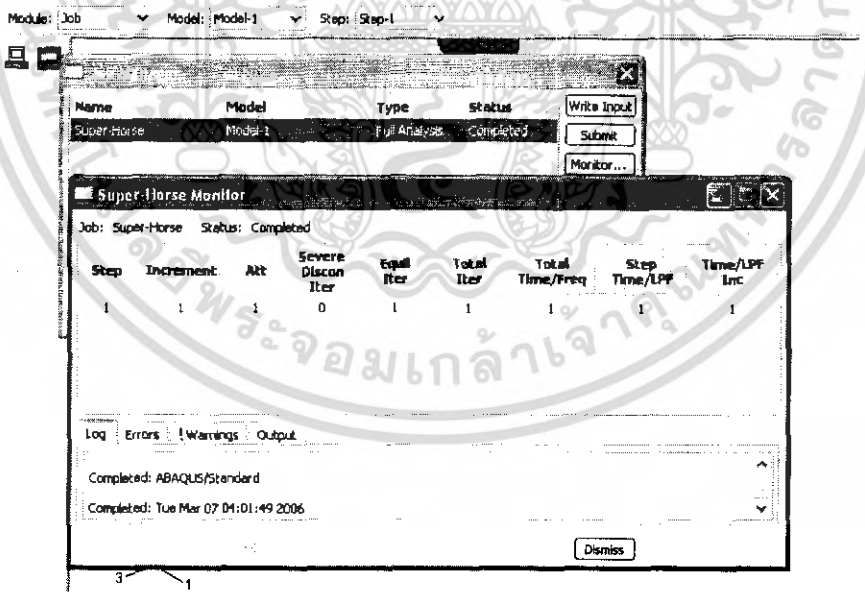
รูปที่ 5.127 แสดงการใช้ Seed Part Instance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



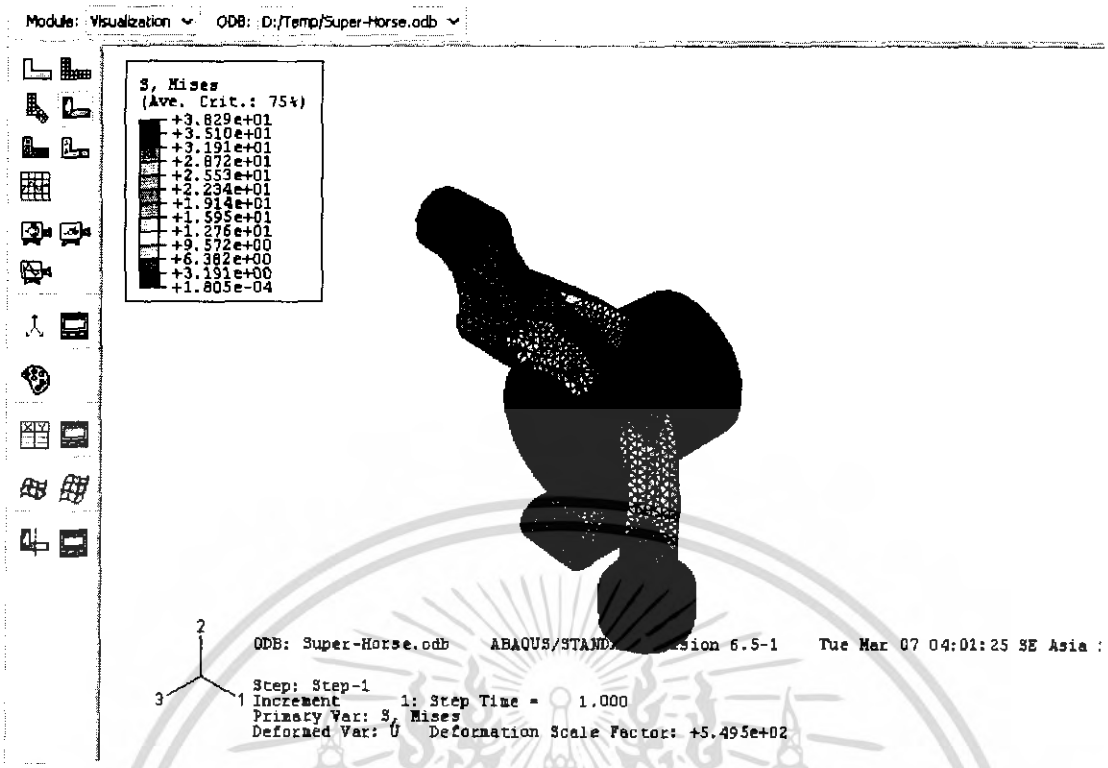
รูปที่ 5.128 แสดง Part ที่ดี Mesh เรียบร้อยแล้ว

