สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและพัฒนาระบบช่วงล่างสำหรับรถฟอร์มูล่านักศึกษาปี 2009

DESIGN AND DEVELOPMENT SUSPENSION SYSTEM FOR STUDENT FORMULA CAR 2009

T104311

นาย เฉลิมชัย มังษะชาติ
นาย สมชาย สังข์วิจิตร
นาย เอกชัย ส่งวัฒนา

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104311
วัน,เดือน,ปี - 2 พ.ย. 2552
.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาระบบช่วงล่างสำหรับรถฟอร์มูล่านักศึกษาปี 2009

DESIGN AND DEVELOPMENT SUSPENSION SYSTEM FOR STUDENT FORMULA CAR 2009

นาย เฉลิมชัย มังษะชาติ

นาย สมชาย สังข์วิจิตร

นาย เอกชัย ส่งวัฒนา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาระบบช่วงล่างสำหรับรถฟอร์มูล่านักศึกษาปี 2009

DESIGN AND DEVELOPMENT SUSPENSION SYSTEM FOR STUDENT FORMULA CAR 2009

โดย

นาย เฉลิมชัย มังษะชาติ

นาย สมชาย สังข์วิจิตร

นาย เอกชัย ส่งวัฒนา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบและพัฒนาระบบช่วงล่างสำหรับรถฟอร์มูล่านักศึกษาปี 2009

ผู้จัดทำ

1. นาย เฉลิมชัย มังษะชาติ รหัสนักศึกษา 48010160
2. นาย สมชาย สังข์วิจิตร รหัสนักศึกษา 48010933
3. นาย เอกชัย ส่งวัฒนา รหัสนักศึกษา 48011137

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและพัฒนาระบบช่วงล่างสำหรับรถฟอร์มูล่านักศึกษาปี 2009

นาย เฉลิมชัย มังษะชาติ 48010160
นาย สมชาติ สังข์วิจิตร 48010933
นาย เอกชัย ส่งวัฒนา 48011137
ผศ.ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

จากการศึกษาทดลองโครงงานทั้งหมดที่ผ่านมาทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่า ระบบช่วงล่างแบบปีกนกคู่เป็นระบบที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้กับรถแข่งขนาดเล็ก เนื่องจากมีความอิสระต่อกันทั้งสี่ล้อ ทำให้รถเกิดการโคลงน้อย มีขนาดค่อนข้างเล็กจึงทำให้ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย โดยสามารถปรับมุมแคมเบอร์และมุมโท ได้สะดวก ค่ามุมแคมเบอร์เริ่มต้นที่ใช้เป็น -2 องศา มุมโทเริ่มต้นเป็น -1 องศา มุมแคสเตอร์ เป็น 4 องศา มีการใช้ทฤษฎีของ Antisquat 85% เข้ามามีส่วนในการออกแบบซึ่งจะเป็นการป้องกันอาการท้ายรถยุบอันเนื่องมาจากการออกตัว การออกแบบได้ใช้โปรแกรม Adams เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ด้านกลศาสตร์ จำลองการเคลื่อนตัวของปีกนกในสถานการณ์ต่างๆรวมไปถึงวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของรถ และใช้โปรแกรม Abaqus เข้ามาช่วยในการหาขนาดและรูปร่างของปีกนก โดยจากการวิเคราะห์ที่ผ่านมาทำให้ได้รูปแบบปีกนกที่เหมาะสมที่สุด ได้การเคลื่อนตัวของปีกนกที่ไม่ส่งผลกระทบต่อมุมล้อมากจนเกินไป ได้ขนาดปีกนกที่เหมาะสม น้ำหนักเบา แต่มีความแข็งแรงโดยใช้วัสดุเป็น เหล็กเกรด STKM 11 A (seamless) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 15.9 มิลลิเมตร หนา 1.6 มิลลิเมตร มีค่า Safety Factor อยู่ที่ 1.26 -2.0 และได้ขนาดล็อคเกอร์อาร์มที่เล็ก น้ำหนักเบา มีความปลอดภัยอยู่ที่ 8.06 และ 9.71 มีการนำเทคโนโลยีด้าน Data Logging เข้ามาช่วยในการเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของโช้ค และแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ ส่งข้อมูลผ่านไมโครคอนโทลเลอร์ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์สภาพของช่วงล่างในขณะนั้นและสามารถปรับแต่งให้เข้ากับสภาพสนามที่วิ่งในขณะนั้นได้ ข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดลองจึงส่งผลให้รถที่ได้มีสมรรถนะสูง ตอบสนองต่อการขับขี่และการเข้าโค้ง พิสูจน์ได้จากกราฟ การเคลื่อนที่ของโช้ค และกราฟค่าความเร่งที่ได้ นอกจากนั้นวัสดุที่ใช้นั้นยังมีน้ำหนักเบา ส่งผลให้ราคาในการผลิตต่ำด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT SUSPENSION SYSTEM FOR STUDENT FORMULA CAR 2009

Mr. Chalermchai Mangsachat 48010160
Mr. Somchai Sangwijit 48010933
Mr. Ekkachai Songwatthana 48011137
Asst.Prof.Dr.Chinda Charoenphonphanich Advisor

Abstract

From we study about type of suspension. We find the optimum suspension of the Formula Student it is doublewishbone because doublewishbone have independent movement of wheel which have stable in high velocity and compact size .Adjust the angle of wheel such as camber caster and toe in our design we use camber is -2° caster is 4° and toe is -1° .We use anti squat 85% advantage of anti squat theory is a resist the rear car bump in acceleration .Geometry of wishbone we used Adams program to simulate the movement of suspension to find the best shape of wishbone and Abaqus was used to analysis the failure in part of suspension system and consider the strength of wishbone couple the weight of it to find the optimal of two factor .Finally we designed wishbone and produced it from steel STKM 11A (Seamless) have out size diameter is 15.9 and thick 1.6 mm and have safety factor 1.26 – 2.0 ,get it from Abaqus. Microcontroller and sensor was used to collect data of suspension and analysis the data to modify part of car to increase the performance of car.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำทุกๆอย่างในการดำเนินโครงงานครั้งนี้ รวมไปถึงท่าอาจารย์มนต์ศักดิ์ พิมสาร และอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำโครงงานเป็นอย่างดี ขอบคุณ บิดา มารดา ที่ช่วยให้การสนับสนุนอยู่ตลอดเวลาการดำเนินงาน ในทุกๆเรื่อง และสุดท้าย ขอขอบคุณ สมาชิกชมรม ยานยนต์ ทุกคนที่เป็นส่วนสำคัญในการทำให้การสร้างรถสำเร็จและมีผลทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นาย เฉลิมชัย	มังษะชาติ	48010160
นาย สมชาติ	สังข์วิจิตร	48010933
นาย เอกชัย	ส่งวัฒนา	48011137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษา	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 แนวทางการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎีมุมล้อหน้า	3
2.1 ความหมายของมุมล้อหน้า	3
2.2 มุมแคสเตอร์ (Caster)	3
2.3 มุมแคมเบอร์ (Camber Angle)	7
2.4 มุมเอียงสลักล้อหน้า (Kingpin inclination)	9
2.5 มุมรวม (Include angle)	10
2.6 จุดตัด (Point of intersection)	10
2.7 มุมโท (Toe)	10
บทที่ 3 ชนิดของระบบช่วงล่าง	12
3.1 ความมุ่งหมาย	12
3.2 หน้าที่ของสปริง	12
3.3 น้ำหนักเหนือสปริง และน้ำหนักใต้สปริง	13
3.4 คุณลักษณะของสปริง	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การแบ่งชนิดของช่วงล่าง 14
3.6 ระบบช่วงล่างแบบปีกนก (Wishbone suspension) 14
3.7 ระบบช่วงล่างแบบคานแข็ง 15
3.8 ระบบช่วงล่างแบบแม็คเฟอร์สันสตรัต (Macpherson strut – type front suspension) 15
3.9 ระบบช่วงล่างแบบเทรลิ่งอาร์ม (Trailing arm) 16

บทที่ 4 การจำลองการเคลื่อนที่ของระบบช่วงล่าง 18
4.1 Anti Squat Geometry 18
4.2 วิเคราะห์การจำลองการเคลื่อนที่เมื่อเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ Anti Squat ของระบบช่างล่างด้านหลัง 19
4.3 วิเคราะห์ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของระบบช่วงล่างด้านหน้า 24
4.4 แรงที่เข้าล้อที่เกิดจาก Braking Test 26
4.5 สรุปการจำลองการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม ADAMS/Car 26

บทที่ 5 ไฟไนต์เอลิเมนท์ 27
5.1 ขั้นตอนพื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ 27
5.2 ข้อดีและข้อเสียของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ 27
5.3 ทฤษฎีความเสียหาย 28
5.4 ค่าความปลอดภัย (Safety Factor, SF) 29

บทที่ 6 ข้อมูลของระบบช่วงล่าง 30
6.1 ประโยชน์ของ data logging 30
6.2 ข้อมูลที่เกี่ยวกับระบบช่วงล่าง 31
6.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความเร่ง 31
6.4 การทดสอบและการเก็บผลการทดลอง 38
6.5 ผลการทดสอบ 42
6.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง 53
6.7 สรุปผลการทดลอง 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7 สรุปผลโครงงาน 55
7.1 สรุป 55
7.2 ปัญหาที่พบ 56
7.3 ข้อเสนอแนะ 57
บรรณานุกรม 58
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 4.1 แสดงแรงเข้าล้อที่เกิดจาก Braking Test	26
ตารางที่ 5-1 แสดงค่าความปลอดภัยของปีกนก	29
ตารางที่ 5-2 แสดงค่าความปลอดภัยของล็อคเกอร์อาร์ม	29
ตารางที่ 6.1 แสดงค่าความเร่งในแนวด้านข้างของรถที่สภาวะต่างๆ	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้าที่
รูปที่ 2-1 แสดงการวัดมุมแคสเตอร์	4
รูปที่ 2-2 แสดงมุมแคสเตอร์	5
รูปที่ 2-3 แสดงมุมแคมเบอร์	7
รูปที่ 2-4 แสดงมุมแคมเบอร์ในรถยนต์ทั่วไป	8
รูปที่ 2-5 แสดงการวัดมุมแคมเบอร์ในรถยนต์	9
รูปที่ 2-6 แสดงมุมคิงพิน	10
รูปที่ 2-7 แสดงการวัดมุมโทและโทเอ้าท์ออนเทิร์น	11
รูปที่ 3-1 แสดงภาพแชสซิส	12
รูปที่ 3-2 ระบบช่วงล่างแบบปีกนก	15
รูปที่ 3-3 แสดงภาพคานแข็ง	15
รูปที่ 3-4 แสดงภาพระบบแม็คเฟอร์สันสตรัต	16
รูปที่ 3-5 แสดงภาพระบบเทรลิ่งอาร์ม	17
รูปที่ 4-1 แสดงภาพด้านข้างซ้ายของรถ	18
รูปที่ 4-2 แสดงการเลือกจุด IC ของระบบช่วงล่างด้านหลังโดยมองจากด้านข้างซ้ายของรถ	19
รูปที่ 4-3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุมโทและมุมแคมเบอร์ เทียบกับระยะล้อเคลื่อนที่	20
รูปที่ 4-4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุม Roll และ มุม Pitch ของการจำลอง Single Lane Change	21
รูปที่ 4-5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุม Roll และ มุม Pitch ของการจำลอง Ramp steer	22
รูปที่ 4-6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุม Roll และ มุม Pitch ของการจำลอง Braking Test	23
รูปที่ 4-7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุม pitch ของการจำลอง Acceleration Test	24
รูปที่ 4-8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุมแคมเบอร์กับระยะล้อเคลื่อนที่	25
รูปที่ 4-9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุมโทกับระยะล้อเคลื่อนที่	25
รูปที่ 4-10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุมแคสเตอร์กับระยะล้อเคลื่อนที่	25
รูปที่ 6-1 ความเร่งตามแนวขวาง	33
รูปที่ 6-2 ความเร่งตามแนวขวาง_โค้งซ้าย	33
รูปที่ 6-3 ความเร่งตามแนวยาว	34
รูปที่ 6-4 การเคลื่อนที่ของช่วงล่าง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6-5 การพล็อตความเร่งแนวตามยาวกับแนวตามขวาง 36
รูปที่ 6-6 G-Circle ของ Dodge Viper GT 37
รูปที่ 6-7 Board Microcontroller 38
รูปที่ 6-8 Potentiometer B10K 39
รูปที่ 6-9 G Sensor ADXL202 39
รูปที่ 6-10 เหล็กกันโคลงด้านหลังที่สภาวะปานกลาง 40
รูปที่ 6-11 สนามที่ใช้ทดสอบ 41
รูปที่ 6-12 รถที่ใช้ทดสอบ Initial IV 41
รูปที่ 6-13 เข้าโค้งขวา_สภาวะแข็งมาก 43
รูปที่ 6-14 เข้าโค้งซ้าย_สภาวะแข็งมาก 43
รูปที่ 6.15 กราฟ G-Circle เข้าโค้งขวา _สภาวะแข็งมาก 44
รูปที่ 6-16 กราฟ G-Circle เข้าโค้งซ้าย _สภาวะแข็งมาก 44
รูปที่ 6-17 เข้าโค้งขวา_สภาวะแข็ง 45
รูปที่ 6-18 เข้าโค้งซ้าย_สภาวะแข็ง 45
รูปที่ 6-19 กราฟ G-Circle เข้าโค้งขวา _สภาวะแข็ง 46
รูปที่ 6-20 กราฟ G-Circle เข้าโค้งซ้าย _สภาวะแข็ง 46
รูปที่ 6-21 เข้าโค้งขวา_สภาวะปานกลาง 47
รูปที่ 6-22 เข้าโค้งซ้าย_สภาวะปานกลาง 47
รูปที่ 6-23 กราฟ G-Circle เข้าโค้งขวา _สภาวะปานกลาง 48
รูปที่ 6-24 กราฟ G-Circle เข้าโค้งซ้าย _สภาวะปานกลาง 48
รูปที่ 6-25 เข้าโค้งขวา_สภาวะอ่อน 49
รูปที่ 6-26 เข้าโค้งซ้าย_สภาวะอ่อน 49
รูปที่ 6-27 กราฟ G-Circle เข้าโค้งขวา _สภาวะอ่อน 50
รูปที่ 6-28 กราฟ G-Circle เข้าโค้งซ้าย _สภาวะอ่อน 50
รูปที่ 6-29 เข้าโค้งขวา_สภาวะอ่อนมาก 51
รูปที่ 6-30 เข้าโค้งซ้าย_สภาวะอ่อนมาก 51
รูปที่ 6-31 กราฟ G-Circle เข้าโค้งขวา _สภาวะอ่อนมาก 52
รูปที่ 6-32 กราฟ G-Circle เข้าโค้งซ้าย _สภาวะอ่อนมาก 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6-33 กราฟแสดงค่าความเร่งในแนวตามขวาง ที่สภาวะต่างๆ 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

เนื่องจากสมาคมวิศวกรรมยานยนต์แห่งประเทศไทยได้ดำเนินการจัดการแข่งขันการออกแบบและพัฒนารถยนต์ขนาดเล็กซึ่งมีรูปแบบเป็นรถฟอร์มูล่าในชื่อรายการ TSAE autochallenge 2009 ดังนั้นทีม INITIAL V จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง จึงได้จัดส่งรถเข้าแข่งขันรายการนี้ด้วย จึงเป็นที่มาของการจัดทำโครงงานนี้ซึ่งต้องการพัฒนาระบบช่วงล่างให้เข้ากับรูปแบบการแข่งขันซึ่งเป็นรถแข่งทางเรียบขนาดเล็ก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกการะบบกันสะเทือนและวิเคราะห์หาข้อดีข้อเสีย ของระบบหลายๆชนิด และตัดสินใจเลือกระบบกันสะเทือนที่จะนำมาใช้ กับรถแข่งขนาดเล็กเพื่อให้เกิดการขับขี่ ที่ให้สมรรถนะสูงสุด

1.2.2 เพื่อเป็นการศึกษาและนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยวิเคราะห์ คำนวณ รวมไปถึงออกแบบ ระบบช่วงล่าง ให้มีความสมบูรณ์ มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งโปรแกรมที่ใช้มี 2 โปรแกรม คือ

- โปรแกรม ADAMS
- โปรแกรม ABAQUS

1.2.3 เพื่อศึกษาการใช้ เซ็นเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการเก็บค่าต่างๆของระบบช่วงล่าง และนำข้อมูลที่ได้มาปรับแต่งรถให้เข้ากับสถานการณ์ขณะนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพกับการขับขี่สูงสุด ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านนี้ค่อนข้างเป็นที่แพร่หลาย และเป็นประโยชน์อย่างมาก

1.2.4 เพื่อนำระบบช่วงล่างที่ออกแบบมาสร้างเป็นรถแข่งขนาดเล็ก และใช้ในการแข่งขัน TSAE auto challenge 2009 ดังกล่าวมาแล้ว

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

โครงงานนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาข้อดีข้อเสียของระบบช่วงล่างที่ใช้ในรถแข่งขนาดเล็ก และเลือกระบบช่วงล่างที่ทำให้รถแข่งขนาดเล็กวิ่งได้สมรรถนะสูงสุด และนำระบบเซ็นเซอร์ เข้ามาช่วยในการเก็บข้อมูล ที่ได้ในขณะทำการวิ่งขั้นตอนการดำเนินงานจะใช้โปรแกรม ADAMS เพื่อจำลองลักษณะการทำงาน ของระบบช่วงล่างที่เลือก จากนั้นใช้โปรแกรม ABAQUS วิเคราะห์หาขนาดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมและชนิดของวัสดุที่จะนำมาใช้ จากนั้นจึงสร้างชิ้นงานจริงและประกอบเป็นรถขนาดเล็กเพื่อเข้าแข่งขัน

1.4 แนวทางการศึกษา

ขั้นแรกจะเป็นการศึกษาลักษณะของช่วงล่างประเภทต่างๆ วิเคราะห์ความเหมาะสม และความเป็นไปได้ที่จะใช้ในรถแข่งขนาดเล็ก และสามารถทำให้เกิดประสิทธิภาพในการขับขี่

จากนั้นจึงทดสอบความแข็งแรงของระบบช่วงล่างโดยใช้โปรแกรม ABAQUS โดยหลักการต้องคำนึงถึง ความแข็งแรงและค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด แล้วจึงกำหนดเป็นขนาด และชนิดวัสดุ ที่จะใช้ในการทำชิ้นงาน

จากนั้นจึงทำการสร้างระบบช่วงล่างตามที่ได้ออกแบบไว้และประกอบเป็นรถแข่งจริงและนำมาวิ่งทดสอบเพื่อดูลักษณะการทำงานของระบบช่วงล่าง ว่าเป็นไปตามที่ออกแบบหรือไม่ และเก็บข้อมูลเหล่านั้น โดย เซ็นเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมด มาใช้ในการปรับแต่ง ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีมุมล้อหน้า (Front –End Geometry)

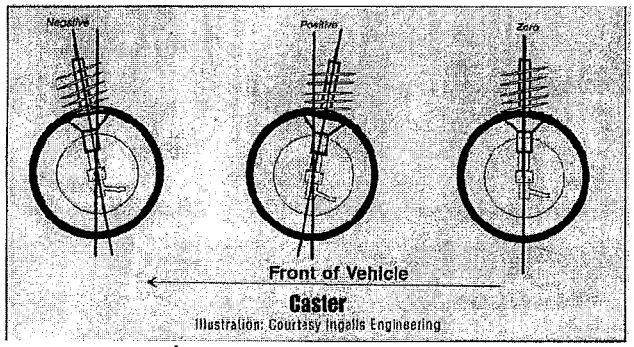
2.1 ความหมายของมุมล้อหน้า

มุมล้อหน้าคือคือความสัมพันธ์ ระหว่างมุมต่างๆของล้อหน้า ชิ้นส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้องกับมุมล้อหน้าซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญมากในรถ จะเห็นได้ว่าล้อหน้าอาจจะไม่ได้อยู่ในแนวดิ่งดังที่เราเห็นด้วยตาเสมอไป จะเห็นได้ว่าสลักล้อหน้า(Kingpin) หรือ ลูกหมากปีกนก (ball joints) อาจเอียงไปจากแนวดิ่ง เมื่อมองจากด้านหน้า หรือด้านข้างของรถ ยางอาจหุบเข้าด้านในขณะวิ่งทางตรง สิ่งต่างๆ เหล่านี้เป็นส่วนเกี่ยวข้องกับมุมล้อหน้าทั้งสิ้นซึ่งจะมีผลต่อการวิ่งของรถเป็นอย่างมากขนาดที่บางครั้งเราอาจคาดไม่ถึง มุมต่างๆเหล่านี้มีผลเกี่ยวข้องกับการทำให้พวงมาลัยหนักหรือเบา ดอกยางสึกผิดปกติ การบังคับรถง่ายหรือยากหรือผลกระทบอื่นต่อสภาพการวิ่งเป็น มุมล้อหน้าดังกล่าวนี้ได้แก่มุมแคสเตอร์ (Caster) แคมเบอร์ (Camber) มุมเอียงสลักล้อหน้า หรือมุมเอียงลูกหมากปีกนก (Kingpin inclination or steering axis inclination) โทอิน (Toe-in) โทเอาท์ออนเทิร์น (Toe –out on turn) เหล่านี้เป็นต้น

2.2 มุมแคสเตอร์ (Caster)

แคสเตอร์คือมุมที่เกิดจากสลักล้อหน้าเอียงไปจากแนวดิ่งเมื่อมองจากทางด้านข้างรถ ในกรณีที่ใช้ลูกหมากปีกนกแทนสลักล้อหน้า จะหมายถึงแนวขอบของ ลูกหมากปีกนกบนหรือล่างที่เอียงจากแนวดิ่งซึ่งต้องใช้การสังเกตจึงจะมองเห็น ถ้าด้านบนของสลักล้อหน้า หรือลูกหมากปีกนกตัวบนเอียงไปทางด้านหลังรถ มุมที่กระทำกับแนวดิ่งเรียกว่าแคสเตอร์บวก และในทางตรงข้ามเรียกว่าค่าลบ ในกรณีที่แคสเตอร์มีค่าเป็นบวก เส้นแนวสลักล้อหน้าจะอยู่หน้าจุดสัมผัสของดอกยางกับผิวถนน แคสเตอร์จะถูกวัดค่าออกมาเป็นองศา ลูกหมากปีกนกแทนสลักล้อหน้าทำให้เกิดมุมแคสเตอร์ขึ้น และเป็นมุมที่มีค่าเป็นบวก การที่จะมองเห็นมุมแคสเตอร์จริงๆนั้นจะต้องถอดยางออกจึงจะมองเห็นเพราะล้อจะบังการมองเห็นเอาไว้ จากรูปแสดงให้เห็นลักษณะของแคสเตอร์ที่มีในรถยนต์ทั่วๆไป ตำแหน่งที่แสดงนี้เป็นตำแหน่งที่แสดงค่าแคสเตอร์ทั้งที่เป็นบวก ลบ และเป็นศูนย์ ค่าแคสเตอร์ที่เป็นบวกจะเป็นค่าที่ทำให้รถควบคุมง่ายหรือเกิดทิศทางคงตัว(Directional stability) ในรถยนต์ทั่วๆไปมักจะออกแบบให้มุมแคสเตอร์เป็นบวกเพื่อให้เกิดทิศทางคงตัวดังกล่าวเพื่อประโยชน์ในการควบคุมรถให้สามารถวิ่งไปข้างหน้าได้โดยที่ไม่ต้องควบคุมพวงมาลัยมากนัก แต่ลักษณะเช่นนี้ก็ทำให้พวงมาลัยหนักตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-1 แสดงการวัดมุมแคสเตอร์

2.2.1 เหตุผลที่ต้องมีมุมแคสเตอร์

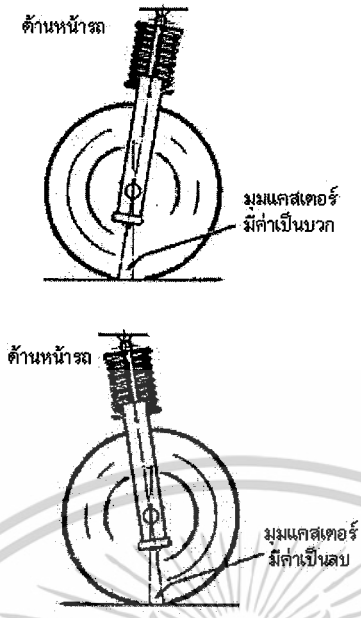
ในรถยนต์ส่วนมากแนวของสลักล้อหน้าไม่อยู่ในแนวดิ่งแต่มักจะเอนไปไปเป็นมุมไม่มากนักเพื่อวัตถุประสงค์ใหญ่ๆ 2 ประการ คือ

1. เพื่อให้พวงมาลัยคืนเองหลังจากเลี้ยว มุมแคสเตอร์จะช่วยให้พวงมาลัยคืนเองหลังจากเลี้ยว ปัจจุบันค่าของมุมแคสเตอร์ลดลงเหลือมุมเล็กๆ ฉะนั้นผลจากแคสเตอร์จึงมีน้อย แต่จะเกิดจากผลของมุมเอียงสลักล้อหน้า (Kingpin inclination or KPI) เป็นส่วนใหญ่ แต่ผลเนื่องจากพวงมาลัยคืนเองนี้ก็จะทำให้พวงมาลัยหนักด้วยเช่นกันดังได้กล่าวมาบ้างแล้ว

2. เพื่อชดเชยสภาพความเอียงของถนน ถนนโดยทั่วๆ ไป จะออกแบบให้เอียงข้างใดข้างหนึ่งหรือลักษณะเป็นหลังเต่า ลักษณะเช่นนี้จะทำให้รถเบนไปตามความเอียงของถนน ผู้ขับขี่จะต้องคอยดึงพวงมาลัยมาแก้ไว้ตลอดเวลา ถ้าปรับมุมแคสเตอร์ชดเชยก็จะช่วยลดปัญหานี้ให้น้อยลง แต่หากกลับมาวิ่งบนพื้นถนนที่เรียบ ไม่เป็นหลังเต่าก็จะทำให้รถวิ่งเอียงได้ ดังนั้นปัจจุบันการชดเชยเช่นนี้จึงไม่เป็นที่นิยมมากนัก

3. เพื่อให้ขับรถได้สะดวกโดยที่รถพยายามวิ่งทางตรงอยู่เสมอ เรียกว่ามีทิศทางคงตัว ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ขับรถได้พักอิริยาบถ ในขณะขับรถได้ ถ้ารถที่ไม่มีทิศทางคงตัวหรือที่เรียกว่ารถหน้าไว ผู้ขับรถจะต้องคอยหมุนหรือขยับพวงมาลัย เพื่อแก้ทิศทางอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้เพราะขณะขับรถอาจมีแรงภายนอกมากระทำตลอดเวลา เช่น ลมปะทะด้านข้าง ความเอียงของผิวถนน เป็นต้น จะทำให้ทิศทางของรถเปลี่ยนไปจากที่บังคับ พวงมาลัยไว้ผู้ขับขี่จะต้องแก้ทิศอยู่ตลอดเวลา ต้องใช้สายตาและมือควบคุมอยู่เสมอทำให้เกิดความเครียดได้ ถ้ารถมีสภาพทิศทางคงตัว ผู้ขับขี่อาจจะละสายตาได้บ้าง ไม่ต้องมองที่ผิวถนนอยู่ตลอดเวลา ทำให้ผ่อนคลายความเครียดลงได้บ้างเมื่อขับรถเป็นระยะทางไกลๆ อันจะช่วยให้เกิดความปลอดภัยเพิ่มขึ้น แต่ก็จะทำให้เกิดผลของพวงมาลัยหนักเช่นเดียวกันดังที่ได้กล่าวมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-2 แสดงมุมแคสเตอร์

2.2.2 ผลของมุมแคสเตอร์เมื่อรถเลี้ยว

ขณะที่รถเลี้ยวถ้ามุมแคสเตอร์เป็นศูนย์ คืออยู่ในแนวดิ่งจะไม่เกิดผลกับตัวรถเลย ถ้าเกิดมุมแคสเตอร์เป็นบวก ปลายของแกนล้อหน้า(Front wheel spindle) จะต่ำลงกว่าเมื่ออยู่ในแนววิ่งทางตรง แต่ขณะที่รถเลี้ยวจริงๆนั้นที่แกนล้อหน้าจะมียางอยู่ด้วย ฉะนั้นปลายแกนล้อจะชี้ต่ำลงไม่ได้ผลก็คือ ตัวถังด้านซ้ายจะถูกยกขึ้น สำหรับล้อขวานั้นในขณะเลี้ยวซ้ายจะมีอาการตรงกันข้ามคือตัวถังจะต่ำลง รถก็จะเกิดการเอียงที่ไม่เท่ากันในขณะเลี้ยว ผลที่เกิดจาการเลี้ยวเนื่องจากแคสเตอร์อีกประการหนึ่งคือ แกนล้อซ้ายจะชี้ต่ำลง ทำให้ด้านบนของยางเบนออก นั่นคือมุมแคสเตอร์จะเพิ่มขึ้นขณะเลี้ยวซ้าย ในทางตรงกันข้ามถ้าหมุนล้อเลี้ยวขวา ล้อขวาจะทำให้เกิดผลตรงข้ามคือ ตัวถังด้านขวาจะยกสูงขึ้น ตัวถังด้านซ้ายจะต่ำลง และล้อขวาจะมีค่าแคมเบอร์เป็นบวกเพิ่มขึ้น ในสภาพเช่นนี้ถ้าปล่อยพวงมาลัย แรงที่ทำให้ตัวถังยกขึ้นข้างหนึ่งและต่ำลงข้างหนึ่งจะพยายามทำให้กลับสู่สภาพสมดุล คือตัวถังจะกลับมาที่ระดับเท่ากันปกติซึ่งจะเป็นผลดีมากกับตัวรถ เป็นคุณสมบัติที่เราต้องการ ตัวถังจะกลับมาอยู่ในตำแหน่งปกติได้ก็ต่อเมื่อล้อกลับมาอยู่ตำแหน่งวิ่งทางตรง ฉะนั้นแรงอันเนื่องจากผลของแคสเตอร์จึงพยายามทำให้ล้อกลับมาตำแหน่งวิ่งตรงหลังจากเลี้ยวอันเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมรถ

ถ้ามุมแคสเตอร์เป็นลบ อาการของตัวถังจะตรงกันข้ามกับเมื่อเป็นบวก คือถ้าเลี้ยวซ้ายตัวถังด้านซ้ายจะต่ำลง ตัวถังด้านขวาจะสูงขึ้น ผลของแคสเตอร์ไม่ว่าบวกหรือลบก็จะเกิดแรงที่จะทำให้พวงมาลัยคืนกลับเองหลังจากเลี้ยวได้เช่นกัน แต่เนื่องจากมุมแคสเตอร์ปัจจุบันออกแบบให้มีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อย ฉะนั้นผลที่จะทำให้พวงมาลัยคืนเองหลังจากเลี้ยวจึงมีน้อย แต่เราจะไปคำนึงถึงผลในด้านอื่นมากกว่า

2.2.3 การเกิดทิศทางคงตัว (Directional stability)

หมายถึงการที่รถพยายามจะวิ่งทางตรงอยู่เสมอถึงแม้ว่าจะมีแรงภายนอกมากระทำให้รถเบนออก แรงเหล่านี้อาจเกิดจากแรงลม ความเอียงของพื้นถนน หรือปัจจัยอื่นๆ มุมแคสเตอร์ที่เป็นบวกจะช่วยให้เกิดทิศทางคงตัวดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

เมื่อมุมแคสเตอร์เป็นศูนย์หรือสลักล้อหน้าอยู่ในแนวดิ่ง จุดที่ยางสัมผัสถนนและแนวสลักล้อหน้าจะอยู่ในแนวเดียวกัน เมื่อยางบิดไปทางซ้ายหรือขวาก็จะไม่เกิดผลจากแคสเตอร์เลย

ในรถที่แคสเตอร์เป็นบวกนั้น ค่าบวกยิ่งมากก็จะยิ่งทำให้เกิดทิศทางคงตัวมากขึ้น เพราะแขนของแรงจะยาวขึ้น แต่ผลเสียของการที่แคสเตอร์เป็นบวกก็คือ พวงมาลัยจะหนักขึ้น เหตุผลก็คือแขนของแรงที่เกิดขึ้นจากการที่แคสเตอร์เป็นบวกจะต้านการเลี้ยวของล้อ เมื่อหมุนพวงมาลัยอาการต้านจากแขนของแรงจะเกิดขึ้นทุกครั้งไม่ว่าจะเลี้ยวซ้ายหรือขวา ยิ่งค่าแคสเตอร์เป็นบวกมาก แขนของแรงจะยาวขึ้น จึงทำให้แรงต้านมีมากขึ้น พวงมาลัยจึงหนักขึ้น ซึ่งการออกแบบจึงต้องคำนึงถึงผลเหล่านี้ด้วย

ผลเมื่อมุมแคสเตอร์เป็นลบ เมื่อแคสเตอร์เป็นลบนั้น แนวแกนสลักล้อหน้าจะอยู่หลังจุดที่ยางสัมผัสพื้นถนน เมื่อเลี้ยวซ้าย จุดที่ยางสัมผัสกับถนน ซึ่งอยู่กึ่งกลางยาง จะเลื่อนไปอยู่ด้านบน ที่เดิม แรงต้านของยาง และผิวถนนจะมีทิศทางคงเดิมคือไปทางซ้ายมือ ฉะนั้นแขนของแรงจะเลื่อนไปอยู่ด้านบน แรงที่เกิดขึ้นจึงช่วยให้ยางบิดไปทางเดียวกับที่เลี้ยว นั่นคือเมื่อยางบิดไปทิศทางใดก็จะมีแรงเสริมให้เลี้ยวไปทางด้านเดียวกันมากขึ้น ผลก็คือ รถจะไม่มีทิศทางคงตัวหรือที่เรียกว่ารถหน้าไวนั่นเอง แต่ผลดีของแคสเตอร์ที่เป็นลบก็มีอยู่เช่นกันคือทำให้พวงมาลัยเบาขึ้น เพราะทุกครั้งที่ออกแรงหมุนพวงมาลัยเพื่อให้ล้อหันเลี้ยว เมื่อรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจะมีแรงช่วยเสริมให้ล้อเลี้ยวไปทางเดียวกันกับทิศทางที่บังคับโดยพวงมาลัยทุกครั้งแต่การออกแบบให้มุมแคสเตอร์เป็นลบเช่นนี้ไม่นิยมใช้ในรถทั่วไปเนื่องจากอาการหน้าไวจะไม่เป็นผลดีนักต่อการควบคุมรถ แคสเตอร์ที่เป็นลบจึงไม่เป็นที่นิยม

2.2.4 ผลของมุมแคสเตอร์เมื่อมีค่าเกินความต้องการ

1. เมื่อมีค่าบวกมากเกินไป
   - ทำให้พวงมาลัยหนักเกินไป
   - ล้อเต้นมากขณะวิ่งเพราะพยายามรักษาเสถียรภาพ
2. เมื่อมีค่าลบมากเกินไป

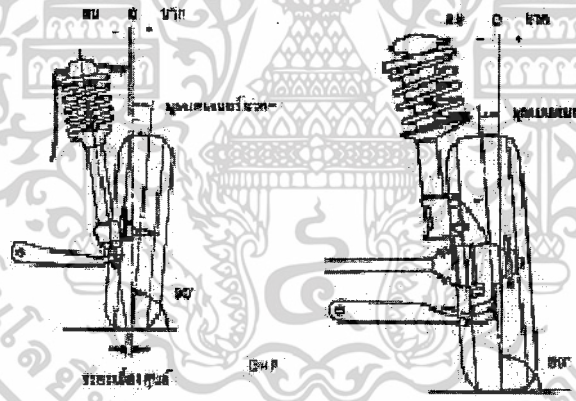
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทิศทางไม่คงตัวเมื่อความเร็วสูง
- รถแฉลบง่าย หน้าไวและหน้าส่าย

3. เมื่อค่ามุมแคสเตอร์ไม่เท่ากัน
   - ทำให้รถกินซ้ายหรือขวาซึ่งจะกินไปทางด้านที่แคสเตอร์มีค่าลบมากกว่า
   - รถจะเลี้ยวลงข้างถนนด้านซ้าย ในกรณีที่ล้อขวามีค่าแคสเตอร์เป็นบวกมากกว่า

2.3 มุมแคมเบอร์ (Camber Angle)

คือ มุมที่แนวศูนย์กลางของหน้ายางเอียงทำมุมกับแนวดิ่ง การมองมุมแคมเบอร์จะต้องมองจากหน้ารถเข้าไปถ้าด้านบนของยางเบนออกด้านนอกมุมแคมเบอร์จะเป็นบวก ถ้าหุบเข้าด้านในจะเป็นลบ โดยทั่วไปมักจะออกแบบให้มุมแคมเบอร์มีค่าเป็นบวกเพราะจะทำให้การเข้าโค้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ล้อจะตั้งฉากกับพื้นและเกาะถนนมากขึ้น ค่าของมุมแคมเบอร์วัดเป็นองศา