5.3.3.8 ไปที่ Module Job เพื่อทำการวิเคราะห์ โดยสร้าง Job ที่ Icon Create Job และเริ่มการวิเคราะห์และติดตามผลที่ Job Manager โดยกด Summit เพื่อเริ่มการวิเคราะห์เมื่อรันเสร็จแล้วดูผลได้โดน กด Results



รูปที่ 5.129 แสดงภาพขณะรันโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.130 แสดงการเสียรูปและตำแหน่งที่เกิดความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทวิจารณ์และสรุป

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการศึกษาในโปรแกรม MSC. ADAM และการวิเคราะห์ความแข็งแรงในโปรแกรม ABAQUS จนสร้างชิ้นส่วนและติดตั้งอุปกรณ์ เพื่อทำการวิ่งติดเครื่อง และทดสอบสมรรถภาพของระบบบังคับเลี้ยว ได้ค่าสรุปดังนี้

อี-20

มุมเลี้ยวล้อด้านใน	30	องศา
มุมเลี้ยวล้อด้านนอก	26.5	องศา
เส้นผ่านศูนย์กลางการเลี้ยว	10.95	เมตร
รัศมีการเลี้ยวแคบสุด	5.475	เมตร
ค่ามุมแคสเตอร์	15	องศา
มุมแคสเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้	± 3	องศา
ค่ามุมแคมเบอร์	-5	องศา
มุมแคมเบอร์ที่สามารถปรับค่าได้	± 3	องศา
ระยะโทว์	2	องศา
สามารถปรับค่าเข้าออกได้	± 5	องศา

อีวี

มุมเลี้ยวล้อด้านใน	34.69	องศา
มุมเลี้ยวล้อด้านนอก	31	องศา
เส้นผ่านศูนย์กลางการเลี้ยว	7.015	เมตร
รัศมีการเลี้ยวแคบสุด	3.507	เมตร
ค่ามุมแคสเตอร์	17	องศา
มุมแคสเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้	± 3	องศา
ค่ามุมแคมเบอร์	0	องศา
มุมแคมเบอร์ที่สามารถปรับค่าได้	± 5	องศา
ระยะโทว์	0	องศา
สามารถปรับค่าเข้าออกได้	± 5	องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลการทดลอง

- จากผลการออกแบบชิ้นพิเศษ ชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์ มีผลช่วยทำให้รถ อี-20 และ อีวี มีการคืนกลับของพวงมาลัย ซึ่งมีความพัฒนาเมื่อเปรียบเทียบกับการแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2005

-ชิ้นส่วนพิเศษช่วยกลับมุมแคมเบอร์และระยะโทว์ ช่วยทำให้การปรับมุมล้อทำได้โดยง่ายและยืดหยุ่นในทุกสภาพการแข่งขัน

- ผลการติดตั้งพวงมาลัยปรับระดับสูงต่ำได้ ช่วยเอื้ออำนวยต่อการขับขี่และเหมาะสมกับทุกสรีระ

- ผลจากการวิเคราะห์มุมเลี้ยวใน ADAMS-CAR ช่วยให้สามารถคาดคะเนตำแหน่งติดตั้งและปรับให้ได้มุมใกล้เคียงกับการเลี้ยวไปตามกฎอัคเคมานน์

- การวิเคราะห์ความเสียหายทาง Finite Element ทำให้เราทราบจุดอ่อนของชิ้นงานที่เราออกแบบและสามารถสร้างได้โดยมีความแข็งแรงปลอดภัย มีขนาดเหมาะสมมีผลช่วยลดน้ำหนัก