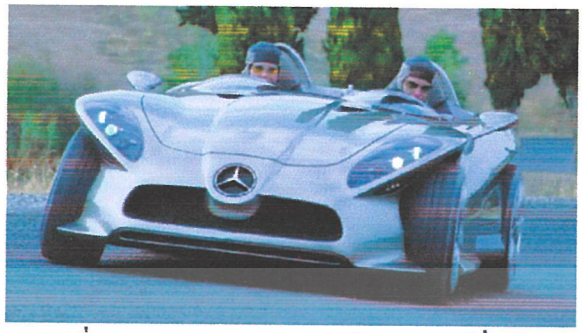
รูปที่ 2-3 แสดงมุมแคมเบอร์

2.3.1 การพัฒนาและความเป็นมาของมุมแคมเบอร์

ในสมัยที่ยังใช้เกวียนและรถม้า ล้อของรถจะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางยาวเพื่อให้รถสามารถแล่นผ่านสิ่งกีดขวางได้ ล้อมีหน้าแคบและมีซี่ล้อเพื่อลดน้ำหนัก ฉะนั้นไม้ซี่ล้อจะต้องยาวและเล็ก ทำให้ความแข็งแรงลดลงไป เมื่อถูกแรงกระแทกจะทำให้ล้อหักได้ง่าย เพื่อแก้ปัญหานี้ทำให้มีการพัฒนาให้ซี่ล้อเอียง ทำให้ล้อรับแรงด้านข้างได้ดีขึ้น แต่ปัญหาที่ตามมาก็คือรับแรงกดจากด้านบนของตัวรถไม่ดีทำให้ล้อหักได้ง่าย เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากแรงด้านข้างและน้ำหนักกดด้านบนจึงมีการพัฒนาล้อใหม่โดยให้ปลายเพลาเอียงลง ซึ่งจะทำให้ซี่ล้อจะอยู่ในแนวดิ่งทำให้รับน้ำหนักได้ดีขึ้น และจากการที่ซี่ล้อเอียงก็ทำให้รับแรงด้านข้างดีขึ้นเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันล้อไม่ให้หลุดออกจากปลายเพลาอีกด้วย แม้ว่าสลักที่ปลายเพลาจะหลุดหายไป หลักการนี้ยังคงใช้กับรถม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเกวียนในปัจจุบันอยู่ การที่ล้อเอียงดังกล่าวนี้ต่อมาจึงเรียกว่าเรียกว่ามุมแคมเบอร์ ซึ่งเป็นการค้นพบที่เป็นประโยชน์ต่อโลกยานยนต์เป็นอย่างยิ่ง



รูปที่ 2-4 แสดงมุมแคมเบอร์ในรถยนต์ทั่วไป

2.3.2 เหตุผลที่ต้องมีมุมแคมเบอร์ รถยนต์ทั่วๆ ไปมีมุมแคมเบอร์เป็นบวกเพื่อ

1. ให้จุดที่ยางสัมผัสถนนอยู่ใกล้กับแนวที่น้ำหนักกดลง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความแข็งแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งลูกปืนล้อแลแกนล้อหน้าอันจะทำให้เกิดความแข็งแรง สลักล้อไม่เสียหายง่ายจนเกินไป

2. เพื่อให้พวงมาลัยเบาลง เมื่อมุมแคมเบอร์เป็นบวกด้านล่างของยางจะเอนเข้าข้างในรถ ทำให้ระยะห่างระหว่างแนวแกนสลักล้อหน้าและจุดสัมผัสของกึ่งกลางยางลดลง ระยะนี้เรียกว่ารัศมีถู ถ้ารัศมียิ่งยาวจะทำให้แขนของแรงยาวขึ้น ทำให้แรงที่กดสลักล้อเกิดมากขึ้น จะเกิดการเบียดตัว ขณะหมุนล้อ เมื่อล้อเอียง รัศมีถูจะลดลง จึงทำให้ลดแรงเบียด พวงมาลัยจึงเบาลงซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับมุมแคสเตอร์ที่เป็นลบ

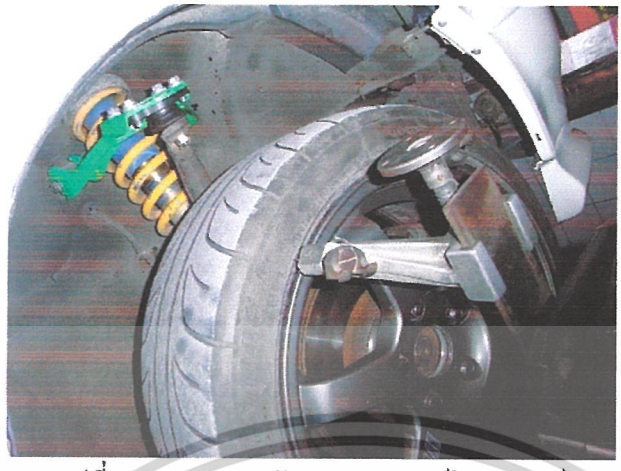
3. เพื่อลดปัญหาในการใช้เบรกล้อหน้า ถ้ารัศมีถูยาว ขณะเบรกจะเกิดผลต่อการปัดของล้อหน้ามากขึ้น ทั้งนี้เพราะแขนของแรงยาว ถ้าเบรกล้อใดล้อหนึ่งจับไม่เท่ากันเพียงเล็กน้อย ผลของการแฉลบจะมากขึ้น แคมเบอร์ที่เป็นบวกจึงช่วยไม่ให้รถแฉลบได้

4. เพื่อลดปัญหาการกระแทกกลับที่พวงมาลัย ถ้ารัศมีถูยาว เมื่อเกิดแรงกระแทกแก้มยางในขณะขับรถไปบนถนนขรุขระ จะส่งผลกลับไปที่คันชักคันส่ง และทำให้พวงมาลัยแกว่งไปมา รัศมียิ่งยาวแรงกระแทกกลับจะยิ่งมีมากขึ้นแคมเบอร์ที่เป็นบวกจะช่วยลดแรงส่งเหล่านี้

2.3.3 ความเปลี่ยนแปลงในการออกแบบมุมแคมเบอร์รถยนต์

การออกแบบให้มุมแคมเบอร์ของล้อหน้ารถยนต์เป็นบวก ทำให้รัศมีถูลดลง ซึ่งจะลดปัญหาเรื่องพวงมาลัยหนักและนับเป็นการพัฒนาอันยิ่งใหญ่ในสมัยเริ่มแรก แต่ปัญหาก็ยังไม่ได้หมดไป ปัญหาเรื่องแรงกระแทกที่พวงมาลัยก็ยังมีอยู่พอสมควร วิธีแก้ปัญหานี้ก็คือลดแรงดันในลมยางลงก็จะทำให้พวงมาลัยมีแรงกระแทกกลับลดน้อยลงอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

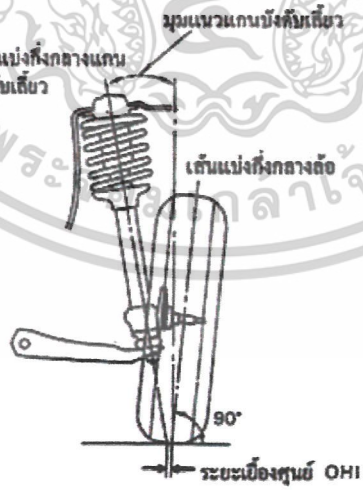


รูปที่ 2-5 แสดงการวัดมุมแคมเบอร์ในรถยนต์

2.4 มุมเอียงสลักล้อหน้า (Kingpin inclination)

สำหรับรถยนต์ในปัจจุบันที่ใช้ลูกหมากปีกนกแทนสลักล้อหน้า ควรเรียกมุมนี้ว่า มุมเอียงลูกหมากปีกนก(Steering axis inclination) เป็นมุมที่เกี่ยวกับการบังคับทิศทางของรถ และเป็นมุมที่ปรับไม่ได้ มุมเอียงสลักล้อหน้าคือมุมที่เกิดจากสลักล้อหน้า (หรือแนวของลูกหมากปีกนก) เอียงเข้าข้างในรถ เป็นมุมที่มีผลเป็นอย่างมากต่อรถอีกมุมหนึ่ง

การมองมุมนี้จะต้องมองจากด้านหน้าของรถ ค่าของมุมวัดเป็นองศา และไม่มีค่าบวกหรือลบ เพราะการออกแบบจะต้องให้เอียงทางเดียว ค่าของมุมวัดจากแนวดิ่ง และแนวแกนสลักล้อหรือแนวของลูกหมากปีกนกบนและล่าง สำหรับรถบรรทุกยังคงมีสลักล้อหน้าอยู่ก็เรียกว่ามุมเอียงสลักล้อหน้า



รูปที่ 2-6 แสดงมุมเอียงสลักล้อหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 มุมรวม (Include angle)

มุมรวมคือผลบวกของมุมแคมเบอร์ และมุมเอียงสลักล้อหน้า มุมรวมเองไม่มีผลต่อรถ แต่ผลรวมของมุมแคมเบอร์และมุมเอียงสลักล้อหน้าเมื่อวัดมุมล้อหน้าจะช่วยวินิจฉัยว่า แกนล้อคดหรือไม่

2.6 จุดตัด (Point of intersection)

จุดนี้เกิดจากเส้นแนวกึ่งกลางยางตัดกับเส้นแนวแกนสลักล้อในการหามุมรวม ในรถยนต์ทั่วๆไปจุดนี้จะอยู่ต่ำกว่าระดับถนน ถ้าจุดตัดอยู่สูงกว่าผิวถนน รัศมีถูจะมีจุดศูนย์กลางอยู่ด้านนอกของยาง ฉะนั้นยางจึงมีแนวโน้มที่จะเลี้ยวเข้าใน ผลของจุดตัดจะมีส่วนในการวิเคราะห์ลักษณะทาง Geometry ของระบบช่วงล่างนั้นๆ

2.7 มุมโท

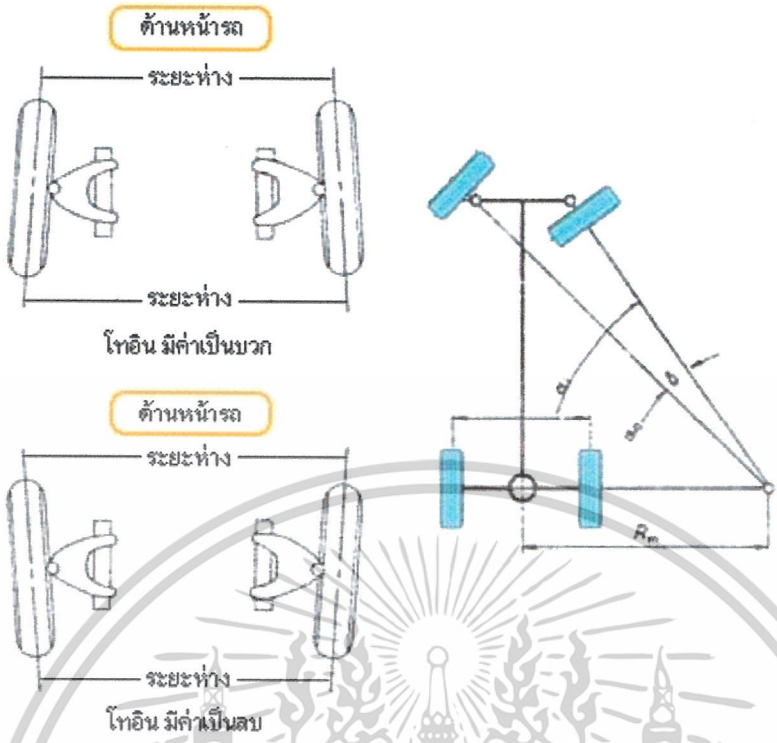
2.7.1 โทอิน (Toe-in)

เป็นมุมล้อที่สำคัญมากถ้าหากการออกแบบมุมนี้ผิดไปจะทำให้ยางเกิดการสึกหรอเร็ว ฉะนั้นคอยระมัดระวังอยู่ตลอดเวลา ในขณะที่รถวิ่งไปข้างหน้าค่าของโทอินควรเป็นศูนย์ แต่เนื่องจากมีระยะห่างเล็กๆน้อยๆ อยู่ในระบบคันชักคันส่ง ฉะนั้นจึงต้องตั้งเผื่อไว้ ซึ่งโดยปกติมุมโทจะตั้งให้เป็นโทอินนิดๆในสภาพปกติ และในสภาพการวิ่งมุมโทจะกลับมาเป็นศูนย์โดยแรงที่มาจากด้านหน้ารถดดยอัตโนมัติ

2.7.2 โทเอาท์ออนเทิร์น (Toe-out on turn)

เป็นมุมล้อที่แสดงให้เห็นว่าขณะที่เลี้ยวรถนั้น ระยะห่างทางด้านหน้าของยางจะต้องกว้างกว่าด้านหลัง ซึ่งเป็นลักษณะของโทเอาท์ ทั้งๆที่ในขณะวิ่งทางตรงจะเป็นโทอินก็ตาม การที่จะทำให้เกิดการกลิ้งของยางให้มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดเดียวกันได้นั้น ล้อด้านในจะเลี้ยวเป็นมุมมากกว่าล้อด้านนอก เพราะล้อด้านในมีรัศมีการเลี้ยวสั้นกว่า เวลาเลี้ยวจึงเกิดเป็นโทเอาท์ขึ้น การเกิดมุมนี้จะส่งผลดีต่อการวิ่งเป็นอย่างมาก การออกแบบมุมนี้ยังสัมพันธ์กับการออกแบบมุมอังเคอร์มานอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-7 แสดงการวัดมุมโทและการเกิดโทเอาท์ออนเทิร์น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ชนิดของระบบช่วงล่าง

3.1 ความมุ่งหมาย

เพื่อรองรับน้ำหนักต่างๆ ทั้งน้ำหนักเหนือสปริงและน้ำหนักบรรทุก สปริง จะทำหน้าที่ลดการสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากความไม่เรียบของพื้นผิวถนน (Road shock) การที่รถไม่สั่นสะเทือนจะช่วยให้การบังคับรถมีประสิทธิภาพ การขับขี่นิ่มนวล สิ่งของที่บรรทุกไม่เสียหาย ขณะที่รถแล่นไปบนถนนนั้นจะต้องแล่นผ่านหลุมบ่อต่างๆ ซึ่งมีสภาพเสมือนลูกเบี้ยว (Cam) และตัวรอง (Follower) เมื่อล้อวิ่งผ่านที่ขรุขระจะเกิดอัตราเร่ง ในแนวตั้งของล้อขึ้น อัตราเร่งที่เกิดนี้จะทำให้ตัวถังเกิดแรง อัตราเร่งยิ่งมากแรงที่ส่งไปตัวถึงจะยิ่งมากขึ้น ทำให้ผู้ขับขี่ ผู้โดยสารหรือน้ำหนักบรรทุก ตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆ ของตัวถึงเกิดแรงสะเทือนอย่างรุนแรง สปริงจะทำหน้าที่ลดแรงสะเทือนเหล่านี้

3.2 หน้าที่ของสปริง

โครงรถทำหน้าที่รองรับน้ำหนักของเครื่องยนต์ ตัวถัง ชุดส่งกำลังและน้ำหนักบรรทุก สปริงจะทำหน้าที่รับน้ำหนักดังกล่าวนี้อีกต่อหนึ่ง และเป็นตัวคั่นกลางระหว่างชุดล้อและตัวถังรูป 3 – 1 แสดง Chassis สปริงที่ใช้ไม่ว่าจะเป็นแบบใดก็คงทำหน้าที่เหมือนกัน น้ำหนักเหนือสปริงจะกดให้สปริงยุบตัวลงจำนวนหนึ่ง สปริงจะยุบหรือยืดตัวอีกเมื่อล้อวิ่งผ่านผิวถนนขรุขระ การที่ล้อสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้เกือบอิสระ จากโครงรถทำให้สามารถรับหรือดูดกลืน (Absorb) แรงเต้นของล้อได้เป็นอย่างดี การเคลื่อนที่ขึ้นลงของล้อจะส่งผลไปยังตัวถังน้อยกว่าที่เต้นจริง ผลก็คือผู้โดยสารหรือน้ำหนักบรรทุกได้รับแรงสะเทือนจากล้อลดลง

รูปที่ 3-1 แสดงภาพ Chassis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 น้ำหนักเหนือสปริง (Sprung weight) และน้ำหนักใต้สปริง (Unsprung weight)

น้ำหนักเหนือสปริงเกิดจากน้ำหนักที่โครงรถ ส่วนประกอบต่างๆ ที่ยึดติดอยู่บนโครงรถและน้ำหนักบรรทุกกดลงบนสปริง (Sprung weight) น้ำหนักใต้สปริงคือน้ำหนักที่ไม่ได้กดสปริง น้ำหนักใต้สปริงจะติดอยู่กับส่วนประกอบในการขับเคลื่อน เช่น ล้อ ยาง เบรก ชุดเสื้อเพลาท้าย ฯลฯ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักใต้สปริงและเหนือสปริง (Unsprung weight to Sprung weight) ควรมากพอ นั่นคือน้ำหนักใต้สปริงจะต้องมีน้ำหนักมากเมื่อเทียบกับน้ำหนักบนสปริง น้ำหนักใต้สปริงยิ่งน้อยจะยิ่งทำให้เกิดความนิ่งนวลในการขับขี่และการบังคับรถได้ดี ลองพิจารณาดูล้อรถยนต์ล้อเดียว ถ้าล้อมีน้ำหนักเบา เมื่อล้อเต้นไปบนผิดถนนที่ขรุขระ การส่งแรงสั่นสะเทือนไปยังผิวถนนจะไม่มากนัก ขณะที่ล้อเต้นจะรับแรงส่งไปยังตัวถัง ความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นลงของล้อรถยนต์นั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะสภาพคลื่นบนผิวถนนและความเร็วของรถ เมื่อรถวิ่งบนถนนสภาพเดียวกันและความเร็วเท่ากัน ความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นลงของล้อรถคันเดียวกันย่อมเท่ากันถ้าออกแบบให้น้ำหนักใต้สปริงมีมากกว่า แรงกระแทกไปยังโครงรถย่อมมากกว่า

3.4 คุณลักษณะของสปริง (Characteristic of spring)

การรองรับน้ำหนักด้วยสปริงนั้น ต้องการให้สปริงรับอาการสะเทือนจากถนนอย่างรวดเร็วและให้สปริงคืนกลับสู่ตำแหน่งเดิมอย่างช้าๆตามความเป็นจริงแล้วไม่เป็นไปตามที่ต้องการเช่นนี้ สปริงที่หยุ่นตัวมากๆ ก็คือสปริงอ่อน ซึ่งมีคุณสมบัติดีในการรับแรงสะเทือน แต่สปริงจะเคลื่อนที่มากเกินไป สปริงที่แข็งเกินไปรถจะสะเทือนมาก ฉะนั้นในทางปฏิบัติจงเลือกสปริงที่ค่อนข้างอ่อนเป็นตัวรองรับน้ำหนักและใช้ Shock absorber ช่วยหน่วงหรือด้านการเคลื่อนที่ของสปริง

ความแข็งหรืออ่อนของสปริงเรียกว่าอัตราสปริง (Spring rate) เป็นอัตราส่วนระหว่าง แรงที่กระทำกับสปริงกับระยะที่สปริงยุบ โดยเป็นไปตามสมการที่ 1 หรือเรียกว่า กฎของ Hooke (Hooke's law)

$$F = kx \qquad (1)$$

โดยที่ F = คือแรงที่กระทำกับสปริง (N)

x = ระยะที่สปริงยุบ (mm)

k = อัตราสปริง (N/mm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การแบ่งชนิดของช่วงล่าง

การรองรับน้ำหนักของรถมี 2 แบบ คือแบบคานแข็ง (Solid or conventional axle front suspension) และแบบอิสระ (Independent suspension)

- แบบคานแข็ง การรองรับน้ำหนักล้อหน้าของรถในสมัยแรกๆ เป็นแบบคานแข็ง และยังคงใช้อยู่จนทุกวันนี้ เช่น รถบรรทุก รถเมล์ แบบนี้ประกอบด้วยคานรูปตัวไอ (I - beam) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงมาก สามารถรับน้ำหนักรถและน้ำหนักบรรทุกได้มาก ตัวตามยึดติดกับโครงรถด้วยแหนบ แบบนี้การขับขี่ไม่นิ่มนวล เพราะเมื่อล้อข้างหนึ่งตกหลุมหรือได้รับอาการสะเทือน จะส่งอาการสะเทือนไปยังล้ออีกข้างหนึ่งด้วย

- แบบอิสระ แบบนี้ล้อแต่ละข้างต่างเคลื่อนขึ้นลงเป็นอิสระแก่กัน เมื่อล้อข้างหนึ่งได้รับอาการสะเทือนจะไม่ส่งผลอาการสะเทือนไปยังล้ออีกข้างหนึ่ง ทำให้การขับขี่ค่อนข้างนุ่มนวลสะดวกสบาย แบบนี้ไม่มีคาน (Axle) ล้อยึดติดกับโครงรถโดยก้านต่อที่เรียกว่าปีกนก (Control arms)

3.6 ระบบช่วงล่างแบบปีกนก (Wishbone suspension)

ระบบรองรับน้ำหนักที่นิยมแพร่หลายที่สุดคือแบบปีกนก ซึ่งมีชื่อแยกเป็นภาษาอังกฤษหลายชื่อ เช่น Wishbone SALA (Short arm, Long arm) แต่เดิมออกแบบให้ปีกนกบนและล่างยาวเท่ากัน ซึ่งมีข้อเสียคือเมื่อรถแล่นบนถนนขรุขระ การเคลื่อนที่ขึ้นของล้อและยากจะเอียงเข้าด้านใน การเคลื่อนที่เข้าด้านในของยางนี้ทำให้ยางไถลไปทางด้านข้างทำให้ยางสึกหรอผิดปกติ

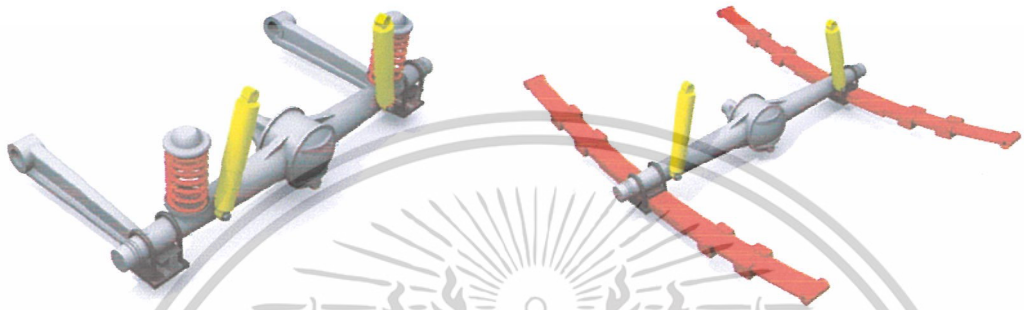
เหล็กกันโคลง (Stabilizer or away bar) ทำหน้าที่ลดการโอนเอียงของตัวถึงในขณะเลี้ยว เหล็กกับโคลงทำด้วยเหล็กกล้าสปริง ติดตั้งตามขวางกับตัวรถ ยึดติดกับโครงรถสองจุดโดยผ่านบู้ชปลายแต่ละข้างยึดติดกับปีกนกล่างของล้อหน้าแต่ละล้อ แสดงเหล็กกันโคลงและตำแหน่งที่ยึดติดกับโครงรถ แสดงการยึดปลายเหล็กกันโคลงเข้ากับปีกนกล่างแบบหนึ่ง

รูปที่ 3-2 ระบบช่วงล่างแบบปีกนก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ระบบช่วงล่างแบบคานแข็ง (Twin I-beam)

แบบนี้อาจเรียกชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า แบบทวินไอบีม ปลายข้างหนึ่งของคานแต่ละคานทำหน้าที่รองรับล้อแต่ละข้างแยกกัน ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งต่างก็ยึดกับโครงรถในลักษณะให้หมุนตัว (Pivot) ได้ สำหรับปลายคานด้านล้อจะยึดอยู่กับโครงรถด้วยแขนยึด (Radius arms) ซึ่งทำหน้าที่ป้องกัน



รูปที่ 3-3 แสดงภาพคานแข็ง

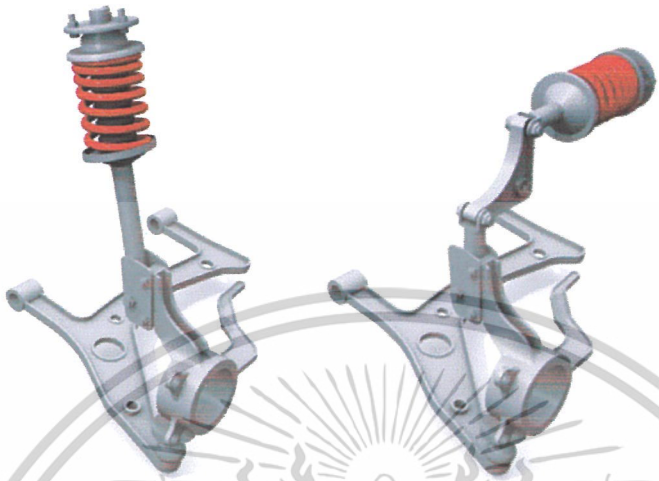
ได้มีการออกแบบคานหน้าหลายแบบเพื่อให้การต่อแกนล้อด้านในเข้ากับปลายคานได้เหมาะสม สลักล้อ (King pins) ทำหน้าที่ยึดแกนล้อด้านเข้ากับปลายคาน จะยอมให้แกนล้อหันไปได้เพื่อการหันเลี้ยว ตัวแกนล้อควรหันไปได้ประมาณ 40 องศา จากเส้นผ่าศูนย์กลางของคานไม่ว่าจะหันไปทางซ้ายหรือขวา ตัวสลักล้อทำเป็นรอยบากไว้ ดังนั้นเมื่อสวมเข้าที่แล้ว สลักเกลียวจะยึดให้สลักล้ออยู่ในตำแหน่งของมัน

3.8 ระบบช่วงล่างแบบแมกเฟอร์สันสตรัต (Macpherson strut – type front suspension)

บางครั้งก็เรียกสั้นๆว่า แมกเฟอร์สัน เป็นระบบช่วงล่างแบบล้ออิสระ (Independent suspension) แบบหนึ่งมีใช้แพร่หลายในปัจจุบัน Shock absorber สปริงและสลักล้อหน้าจะรวมอยู่ในชุดเดียวกัน เป็นตัวรับน้ำหนัก ชุดรองรับน้ำหนักประกอบด้วยปีกนกล่าง ซึ่งเรียกเป็นภาษาอังกฤษหลายชื่อ เช่น Lower wishbone arm, Lower control arm หรือ Transverse link การออกแบบคล้ายกับระบบปีกนกธรรมดาแต่ปีกนกบนจะไม่มี จะมีสตรัด (Strut) ทำเป็นท่อกลวงแข็งแรง ที่รองรับสปริงจะเชื่อมติดกับท่อซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่ากระบอก Shock absorber Shock absorber มีชุดลูกสูบลิ้นและน้ำมันอยู่ในท่อ โดยแกน Shock absorber ทำหน้าที่แทนสลักล้อหน้า Shock absorber ของรถสมัยใหม่มักจะทำเป็นแบบสำเร็จ (Cartridge) นั่นคือคือสวมอยู่ในท่ออัดแน่น โดยสามารถเปลี่ยนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับ Shock absorber แบบธรรมดา ด้านบนของกระบอกใส่สปริง มีแผ่นรองสปริงยึดติดอยู่กับแกน Shock absorber และมีลูกปืนหรือปู้ชรองที่ปลาย



รูปที่ 3-4 แสดงภาพระบบแม็คเฟอร์สันสตรัต

3.9 ระบบช่วงล่างแบบ Trailing arm

โดยจะมีแขนเต้น (Trailing arm) อาจมีอยู่ 2 แขนหรือแขนเดียวก็ได้ ถ้าเป็นแขนเดียวจะแรกว่าSemi trailing arm ถูกออกแบบให้ใช้ในล้อหลัง แขนเต้นมีทั้งแบบจุดหมุนอยู่ตามแนวยาวและจุดหมุนอยู่ตามแนวขวางกับตัวรถ ปัจจุบันมีให้เห็นมากในรถ MPV ที่ใช้ระบบขับเคลื่อนล้อหน้า จุดเด่น คือ มีชิ้นส่วนในการเคลื่อนที่น้อย ห้องโดยสารจึงสามารถออกแบบได้กว้างขวางมากขึ้น

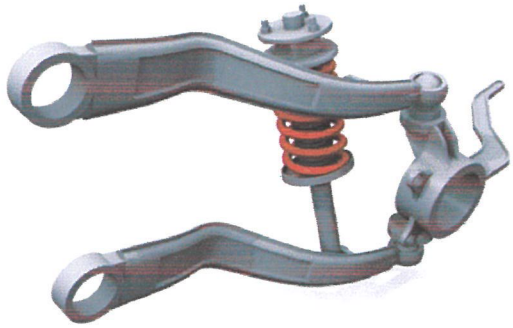
ข้อดี

1. นิยมใช้กันมาในรถอเนกประสงค์ ที่ใช้ระบบขับเคลื่อนล้อหน้า เพราะว่ามีประสิทธิภาพในการยึดเกาะถนนที่ดี
2. มีชิ้นส่วนน้อย ทำให้ห้องโดยสารกว้างขวางมากขึ้น

ข้อเสีย

1. ระบบช่วงล่างชนิดนี้ Load จะส่งผลโดยตรงต่อระบบบังคับเลี้ยว ทำให้เสียการควบคุมได้ง่าย
2. หากต้องการให้รองรับ Load ที่มากๆ ต้องออกแบบให้ Control arm มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3-5 แสดงภาพระบบ Trailing arm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

104311

บทที่4
การจำลองการเคลื่อนที่ของระบบช่วงล่าง

การออกแบบระบบช่วงล่างมีตัวแปรที่เราต้องคำนึงถึงหลายตัว เช่น มุมแคมเบอร์ มุมโท มุมแคสเตอร์ เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรเหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อการควบคุมและเสถียรภาพของรถแข่ง แต่การทดสอบเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรเหล่านี้ทำได้ยาก จึงนำโปรแกรมอดัมส์คาร์ (ADAMS/Car) มาช่วยในการจำลองการเคลื่อนที่ของระบบช่วงล่างเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ โดยในรถของปีนี้มีการสร้างระบบช่วงล้างด้านหลังให้มีการวางตัวแบบ Anti Squat

4.1 Anti Squat Geometry

คือ ระบบช่วงล่างด้านหลังที่สร้างให้มีจุดหมุนชั่วขณะ(IC) เพื่อให้แรงอันเนื่องมาจากความเร่งส่งผ่านไปยังสปริงน้อยลง โดยที่แรงจะเข้าไปที่ปีกนกแทน ซึ่งจะช่วงลดการโคลงของรถขณะที่ทำการเร่ง โดยจากรูปที่4.1 สามารถอธิบายได้ว่า Anti Squat Geometry จะทำให้แรงF_{Za} มากขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของ Anti Squat

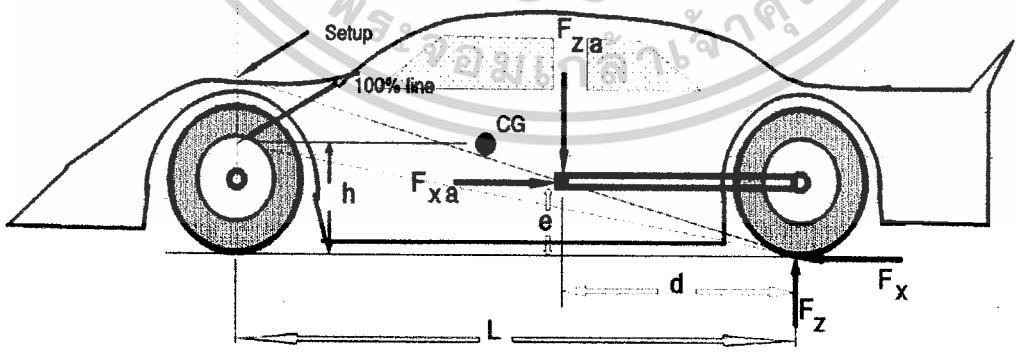
การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ Anti Squat ทำได้ดังนี้

$$\%Anti\,Squat = \frac{\tan\beta}{h_{cg}/L}100\% \qquad (4\text{-}1)$$

โดยที่ $\tan\beta = \frac{e}{d}$

h_{cg} = ความสูงของจุด CG

L = Wheel Base



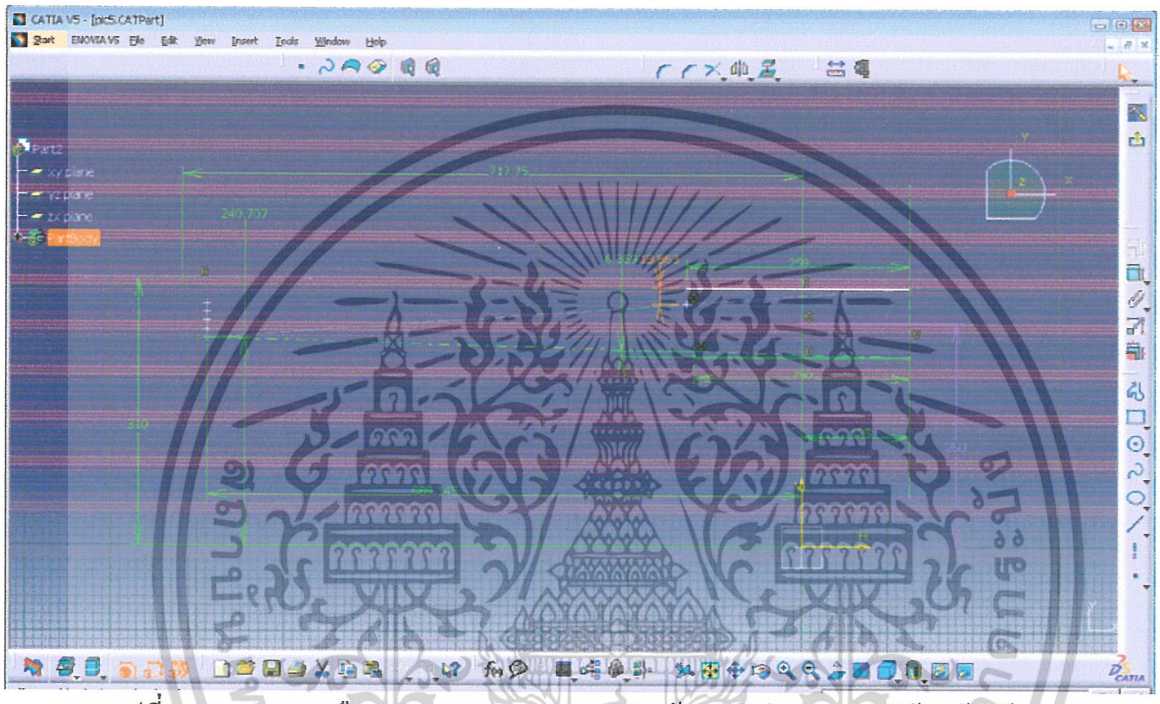
รูปที่ 4-1 แสดงภาพด้านข้างซ้ายของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิเคราะห์การจำลองการเคลื่อนที่เมื่อเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์ Anti Squat ของระบบช่วงล่างด้านหลัง

4.2.1เลือกจุดหมุนชั่วขณะ(IC) ของระบบช่วงล่างด้านหลัง

เริ่มต้นด้วยการเลือกจุดหมุนชั่วขณะ(IC) ของระบบช่วงล่างด้านหลังให้มีเปอร์เซ็นต์ Anti Squat ตามที่กำหนดแล้วทำการสร้างระบบช่วงล่างด้านหลังในโปรแกรม ADAMS/Car จากนั้นจำลองการเคลื่อนที่ด้วยเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของมุมต่างๆ



รูปที่ 4-2 แสดงการเลือกจุด IC ของระบบช่วงล่างด้านหลัง โดยมองจากด้านข้างซ้ายของรถ

โดยเลือกจุดหมุนชั่วขณะ(IC)ของระบบช่วงล่างด้านหลังที่เปอร์เซ็นต์ Anti Squat ทั้งหมด5 จุด และแบบที่ปีกนกไม่มีเปอร์เซ็นต์ Anti Squat รวมเป็น6จุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.แบบขนานจุด IC อยู่ที่ระยะอนันต์

2. IC อยู่ที่จุด (689.145 , 280.703)

3. IC อยู่ที่จุด (689.145 , 270.703)

4. IC อยู่ที่จุด (689.145 , 260.703)

5. IC อยู่ที่จุด (689.145 , 250.703)

6. IC อยู่ที่จุด (689.145 , 240.703)

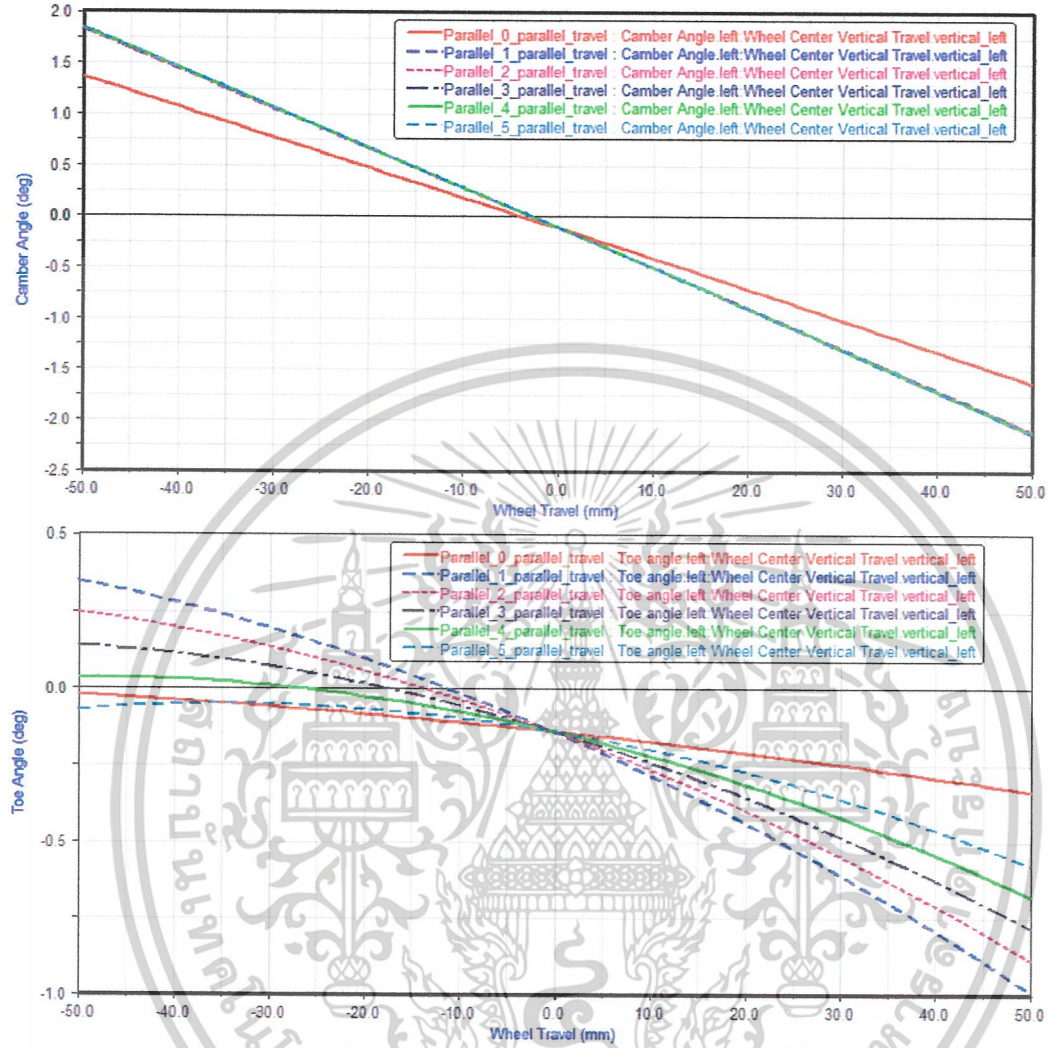
โดยจุดที่มีเปอร์เซ็นต์ Anti Squat จะเรียงจากมากไปหาน้อย 2>3>4>5>6 และที่ขนานจะไม่มีเปอร์เซ็นต์Anti Squat จากนั้นทำการจำลองการเคลื่อนที่ในสภาวะต่างๆ

4.2.2 ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของระบบช่วงล่างด้านหลัง

1. ผลการจำลองการเคลื่อนที่แบบไคเนเมติกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทำการจำลองการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงพร้อมกันของระบบช่วงล่าง โดยกำหนดระยะขึ้น-ลง 50 mm เพราะในการแข่งขันเป็นการแข่งรถทางเรียบ ซึ่งได้ผลการเปลี่ยนแปลงมุมล้อดังนี้



รูปที่ 4-3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุมโทและมุมแคมเบอร์ เทียบกับระยะล้อเคลื่อนที่

จากผลการจำลองการเคลื่อนที่ของระบบช่วงล่างด้านหลังจะพบ ระบบที่มี Anti Squat จะมีการเปลี่ยนแปลงมุมแคมเบอร์เพิ่มขึ้น ที่ระยะสูงสุดที่จำลองการเคลื่อนที่ มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 0.5 องศา โดยที่ค่าการเปลี่ยนแปลงมุมแคมเบอร์ของแต่ละอันเกือบจะเท่ากัน และการเปลี่ยนแปลงมุมโทของระบบที่มีAnti Squat จะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น โดยที่เปอร์เซ็นต์ Anti Squat ยิ่งมากจะทำให้การเปลี่ยนแปลงมุมโทมากขึ้นตามไปด้วย

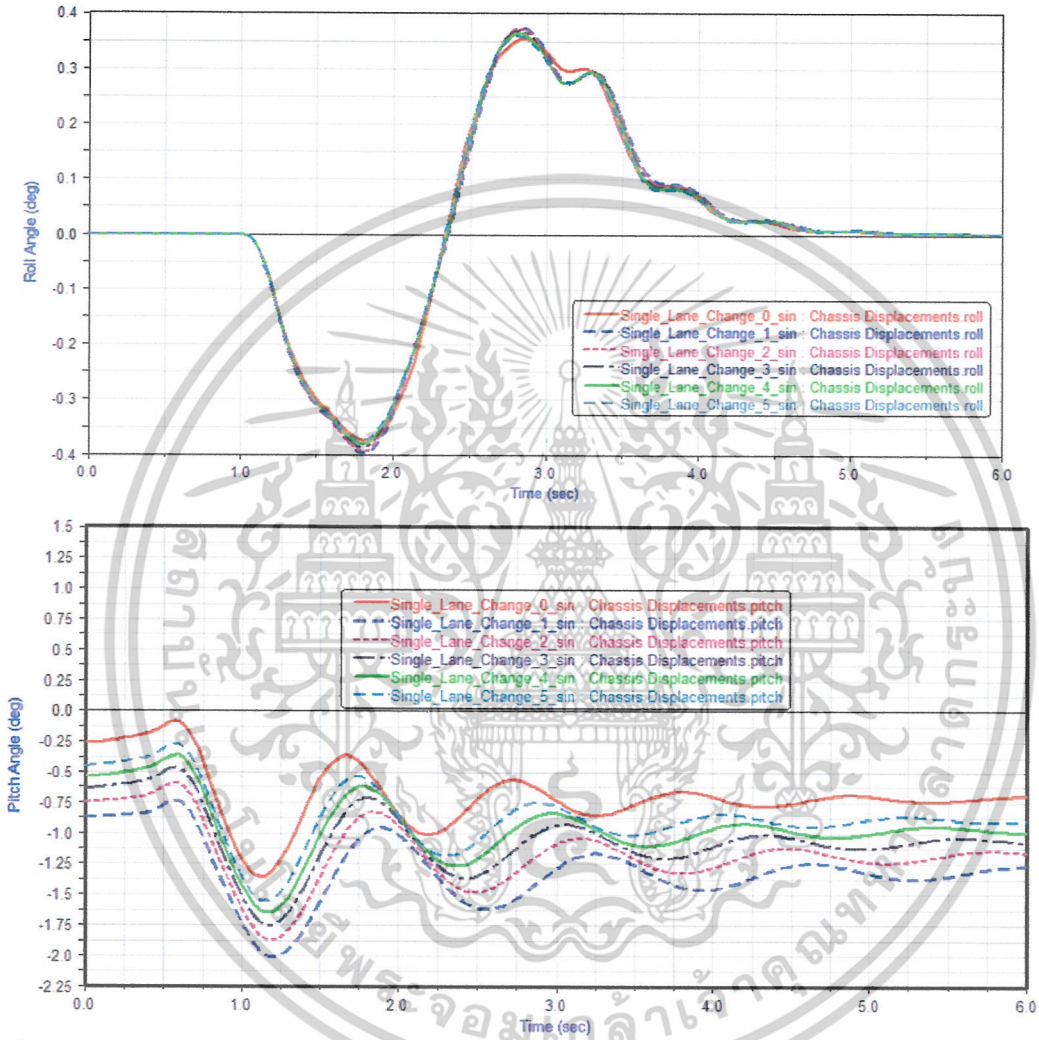
2. ผลการจำลองการเคลื่อนที่แบบไคเนเมติกส์

- การจำลองการเคลื่อนที่ของรถแบบเปลี่ยนช่องถนน (Single Lane Change)

จำลองการเคลื่อนที่โดย วิ่งด้วยความเร็ว 60 Km/hr เมื่อเวลาผ่านไป 1วินาที ทำการเปลี่ยนเลน ซึ่งได้ผลการเปลี่ยนแปลงมุม Roll และ มุม Pitch ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการรูปที่ 4.4 จะพบว่าการเปลี่ยนแปลงของมุม Roll มีค่าใกล้เคียงกับระบบที่ไม่มี Anti SquatเพราะAnti Squat จะมีผลกับมุม Pitch มากกว่ามุมRoll ส่วนการเปลี่ยนแปลงค่ามุม Pitch จะน้อยลงเมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มีAnti Squat และการเปลี่ยนแปลงจะแคบลงเมื่อค่า Anti Squat เพิ่มขึ้น



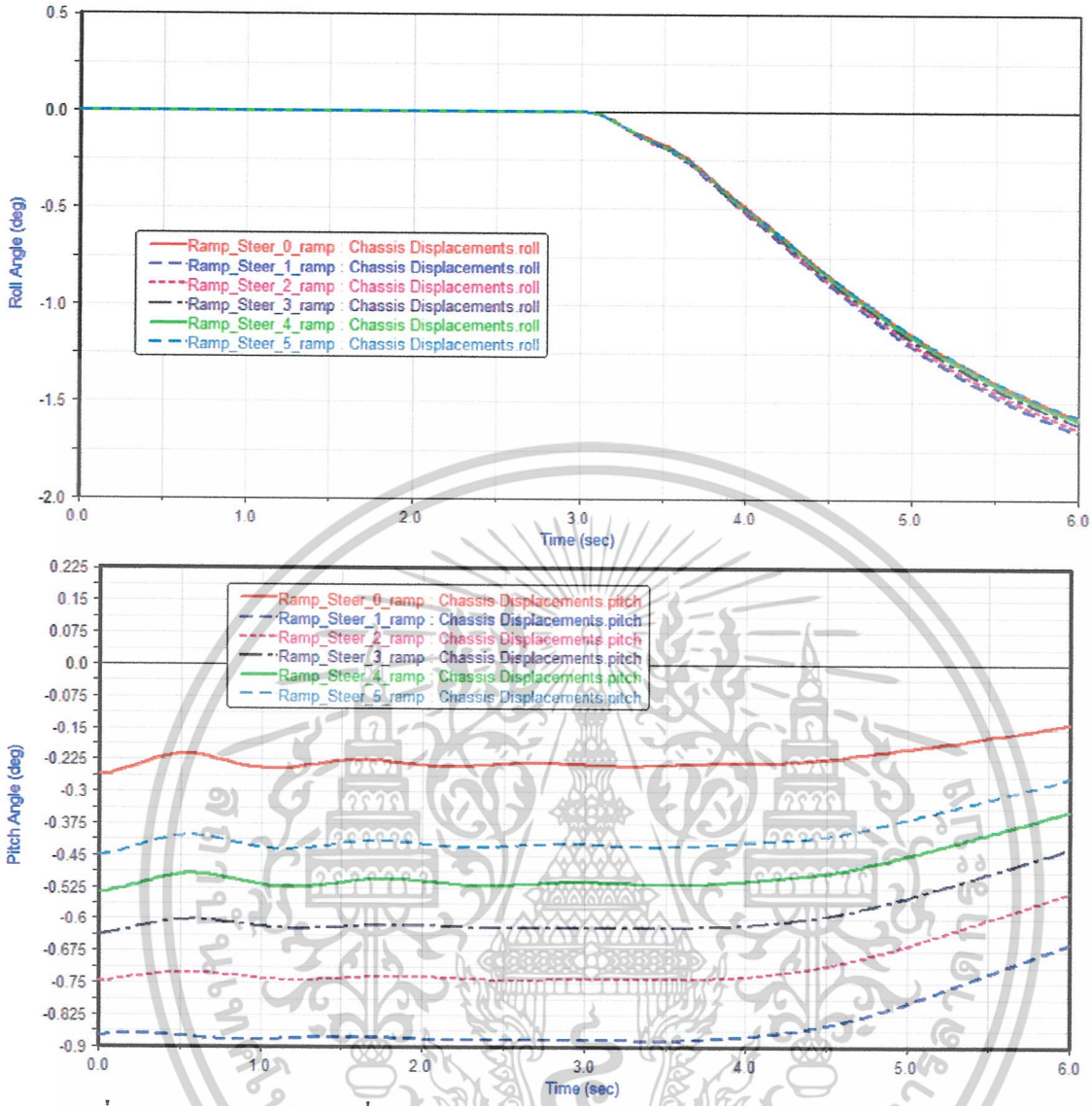
รูปที่ 4-4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุม Roll และ มุม Pitch ของการจำลอง Single Lane Change

- การจำลองการเคลื่อนที่โดยให้รถเลี้ยวตามความเร็วเชิงมุม (Ramp steer)

โดยจำลองให้รถวิ่งด้วยความเร็วคงที่ 50 km/hr เมื่อเวลาผ่านไป 3วินาที เลี้ยวโดยหักพวงมาลัยไป30 องศา ซึ่งได้ผลการเปลี่ยนแปลงมุม Roll และ มุม Pitch ดังนี้

จากรูปที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงมุม Roll จะพบการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกันกับแบบที่ไม่มีAnti Squat ส่วนมุม Pitch จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ Anti Squat มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



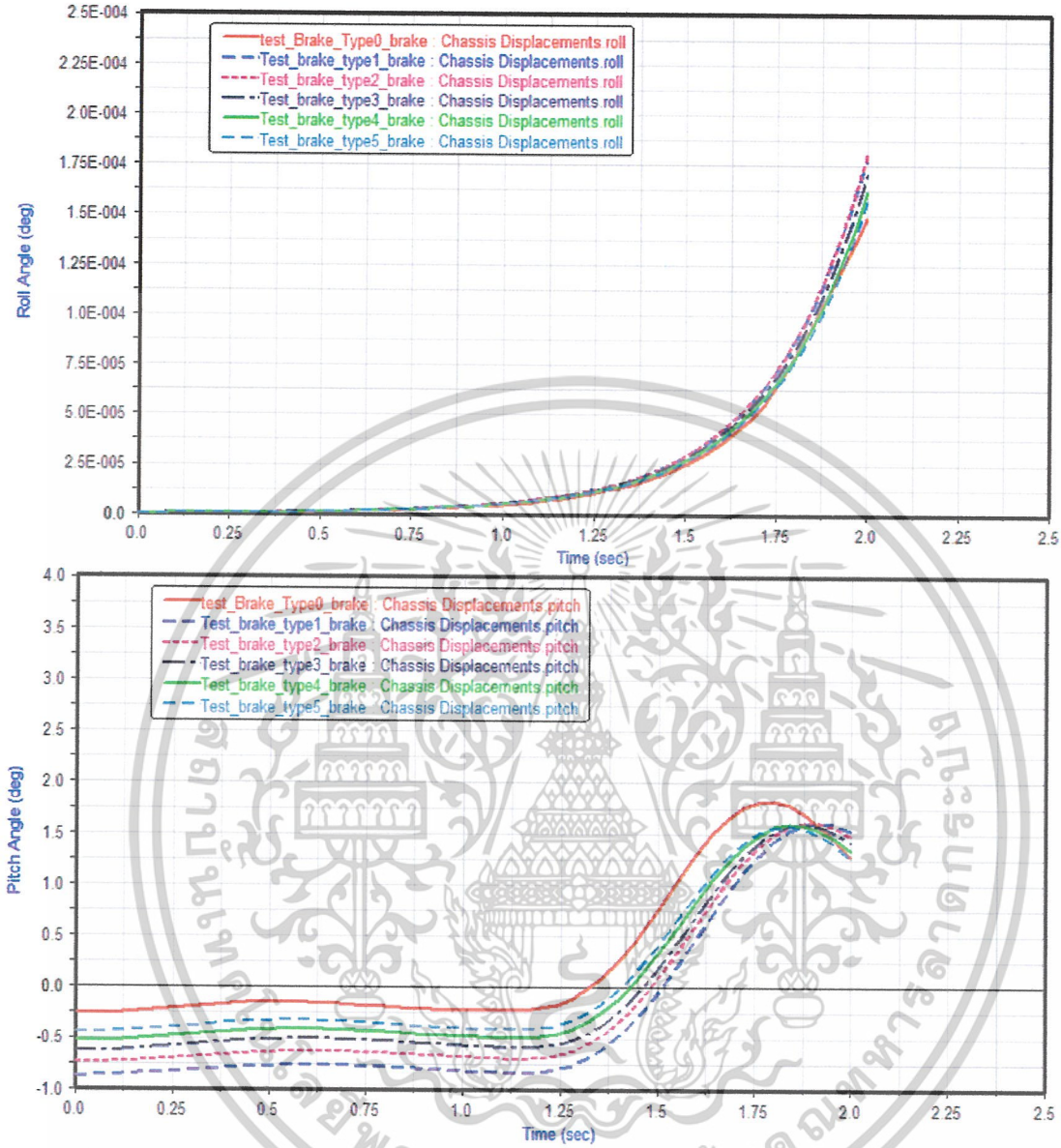
รูปที่ 4-5 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุม Roll และ มุม Pitch ของการจำลอง Ramp steer

- การจำลองการเบรกของรถ (Braking Test)

จำลองการเคลื่อนที่โดย เริ่มต้นวิ่งด้วยความเร็วคงที่ 70Km/hr เมื่อผ่านไป 1วินาที เบรกด้วยความหน่วง 0.8g ซึ่งได้ผลการจำลองการเคลื่อนที่ดังนี้

จากรูปที่ 4.6 จะพบการเปลี่ยนแปลงมุมRoll มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เพราะการ Brake จะไม่ส่งผลต่อมุมRoll มากนัก ส่วนมุม Pitch พบว่าการเปลี่ยนแปลงจะน้อยลงเมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มี Anti Squat โดยที่ระบบที่ไม่มี Anti Squat จะมีค่าสูงสุดประมาณ1.85องศา ส่วนค่าในระบบที่ Anti Squat จะมีค่าสูงสุดประมาณ1.5องศา โดยมุม Pitch จะเปลี่ยนแปลงน้อยลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ Anti Squat มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

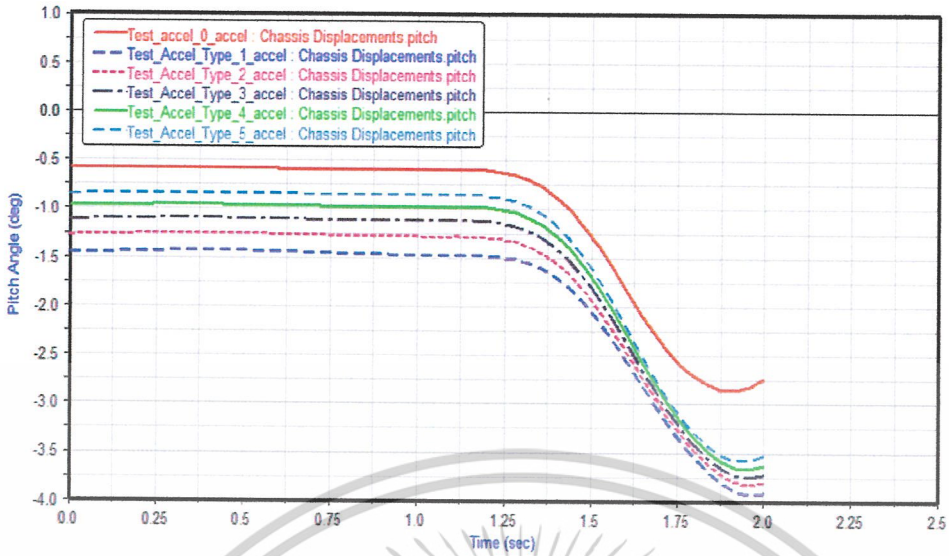


รูปที่ 4-6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุม Roll และ มุม Pitch ของการจำลอง Braking Test

- การจำลองการเร่งของรถ (Acceleration Test)

จำลองการเคลื่อนที่โดยเริ่มวิ่งที่ความเร็ว 10 Km/hr เมื่อผ่านไป 1วินาที เร่งด้วยความเร่ง 0.8g ซึ่งได้ผลการจำลองการเคลื่อนที่ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-7 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุม pitch ของการจำลอง Acceleration Test

จากรูปที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงมุม Pitch จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงของระบบที่ไม่มี Anti Squat จะมีการเปลี่ยนแปลงมุมไปประมาณ 2.6องศา ส่วนระบบที่มี Anti Squat การเปลี่ยนแปลงมุม Pitch อยู่ที่ประมาณ 2.4 องศา โดยที่เมื่อเปอร์เซ็นต์ Anti Squat ยิ่งมากจะทำให้การเปลี่ยนแปลงของมุมPitch ยิ่งน้อยลง ซึ่งจะส่งผลให้การโคลงของรถลดลงและการเร่งได้ประสิทธิภาพมากขึ้น

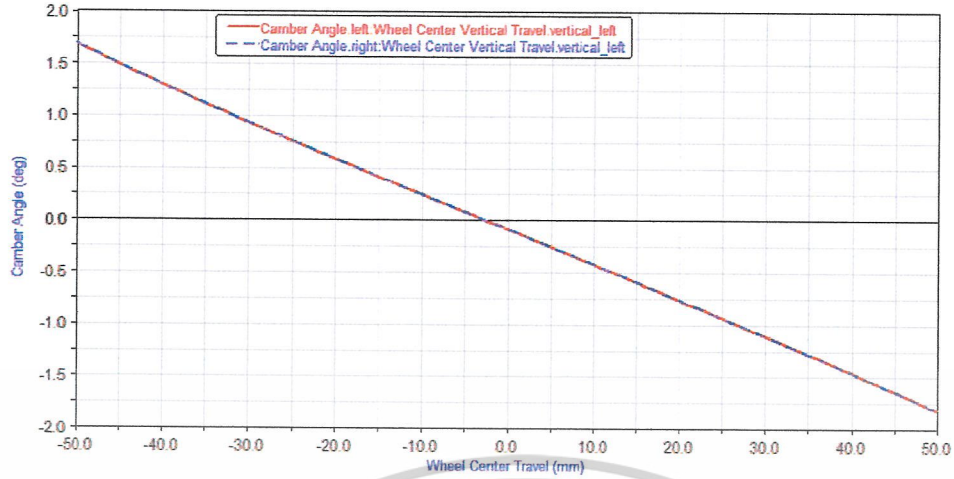
จากการจำลองการเคลื่อนที่ของระบบช่วงล่างด้านหลังเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงมุมต่างๆแล้ว ได้เลือกระบบช่วงล่างที่มี Anti Squat แบบที่ 4 หรือ Type 3ในกราฟ ซึ่งมีจุดหมุนชั่วขณะ(IC)อยู่ที่จุด (689.145 , 260.703) มีเปอร์เซ็นต์ Anti Squat 85% เหตุผลที่เลือกเพราะ การเปลี่ยนแปลงมุมโทมีค่าน้อยโดยมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.125 ถึง-0.8 องศา และการเปลี่ยนแปลงมุม Pitch ของ Braking Test และ Acceleration Test มีค่าการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าแบบที่ปีกนกขนานกัน โดยที่กราฟแบบที่ 5 และ6 ที่มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่า แต่การวางตัวของทั้ง2แบบ ปีกนกบนเอียงลงมากเกินไปทำให้ยากต่อการสร้าง

4.3 วิเคราะห์ผลการจำลองการเคลื่อนที่ของระบบช่วงล่างด้านหน้า

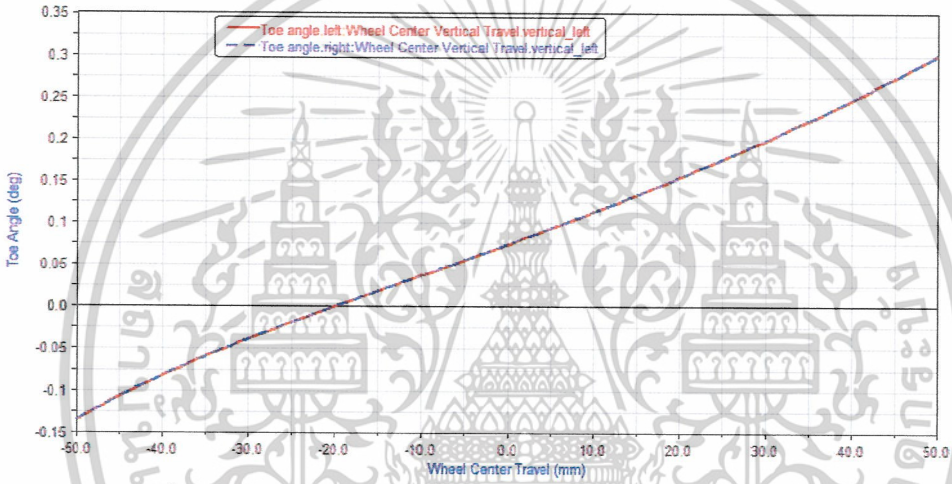
จำลองการเคลื่อนที่ของระบบช่วงล่างทั้งข้างหน้าเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงมุมต่างๆ โดยทำการจำลองการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงพร้อมกัน กำหนดระยะขึ้น-ลง 50 mm เพราะในการแข่งขันเป็นการแข่งรถทางเรียบ ซึ่งได้ผลการเปลี่ยนแปลงมุมล้อการจำลองการเคลื่อนที่ดังนี้

1.การเปลี่ยนแปลงของมุมต่างๆในระบบช่วงล่างด้านหน้า

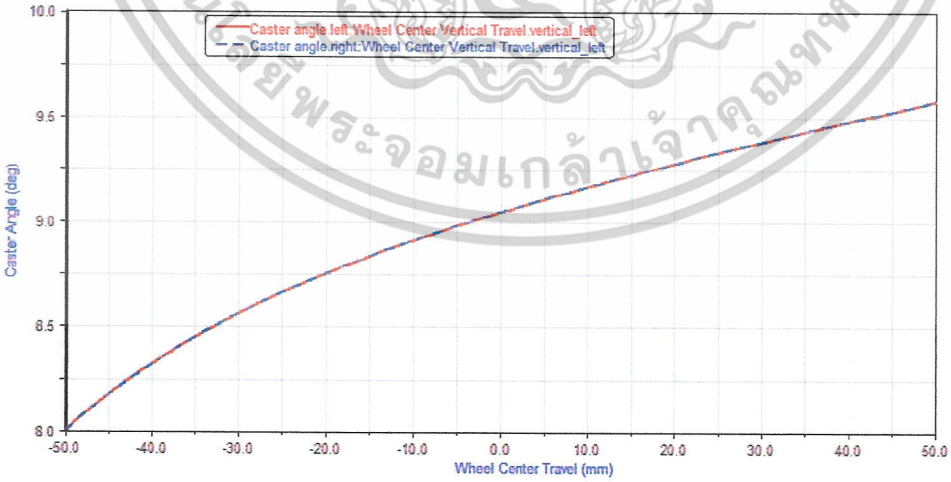
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุมแคมเบอร์กับระยะล้อเคลื่อนที่



รูปที่ 4-9 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุมโทกับระยะล้อเคลื่อนที่



รูปที่ 4-10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงมุมแคสเตอร์กับระยะล้อเคลื่อนที่

จากรูปที่ 4.8 - 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงมุม พบว่า การเปลี่ยนแปลงมุมแคมเบอร์มีค่าสูงสุด 1.8 องศา และค่าต่ำที่สุด -1.7 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้เพราะในการรถแข่งทั่วไป การ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนแปลงมุมแคมเบอร์จะอยู่ระหว่าง -2 องศา ถึง 5 องศา และการเปลี่ยนแปลงมุมโทมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง -0.125 องศา ถึง 0.3 องศา ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ส่วนมุมแคสเตอร์ในระบบช่วงล่างด้านหน้าตั้งไว้ที่ 9 องศา โดยที่การเปลี่ยนแปลงของมุมแคสเตอร์อยู่ระหว่าง 8.0 องศา ถึง 9.6 องศา ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากซึ่งจะช่วยให้การควบคุมรถเป็นไปตามที่ออกแบบไว้

4.4 แรงที่เข้าล้อที่เกิดจาก Braking Test

การจำลองการเบรกเพื่อหาแรงเข้าล้อสูงสุดในแต่ละล้อไปใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหายด้วยโปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์ โดยทำการจำลองให้รถวิ่งด้วยความเร็วคงที่ 70 km/hr เมื่อผ่านไป 1วินาทีเบรกด้วยความหน่วง 0.8g ได้แรงสูงสุดที่เข้าล้อดังต่อไปนี้

ตาราง 4.1 แสดงแรงเข้าล้อที่เกิดจาก Braking Test

ล้อ	Longitudinal[N]	Lateral[N]	Normal[N]
หน้าขวา	-1570	190	1680
หน้าซ้าย	-1550	-180	1700
หลังขวา	-875	-125	1300
หลังซ้าย	-875	120	1300

4.5 สรุปการจำลองการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม ADAMS/Car

จากการจำลองการจำลองการเคลื่อนที่ด้วยโปรแกรม ADAMS/Car จะพบว่า ระบบช่วงล่างด้านหน้าได้ออกแบบให้เข้ากับระบบขับเลี้ยวโดยมีการตั้งมุมแคสเตอร์ไว้ที่ 9 องศาเพื่อช่วยในการคืนตัวของล้อซึ่งจะช่วยให้การควบคุมรถมีเสถียรภาพ และการเปลี่ยนแปลงมุมโทและมุมแคมเบอร์อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ ส่วนระบบช่วงล่างด้านหลังมีการออกแบบให้เป็นแบบขนานสามารถรับแรงได้ดีกว่ารถของปีที่แล้ว ช่วยแก้ปัญหาการรับแรงให้ดีขึ้นและมีการออกแบบระบบช่วงล่างด้านหลังให้มีการวางตัวแบบ Anti Squat ช่วยให้การเร่งมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
ไฟไนต์เอลิเมนท์

ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์เป็นวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้แก้ปัญหา ทางฟิสิกส์ หรือทางวิศวกรรม ซึ่งในที่นี้เราจะใช้ ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ในการวิเคราะห์ความเสียหาย ที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนต่างๆ ที่เราได้ออกแบบในระบบช่วงล่างได้แก่ ปีกนก และล็อคเกอร์อาร์ม

5.1 ขั้นตอนพื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

5.1.1 ขั้นตอนของการเตรียมแบบจำลอง

- การสร้างรูปร่างของแบบจำลอง
- การแบ่งโดเมนของแบบจำลองออกเป็นอิลิเมนต์ย่อยๆต่อกัน โดยแต่อิลิเมนต์จะประกอบด้วยโนด
- การกำหนด shape function ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมทางกายภาพของอิลิเมนต์ หรือผลเฉลยของอิลิเมนต์
- สร้างสมการสำหรับอิลิเมนต์
- กำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้น สภาวะโหลดและสภาวะขอบให้กับปัญหา
- กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ

5.1.2 ขั้นตอนการหาคำตอบ

การแก้หาคำตอบของสมการซึ่งอยู่ในรูปสมการเชิงเส้น หรือสมการไม่เชิงเส้น ซึ่งคำตอบคือค่าการกระจัดที่โนดต่างๆ หรือค่าอุณหภูมิที่โนดต่างๆ(ในกรณีเป็นปัญหาถ่ายเทความร้อน)

5.1.3 การวิเคราะห์ผลลัพธ์

การวิเคราะห์ผลลัทธ์ที่เราสนใจเพิ่มเติมเช่นเราอาจอยากจะทราบค่าความเค้นหลัก ฟลักซ์ความร้อน เป็นต้น

5.2 ข้อดีและข้อเสียของระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์

5.2.1 ข้อดี

1.สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนได้

2.สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่รับภาระต่างๆ

3.สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่มีคุณสมบัติแบบ non – isotropic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่วัตถุมีคุณสมบัติพิเศษเช่น คุณสมบัติของวัตถุเปลี่ยนตามอุณหภูมิ, Plasticity, Creep, Swelling

5.สามารถนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่มีเป็นแบบ Large displacement, Large rotation, Contact condition

5.2.2 ข้อเสีย

1.เป็นวิธีการประเมินเชิงตัวเลขดังนั้นจะมี error เกิดขึ้นเสมอ

2.ผู้ใช้จะต้องมีประสบการณ์และความชำนาญในการทำแบบจำลอง ถึงจะทำให้ได้คำตอบที่สอดคล้องกับความเป็นจริง

3.ต้องใช้คอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูงและซอฟแวร์ที่น่าเชื่อถือได้

4.มีปัญหาเชิงตัวเลขเกิดขึ้นจาก คอมพิวเตอร์สามารถเก็บเลขนัยสำคัญได้จำกัด

5.มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นจากการทำโมเดล ได้แก่ การเลือกใช้ชนิดของอิลิเมนต์ไม่เหมาะสม การแบ่งเม็ชไม่เหมาะสม

5.3 ทฤษฎีความเสียหาย

โดยเราสามารถทำนายความเสียหายของวัสดุ ได้ด้วยทฤษฎีดังต่อไปนี้

- ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด (Maximum principal stress theory)
- ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (Maximum shear stress theory)
- ทฤษฎีความเค้นเฉือนออคตะฮีดรัล หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Von mises theory ซึ่งคิดค้นโดย Von mises

จากข้างต้นเราพบว่า มีหลายทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความเสียหายของวัสดุ แต่ในที่นี้เราจะอธิบายเพียงหนึ่งทฤษฎีเท่านั้นคือ ทฤษฎี Von mises โดยจะใช้ในการคำนวณความเสียหายในวัสดุ ในโปรแกรม Abaqus ซึ่งเราจะใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหาย ที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วน ในระบบช่วงล่างของเรา

ทฤษฎีความเค้นเฉือนออคตะฮีดรัล หรือ Von mises theory โดยทฤษฎีนี้สมมุติให้พลังงานความเครียดรวม สามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ volumetric (hydrostatic) strain energy และ shape (distortion or sheat) strain energy ดังนั้นพลังงานที่ทำให้เกิดการคราดจะมาจากส่วนหลัง ทฤษฎีจึงกล่าวไว้ว่า “การคราดจะเกิดขึ้นเมื่อ distortion energy มีค่ามากกว่าความเค้นแรงดึงสูงสุด” ทฤษฎีนี้สามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1}{2}\left[(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_{III} - \sigma_I)^2\right] = \sigma_y{}^2 \quad (5\text{-}1)$$

หรือ

$$\frac{1}{2}\left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}{}^2 + \tau_{yz}{}^2 + \tau_{zx}{}^2)\right] = \sigma_y{}^2 \quad (5\text{-}2)$$

$$\sigma_{von} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}{}^2 + \tau_{yz}{}^2 + \tau_{zx}{}^2)\right]^{1/2} \quad (5\text{-}3)$$

5.4 ค่าความปลอดภัย (Safety Factor, SF)

จากนั้นโปรแกรม Abaqus จะคำนวณหาค่าความเค้นสูงสุด (σ_{von}) จากทฤษฎี Von mises โดยใช้สมการข้างต้น จากนั้นเราจะทำการคำนวณค่าความปลอดภัย จากสมการ 5-4 ออกมาได้ดังนี้

$$\text{SF} = \frac{\text{Yield Stress}(\sigma_{Yield})}{\text{Von Mises Stress}(\sigma_{von})} \quad (5\text{-}4)$$

โดยที่ SF = ค่าความปลอดภัยของวัสดุ

Yield Stress = ค่า Yield Stress ของวัสดุ

Von Mises Stress = ค่าความเค้นที่ได้จากโปรแกรม Abaqus

ตารางที่ 5-1 แสดงค่าความปลอดภัยของปีกนก

ชิ้นส่วน	ค่าความปลอดภัย
ปีกนกด้านหน้าชิ้นบน	1.40
ปีกนกด้านหน้าชิ้นล่าง	1.26
ปีกนกด้านหลังชิ้นบน	2.00
ปีกนกด้านหลังชิ้นล่าง	1.59