6.3 วิจารณ์การทำงาน

การติดตั้ง

- ในรถ อี-20 มีการปฏิบัติเพื่อให้ง่ายกว่า เนื่องจากขนาดด้านหน้าของรถมีพื้นที่มากพอ ให้วางระบบได้อย่าเหลือเฟือ

- ส่วนในรถ อีวี มีพื้นที่หน้ารถน้อยมาก ทำให้การตั้งมุมพวงมาลัยทำได้ยาก และยากลำบากต่อการติดตั้ง ทำให้ต้องมีการปรับแก้ตำแหน่งหลายครั้ง

การหาอะไหล่

- ทำให้เรามีประสบการณ์ในการเลือกซื้ออะไหล่มือสองที่มีคุณภาพ

การประกอบ

- ทำให้มีความสามารถ รู้งาน หาตำแหน่งติดตั้ง และจัดวางด้วยตนเอง พร้อมทั้งรูสลักและจุดยึดติดด้วยตนเอง ทำให้สามารถมองภาพรวมในงานเกี่ยวกับรถยนต์ได้กว้างขึ้น

การออกแบบ

- ผลการออกแบบด้วยการใช้สูตรคำนวณ และการคาดคะเนหรือแม้จะทำการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ เมื่อทำการประกอบจริงพบว่ายังเกิดปัญหาต้องแก้ไขเฉพาะหน้าตลอดเวลา

6.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

ปัญหาที่เกิดเกิดขึ้น

- เนื่องจากในเวลาปฏิบัติการต้องใช้เวลาหลังเลิกเรียนจนถึงช่วงเวลากลางคืน จึงต้องแบ่งเวลาการทำงานให้เหมาะสม

- ปัญหาการติดตั้ง พบเสมอ แม้จะทำการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่แล้ว แต่เมื่อทำการติดตั้งจริงพบว่ามีความคลาดเคลื่อน อาจทำให้ต้องแก้ไข และวิเคราะห์ปัญหาอยู่ตลอดเวลา

- ปัญหาการตั้งมุมล้อพบว่าเครื่องมือใน Work shop เพื่อวัดมุมล้อยังไม่มี และการวัดด้วยทฤษฎีอาจทำให้ผลการคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปัญหาการรองาน จากการประกอบในส่วนอื่นๆอาจทำให้งานของเราล่าช้า

- การเขียนแบบต้องมีความแม่นยำสูง เพราะการสั่งตัดโลหะแต่ละครั้งมีราคาสูงหากผิดพลาดก็จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองงบประมาณ

6.5 แนวทางการพัฒนาต่อ

-จากลการทดลองที่ได้พบว่า การผลิตรถ การติดตั้งระบบบังคับเลี้ยว หรือระบบอื่นๆ ความมีประสบการณ์ อยากแนะแนวให้ผู้ที่ต้องการศึกษาต่อ ควรศึกษาเริ่มจากระบบพื้นฐานก่อน

- หากมีความเชี่ยวชาญพิเศษอาจทำการสร้างระบบเลี้ยวที่มีวงเลี้ยวแคบยิ่งขึ้นอาจจะพัฒนาระบบเลี้ยว 4 ล้อได้

6.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- มีความรู้ความสามารถพื้นฐาน เช่น การเชื่อ การเจียร การตัด การเจาะ มีความชำนาญมากขึ้น

- สามารถมองภาพรวมเกี่ยวกับรถยนต์ได้ชัดขึ้น

- มีการทำงานร่วมกับผู้อื่น และสามารถกระจายงานให้เหมาะสมกับความสามารถของแต่ละบุคคลได้

- มีความเชี่ยวชาญในการใช้โปรแกรม และการเขียนแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] เธียรชัย บุณยะกุล: *ทฤษฎีช่างเทคนิคยานยนต์ เล่ม3 (ระบบบังคับเลี้ยว)*. สสท.