ตารางที่ 5-2 แสดงค่าความปลอดภัยของล็อคเกอร์อาร์ม

ชิ้นส่วน	ค่าความปลอดภัย
ล็อคเกอร์อาร์มหน้า	8.06
ล็อคเกอร์อาร์มหลัง	9.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ข้อมูลของระบบช่วงล่าง

ในสมัยก่อนในวงการรถแข่ง วิศวกรและช่างเทคนิคต่างๆ ได้ทำการสร้างรถ รวมถึงการปรับแต่งอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนต่างๆ ภายในรถ แล้วทำการตัดสินใจด้วย สัญชาติญาณ ความรู้สึกและประสบการณ์ ของตัวเอง ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ถูกต้องนัก

แต่ในปัจจุบัน ความรู้เชิงวิชาการ และเทคโนโลยีได้ก้าวหน้ามากขึ้น การแข่งขันรถ ได้มีการแข่งขันกันมาก รถและการทดสอบ ก็มีราคาและค่าใช้จ่ายสูงขึ้นด้วย ด้วยเหตุผลที่ว่า วิศวกรต้องการเข้าใจถึงส่วนต่างๆของรถ เพื่อนำมาเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวรถ แล้วข้อมูลต่างๆที่ได้มา จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการแข่งขันเพื่อให้ได้ชัยชนะ รถแข่งต่างๆจึงได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ Data logging โดยอุปกรณ์นี้ สามารถวัดตัวแปรต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ Data logging สามารถนำมาใช้ในการพิจารณาและช่วยในการตัดสินใจ ในการปรับแต่งส่วนต่างๆ เพื่อให้ได้รถที่มีสมรรถนะที่ดีที่สุด ในการแข่งขัน โดยทางวิศวกรได้ พิจารณาจากข้อมูลที่ได้จาก Data logging ที่ได้เก็บค่ามาจากตัวรถ

Data logging คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ ใช้ในการเก็บข้อมูล โดยจะทำการเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำของมัน และข้อมูลนี้สามารถส่งต่อไปยังคอมพิวเตอร์ได้ เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 ประโยชน์ของ data logging

6.1.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของรถ

ข้อมูลที่ได้ช่วยสนับสนุน ข้อแนะนำของนักแข่ง และวิศวกรจะทำการวิเคราะห์จากข้อมูลทั้งสองอย่างเพื่อทำการหาจุดบกพร่อง ในการแข่งขัน แล้วทำการปรับแก้รถ เพื่อการแข่งขันครั้งต่อไป

6.1.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของนักแข่ง

ข้อมูลที่ได้มา จะแสดงถึงเวลาในการขับ ในแต่ละรอบของนักแข่ง แล้วนำมาเปรียบเทียบวิธีการขับ และประสิทธิภาพของนักแข่งแต่ละคน

6.1.3 การพัฒนารถ

data logging นั้นเป็นอุปกรณ์ที่มีค่ามาก ในการพัฒนารถแข่ง ซึ่งเป็นการพัฒนาที่อยู่บนพื้นฐานของเหตุและผล แล้วยังเป็นตัวที่กำหนดแนวทาง ในการพัฒนารถได้อีกทางหนึ่งด้วย

6.1.4 ความเชื่อถือได้ และความปลอดภัย

ในการแข่งขันนั้น ยิ่งรถมีความเร็วมากเท่าไร ความอันตรายก็ยิ่งมากขึ้น ดังนั้นเราจึงคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นส่วนสำคัญ data logging ก็เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในเรื่องนี้ด้วย เช่น อุณหภูมิและความดันของเครื่องยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.5 เพื่อหาข้อมูลของรถ

โปรแกรมการจำลองสภาวะต่างๆของรถ ในคอมพิวเตอร์ ในการที่จะจำลองและหาผลลัพธ์ที่ถูกต้องและแม่นยำนั้น จะต้องมีการใช้ค่าจริงที่ได้มาจากรถ ซึ่งเราสามารถวัดได้จากรถ เช่น จุดศูนย์ถ่วงของรถ(Center of Gravity) จุดศูนย์กลางการหมุน(Roll Center)

6.2 ข้อมูลที่เกี่ยวกับระบบช่วงล่าง

6.2.1 การกระจัดของ shock absorber (Suspension movement)

หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า damper position เป็นการวัดการเคลื่อนที่ของ shock absorber คือ วัดระยะการยุบและยืด ของสปริงและแดมเปอร์ โดยส่วนใหญ่จะใช้ potentiometer เป็นอุปกรณ์ในการวัด โดยจะทำการติดที่ shock absorber ทั้งสี่ตัว

6.2.2 ความเร่งแนวตรงและแนวขวางของรถ (Longitudinal and lateral acceleration)

เป็นการวัดความเร่งของตัวรถ โดยจะใช้เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer or g sensor) โดยจะทำการวัดสองแนวคือในแนวตามยาวของตัวรถ และแนวตามขวางของรถ โดยส่วนใหญ่จะทำการติดตั้ง เซ็นเซอร์ที่บริเวณ จุดศูนย์กลางน้ำหนักของรถ (CG)

6.2.3 ความเร่งของแกนล้อหน้าและหลัง (Lateral acceleration at front and rear axle)

เป็นการวัดความเร่งในแนวขวางที่ แกนล้อหน้าและแกนล้อหลัง โดยจะสามารถนำมาวิเคราะห์สภาพของรถขณะเลี้ยวโค้งได้ (Under streer ,Over steer)

6.2.4 ความเร็วของล้อรถ (Wheel speed)

เป็นการวัดความเร็วที่ล้อของรถ ทั้งสี่ล้อ โดยจะใช้ตัว encoder เป็นอุปกรณ์ในการวัดความเร็ว โดยจะมีลักษณะเป็นวงล้อ ที่มีช่องเล็กๆอยู่รอบวงล้อนั้น จะมีส่วนที่ไปแตะกับวงล้อนั้นเพื่อเป็นการ ส่งสัญญาณไปโดยจะแปลงค่าออกมาเป็นความเร็วได้

6.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับความเร่ง

6.3.1 ความเร่งแนวขวาง (Lateral Acceleration)

การวัดความเร่งในแนวขวางนั้นเราจะต้องทำการวัด ในแนวตั้งฉากกับแนวกึ่งกลางของตัวรถ โดยความเร่งนั้นจะเป็นการวัดแรงที่กระทำกับตัวรถ ขณะที่รถเข้าโค้ง โดยส่วนมากความเร็วนี้จะทำการวัดในหน่วยของ แรงจี (G-force) โดยที่ (1 G-force = 9.81 m/s^2)

เครื่องหมายของค่าความเร่งในแนวขวางนี้ จะบ่งบอกถึงการเลี้ยวของรถในช่วงเวลานั้นได้ โดยที่ถ้าเครื่องหมายเป็นบวก จะหมายถึงรถเลี้ยวขวา และถ้าเครื่องหมายเป็นลบ จะหมายถึงรถเลี้ยวซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเร็วสูงสุดในการเข้าโค้งจะขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการเกาะพื้นถนน (ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าความเสียดทานระหว่างพื้นผิวของถนน กับยางของล้อรถ) และแรงปฏิกิริยาของรถโดยความเร่งจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วและรัศมีความโค้ง ดังสมการ 6.1

$$G_{lat} = \frac{V^2}{R} \tag{6-1}$$

ดังนั้นรถที่วิ่งด้วยความเร็วสูงที่รัศมีความโค้งค่าหนึ่ง จะทำให้ความเร่งนั้นมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย โดยถ้ารถแข่งสามารถทำให้เกาะถนน และมีแรงกดมาก ก็จะทำให้รถนั้นสามารถเลี้ยวเข้าโค้งได้ที่ความเร็วสูง

6.3.2 ความเร่งแนวตามยาว (Longitudenal Acceleration)

ความเร่งในแนวตามยาวนี้ จะวัดในแนวเส้นกึ่งกลางของตัวรถ (Centerline) มันเป็นความเร่งพื้นฐานที่ถูกสร้างขึ้นมาจาก กำลังของเครื่องยนต์ และ สามารถลดความเร่งได้โดย การเบรก โดยเครื่องหมายของความเร่งแนวตามยาวนี้ สามารถแบ่งได้ดังนี้ เครื่องหมายบวก หมายถึงรถกำลังเร่ง และเครื่องหมายลบ หมายถึงรถนั้นกำลังมีความหน่วง หรือความเร่งลดลงนั้นเอง

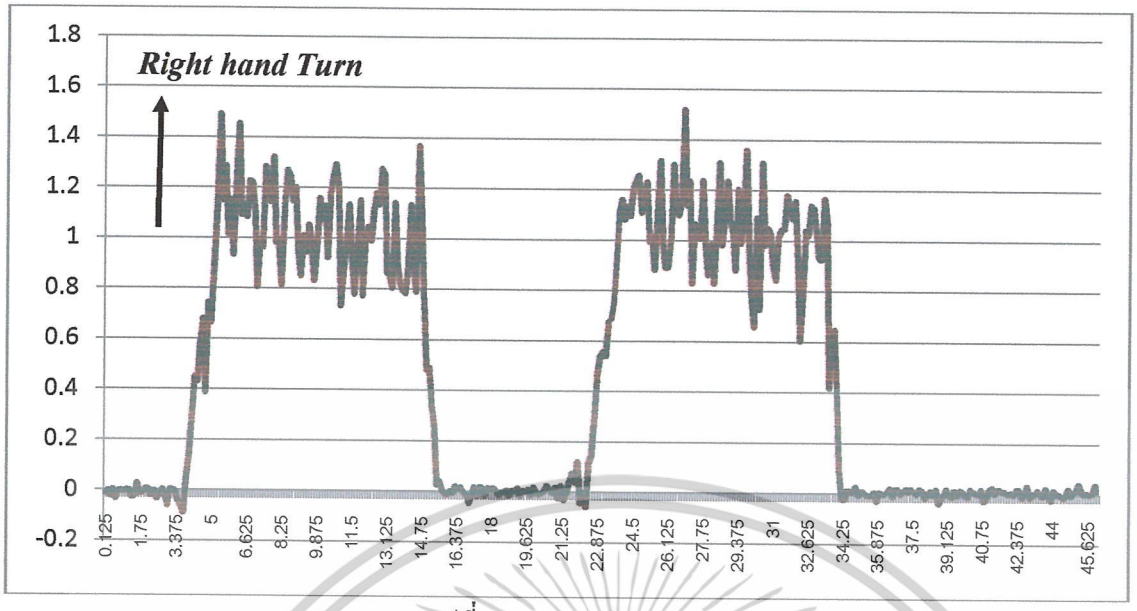
ตัวอย่างของความเร่งแนวตามยาวแสดงดังรูปที่ 6-3 จากรูปจะมีพื้นฐานในการอ่านดังนี้ ค่าเบรคสูงสุดถูกแสดงโดยค่าต่ำสุดของกราฟ โดยเกิดขึ้นในขณะที่รถนั้นเบรก ค่านี้จะสูงขึ้น ถ้ารถเบรกที่ความเร็วสูงเพราะว่า มีสาเหตุมาจากหลังของพลศาสตร์ โดยจะทำให้รถนั้นมีแรงฉุด (Drag force) เข้ามาช่วยในการเบรกด้วยค่าสูงสุด ในขณะรถนั้นมีความเร่งจะลดลง ที่ความเร็วสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากแรงฉุดดังกล่าวด้วย ความเร่งจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เมื่อกำลังของเครื่องยนต์ และแรงต้านของอากาศ มีค่าใกล้เคียงกัน การลดลงของความเร่งในช่วงสั้นๆ นั้นเกิดจากการเปลี่ยนเกียร์สูงขึ้น เพราะในจังหวะเปลี่ยนเกียร์ เราจะต้องผ่อนคันเร่งจึงทำให้เกิดผลดังกล่าว โดยความสัมพันธ์ของความเร่งกับความเร็วนั้น เป็นไปตามสมการ 6-2

$$G_{long} = \frac{\partial V(t)}{\partial t} \tag{6-2}$$

ในการคำนวณความเร่งในแนวตามยาว นี้จะมีความแม่นยำต่ำ เพราะว่าความถี่ในการเก็บผล ของซอฟท์แวร์นั้นต้องมีค่าที่ละเอียดมาก โดยเหตุผลนี้จะทำให้การลดลงของความเร่งในขณะที่เปลี่ยนเกียร์ นั้นจะไม่สามารถมองเห็นได้

ความเร่งในแนวตามยาวและแนวตามขวางจะถูกแสดงโดยกราฟ X-Y โดยส่วนมากจะเป็นกราฟจุดที่มีรูปร่างคล้ายกับวงกลม โดยจะเรียกกราฟนี้ว่า G-Circle โดยจะอธิบายโดยละเอียดในข้อหัวถัดไป

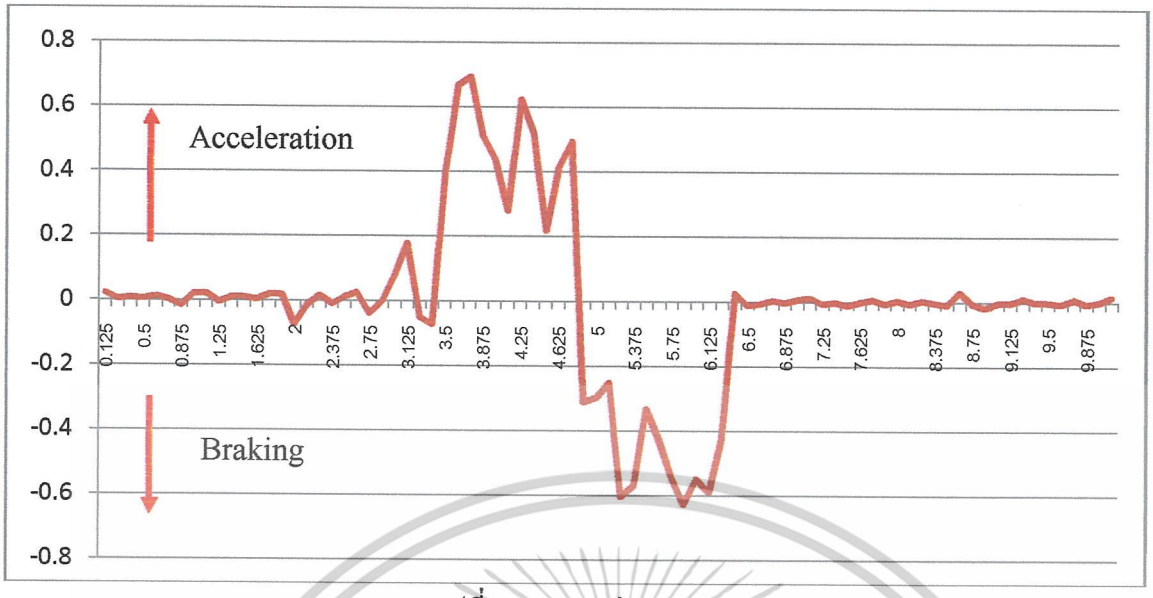
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-1 ความเร่งตามแนวขวาง

รูปที่ 6-2 ความเร่งตามแนวขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-3 ความเร่งตามแนวยาว

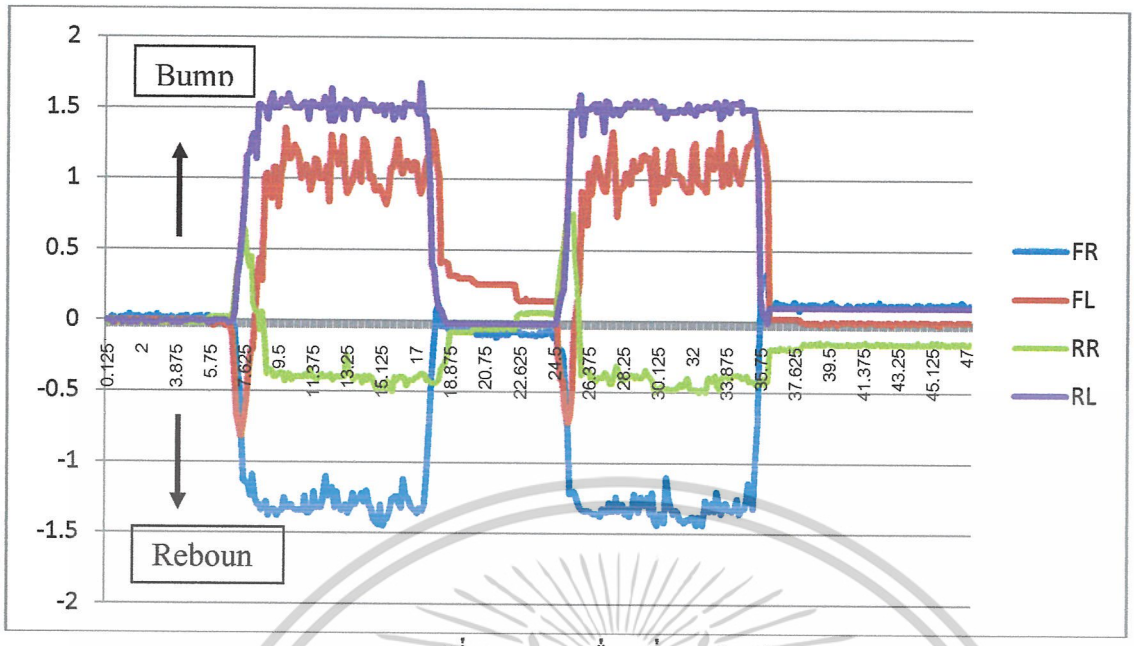
6.3.3 การเคลื่อนที่ของช่วงล่าง (Suspension Travel)

ข้อมูลพื้นฐาน 6 ข้อมูลซึ่งได้แก่ ความเร่งในแนวตามยาว, ความเร่งในแนวขวางและการเคลื่อนที่ของช่วงล่าง โดยมี 4 ข้อมูล ซึ่งข้อมูลพวกนี้จะมีความสำคัญกับฝ่ายวิศวกรมาก ในการวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับตัวรถ และประสิทธิภาพของนักแข่งรถ โดยเราจะทำการวัดการเคลื่อนที่ของช่วงล่าง โดยเราจะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์ (potentiometer) ที่ shock absorber โดยเมื่อล้อเคลื่อนที่ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวรถ ซึ่งเรียกว่า " Bump " ข้อมูลนี้จะมีเครื่องหมายบวก และการเคลื่อนที่ที่ตรงข้ามกับกรณีนี้เรียกว่า " Droop หรือ Rebound " โดยมีตัวอย่างข้อมูลดังรูปที่ 6.4

จากรูปเป็นการวิ่งของรถแข่งฟอร์มูล่าร์ Initial IV โดยวิ่งรอบสนามวงกลมซึ่งมีรัศมี 10 เมตร โดยจะทำการวิ่ง 3 รอบสนามสองครั้ง โดยเราจะวิ่งตามเข็มนาฬิกา คือวิ่งเข้าโค้งขวา โดยเราทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ความถี่คือ 8 ข้อมูลต่อ 1วินาที โดยกราฟจะแสดงการเคลื่อนที่ของ shock absorber ทั้งสี่ตัว

โดยที่แกน x ของกราฟจะเป็นเวลา(วินาที) และแกน y จะเป็นระยะที่โช้คเคลื่อนที่หรือระยะยุบของโช็ค โดยที่เราขับเข้าโค้งขวา จะทำให้ Shock absorber ด้านขวาทั้งด้านหน้าและหลังยืดหรือเรียกว่า Rebound และด้านซ้ายหน้าและหลังยุบ หรือเรียกว่า Bump

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



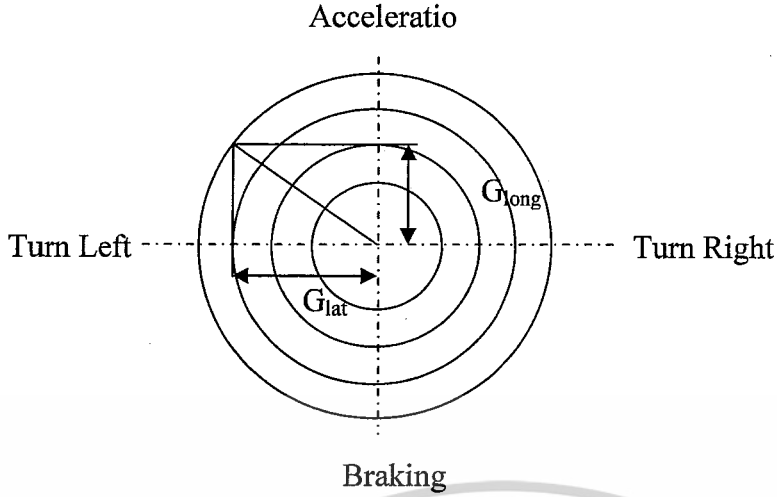
รูปที่ 6-4 การเคลื่อนที่ของช่วงล่าง

6.3.4 G-Circle

ยางที่ใช้ในการแข่งขันรถนั้นสามารถทำการพัฒนาได้ โดยการพิจารณาในสภาวะต่างๆ เช่น การเร่ง การเบรก และการเลี้ยวโค้ง แผนผังของแรงสูงสุด ที่เกิดขึ้นที่ยางนั้น สามารถวิเคราะห์ได้จากทิศทางของ G-Circle ข้อมูลที่ได้มาส่วนใหญ่จะถูกนำมาพล็อตในกราฟ x-y ระหว่างความเร่งในแนวตามยาว และความเร่งในแนวตามขวาง หรือสามารถเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า "G-G Diagram" สำหรับยานพาหนะ ทุกประเภท จะสามารถอธิบายความเร่งได้ดังรูปที่ 6-5 โดยรูปนี้แสดงการเลี้ยวโค้งของของรถด้วยความเร่ง โดยในการวัดความเร่งทั้งสองทิศทางนี้ จะต้องทำการเทียบวัดความถูกต้องของ ตัวอุปกรณ์ก่อนทุกครั้ง

การยึดเกาะสูงสุดของยางนั้น สำหรับทุกๆทิศทางนั้นจะขึ้นอยู่กับ แรงในแนวดิ่งเป็นหลัก ในการเลี้ยวโค้งที่ความเร็วสูง โดยเมื่อมีแรงกดมากระทำกับตัวรถมาก ก็จะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของกราฟ G-Circle นั้นใหญ่มากขึ้นไปด้วย เนื่องด้วยเมื่อมีแรงกดมากระทำกับรถก็จะทำให้รถนั้นเกาะมากขึ้น แล้วจะทำให้การเข้าโค้งนั้นมีความเร่งมากขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



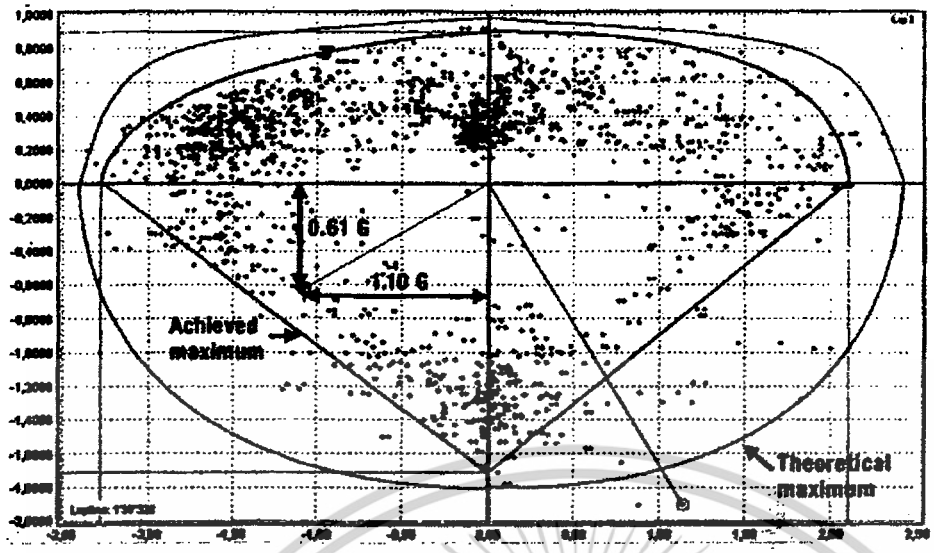
รูปที่ 6-5 การพล็อตความเร่งแนวตามยาวกับแนวตามขวาง

ความจริงแล้วกราฟ G-G นั้นจะไม่เป็นวงกลม แต่จะเป็นรูปหัวใจ โดยที่การเบรคนั้นจะทำให้เกิดค่าความเร่ง (ความหน่วง) มากกว่าการเร่งออกตัวของรถ เมื่อเราพิจารณาเฉพาะค่าของตัวเลขเท่านั้น ไม่พิจารณาถึงเครื่องหมายของมัน ความเร็วสูงสุดในแนวตามยาวจะถูกกำหนดโดยประสิทธิภาพของรถ โดย 2 ควอทเด็นท์ด้านบน จะมีลักษณะ ไม่เป็นวงกลมส่วน 2 ควอทเด็นท์ด้านล่างจะมีลักษณะเป็นวงกลม และจะเป็นวงกลมได้โดยที่นัดขับนั้นจะต้องเข้าโค้งโดยให้รถนั้นเกือบจะไถลออกจากโค้ง แต่ยังไม่ไถลในทุกๆช่วงของโค้ง ซึ่งในการปฏิบัติในทำได้ยากมาก โดยถ้าไม่สามารถขับรถด้วยสภาวะดังกล่าวได้ รูปร่างของกราฟ 2 ควอทเด็นท์ล่างจะเป็นรูปสามเหลี่ยม

จากรูปที่ 6-6 จะแสดงข้อมูลความเร็วของรถ Dodge Viper GT ในระหว่างการวิ่งในสนาม Zolder ข้อมูลพื้นฐานจะถูกพิจารณาจากจุดที่มีค่าสูงสุดใน 4 ทิศทาง โดยทิศทางในที่นี้คือ แกน x-y

Longitudinal Acceleration Under Power	0.90 G
Longitudinal Acceleration Under Braking	1.70 G
Lateral Acceleration Cornering Left	2.25 G
Lateral Acceleration Cornering Right	2.10 G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-6 G-Circle ของ Dodge Viper GT

จากรูปที่ 6-6 เส้นขอบเขตด้านนอกจะแสดงถึงความเร่งสูงสุดทางทฤษฎี สำหรับทุกทิศทาง และเส้นภายในจะแสดงความสามารถของนักขับ ในการขับรถด้วยความเร็วสูงสุดได้มากเท่าใด พื้นที่มีความหนาแน่นของจุดมากที่สุดคือ 2 ควอทเด็นท์บน โดยจะแสดงถึงความเร็วในทิศทางพุ่งไปข้างหน้า โดยจะกระจายอยู่ในช่วง 0.2-0.6 G ในความเร่งแนวตามยาวโดยไม่มีความเร่งในแนวตามขวาง เข้ามาเกี่ยวข้องโดยจะเป็นการวิ่งออกตัวด้วยความเร่งในแนวเส้นตรง

ในการสุ่มจุดของกราฟนี้มาโดยจะอยู่ในควอทเด็นท์ ซ้ายล่าง โดยจุดนี้จะแสดงถึงความเร่งในแนวตามขวางเท่ากับ 1.10 G และความเร่งในแนวตามยาว เท่ากับ 0.61 G แล้วผลรวมแบบเวกเตอร์ความเร็วสองตัวนี้คือความเร่งรวมโดยจะสามารถหาได้จากสมการ 6-2

$$G_{combined} = \sqrt{G_{long}^2 + G_{lat}^2} \quad (6\text{-}2)$$

โดยในจุดนี้จะได้ความเร่งรวมเท่ากับ 1.25 G และมีอีกหนึ่งจุดที่อยู่นอกขอบเขตด้านนอก โดยจะอยู่ในควอทเด็นท์ ขวาล่าง จะมีความเร่งรวมเท่ากับ 2.22 G ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้มีค่าความเร็วในแนวตามขวางสูงที่สุด แต่จากข้อมูลนี้จะแสดงได้ว่า รถนั้นได้ไถลออกนอกโค้งไปแล้วคือรถนั้นจะเสียการควบคุมไปช่วงเวลาหนึ่ง

ความเร่งรวมนี้สามารถคำนวณได้จากโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ แล้วนำมาพล็อตเป็นกราฟระหว่างความเร่งรวมกับเวลา หรือระยะทาง โดยกราฟนี้จะเป็นประโยชน์มากในการวิเคราะห์สภาพของรถในขณะที่เข้าโค้ง จากกราฟ G-G เราสามารถเขียนได้อีกแบบดังรูป 7.5

จากรูปที่ 6 .6 แสดงกราฟ G-G ที่ความเร็วของรถ 160 km/hr จากลูกศรในรูปจะแสดงถึงการเข้าโค้งในรูปแบบต่างๆ เช่นการเบรกก่อนเข้าโค้ง การเข้าโค้งโดยไม่ได้เหยียบเบรก จากรูปเล็กที่ได้วงกลมอยู่จะบอกถึงนักขับได้ละเท้าออกจากแป้นเบรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการที่เรามีข้อมูลความเร่ง ทั้งG-Circle และ ความเร่งรวม โดยจะเป็นข้อมูลที่ดีในการสืบสวน และวิเคราะห์สภาพของตัวรถ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของนักแข่งรถด้วย

6.4 การทดสอบและการเก็บผลการทดลอง

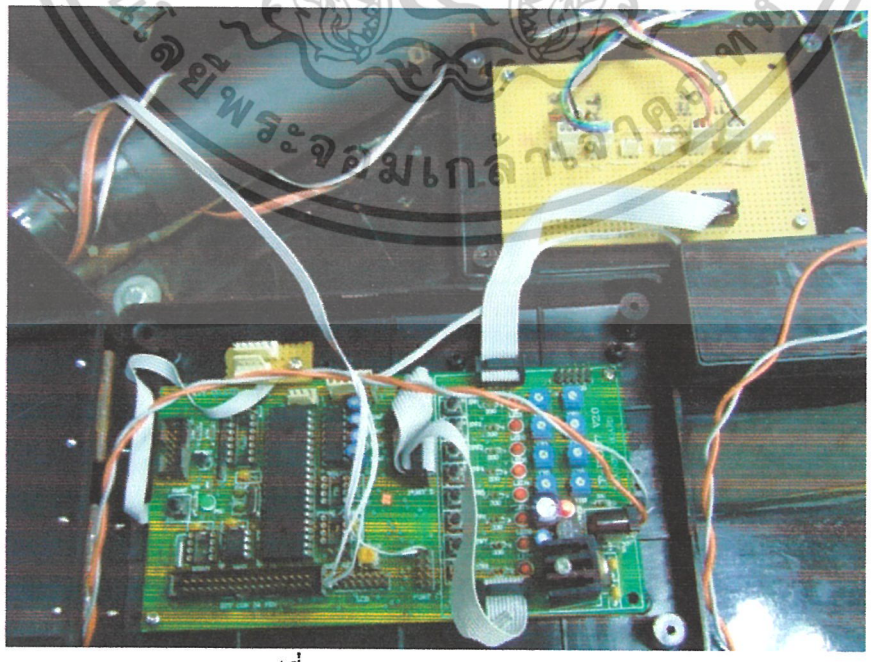
จากที่ผ่านมาได้มีการแข่งขันฟอร์มูล่า TSAE 2008 โดยทางชมรม Auomotive (KMITL) ได้ส่งรถเข้าแข่งขันชื่อว่า Initial IV โดยระบบช่วงล่างของ Inttial IV ได้ทำการติดตั้งระบบกันโคลง(Anti roll bar) แต่เนื่องจากเราไม่สามารถสรุปได้ว่าเราจะใช้ความแข็งของระบบกันโคลงนี้เท่าไร จึงจะเหมาะสมกับรถประเภทนี้และทำให้รถนี้มีเสถียรภาพในการขับขี่ในทุกๆสภาวะ

ดังนั้นเราจึงได้ทำการทดลองเกี่ยวกับความแข็งของระบบกันโคลง เพื่อหาค่าความแข็งที่เหมาะสมที่สุดโดยเราได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

1. Microcontroller เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลจากเซนเซอร์ต่างๆ โดยสามารถปรับความละเอียดในการเก็บข้อมูลได้

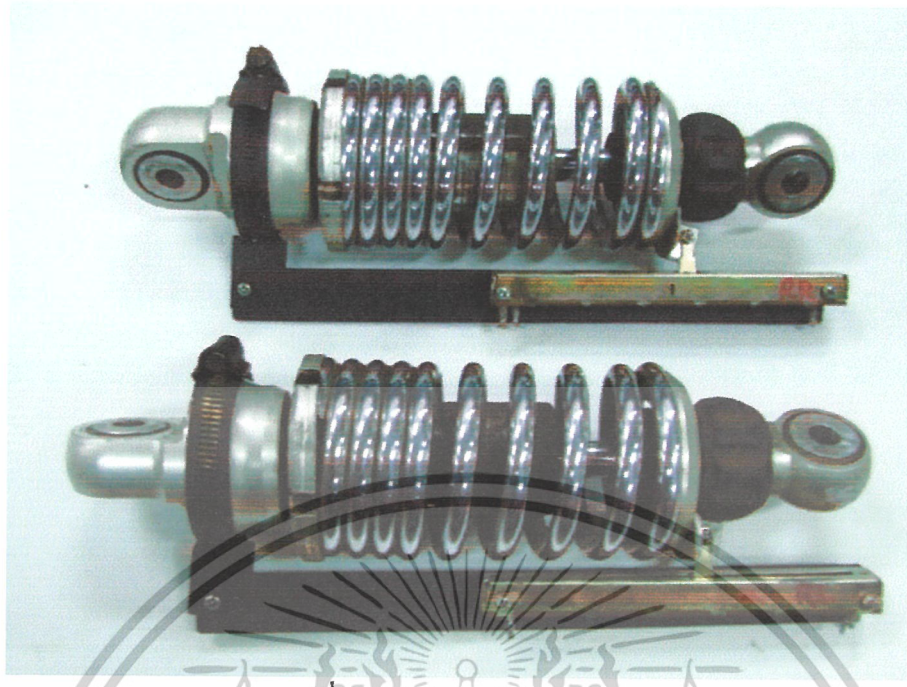
2. Potentiometer B10K เป็นตัวต้านทานประเภทหนึ่งที่สามารถปรับค่าได้โดยสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 – 10,000 โอห์ม โดยใช่ไฟเลี้ยง 5V

3. G sensor เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความเร่งโดยเราได้ใช้ G sensor รหัส ADXL202 โดยจะวัดความเร่งได้ 2 แกนโดยสามารถวัดได้ ± 2 g

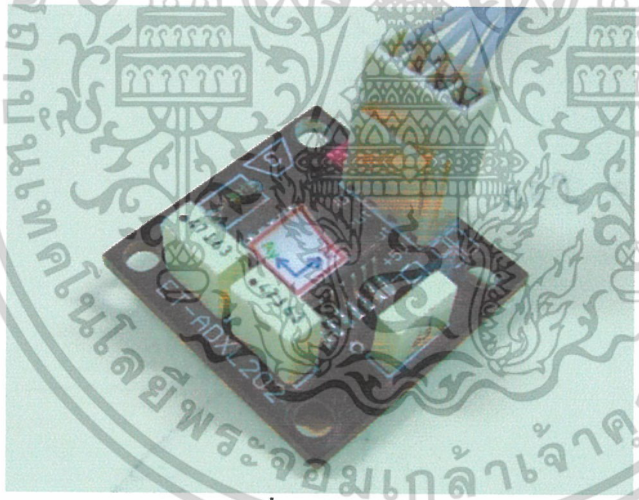


รูปที่ 6-7 Board Microcontroller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-8 Potentiometer B10K



รูปที่ 6-9 G Sensor ADXL202

จากนั้นเราจะทำการทดสอบโดยปรับค่าความแข็งของเหล็กกันโคลงเป็น 5 ระดับ

ความแข็งของเหล็กกันโคลงหลัง

แข็งมาก = จากบนสุดของเหล็กกันโคลง 4 เกลียว

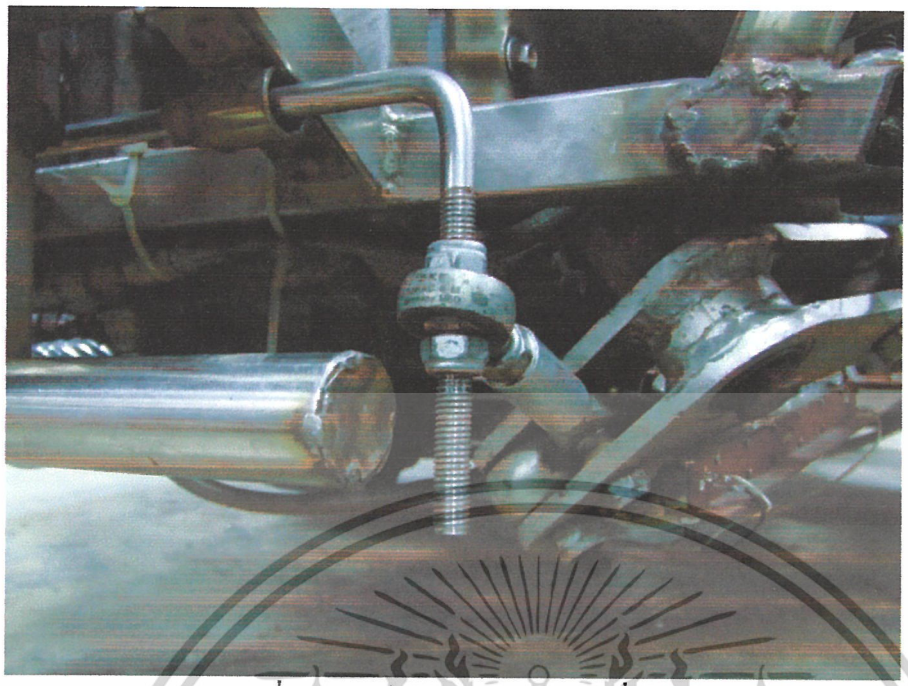
แข็ง = จากบนสุดของเหล็กกันโคลง 8 เกลียว

ปานกลาง = จากบนสุดของเหล็กกันโคลง 12 เกลียว

อ่อน = จากบนสุดของเหล็กกันโคลง 16 เกลียว

อ่อนมาก = จากบนสุดของเหล็กกันโคลง 20 เกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-10 เหล็กกันโคลงด้านหลังที่สภาวะปานกลาง

โดยเราจะทำการทดสอบ โดยการวิ่งบนสนามที่เป็นรูปวงกลม โดยวิ่งตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา ด้วยความเร็วสูงสุดที่จะไม่ไถลออกจากโค้ง โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 m โดยจะทำการวิ่ง 3 รอบสนาม 2 ครั้ง ติดต่อกัน โดยจะใช้รถ Initial IV ในการทดสอบครั้งนี้โดยมีข้อมูลดังนี้

General Data

Dimension	:	1350 × 1600 × 1100 mm
Weight	:	260 kg
Frame	:	Space Frame (Stainless Steel)
Wheel	:	15 inchs
Body	:	Rack & Pinion
Break System	:	Disc Brake Wheel

Transmission

Gear	:	Manual 6 speed
Differential Gear	:	Limited Slip

Engine

Type	:	Kawasaki ZX 600cc
ECU	:	Haltech E6X

Suspension

Type	:	Pull rod & Locker Arm
Shock	:	Absorber & Coil Spring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6-11 สนามที่ใช้ทดสอบ

รูปที่ 6-12 รถที่ใช้ทดสอบ Initial IV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.5 ผลการทดสอบ

หลังจากการทดสอบเราจะได้ข้อมูล 2 ข้อมูลคือ การเคลื่อนที่ของระบบช่วงล่าง หรือการกระจัดของแดมเปอร์ (Displacement of Damper) และกราฟ G-Circle โดยการกระจัดแดมเปอร์นี้จะพล็อตเทียบกับเวลา ในหน่วยวินาที โดยการกระจัดแดมเปอร์มีหน่วยเป็น cm

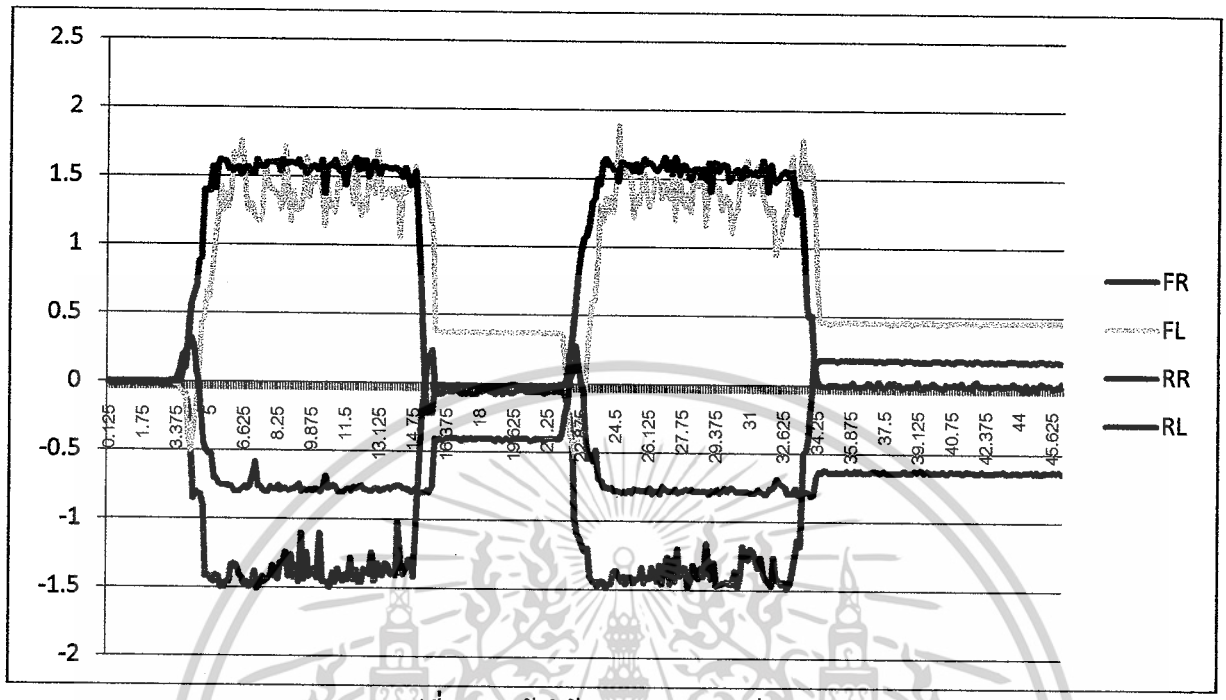
จากกราฟ G-Circle เราจะหาความเร่งเฉลี่ย ในช่วงที่รถนั้นเลี้ยวโค้งอยู่ โดยจะไม่พิจารณาที่สภาวะอื่น โดยจะได้ข้อมูลดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าความเร่งในแนวด้านข้างของรถที่สภาวะต่างๆ

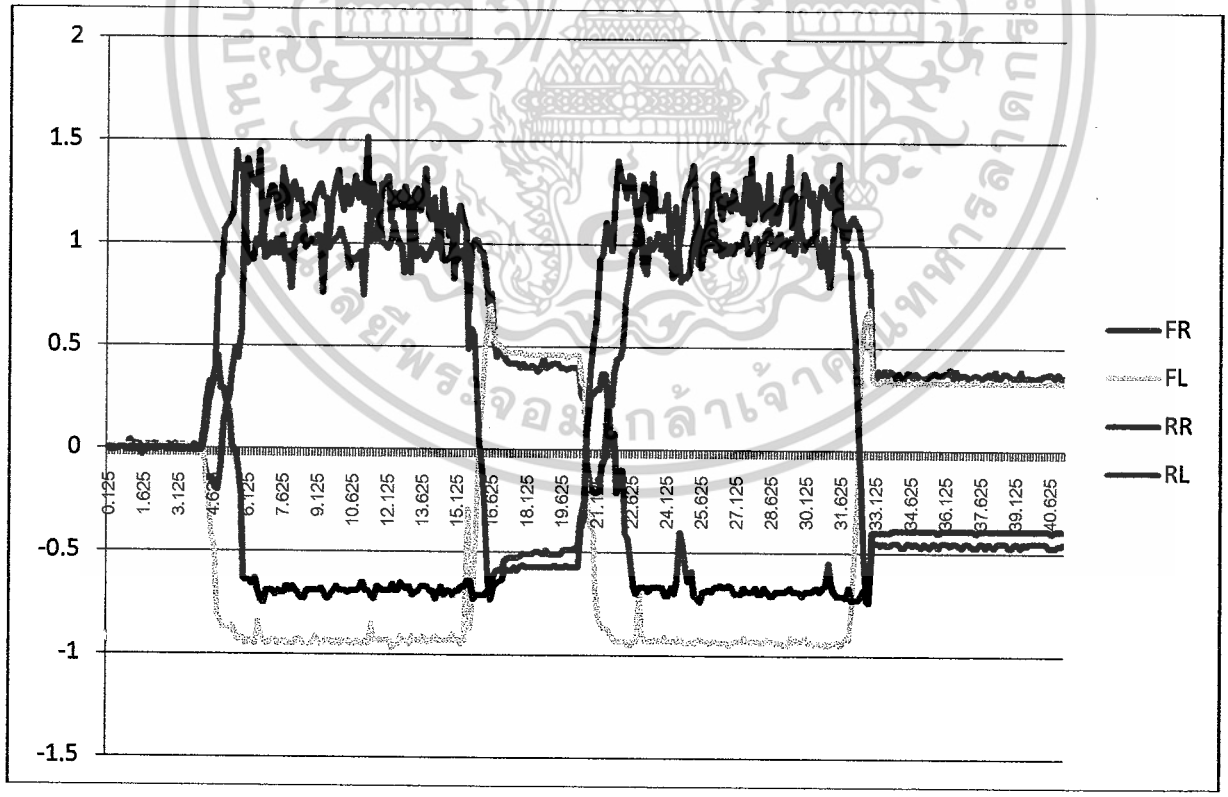
	เข้าโค้งขวา 1	เข้าโค้งขวา 2	เข้าโค้งซ้าย 1	เข้าโค้งซ้าย 2
แข็งมาก	0.97 G	0.95 G	0.78 G	0.82 G
แข็ง	0.89 G	0.87 G	0.83 G	0.79 G
ปานกลาง	1.02 G	0.94 G	0.85 G	0.86 G
อ่อน	0.90 G	0.92 G	0.84 G	0.82 G
อ่อนมาก	0.98 G	1.00 G	0.81 G	0.87 G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะเหล็กกันโคลง : แข็งมาก

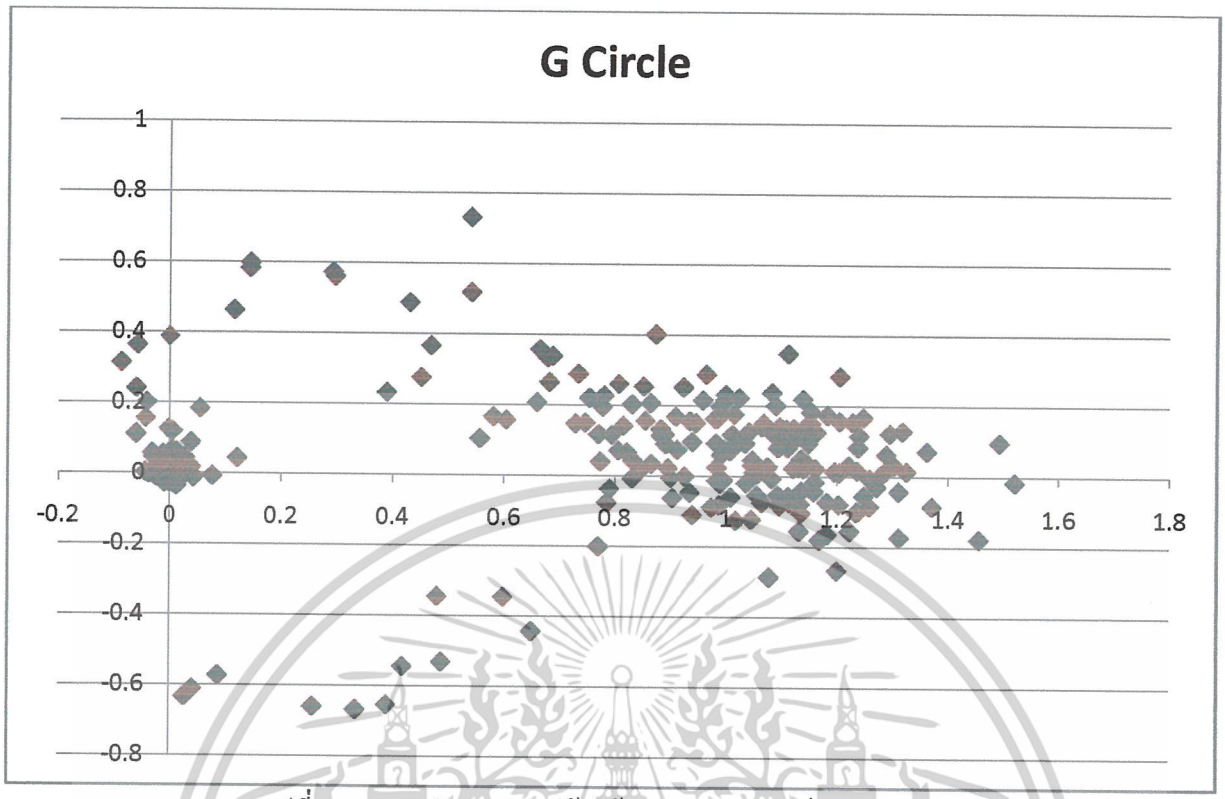


รูปที่ 6-13 เข้าโค้งขวา_สภาวะแข็งมาก

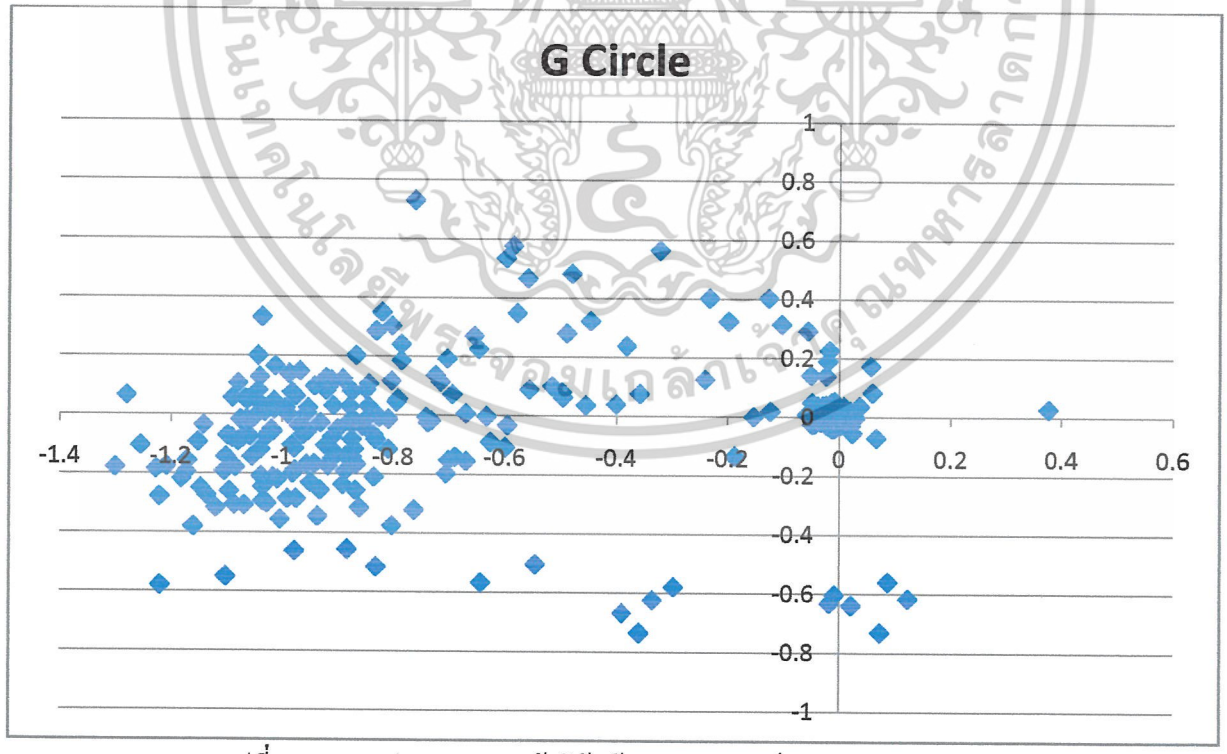


รูปที่ 6-14 เข้าโค้งซ้าย_สภาวะแข็งมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



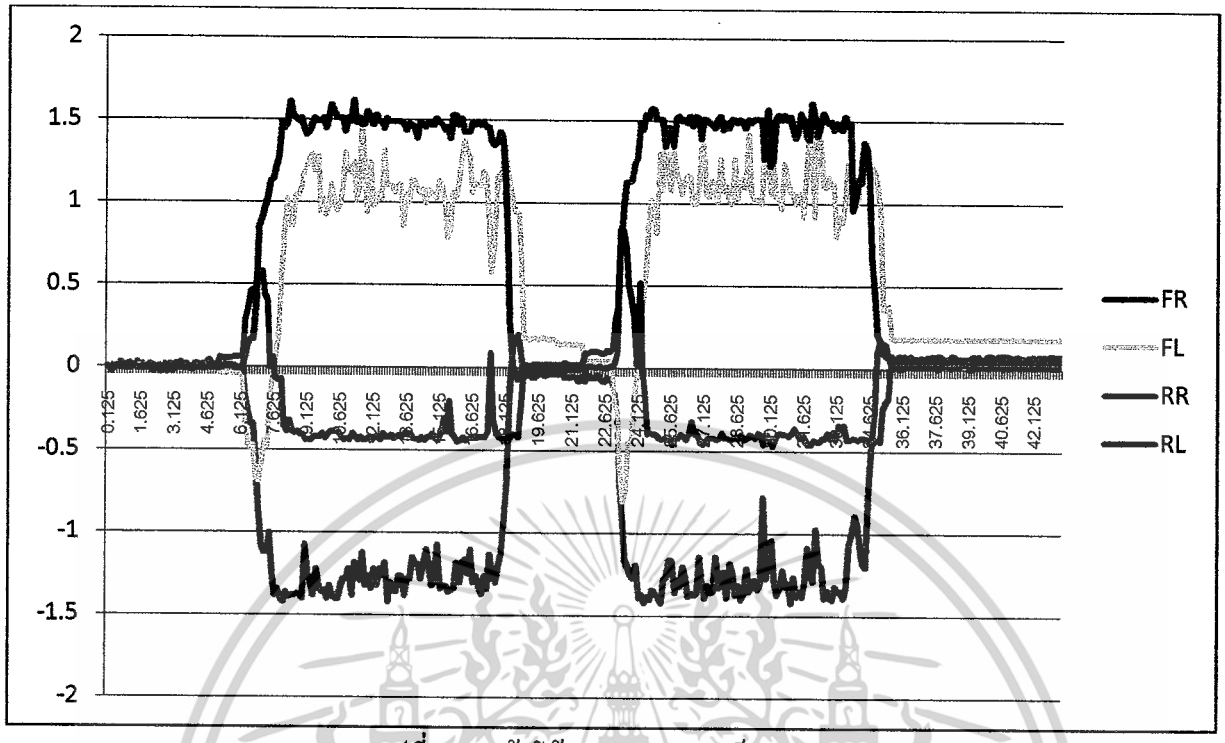
รูปที่ 6.15 กราฟ G-Circle เข้าโค้งขวา _สภาวะแข็งมาก



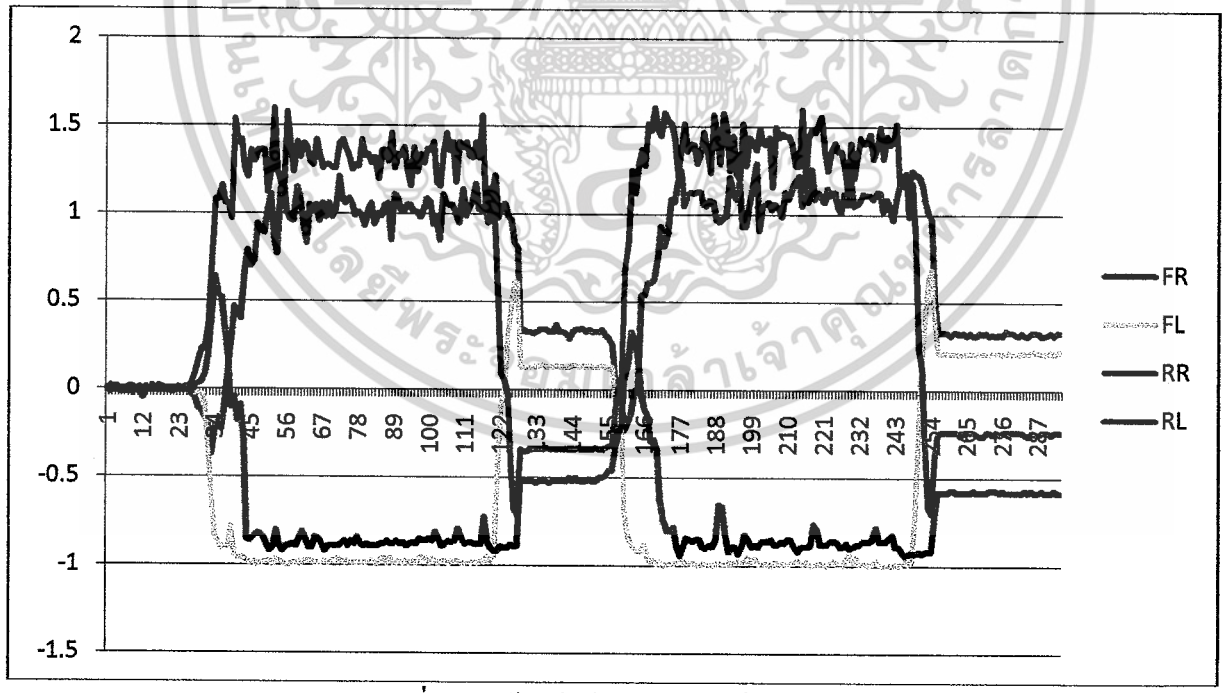
รูปที่ 6-16 กราฟ G-Circle เข้าโค้งซ้าย _สภาวะแข็งมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะเหล็กกันโคลง : แข็ง

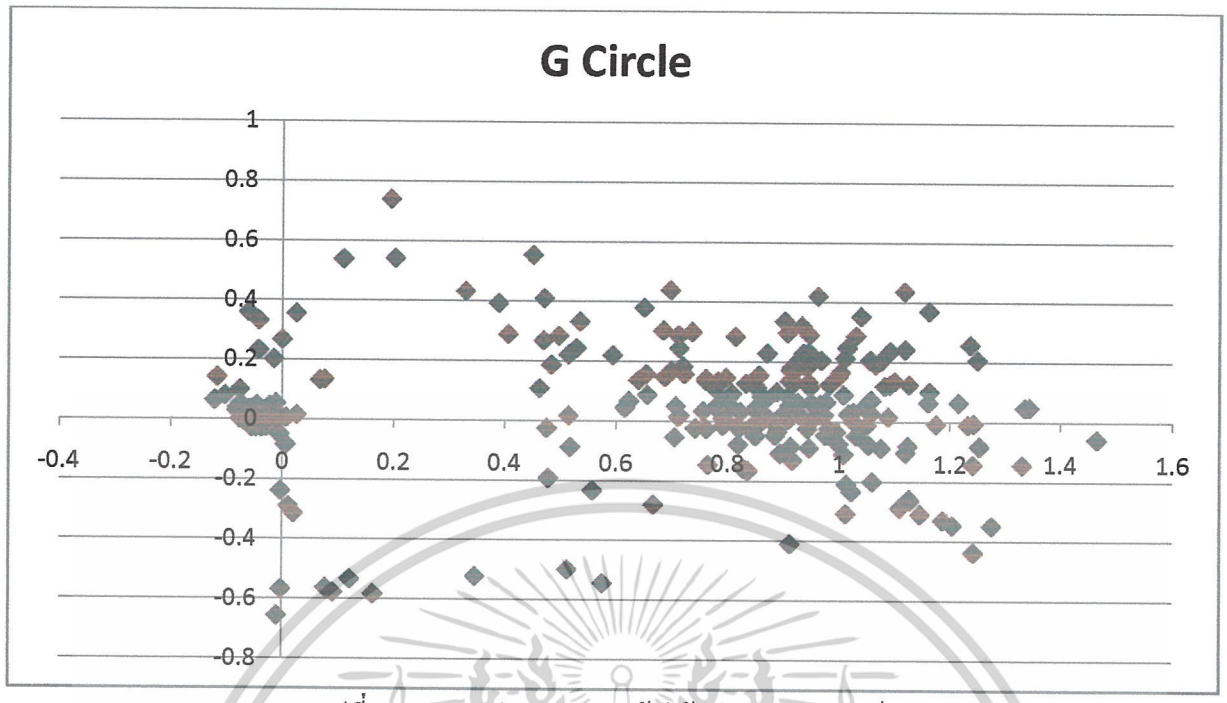


รูปที่ 6-17 เข้าโค้งขวา_สภาวะแข็ง

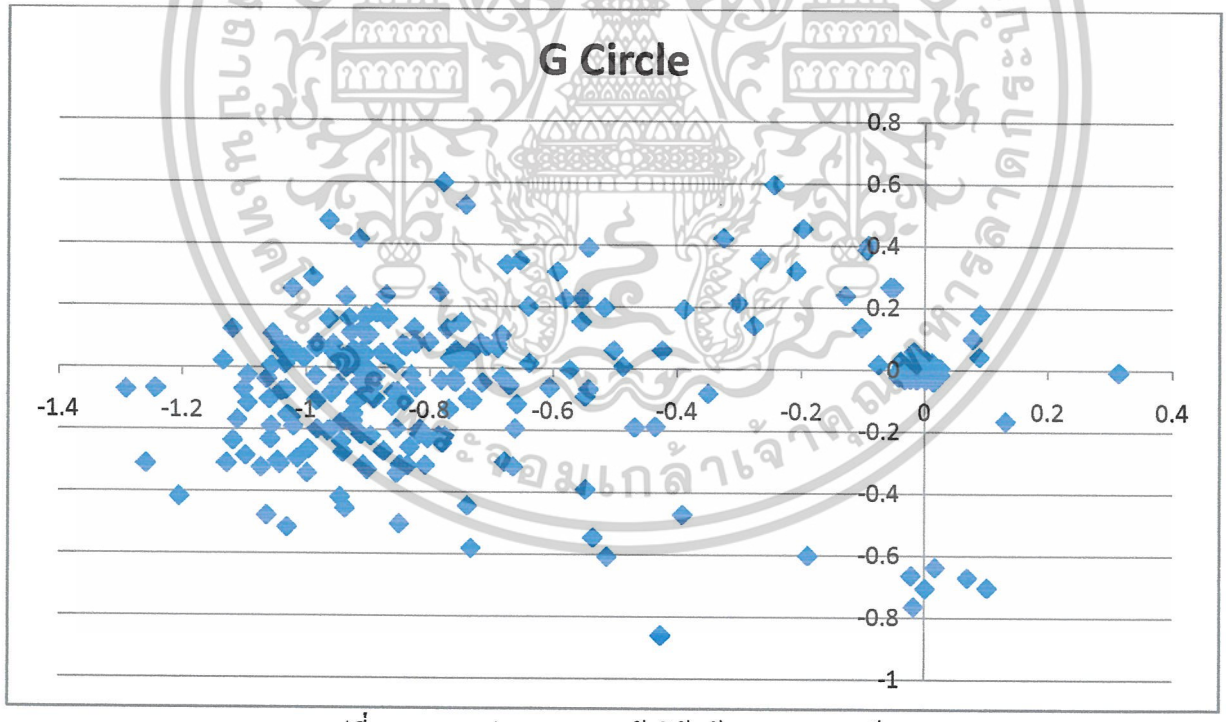


รูปที่ 6-18 เข้าโค้งซ้าย_สภาวะแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



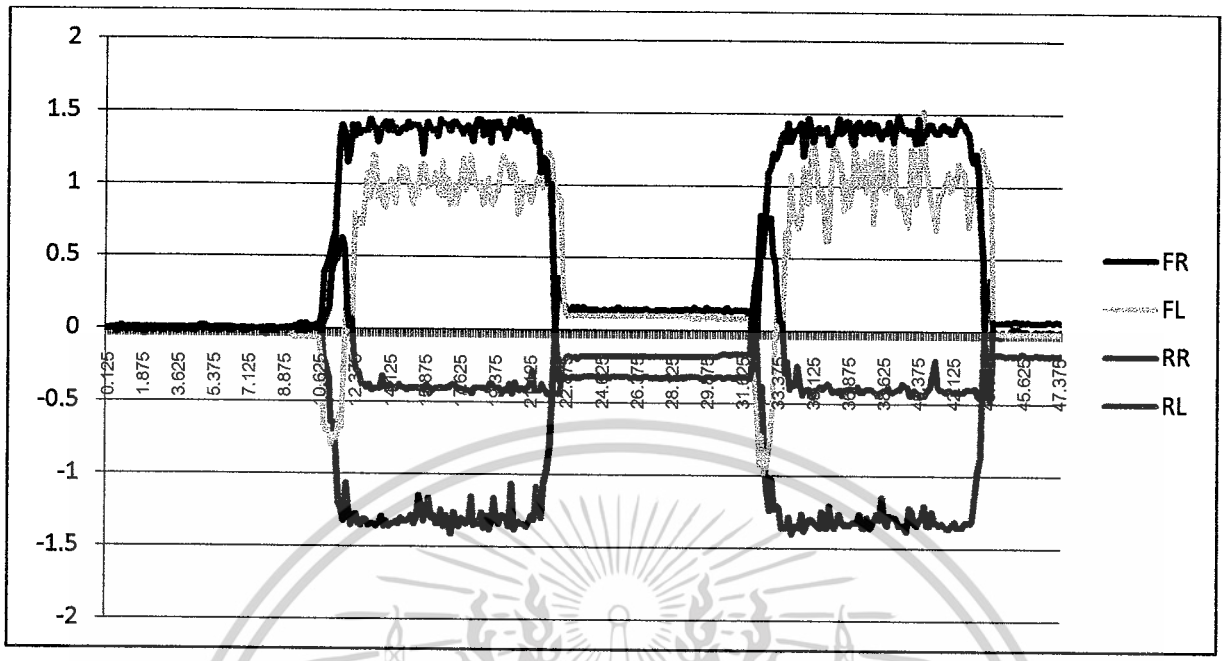
รูปที่ 6-19 กราฟ G-Circle เข้าโค้งขวา _สภาวะแข็ง



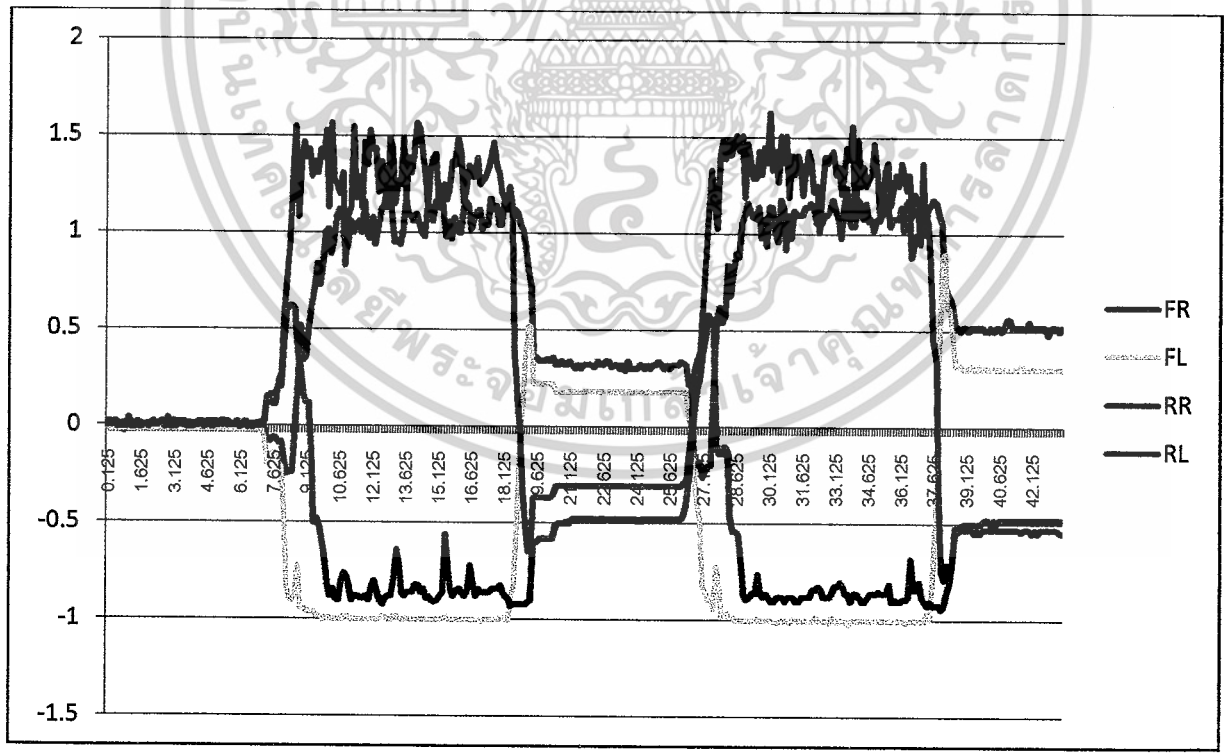
รูปที่ 6-20 กราฟ G-Circle เข้าโค้งซ้าย _สภาวะแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะเหล็กกันโคลง : ปานกลาง

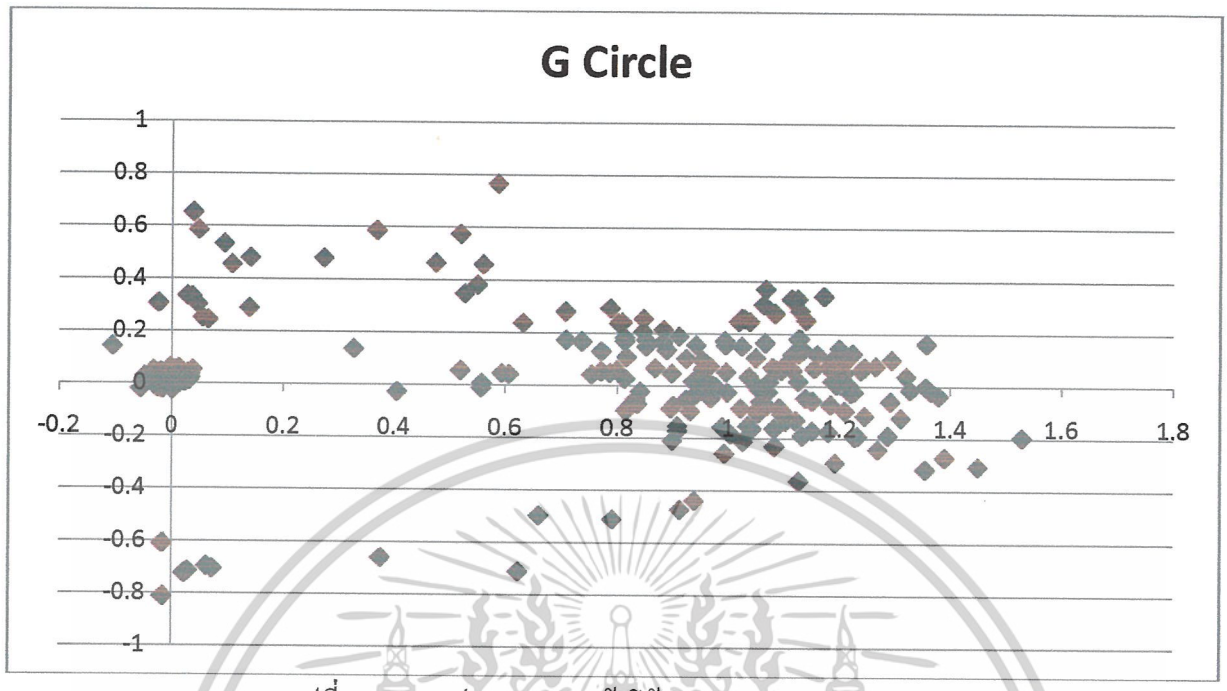


รูปที่ 6-21 เข้าโค้งขวา_สภาวะปานกลาง

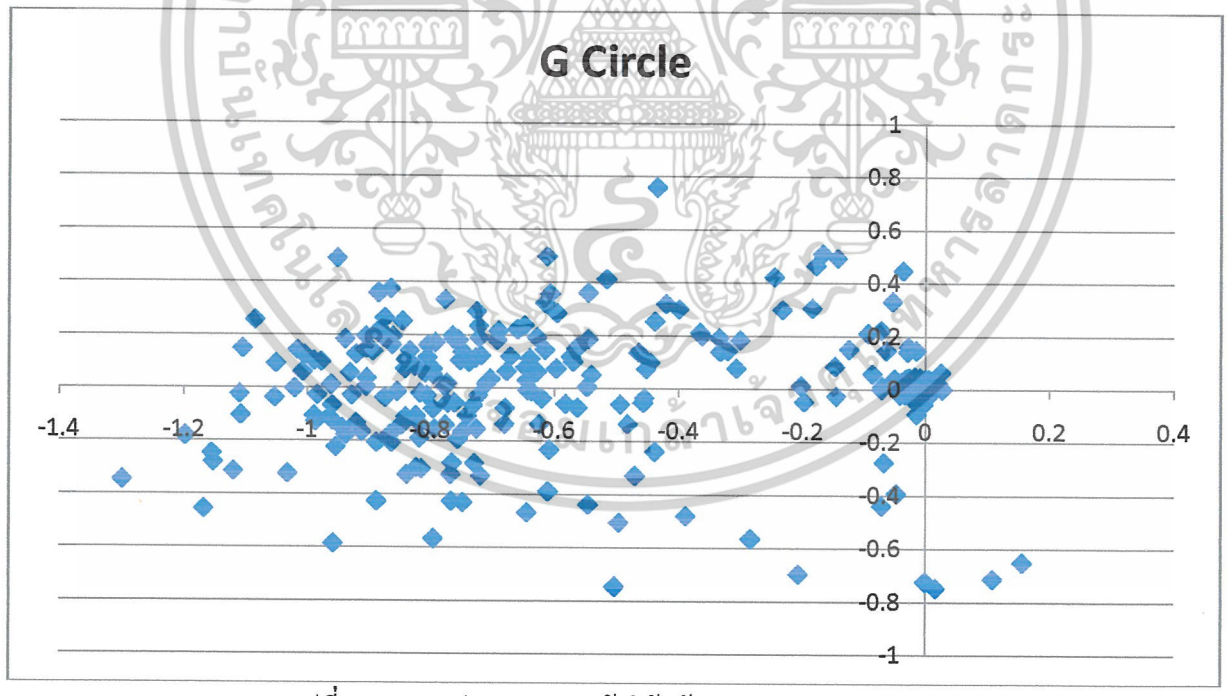


รูปที่ 6-22 เข้าโค้งซ้าย_สภาวะปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