[2] James D. Halderman: *Automotive Technology second edition*. Utas Valley State College

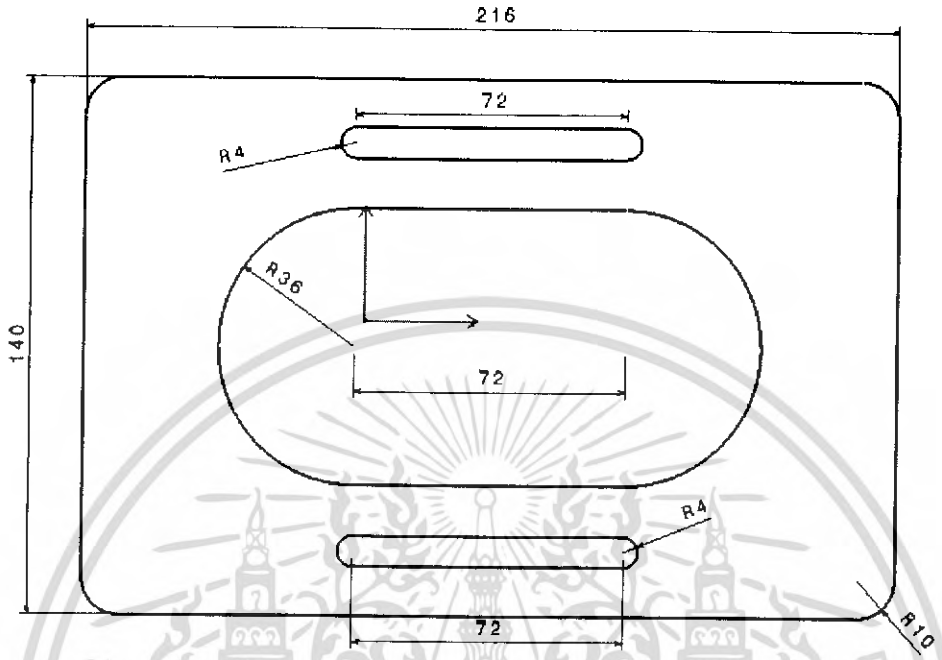
[3] Prof. Dipl.-Ing. Jornsen Reimpell: *The Automotive Chassis :Engineering Principles*. SAE INTERNATIONAL

[4] รองศาสตราจารย์อำพล ซื่อตรง: *ทฤษฎีช่วงล่างรถยนต์ 1*. ศสว.

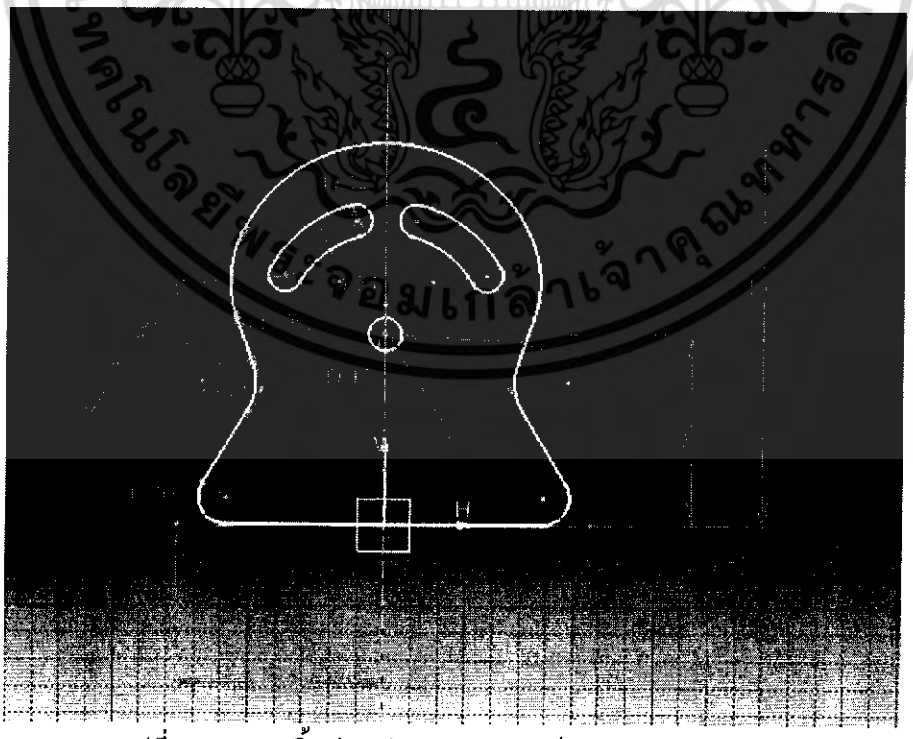
[5] เผด็จ แสนเกษม : กลศาสตร์ยานยนต์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพระนครเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