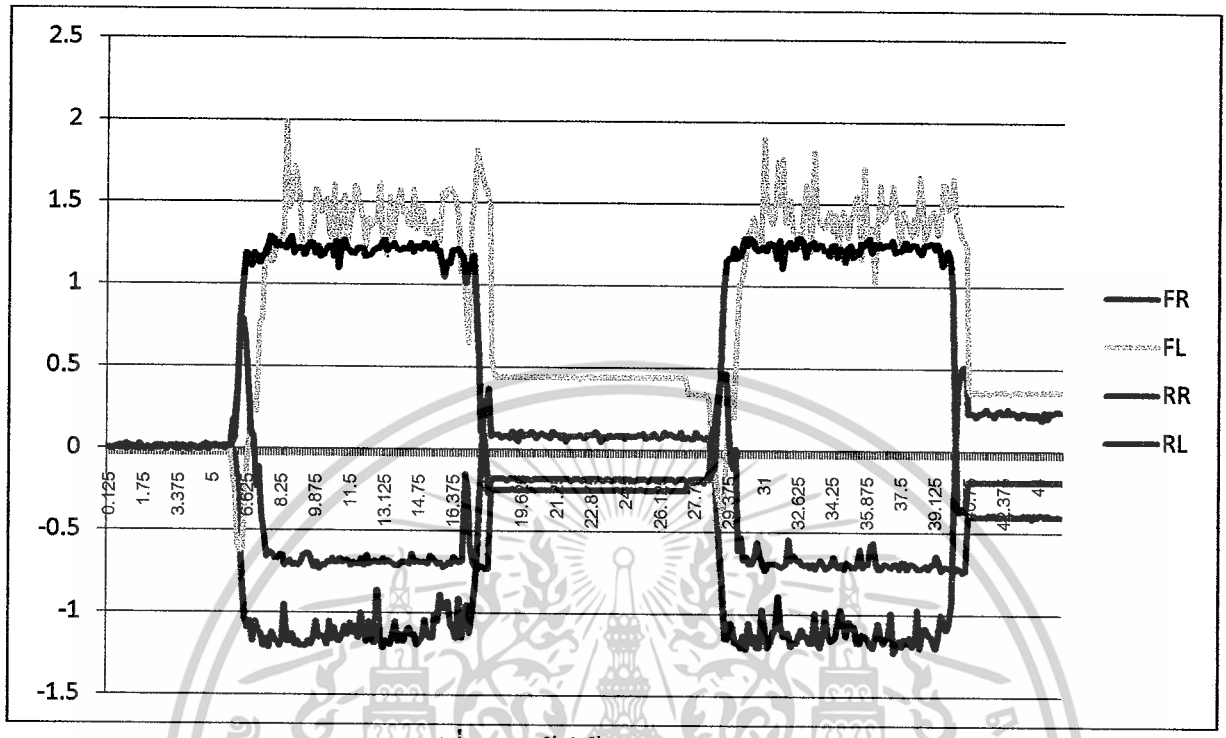
รูปที่ 6-23 กราฟ G-Circle เข้าโค้งขวา _สภาวะปานกลาง



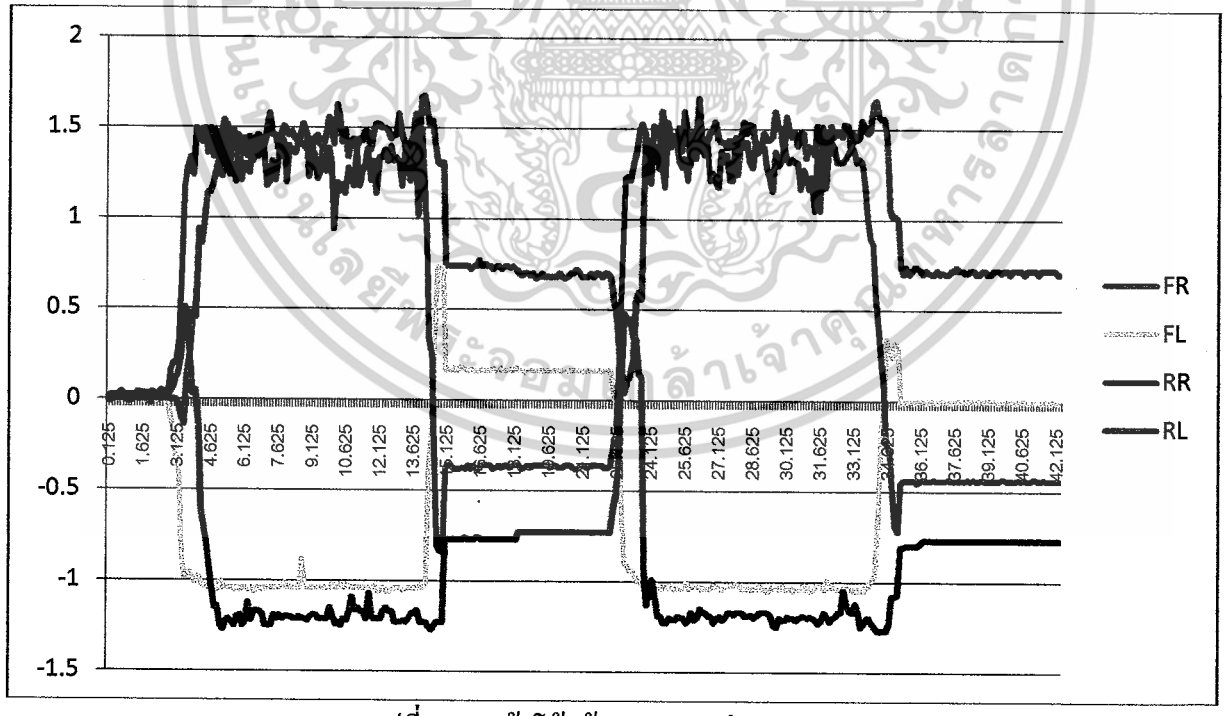
รูปที่ 6-24 กราฟ G-Circle เข้าโค้งซ้าย _สภาวะปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะเหล็กกันโคลง : อ่อน

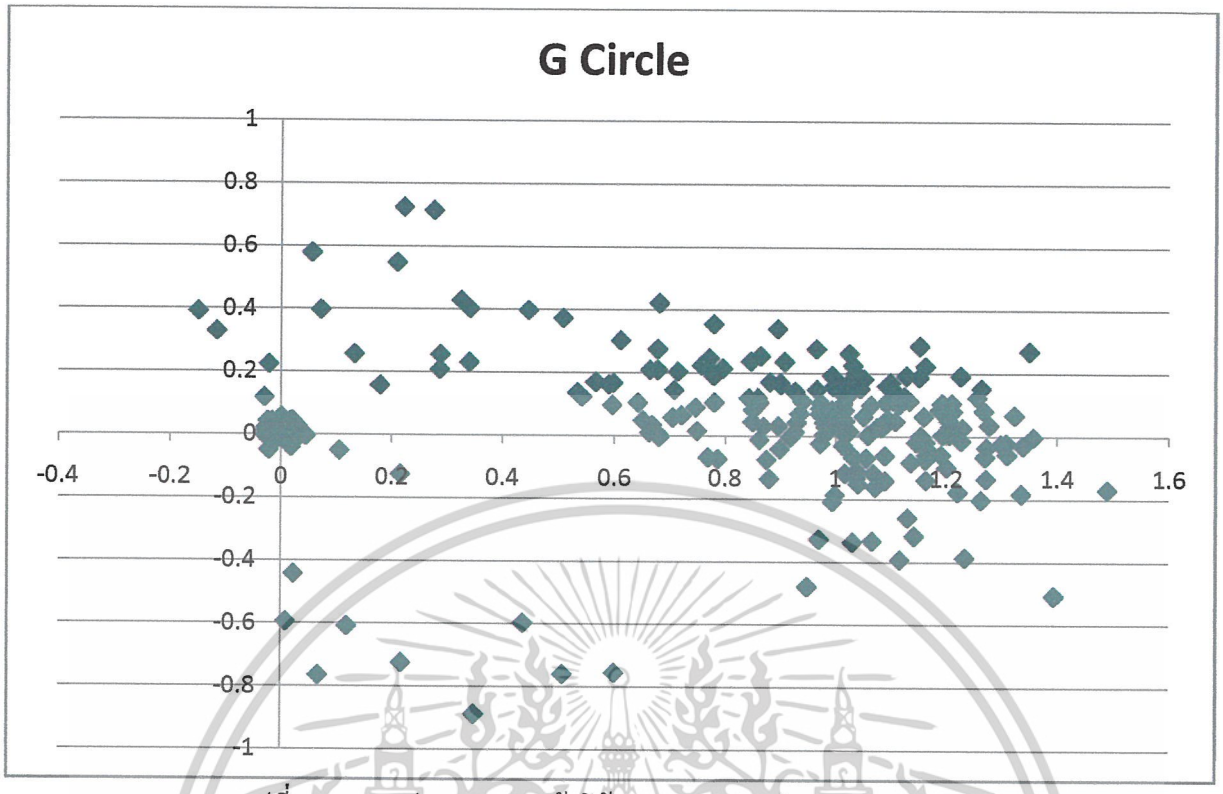


รูปที่ 6-25 เข้าโค้งขวา_สภาวะอ่อน

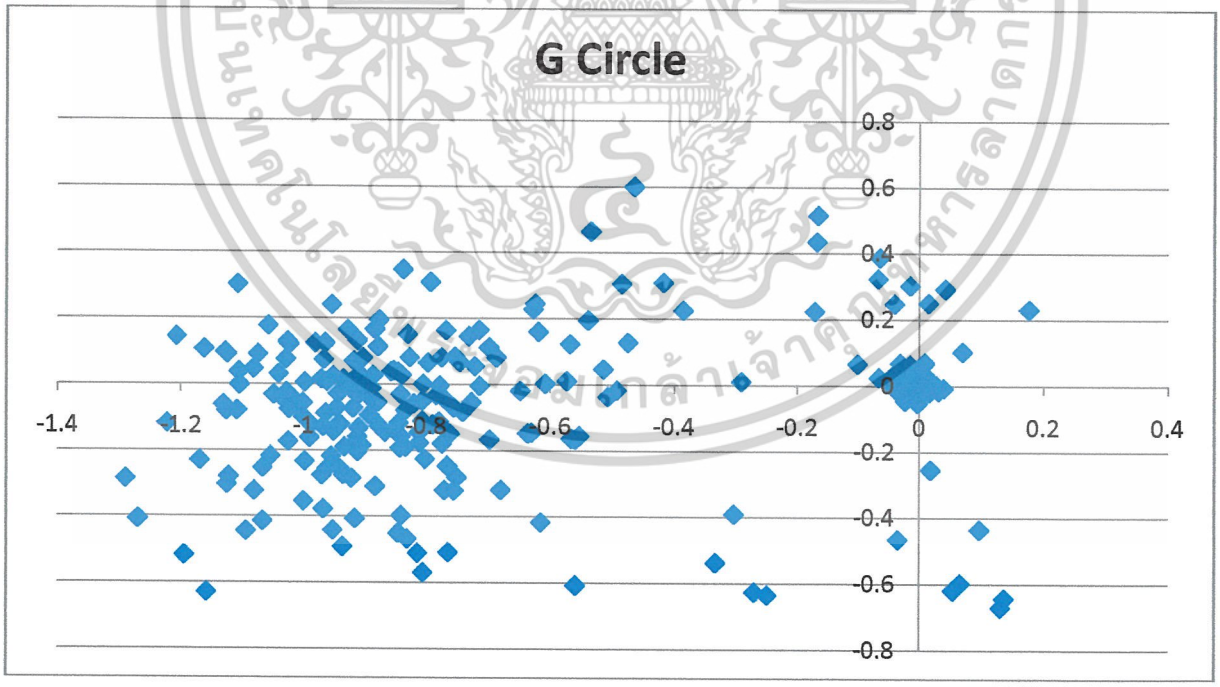


รูปที่ 6-26 เข้าโค้งซ้าย_สภาวะอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



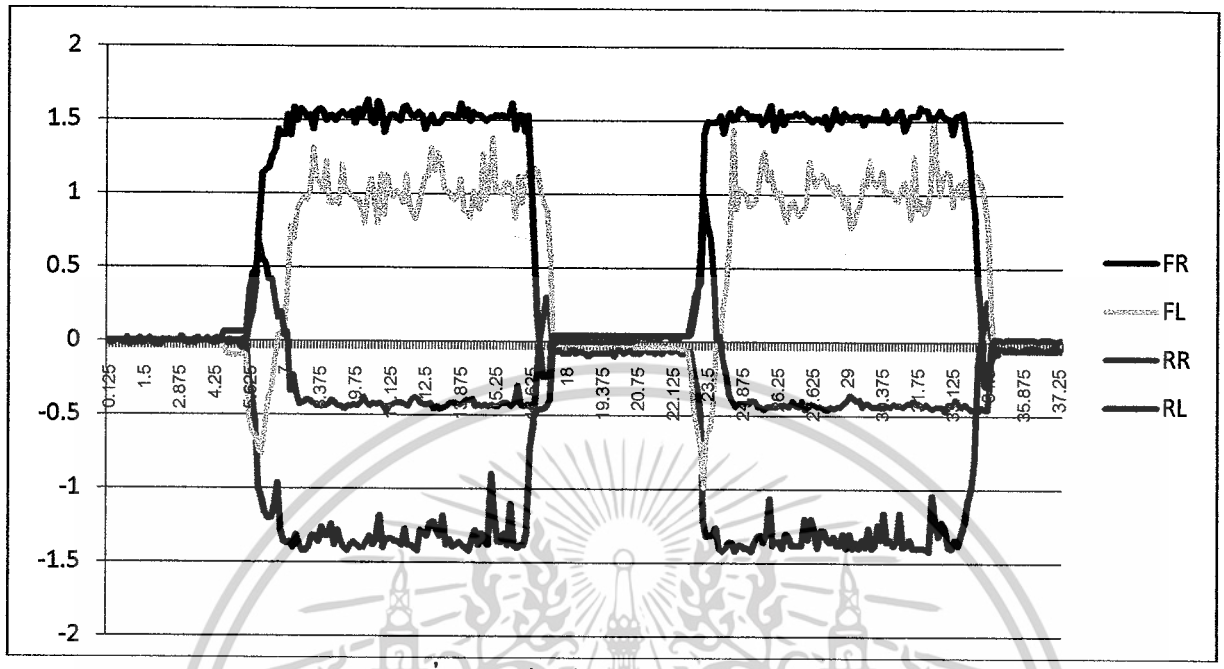
รูปที่ 6-27 กราฟ G-Circle เข้าโค้งขวา _สภาวะอ่อน



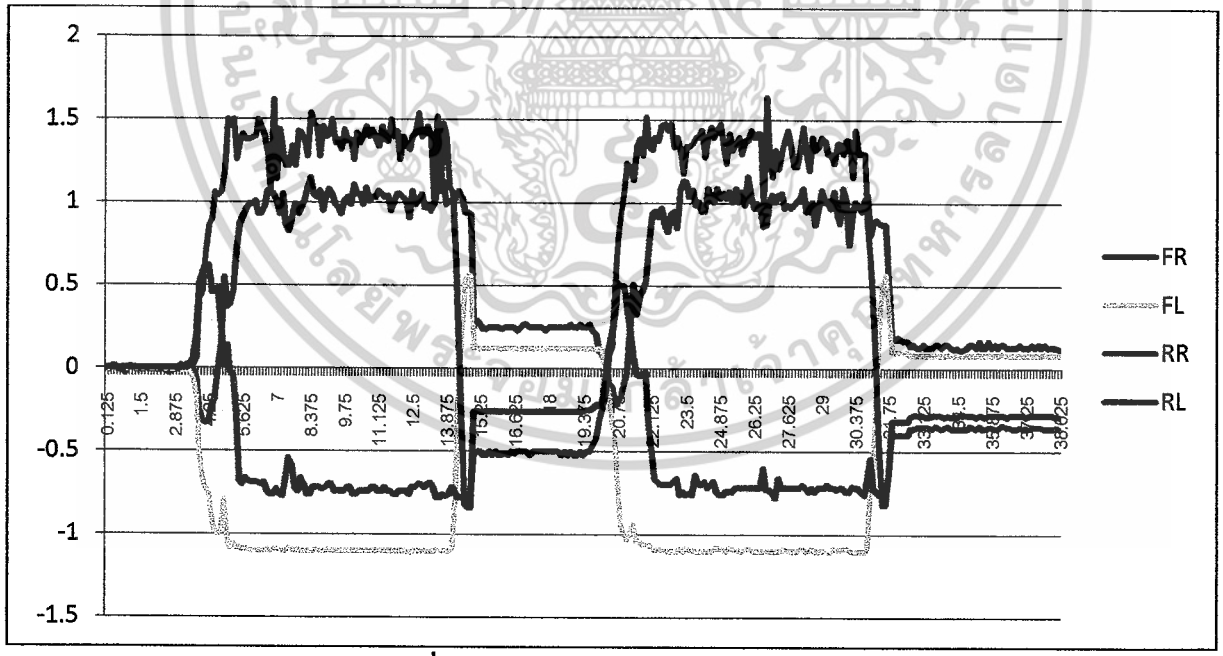
รูปที่ 6-28 กราฟ G-Circle เข้าโค้งซ้าย _สภาวะอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะเหล็กกันโคลง : อ่อนมาก

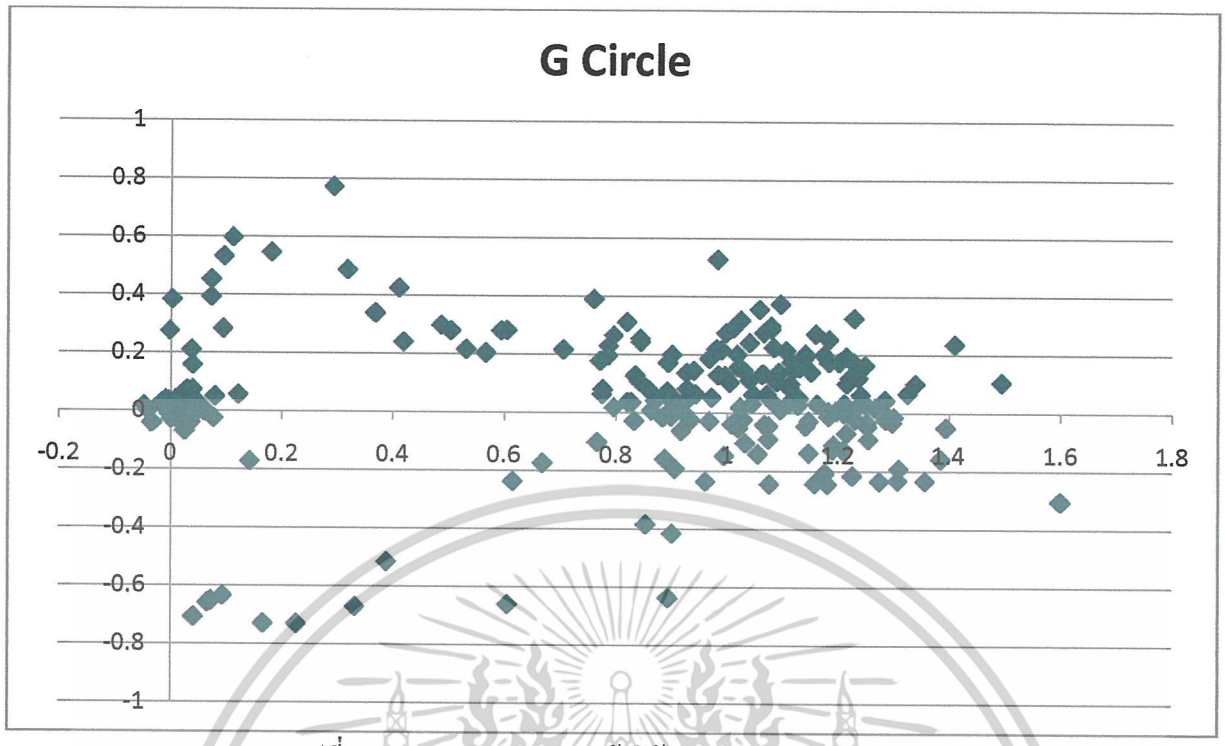


รูปที่ 6-29 เข้าโค้งขวา_สภาวะอ่อนมาก

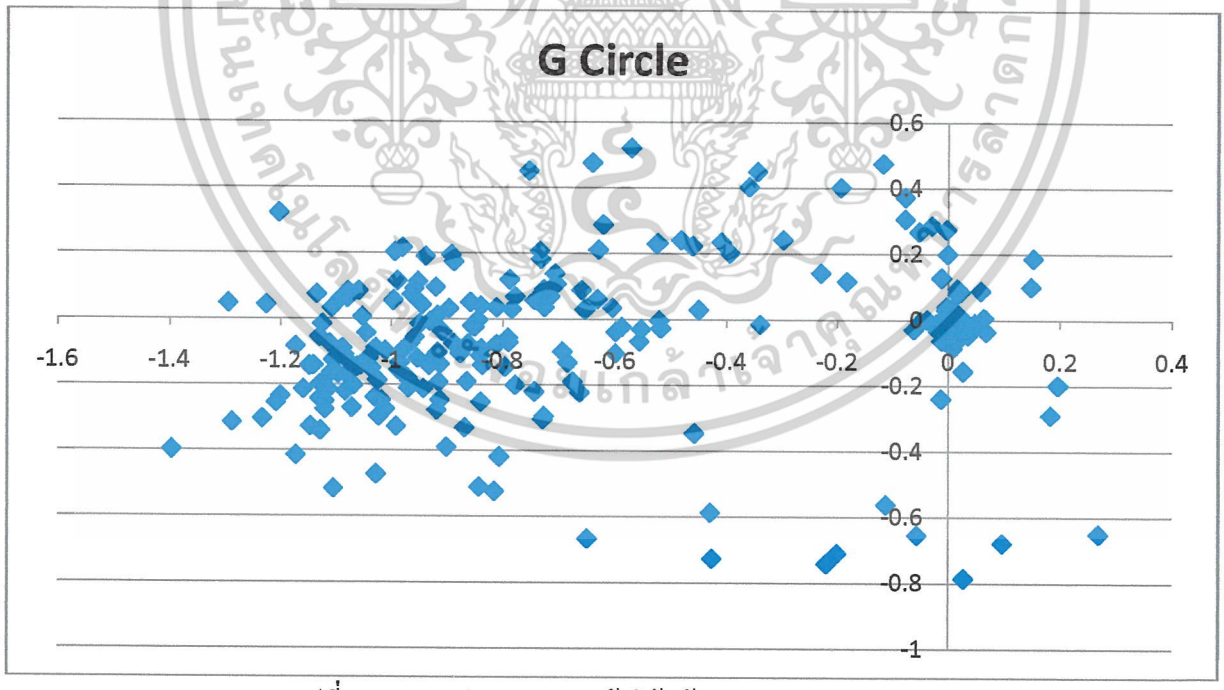


รูปที่ 6-30 เข้าโค้งซ้าย_สภาวะอ่อนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6-31 กราฟ G-Circle เข้าโค้งขวา _สภาวะอ่อนมาก



รูปที่ 6-32 กราฟ G-Circle เข้าโค้งซ้าย _สภาวะอ่อนมาก

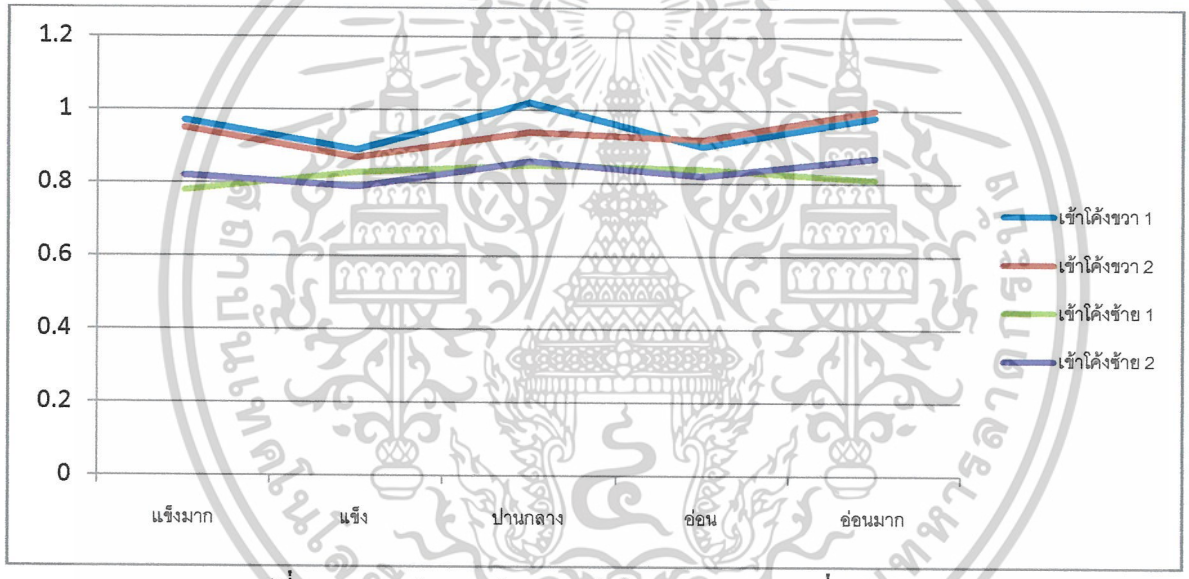
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากที่เราทำการทดสอบ หาค่าความแข็งที่เหมาะสมกับ การขับรถเข้าโค้งซ้าย (ตามเข็มนาฬิกา) และเข้าโค้งขวา (ทวนเข็มนาฬิกา) เราได้หาค่าความเร่งเฉลี่ยในแนวตามขวาง โดยเราจะได้หาความเร่งตามตารางที่ 6.1 โดยเราจะสังเกตว่า การขับรถของนักขับนั้นจะสามารถขับเข้าโค้งขวาได้เร็วกว่าขับเข้าโค้งซ้าย โดยในการเปรียบเทียบเราจะทำการเปรียบเทียบแยกกันระหว่าง การขับเข้าโค้งซ้าย และเข้าโค้งขวา

6.6.1 ขับเลี้ยวโค้งขวา

โดยเราจะสังเกตจากรูปที่ 6-33รถนั้นจะมีความเร่งในแนวตามขวาง สูงสุดที่สภาวะความแข็งปานกลาง โดยจะมีค่าความเร่งประมาณ 0.94-1.02 G



รูปที่ 6-33 กราฟแสดงค่าความเร่งในแนวตามขวาง ที่สภาวะต่างๆ

6.6.2 ขับเลี้ยวโค้งซ้าย

โดยค่าความเร่งตามแนวขวาง จะมีแนวโน้มคล้ายๆ กับเข้าโค้งซ้าย คือที่สภาวะความแข็งปานกลาง จะมีความเร่งสุดที่สูงโดยจะมีความเร่ง ประมาณ 0.78-0.86 G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.7 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเราได้ข้อสรุป ในการปรับค่าความแข็งของเหล็กกันโคลงด้านหลัง คือ จะต้องปรับให้อยู่ที่สภาวะความแข็งปานกลางโดยจะทำให้รถนั้นสามารถวิ่งเข้าโค้ง ด้วยความเร่งที่มากที่สุด ได้ โดยจะมีข้อมูลการกระจัดของแดมเปอร์ มาเป็นข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาวะของรถได้อีกทางหนึ่งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปผลโครงงาน

7.1 สรุป

จากที่เราได้ทำการศึกษา ค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับระบบช่วงล่าง จากนั้นเราได้ความรู้ที่ได้มาทำการออกแบบระบบช่วงล่าง ได้แก่

7.1.1 จากการศึกษาระบบช่วงล่างในแบบต่างๆทั้งระบบอิสระและไม่อิสระ มองถึงข้อดีข้อเสีย ค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการสร้างชิ้นงานรวมถึงอีกหลายๆปัจจัยนั้น สรุปได้ว่าระบบช่วงล่างแบบปีกนกคู่หน้าหลังนั้น เป็นระบบที่ค่อนข้างจะเหมาะสมกับรถแข่งขนาดเล็กมากที่สุด ทั้งในด้านการติดตั้ง การสร้างที่ค่อนข้างง่าย ค่าใช้จ่ายต่ำ การเคลื่อนที่ไม่ทำให้มุมล้อเปลี่ยนมากนัก สามารถปรับแต่งมุมล้อได้ง่าย และปัจจัยอื่นๆที่กล่าวมาแล้ว ทำให้โครงงานนี้เลือกใช้ระบบปีกนกคู่ในการศึกษา

7.1.2 จากการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบระบบช่วงล่างนั้น เราได้ใช้โปรแกรม Adams ในการจำลองและวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของปีกนก โดยมีตัวแปรต่างๆ มาทำการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของรูปร่างของปีกนกในแบบต่างๆ โดยตัวแปรต่างๆนั้นคือ มุมต่างๆในระบบช่วงล่าง เช่น มุมโท มุมแคมเบอร์ มุมแคสเตอร์ และมุมอื่นๆ โดยเราจะได้รูปร่างของปีกนกที่ดีและเหมาะสมกับรถแข่งขนาดเล็ก จากนั้นเราจะใช้ โปรแกรม Abaqus มาช่วยในการวิเคราะห์ความเสียหายที่จะเกิดกับ ปีกนก และชิ้นส่วนอื่นๆ โดยเราจะต้องกำหนดจุดที่แรงนั้นกระทำกับชิ้นงาน และใส่ค่าแรงลงไป จากนั้นทำการวิเคราะห์โดยเราจะได้ ความเค้นสูงสุดออกมา (Von Mises Stress) จากนั้นเราก็จะหาค่า ความปลอดภัย (Safety Factor) โดยค่านี้จะเป็นตัวบ่งชี้ความแข็งแรงของชิ้นงาน

โดยปีกนกที่เราสร้างขึ้นมานั้น สร้างมาจากวัสดุ เหล็ก เกรด STKM 11A โดยจะเป็นเหล็กพิเศษคือจะเป็นเหล็กที่ไม่มีตะเข็บซึ่งจะมีความแข็งเป็นพิเศษ โดยขนาดของ เหล็กนี้คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 15.9 มิลลิเมตร หนา 1.6 มิลลิเมตร

สำหรับในส่วนของล็อคเกอร์อาร์ม ได้คำนวณหาอัตราทด ของล็อคเกอร์อาร์ม โดยด้านหน้ามีอัตราทด 1:1.4 ด้านหลังมีอัตราทด 1:1.3 โดยเราได้สร้างล็อคเกอร์อาร์ม มาจากอะลูมิเนียมเกรด 6065 ซึ่งได้ใช้กรรมวิธีในการสร้างคือ ใช้เครื่อง CNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.3 จากการทดลองนำไมโครคอนโทรลเลอร์ และเซนเซอร์เข้ามาช่วยในการเก็บข้อมูลขณะทำการวิ่ง พบว่าเซ็นเซอร์การกระจัดนั้นสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี และสามารถช่วยในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของ Shock absorber ได้ สามารถช่วยวิเคราะห์หาค่าความแข็งที่เหมาะสมของเหล็กกันโคลงได้ G เซ็นเซอร์สามารถใช้งานได้และใช้บอกความเร่งในการเข้าโค้งของรถได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเก็บค่าข้อมูลได้ตามที่ต้องการ แต่การส่งข้อมูลด้วยระบบ wireless นั้นยังไม่สามารถใช้งานได้อย่างสมบูรณ์ในขณะที่รถวิ่ง ยังคงต้องมีการปรับปรุงให้มีประสิทธิมากยิ่งขึ้น

7.1.4 จากการนำระบบช่วงล่างที่จัดทำขึ้นมาใช้ในรถแข่งขนาดเล็กและส่งเข้าแข่งขันรายการ TSAE Auto Challenge 2009 เมื่อวันที่ 13-15 มีนาคม 2552 ที่ผ่านมา รถสามารถคว้ารางวัลมาได้ถึง 3 รายการ คือ

1. รางวัล best handling
2. รางวัล best presentation
3. รางวัล best design

นับเป็นความภูมิใจของผู้จัดทำโครงงานรวมถึงสมาชิกชมรม Automotive ทุกคน

7.2 ปัญหาที่พบ

7.2.1 การหาวัสดุที่ใช้ทำปีกนกนั้น วัสดุที่ใช้จะเป็นเหล็กเกรดพิเศษ ซึ่งค่อนข้างหายากในท้องตลาด

7.2.2 การเชื่อมปีกนกเข้าด้วยกันจะเกิดการบิดตัวเนื่องจากการขยายตัวทางความร้อนของวัสดุ และการหดตัวของวัสดุหลังจากเย็นตัวทำให้ชิ้นงานที่ได้ผิดรูปและไม่ได้ขนาดตามต้องการ การเชื่อมที่ดีจึงควรมีโต๊ะสำหรับจับชิ้นงานที่มีความเที่ยงตรงและใช้ผู้ที่มีความชำนาญในการเชื่อมเชื่อม

7.2.3 อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลนั้นมีความแม่นยำในการเก็บค่าได้จำกัด การใช้งานจึงต้องคำนึงถึงความละเอียดเหล่านี้ด้วย

7.2.4 การทดสอบ และเก็บข้อมูลเกี่ยวกับระบบช่วงล่างในโครงงานนี้ ได้ใช้รถแข่ง Initial IV ซึ่งมีปัญหาเกี่ยวกับ Shock absorber อยู่ก่อนหน้าแล้ว ผลการทดสอบที่ได้จึงมีความคลาดเคลื่อน

7.2.5 ในการทดสอบ เพื่อหาค่าความแข็งที่เหมาะสม ของเหล็กกันโคลง เนื่องจากในการทดลองมีตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้หลายปัจจัย เช่นสภาพของรถ สภาพอากาศรวมไปถึงสภาพร่างกายของรถขับ จึงมีผลทำให้ผลการทดลองที่ได้นั้น ไม่ถูกต้องมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 ข้อเสนอแนะ

จากการทำโครงงานการวิเคราะห์และออกแบบระบบช่วงล่าง พบว่ายังมีปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทำงานและสามารถนำมาเป็นข้อแนะนำในการที่จะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป ดังนี้

7.3.1 การศึกษาโปรแกรมเกี่ยวกับระบบช่วงล่าง หากได้มีการศึกษาให้ลึกซึ้ง ทำความเข้าใจในทุกรายละเอียดให้ได้มากกว่าเดิม จะทำให้เกิดความเข้าใจในระบบ และสามารถนำความรู้มาออกแบบช่วงล่างให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น เพราะตัวโปรแกรมนั้นมีความสามารถที่สูงมาก

7.3.2 อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขายตามท้องตลาดนั้นมีหลายเกรด แต่ละเกรดก็มีความสามารถและความละเอียดแตกต่างกันไป การเลือกใช้จึงต้องเลือกให้เหมาะกับความต้องการของการทดลอง

7.3.3 การใช้ระบบการส่งของมูลแบบไร้สาย จะทำให้การเก็บข้อมูลนั้นทำได้ง่ายและสะดวกขึ้น และยังทำให้สามารถวิเคราะห์สภาวะของรถในเวลานั้นๆ ได้ทันที โดยจะเป็นประโยชน์อย่างมากกับการปรับปรุง และแก้ไขสภาพของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] James D. Halderman Automotive Steering, Suspension and Alignment

[2] Jay Webster Automotive suspension, steering and brakes

[3] William F. Milliken, Douglas L. Milliken and Maurice Olley Chassis Design Principle and Analysis

[4] Robert L. Norton Machine Design An Integrated Approach
Third Edition

[5] Jack Erjavec Automotive Technology A Systems Approach 4th Edition

[6] Jorge Segers, Analysis Techiques for Racecar Data Acquisition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADAMS/Car

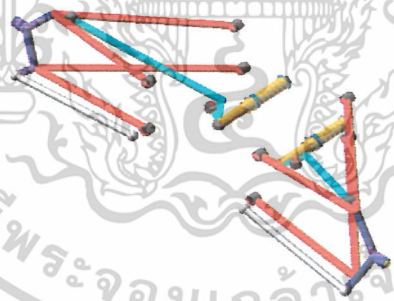
1. โหมดภายในโปรแกรมอดัมส์คาร์(ADAMS/Car)

1.1 Standard Interface โหมดนี้จะใช้ Template ที่มีอยู่แล้วในการสร้างและจำลองการเคลื่อนที่ของระบบช่วงล่าง

1.2 Template Builderในโหมดนี้จะใช้เพื่อสร้างTemplate ใหม่เพื่อนำไปใช้ในโหมด Standard Interface

2. ส่วนประกอบหลักของโปรแกรมอดัมส์คาร์ (ADAMS/Car)

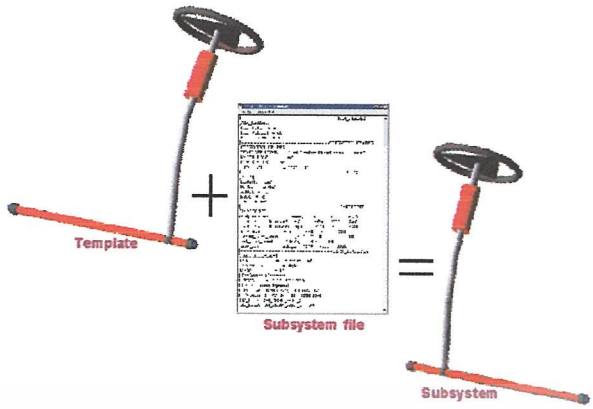
2.1 Template เป็นแบบจำลองรูปร่างของระบบต่างๆของรถ เช่น ช่วงล่าง เบรก ระบบขับเลี้ยว เป็นต้น ซึ่งกำหนดรูปแบบการวางตัวของระบบโดยไม่ได้กำหนดคุณลักษณะต่างๆลงไป โดยที่ Template นี้สามารถสร้างได้เฉพาะใน Template Builder



รูปที่ 1 ตัวอย่างTemplateของระบบช่วงล่าง

2.2 Subsystem เป็นแบบจำลองที่เกิดจากการนำเอา Template ที่มีอยู่แล้วมากำหนดค่าตัวแปรต่างๆลงไป โดยที่subsystem นี้สามารถใช้ได้เฉพาะใน Standard Interface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 ตัวอย่างของ Subsystem

2.3 Assembly เป็นแบบจำลองที่เกิดจากการนำเอา Subsystem มาประกอบเข้าด้วยกัน ซึ่ง Assembly จะถูกใช้ในการจำลองการ

เคลื่อนที่ของระบบ

รูปที่ 3 ตัวอย่างของ Assembly

3. การสร้างส่วนประกอบหลักในโปรแกรม ADAMS/Car

3.1 การสร้าง Template

3.1.1 ส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ในการสร้างTemplate

- Hardpoint เป็นข้อมูลของตำแหน่ง ซึ่งเป็นพื้นฐานที่ใช้สร้างส่วนประกอบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Construction Frames เป็นข้อมูลบอกตำแหน่ง ซึ่งคล้ายกับ Hardpoint แต่มีการระบุทิศทางด้วย

- General Part เป็นวัตถุแข็งแกร่งที่ระบุโดย ตำแหน่ง ลักษณะการวางตัว มวล อินเนอร์เชียร์ และจุดศูนย์กลางมวล

- Geometry เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของ template สามารถสร้างรูปแบบง่ายเพื่อใช้ในการทดสอบโดยมวล และ อินเนอร์เชีย จะสามารถกำหนดได้ โดยอัตโนมัติ

- Mount Part เป็นวัตถุที่ไม่มีมวลสร้างขึ้นในโปรแกรม โดยที่เราสามารถใช้ Mount part ในการ สร้างจุดเชื่อมต่อ เป็นต้น เมื่อเราสร้าง Mount part ขึ้นในโปรแกรมก็จะสร้าง Input communicator ให้โดยอัตโนมัติซึ่งสามารถไปเชื่อมต่อกับTemplateอื่นได้เลย เพียงแค่เราไปสร้าง Output communicator ในTemplate ที่เราต้องการนำไปเชื่อมต่อเท่านั้น

- Joint เป็นการสร้างชิ้นงานที่เรียกว่า ข้อต่อ เพื่อเชื่อต่อชิ้นงาน 2 ชิ้นเข้าด้วยกัน เพื่อให้ชิ้นงาน 2 ชิ้นสามารถเคลื่อนไหวได้

- Bushing สามารถรับแรงได้ 6 แนวแกน มีความสัมพันธ์เพื่อเชื่อต่อชิ้นงาน เข้าด้วยกัน โดยแรงจะขึ้นอยู่กับ ความสัมพันธ์ของระยะทาง และ ความเร็วของสองชิ้นงาน

- Communicators ใช้เป็นตัวรับส่งข้อมูลระหว่าง Template มี2ประเภทคือ

1. Input communicators เป็นตัวรับข้อมูลต่างๆระหว่างที่มีการจำลองการเคลื่อนที่จาก Templateอื่น

2. Output communicator เป็นตัวส่งข้อมูลต่างๆระหว่างที่มีการจำลองการเคลื่อนที่ไปยังTemplateอื่น

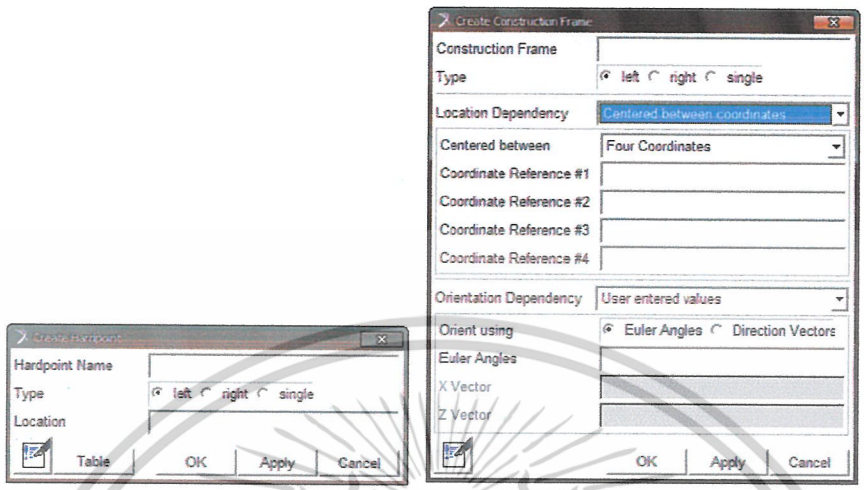
3.1.2 ขั้นตอนการสร้าง Template

1. กำหนด HardPoint เพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่ง และConstruction Frame หากต้องการอ้างอิงทั้งขนาดและทิศทาง โดยที่

- Hardpoint เข้าไปที่ Build > Hardpoint > Newจะปรากฏหน้าต่างให้ใส่ข้อมูลดังรูปที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Construction Frame เข้าไปที่ Build > Construction Frame > New จะปรากฏใส่ข้อมูลหน้าต่างดังรูปที่ 4

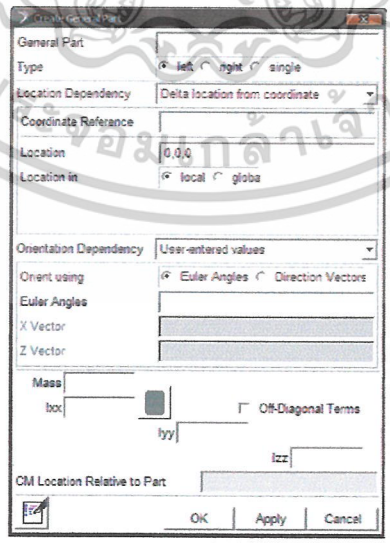


รูปที่ 4 หน้าต่างที่ใช้ในการสร้าง Hardpoint และ Construction Frame

2. สร้าง Part โดยในการสร้างSuspension Part ใช้ General Part และ Mount Part โดยที่

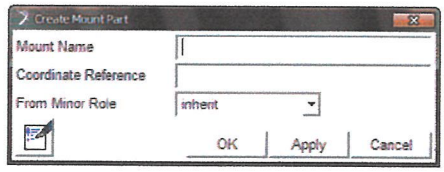
- General Part เข้าไปที่ Build > Part > General Part > New จะปรากฏหน้าต่างให้ใส่ข้อมูลดังรูปที่ 5

- Mount Part เข้าไปที่ Build > Part > Mount Part > New จะปรากฏหน้าต่างให้ใส่ข้อมูลดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 หน้าต่างที่ใช้ในการสร้าง General Part

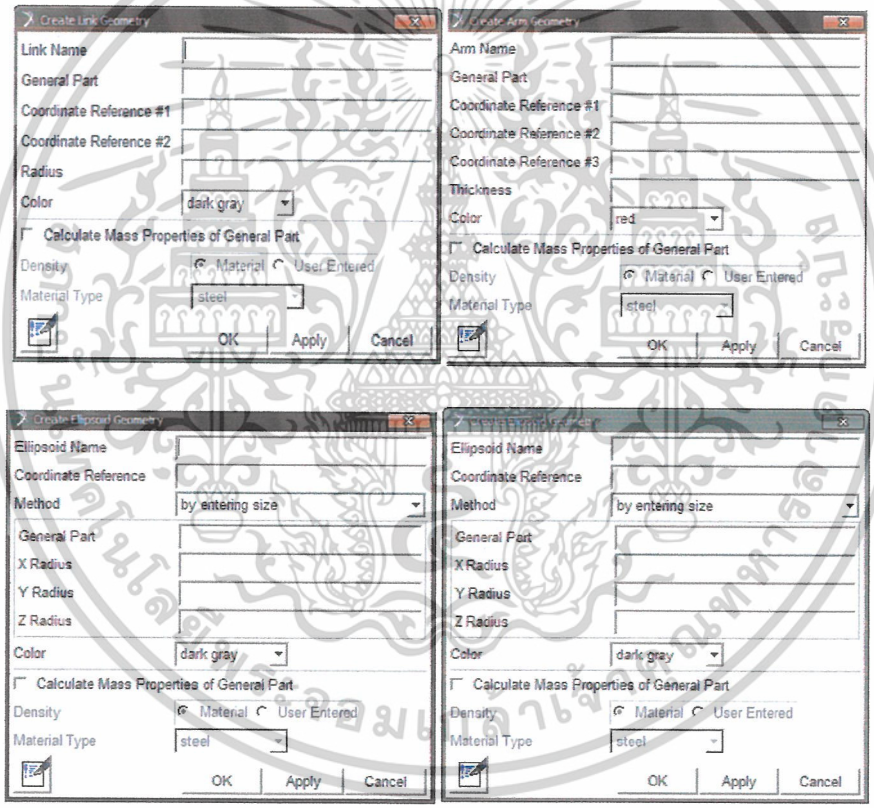
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 หน้าต่างที่ใช้ในการสร้าง Mount Part

3. การสร้างรูปร่าง (Geometry) ของPart เช่น Arm Link Cylinder เป็นต้น ซึ่งจำเป็นต้องมี General Part และ จุดอ้างอิงคือHardpointหรือConstruction Frame โดยเข้าไปที่

- Build > Geometry > เลือกว่าจะสร้างรูปร่างแบบใด (Arm , Link ,Cylinder , Ellipsoid และOutline) > New จะปรากฏหน้าต่างข้อมูลดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 หน้าต่างที่ใช้ในการสร้าง Geometry

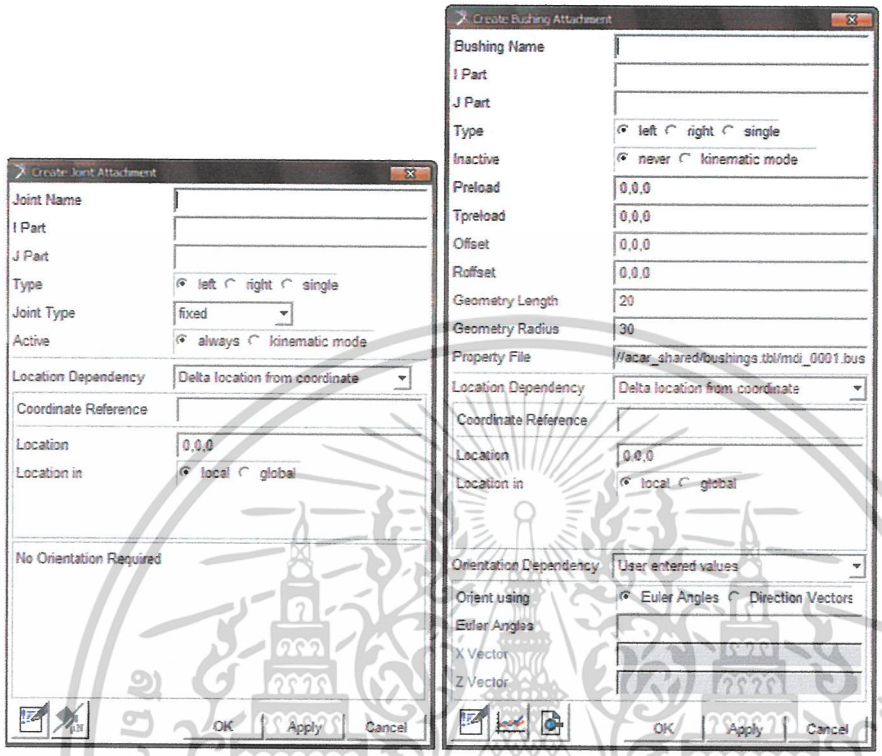
4. หลังจากสร้าง Part ทุกอย่างเสร็จแล้ว จากนั้นทำการเชื่อม Part ที่อยู่ติดกันด้วย Joint หรือ Bushing โดยที่

- Joint เข้าไปที่ Build > Attachments > Joint >New จะปรากฏหน้าต่างข้อมูลดังที่ 8

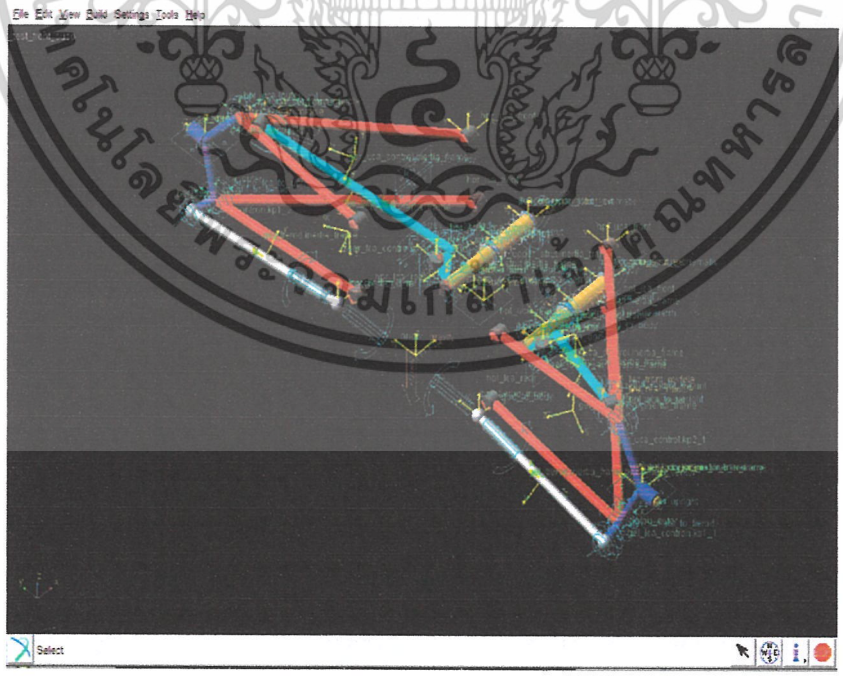
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bushing เข้าไปที่ Build > Attachments > Bushing>New จะปรากฏหน้าต่างข้อมูลดัง

รูปที่ 9



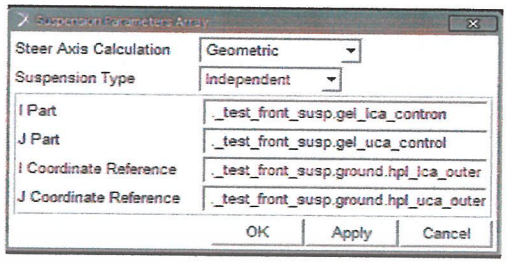
รูปที่ 8 หน้าต่างที่ใช้ในการสร้าง Joint และ Bushing



รูปที่ 9 ตัวอย่างของ Template ที่สร้าง Joint และ Bushingแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. กำหนดค่า Suspension Parameter เพื่อเป็นแกนการหมุนที่ใช้ในการคำนวณใน โปรแกรม ADAMS/Car

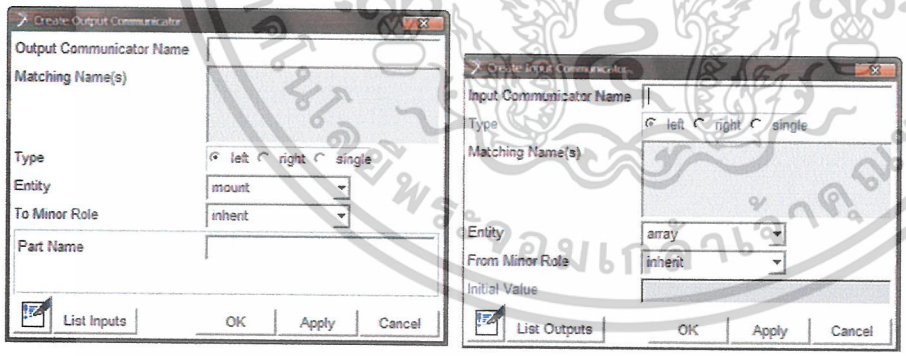


รูปที่ 10 หน้าต่างที่ใช้สร้าง Suspension Parameter

6.สร้าง Communicator เพื่อเชื่อมต่อกับ Part อื่นๆ ในการสร้างจะคู่กันระหว่าง Input communicator กับ Output communicator ซึ่งจะต้องให้ Matching Name เหมือนกัน เช่น เมื่อมีการจำลองการเคลื่อนที่ Steering และ Suspension จะมีการรับส่งข้อมูลระหว่างกัน โดยที่ Suspension จะรับข้อมูลจาก Steering ทาง Input communicator และ Steeringจะส่งข้อมูลผ่านทาง Output communicator โดยที่

- Input communicator เข้าไปที่ Build > Communicator > Input >New

- Output communicator เข้าไปที่ Build > Communicator > output >New

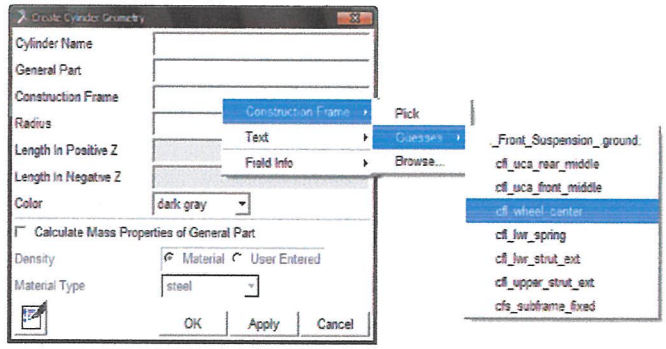


รูปที่ 11 หน้าต่างการสร้าง Communicator

การใส่ข้อมูลของลงในหน้าต่างใส่ข้อมูลนอกจากการพิมพ์แล้ว หากเป็นข้อมูลที่มีการสร้างไว้อยู่แล้ว เช่น Hardpoint Part และ Construction Frame เป็นต้น เราสามารถใช้อีกวิธีดังนี้

คลิกขวาตรงช่องที่ต้องการใส่ข้อมูล > เลือกช่องแรก > Guesses > เลือกข้อมูลที่ต้องการใส่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 วิธีการใส่ข้อมูลลงในหน้าต่างข้อมูล

3.2 การสร้าง Subsystem

Subsystem เกิดจากการนำเอา Template ที่สร้างแล้วมาใช้ในการสร้างมีขั้นตอนดังนี้

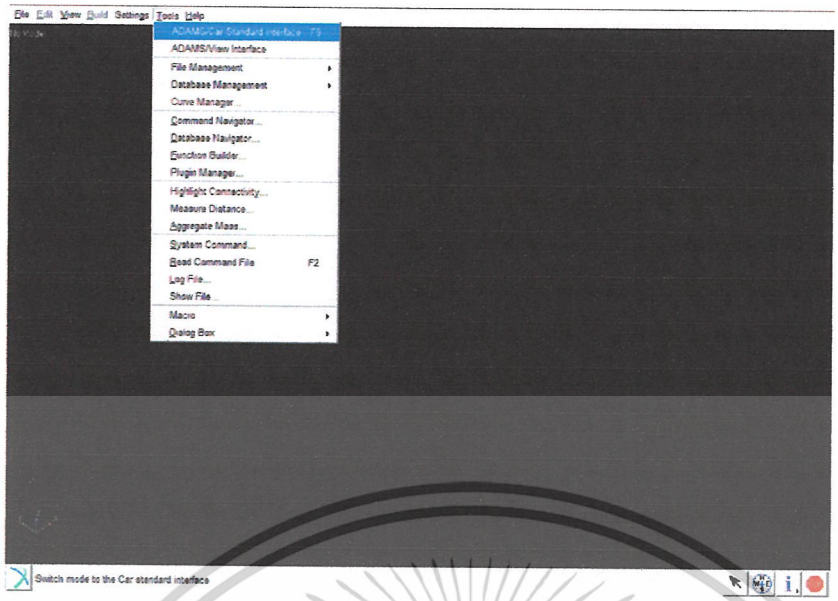
1. เข้าไปใน Standard Interface Mode โดยเข้าได้ 2วิธี คือ

- ตอนเริ่มโปรแกรม แสดงดังรูปที่ 13

รูปที่ 13 แสดงหน้าต่างการเข้า Standard Interface Mode ตอนเริ่มโปรแกรม

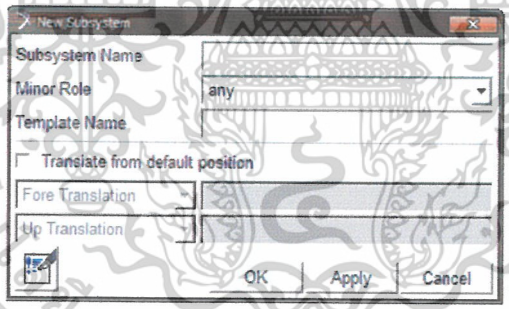
- จาก Template Builder Mode แสดงดังรูป 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 แสดงหน้าต่างการเข้า Standard Interface Mode จาก Template Builder Mode

2. เมื่อเข้ามาใน Standard Interface Mode แล้วเข้าไปที่ File > New > Subsystem จะปรากฏหน้าต่างให้ใส่ข้อมูลดังรูปที่ 15 โดยที่ Minor Role เป็นการเลือกว่าจะให้ Subsystem เป็น Rear , Front หรือAny



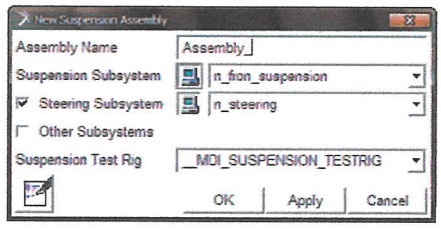
รูปที่ 15 แสดงหน้าต่างการสร้าง Subsystem

3.3 การสร้าง Assembly

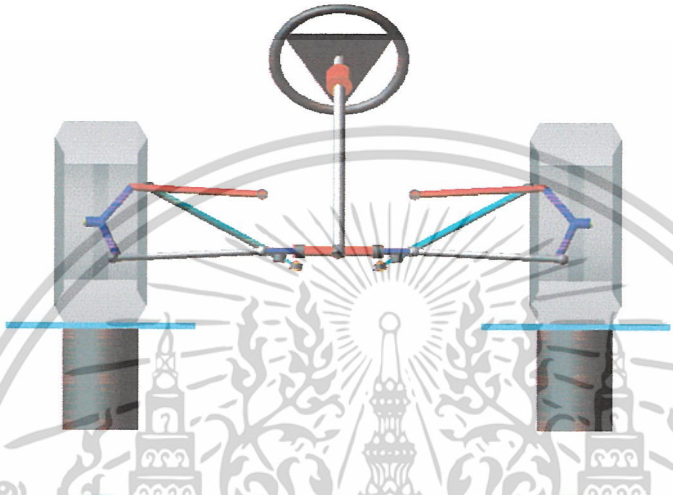
Assembly ในโปรแกรม ADAMS/Car มี 2 ประเภท คือ

1. Suspension Assembly เป็นการประกอบระบบช่วงล่างบนแท่นทดสอบจำลอง โดยจะทดสอบที่ละข้าง การสร้าง Suspension Assembly ทำได้โดยการเข้าไปที่ File > New > Suspension Assembly จะปรากฏหน้าต่างให้ใส่ข้อมูล ดังรูปที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16 แสดงหน้าต่างการสร้าง Suspension Assembly



รูปที่ 17 แสดงรูป Suspension Assembly

2. Full-Vehicle Assembly เป็นการประกอบรถทั้งคันเพื่อใช้ในการจำลองการเคลื่อนที่ โดยมี Subsystem พื้นฐานในใช้ในการสร้างดังนี้

1. Front Suspension Subsystem

2. Rear Suspension Subsystem

3. Steering Subsystem

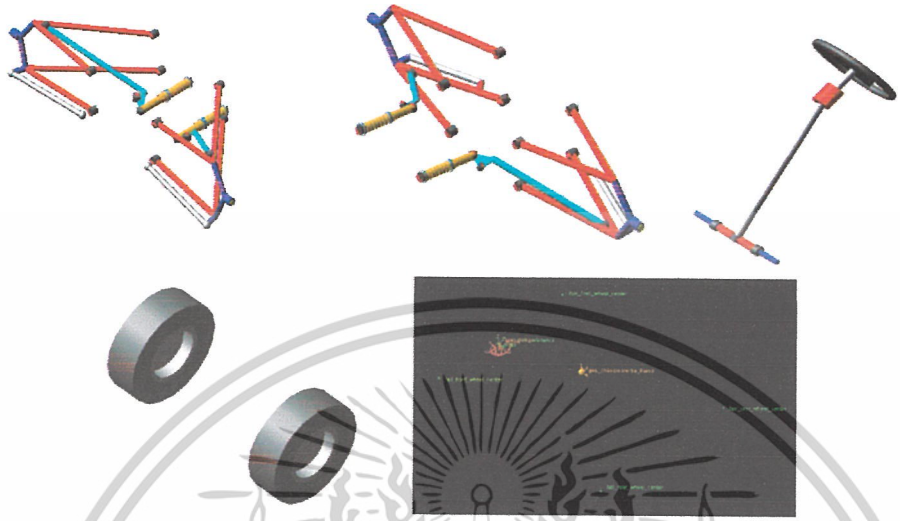
4. Front Wheel Subsystem

5. Rear Wheel Subsystem

6. Body Subsystem

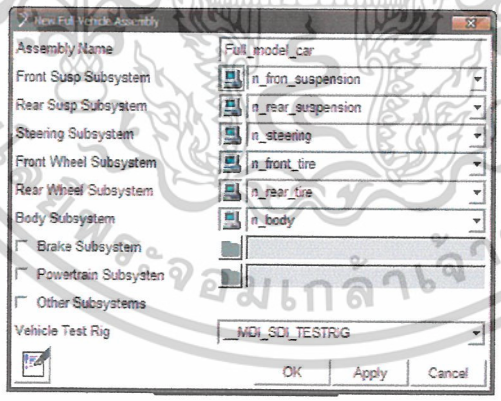
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ยังสามารถเพิ่ม Subsystem อื่นเข้ากับ Full-Vehicle Assembly เช่น Powertrain ,Brake และ Anti-roll bars เป็นต้น



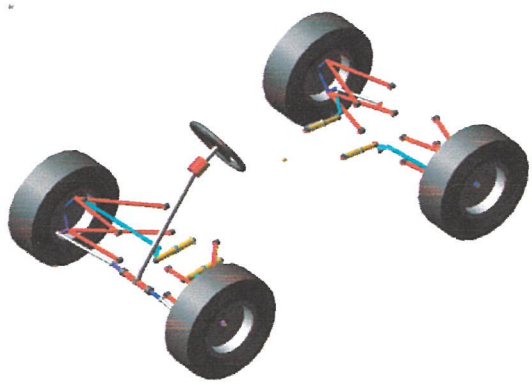
รูปที่ 18 แสดง Front Suspension, Rear Suspension ,Steering ,Wheel และแบบจำลอง Bodyด้วยจุด

การสร้างทำได้โดยเข้าไปที่ File > New > Full-Vehicle Assembly จะปรากฏหน้าต่างใส่ข้อมูลการสร้างดังรูปที่ 19 ใส่ระบบที่ต้องการลงไปจะได้ Full-Vehicle Assembly ที่ต้องการดังรูปที่ 20



รูปที่ 19 แสดงหน้าต่างใส่ข้อมูลการสร้าง Full-Vehicle Assembly

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20 แสดงตัวอย่าง Full-Vehicle Assembly

4. การจำลองการเคลื่อนที่ในโปรแกรม ADAMS/Car

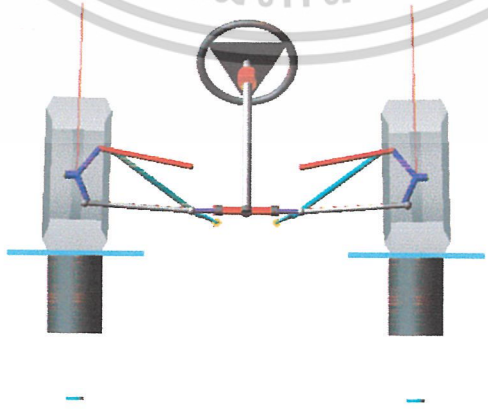
โปรแกรม ADAMS/Car สามารถจำลองการเคลื่อนที่ของรถในสภาวะต่างเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงตัวแปรที่เราสนใจ ซึ่งเราสามารถจำลองการเคลื่อนที่ในโปรแกรมได้ 2 แบบ คือ

4.1 การจำลองการเคลื่อนที่ทางคิเนเนติกส์

เป็นการจำลองการเคลื่อนที่โดยใช้ Suspension Assembly ซึ่งจะทำการทดสอบบนแท่นทดสอบจำลอง เพื่อดูลักษณะการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนต่างๆรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงของมุมล้อต่างๆ โดยทำการทดสอบ 2 แบบคือ

1. การจำลองโดยให้ล้อเคลื่อนที่ขึ้นลงพร้อมกัน(Parallel Wheel Travel)

เป็นการทดสอบในกรณีที่ล้อรถเกิดการยกตัวขึ้นหรือลงพร้อมกัน ซึ่งเป็นรูปแบบการเคลื่อนที่ของรถในสภาวะทางตรงซึ่งมีการทดสอบจะมีลักษณะดังรูป 21

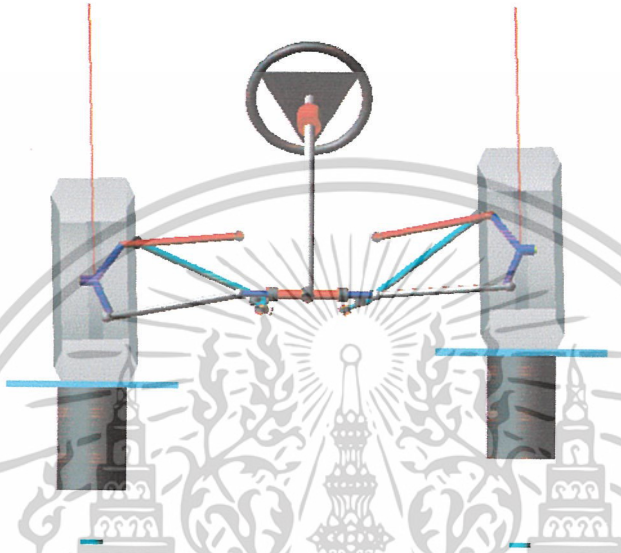


รูปที่ 21 แสดงภาพการจำลอง ล้อเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การจำลองให้ล้อเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงตรงกันข้าม(Opposite Wheel Test)

เป็นการทดสอบในกรณีที่รถเข้าโค้ง การตกหลุม ล้อจะขึ้นหือลงตรงข้ามกัน โดยการทดสอบจะบอกถึงการเปลี่ยนแปลงมุมล้อต่างๆ เช่น มุมแคสเตอร์ มุมแคมเบอร์ ซึ่งมุมเหล่านี้ส่งผลต่อเสถียรภาพของรถและการควบคุมรถโดยตรง ดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 แสดงภาพการจำลอง ล้อเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงตรงข้ามกัน

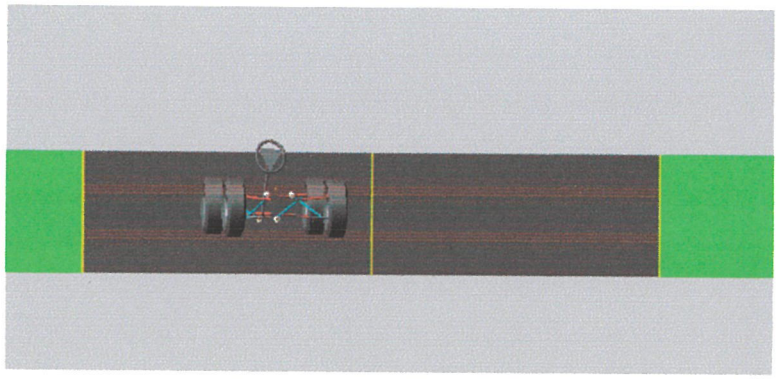
4.2 การจำลองทางพลศาสตร์

เป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของรถโดยใช้ Full-Vehicle Assembly เป็นการจำลองการเคลื่อนที่เพื่อดูเสถียรภาพของรถในสภาวะต่างๆ โดยมีการจำลองการเคลื่อนที่ดังต่อไปนี้

1. การจำลองการเคลื่อนที่ของรถแบบเปลี่ยนช่องถนน (Single Lane Change)

เป็นการทดสอบการเลี้ยวของรถในการเปลี่ยนช่องถนน ซึ่งการทดสอบนี้จะบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของมุมแคสเตอร์ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงมุมล้อนี้จะส่งผมต่อการคืนตัวของล้อ

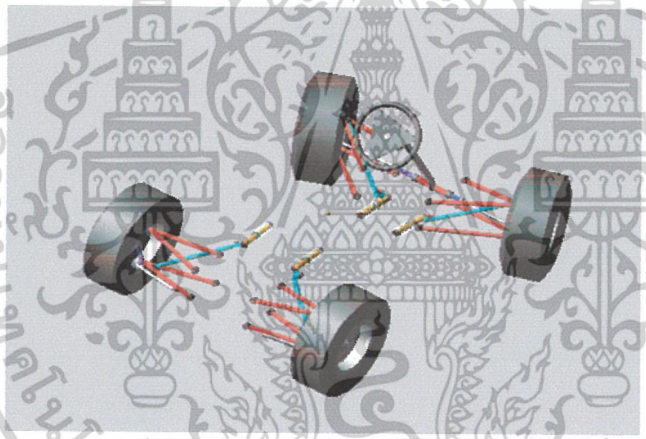
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 23 แสดงภาพการจำลองการเคลื่อนที่แบบเปลี่ยนช่องถนน

2. การจำลองการเคลื่อนที่โดยให้รถเลี้ยวตามความเร็วเชิงมุมที่เรากำหนด (Ramp steer)

เป็นการทดสอบระบบขับเลี้ยวด้วยความเร็วเชิงมุมที่เรากำหนด เพื่อดูเสถียรภาพขณะที่รถเลี้ยว