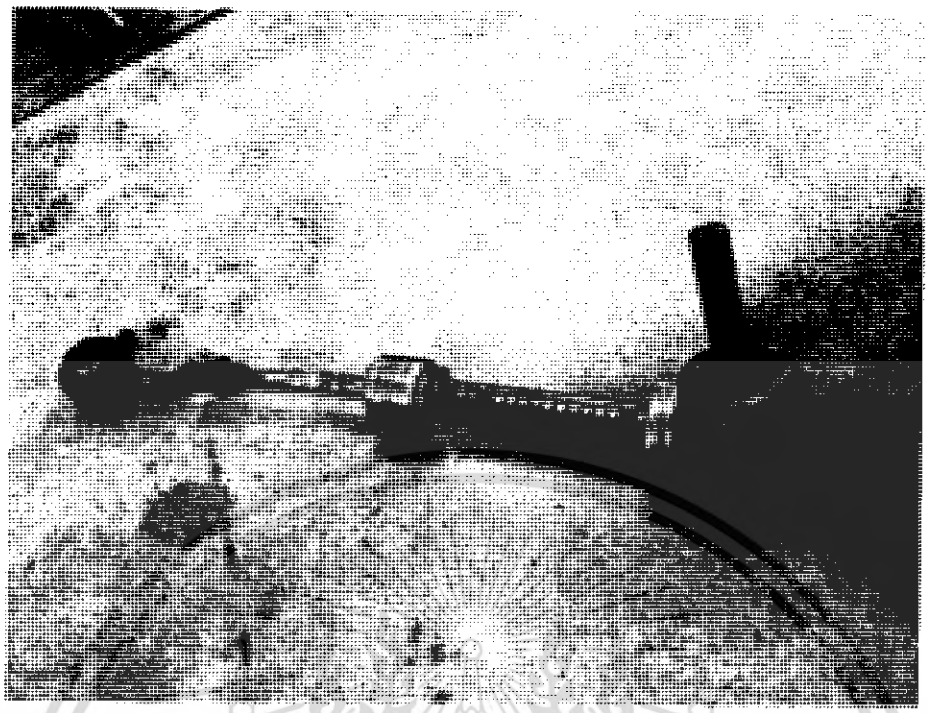


รูปที่ ก -1 ขนาดชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์ (Caster Adjuster)

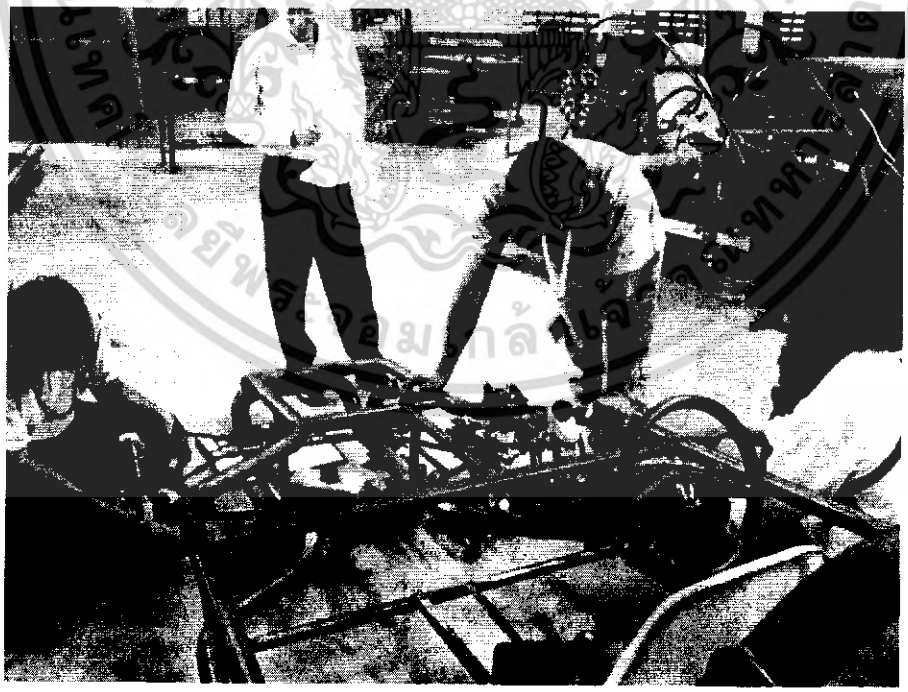


รูปที่ ก -2 ขนาดชิ้นส่วนปรับมุมแคมเบอร์ (Camber Adjuster)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



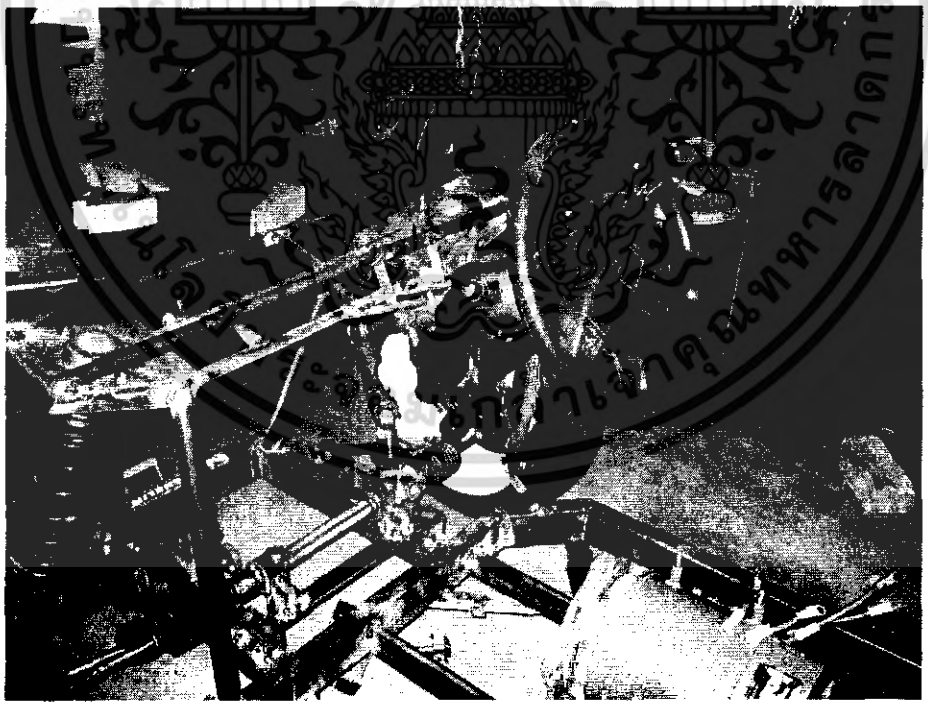
รูปที่ ก -3 กระปุกเฟืองพวงมาลัยที่เลือกใช้



รูปที่ ก -4 การตรวจสอบโดยคณะกรรมการจากบริษัทโตโยต้าตัวแทนของสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ไทย

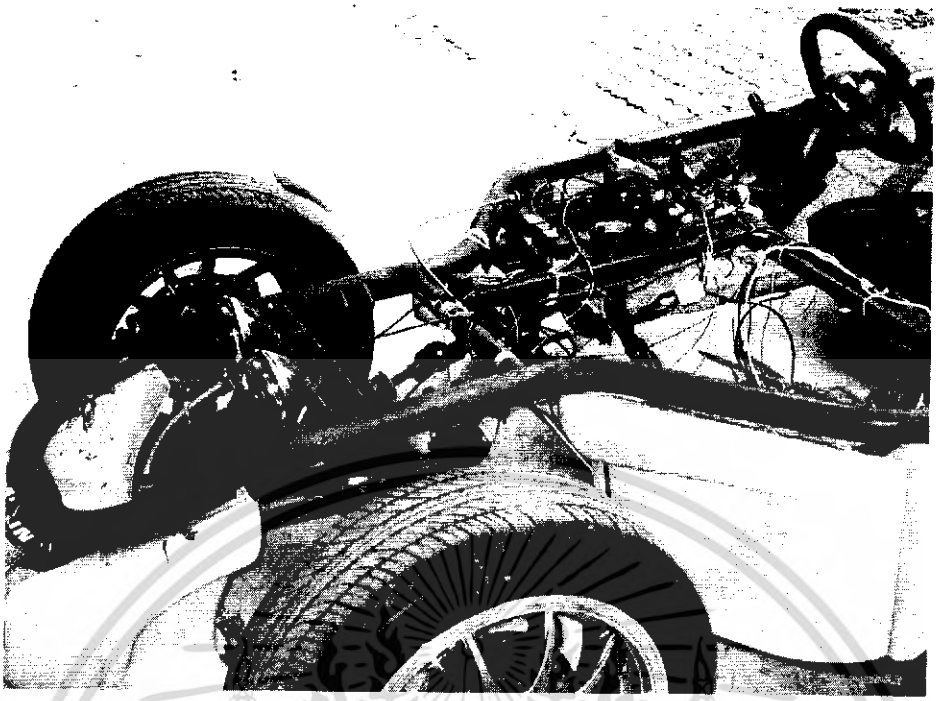
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก -5 การวางตำแหน่งติดตั้งพวงมาลัยในรถอี-20

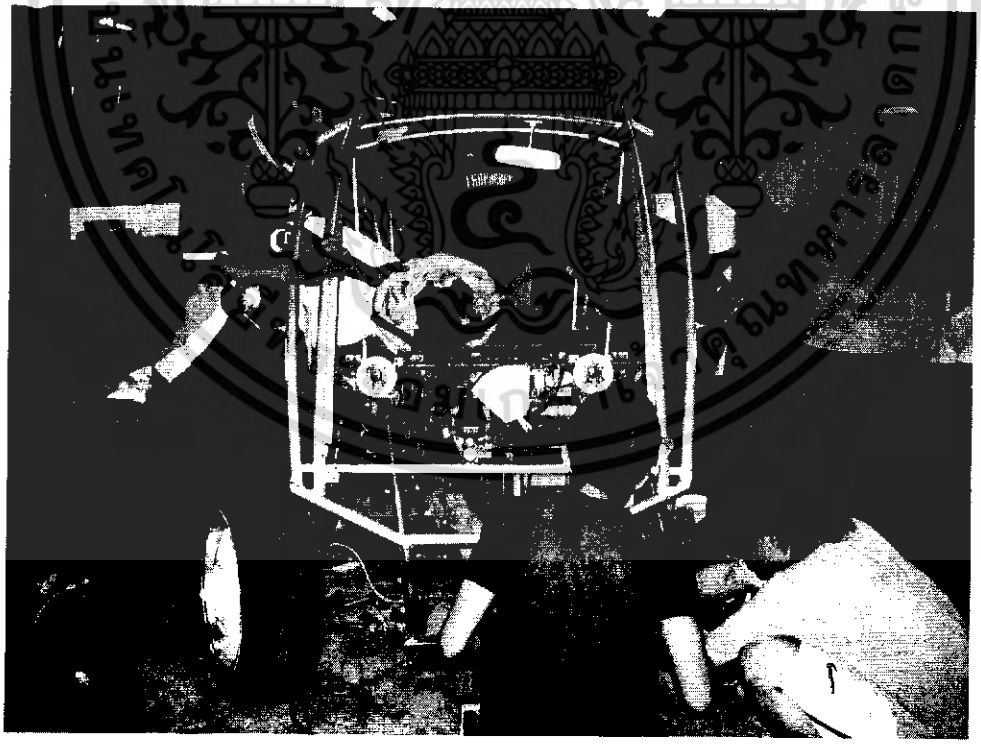


รูปที่ ก -6 การวางตำแหน่งติดตั้งพวงมาลัยในรถไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก -7 การปรับตั้งศูนย์ล้อในรถอี-20



รูปที่ ก -8 การปรับตั้งศูนย์ล้อในรถไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก -9 การเลี้ยวในรถอี-20

รูปที่ ก -10 การเลี้ยวในรถไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ก -11รางวัลรองชนะเลิศอันดับที่ 1 รถไฟฟ้า

รูปที่ ก -12 ประสบความสำเร็จ ได้รับรางวัลในการเข้าร่วมแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2006

รางวัลรองชนะเลิศอันดับที่ 1 รถไฟฟ้า

รางวัลชนะเลิศ รถยนต์ขับเคลื่อนด้วยเชื้อเพลิงเอทานอล 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้