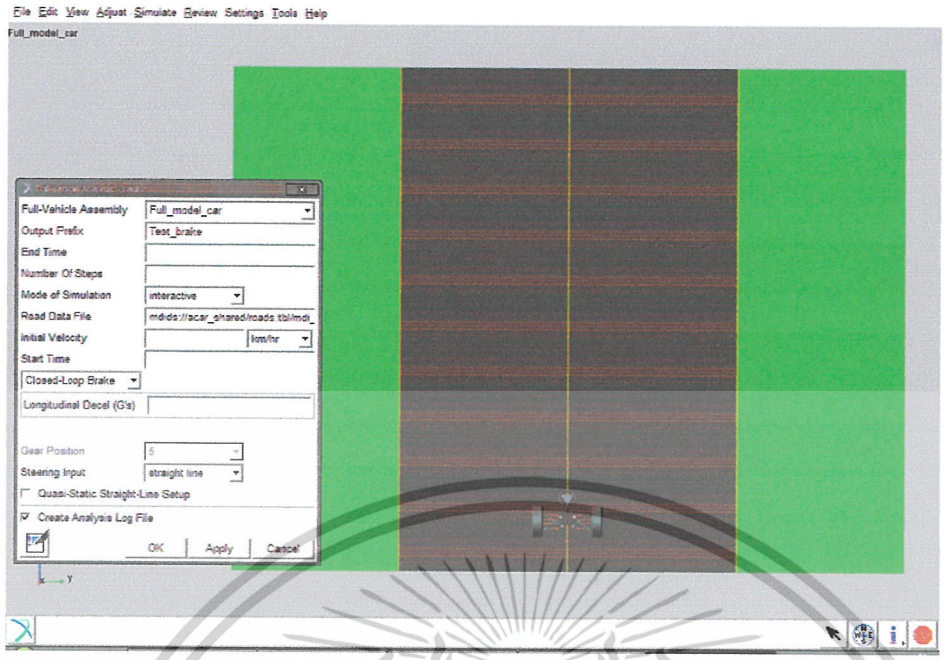


รูปที่ 24 แสดงรูปการจำลองการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงมุมคงที่

3. การจำลองการเบรกของรถ (Braking Test)

เป็นการทดสอบการเบรกของรถในสภาวะที่กำหนด โดยเริ่มจากรถวิ่งมาด้วยความเร็วคงที่จากนั้นเบรกด้วยค่าความหน่วงที่กำหนดจนรถหยุด ซึ่งการทดสอบนี้จะบอกถึงแรงที่กระทำขณะเบรก เพื่อนำแรงกระทำนี้ไปวิเคราะห์ความเสียหายด้วยโปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์ ต่อไปรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงมุมล้อต่างๆด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 25 แสดงภาพการจำลองการเบรกของรถ

4. การจำลองการเร่งของรถ (Acceleration Test)

เป็นการทดสอบการเร่งในสภาวะที่กำหนดเพื่อดูเสถียรภาพของรถ กรทดสอบเริ่มจากการที่รถวิ่งมาด้วยความเร็วคงที่จากนั้นเร่งด้วยความเร่งที่กำหนดจนได้ความเร็วตามที่ต้องการ จากนั้นนำข้อมูลไปวิเคราะห์ หาการว่างตัวที่เหมาะสมของระบบช่วงล่างด้านหลัง เมื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์ Anti Squatเข้าในGeometryของระบบ โดยรูปการจำลองการเคลื่อนที่เหมือนการเบรก เพียงเปลี่ยนความหน่วงเป็นความเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

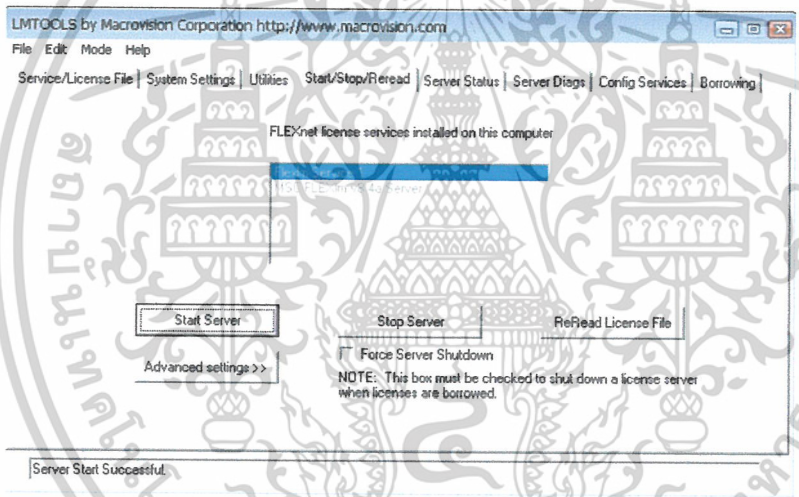
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟไนต์อิลิเมนต์

บทนี้จะกล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นส่วนของระบบช่วงล่าง ซึ่งจะทำการวิเคราะห์สองอย่างก็คือ ปีกนก (Wishbone) และล็อกเกอร์อาร์ม(Locker Arm) ซึ่งจะมีขั้นตอนการทำดังนี้

1. ทำการเปิดโปรแกรม Abaqus

เริ่มด้วยการเปิด License ก่อน โดยเลือก Licensing utilities จากนั้นจะมีหน้าขึ้นต่างมา ให้เลือกที่ Tab start/stop/reread กด Start server จากนั้นเลือกที่ Abaqus CAE เพื่อทำการเปิดโปรแกรม

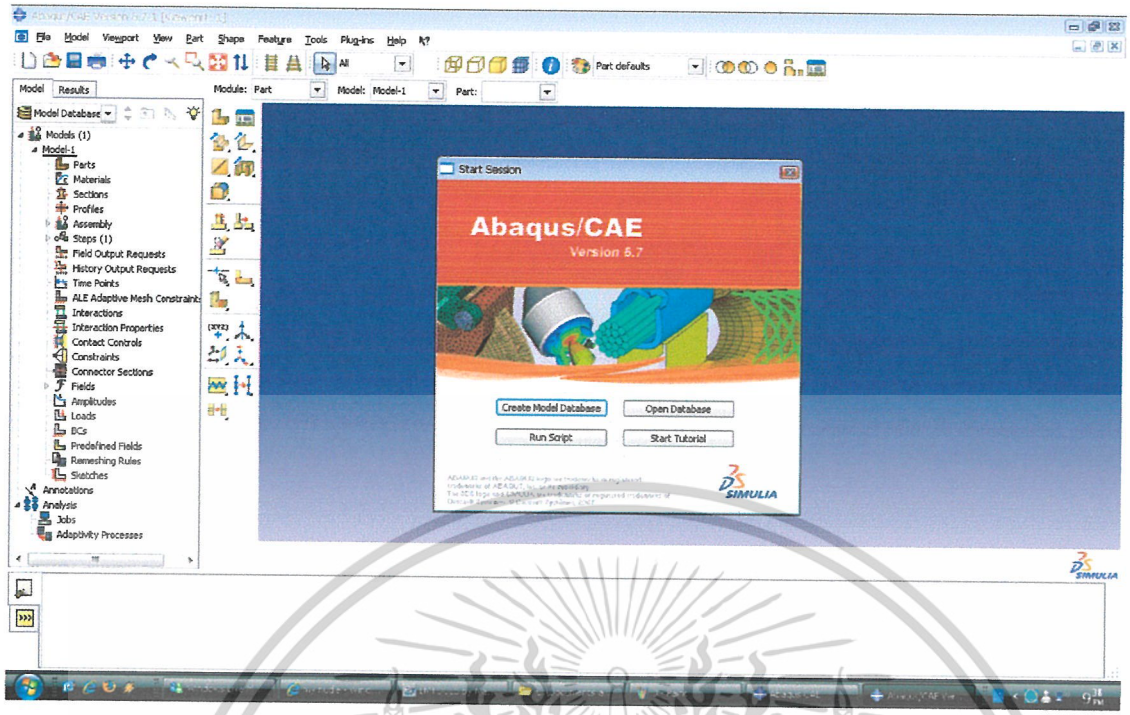


รูปที่ 1 หน้าต่าง Licensing utilities

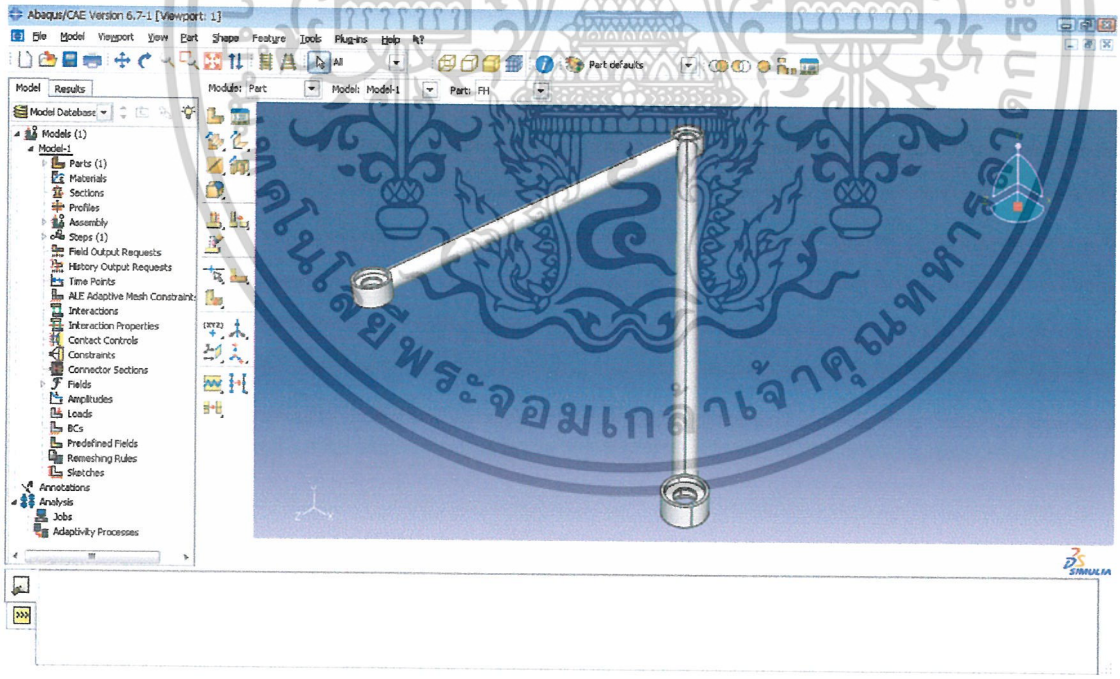
2. ทำการเปิดไฟล์

เลือก File > Import > Part จากนั้นเลือกไฟล์ที่เราวาดจากโปรแกรม Catia แล้วกด open จากนั้นโปรแกรมจะขึ้นหน้าต่างขึ้นมาก ให้เลือก Tab scale เลือกที่ Multiply all lengths by ใส่ค่า 0.001 จากนั้นกด ok เพื่อการแปลงหน่วยจาก มิลลิเมตรไปเป็นเมตร จากนั้นโปรแกรมก็จะขึ้นชิ้นงานที่เราจะวิเคราะห์ขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แสดงหน้าจอของโปรแกรม Abaqus



รูปที่ 3 ไฟล์ชิ้นงานที่เราวาดในโปรแกรม Catia

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือกที่ Module:Part

- เลือกที่เมนู Create part ใส่ชื่อชิ้นงาน แล้วเลือก 3D > Analytical rigid > Revolve shell ใส่ค่า Approximate size = 0.1 จากนั้นกด Continue
- สร้างทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0016 เมตร สูง 0.005 เมตร จากนั้นสร้างจุด Datum และจุด Reference point ดังรูปที่ 5

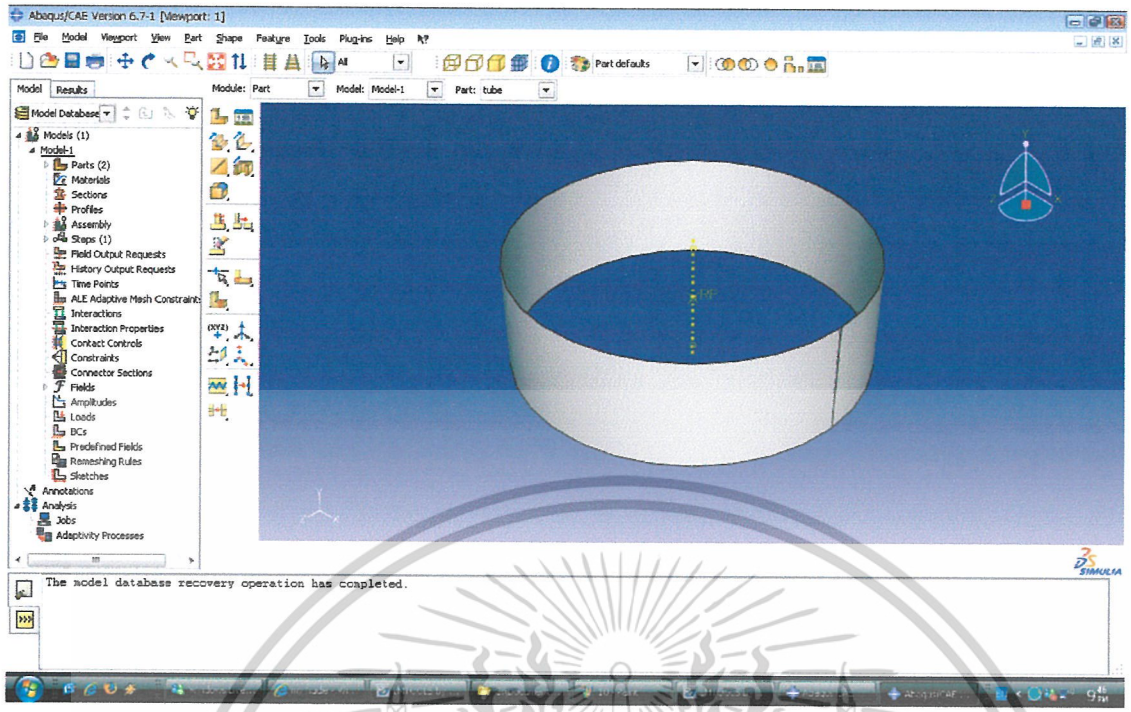
4. เลือกที่ Module: Property

- เลือกที่เมนู Create material ตั้งชื่อวัสดุเป็น Steel จากนั้นใส่ค่าคุณสมบัติของวัสดุ ลงไปดังนี้ เลือก General > Density > ใส่ค่า Density = 7870 ต่อไปเลือกที่ Mechanical > Elasticity > Elastic ใส่ค่า Young's modulus = $207x10^9$ และค่า Poisson's ratio = 0.3 จากนั้นกด ok
- เลือกที่เมนู Create section ตั้งชื่อชิ้นงานที่เราจะใส่ ชนิดของวัสดุลง เลือก Type แบบ Homogeneous กด continue จากนั้นโปรแกรมจะขึ้นหน้าต่าง Edit section ให้เลือก Material ที่เราสร้างมาจากหัวข้อที่ผ่านมา กด ok
- เลือกเมนู Assign section จากนั้นกดเลือกไปที่ชิ้นงานของเรา แล้วกด done จากนั้นกด ok เมื่อทำขั้นตอนนี้เสร็จแล้ว จะได้ชิ้นดังรูปที่ 7

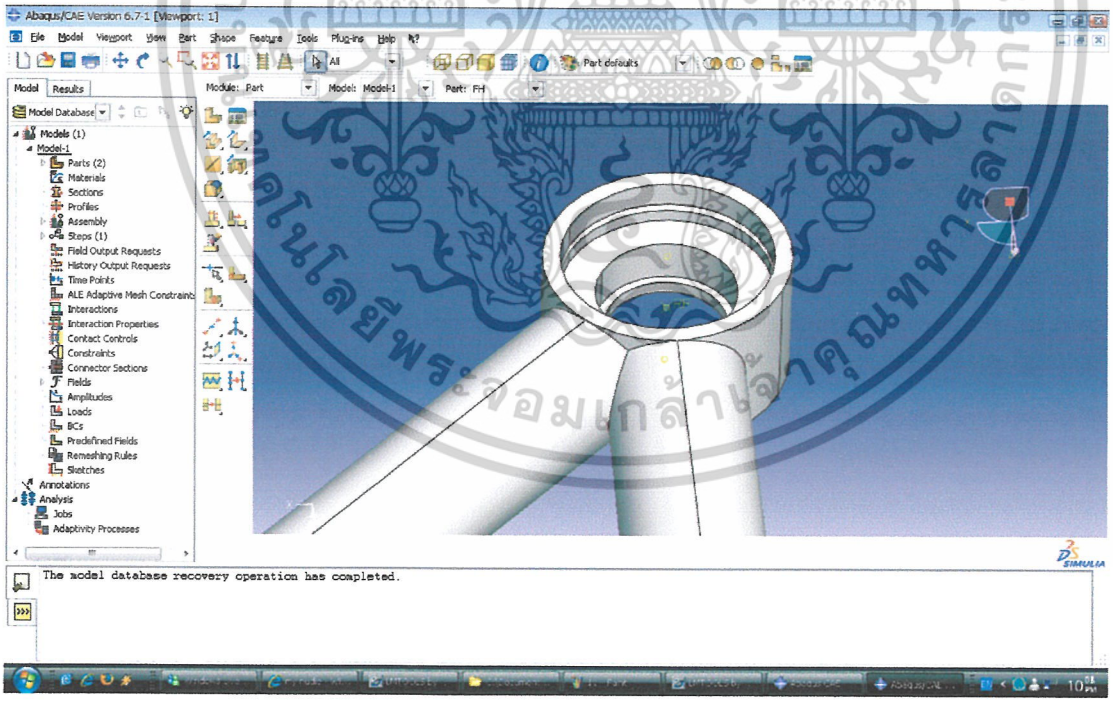
5. เลือกที่ Module : Assembly

- เลือกที่เมนู Part Instance กดเลือก Independent (mesh on instance) แล้วเลือก Auto-offset fron other instances จากนั้นทำการเลือกชิ้นงาน ที่เราจะนำมาประกอบกัน โดยเราเลือกทั้งสองชิ้นงาน กด ok
- จากนั้นทำการประกอบ ชิ้นงานทั้งสองเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

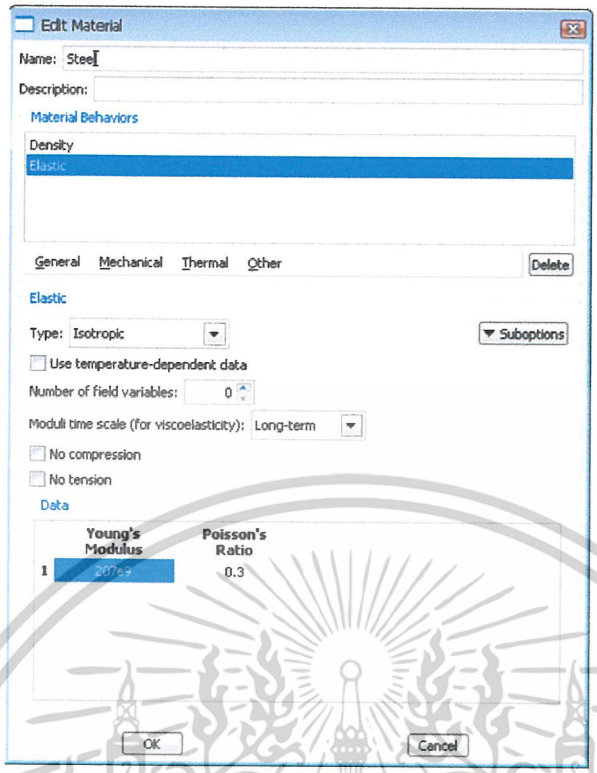


รูปที่ 4 ชิ้นส่วนทรงกระบอก

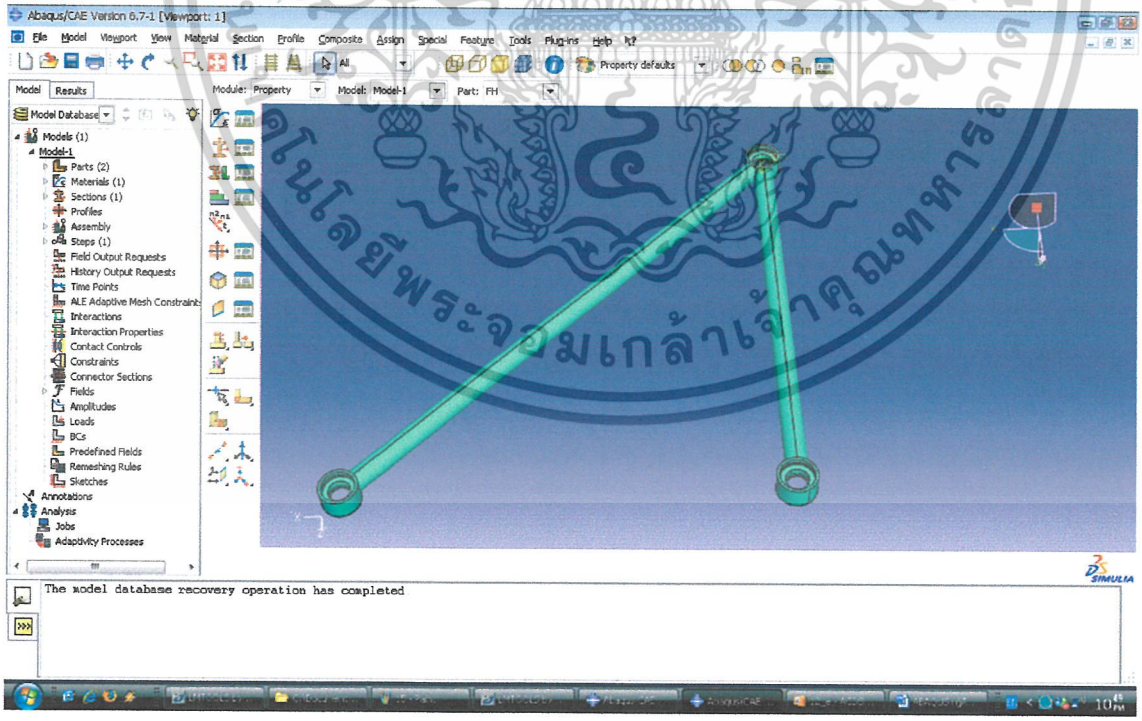


รูปที่ 5 แสดงจุด Datum และ Reference point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

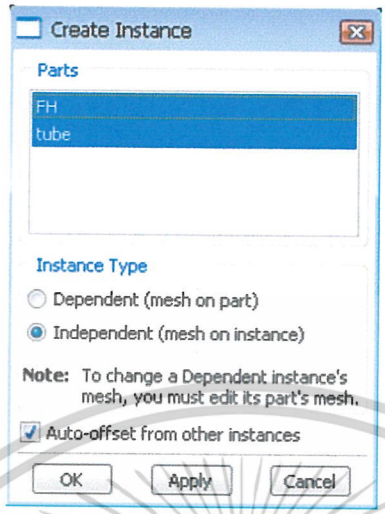


รูปที่ 6 ใส่ค่าคุณสมบัติของวัสดุ



รูปที่ 7 กำหนดคุณสมบัติของชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว

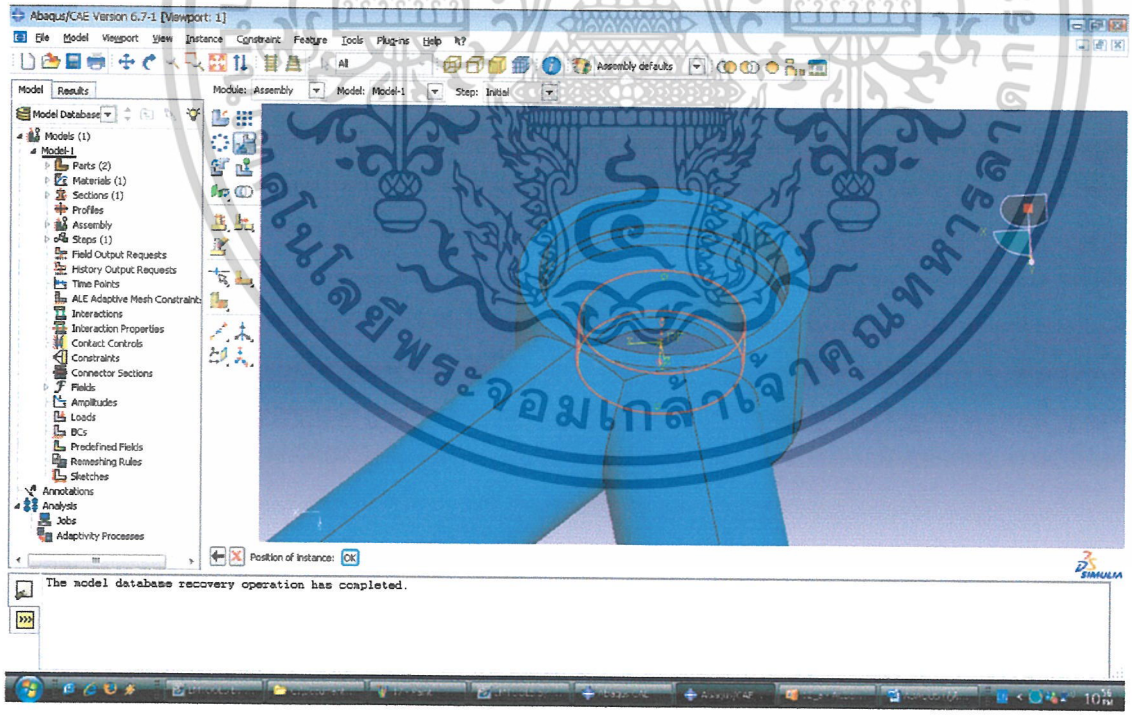
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 การเลือกชิ้นงาน

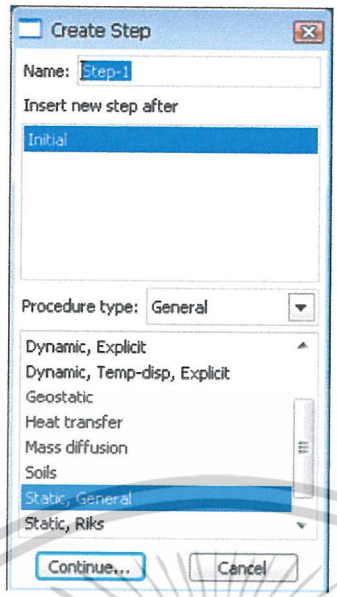
6. เลือกที่ Module : Step

- เลือกเมนู Create step จากนั้นเลือก Static,General จากนั้นกด Continue > ok



รูปที่ 9 การประกอบชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 แสดงการสร้าง Step

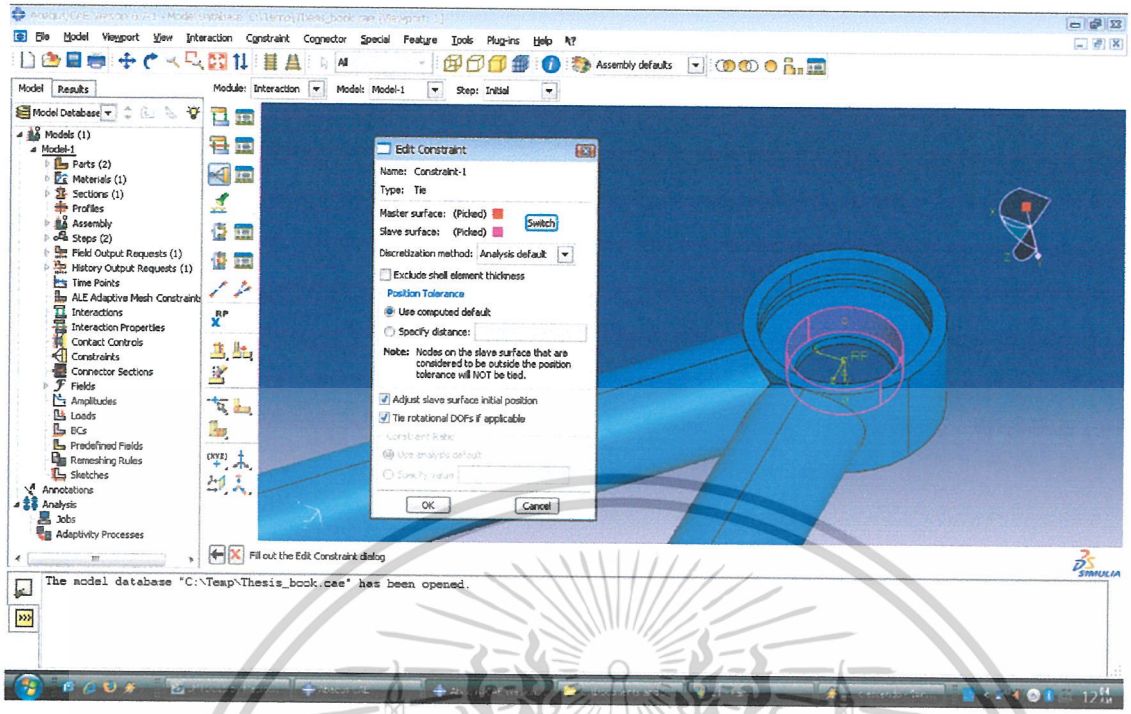
7. เลือกที่ Module : Interaction

- เลือกเมนู Create constraint เมนูนี้จะเป็นการกำหนดความสำคัญ ของผิวของชิ้นงานที่สัมผัสกัน เลือก Type เป็นแบบ Tie > Continue จากนั้น โปรแกรมให้เลือก พื้นผิว master กดเลือก Surface เลือกที่ผิวของ Tube > Done > Brown
- จากนั้นโปรแกรมให้เลือก พื้นผิว Slave กดเลือก Surface เลือกที่ผิวของปีกนกที่สัมผัสกับ Tube จากนั้นกด Done > ok

8. เลือกที่ Module : Load

- เลือกเมนู Create load เลือก Mechanical > Concentrated force > Continue จากนั้นเลือกไปที่จุด ที่แรงกระทำกับชิ้นงานของเรา จากนั้นกด Done ใส่แรงที่กระทำตามแนวแกนต่างๆ แล้วกด ok
- เลือกเมนู Create boundary condition จากนั้นเลือก Displacement/rotation แล้วกด continue จากนั้นเลือกไปที่ผิวด้านในของปีกนก ฝั่งที่ติดกับโครงรถ จากนั้นกด Done แล้วใส่ค่า U1,U2 และ U3 = 0 กด ok

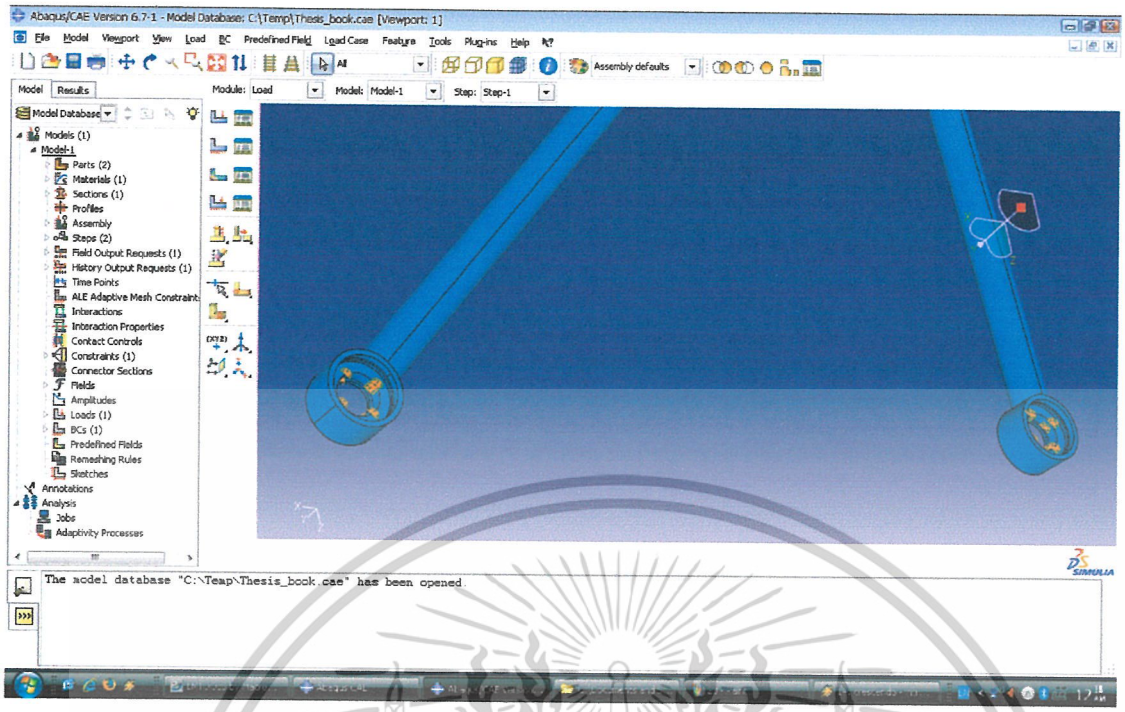
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 การกำหนดผิวสัมผัสของชิ้นงาน

รูปที่ 12 การใส่แรงที่กระทำกับปีกนก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 การกำหนดตำแหน่งของ Boundary condition

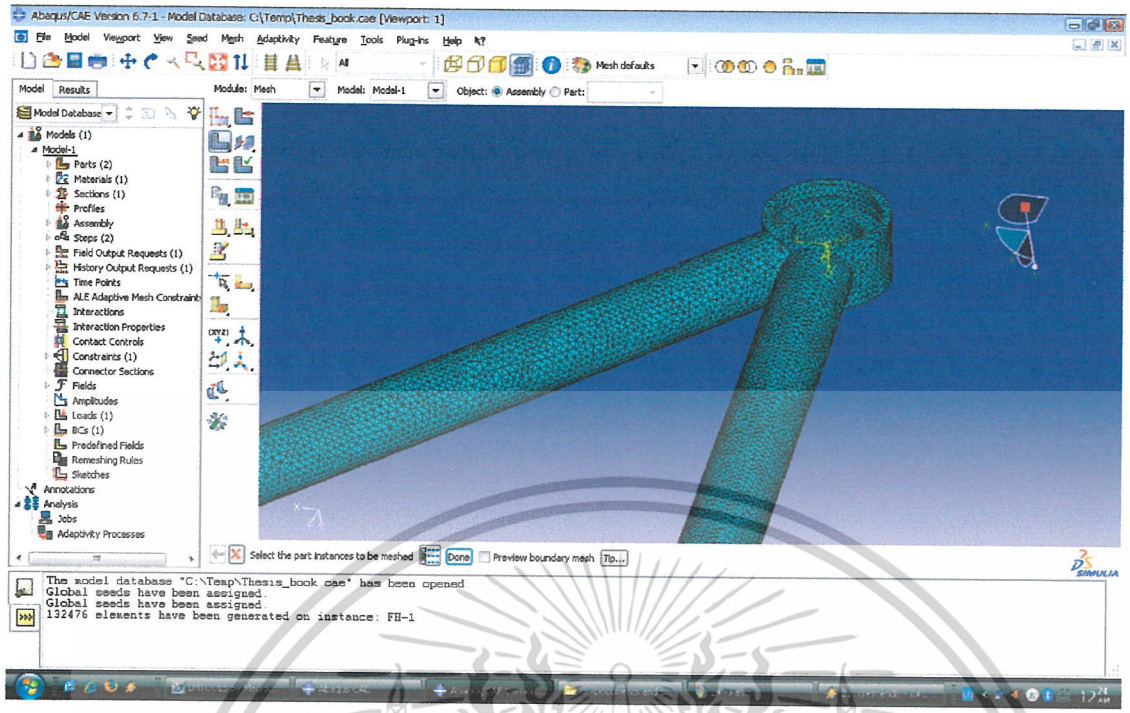
9. เลือกที่ Module : Mesh

- เลือกเมนู Assign mesh controls จากนั้นเลือกไปที่ชิ้นงาน แล้วกด Done ให้เลือก Element shape เป็นแบบ Tet จากนั้นกด Done
- เลือกเมนู Seed part instance จากนั้นเลือกไปที่ชิ้นงานแล้วกด Done ใส่ค่า Approximate global size = 0.0015 แล้วกด ok
- เลือกเมนู Mesh Part Instance เลือกที่ชิ้นงานแล้วกด Done จากนั้นก็จะได้ ชิ้นงานที่แบ่งเป็นส่วนย่อยๆดังรูปที่ 14

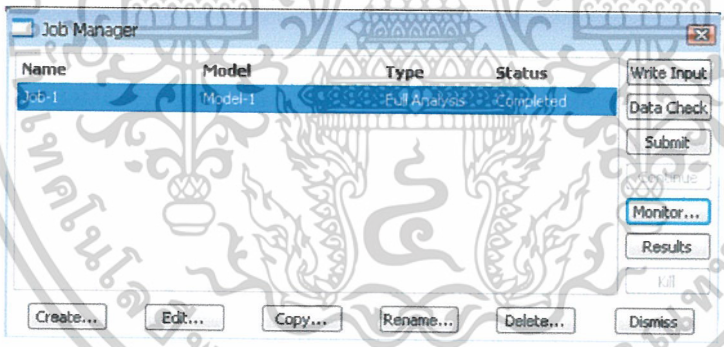
10. เลือกที่ Module : Job

เลือกเมนู Create job จากนั้นกด Continue > ok จากนั้นเลือกเมนู Job manager จากนั้นกด Submit > ok จากนั้นรอให้โปรแกรม run ไปสักครู่ จากนั้น จะขึ้นว่า Completed ให้เราเลือกไปที่ Results จากนั้นก็จะได้ชิ้นงานที่ผ่านการวิเคราะห์เรียบร้อยดังรูปที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

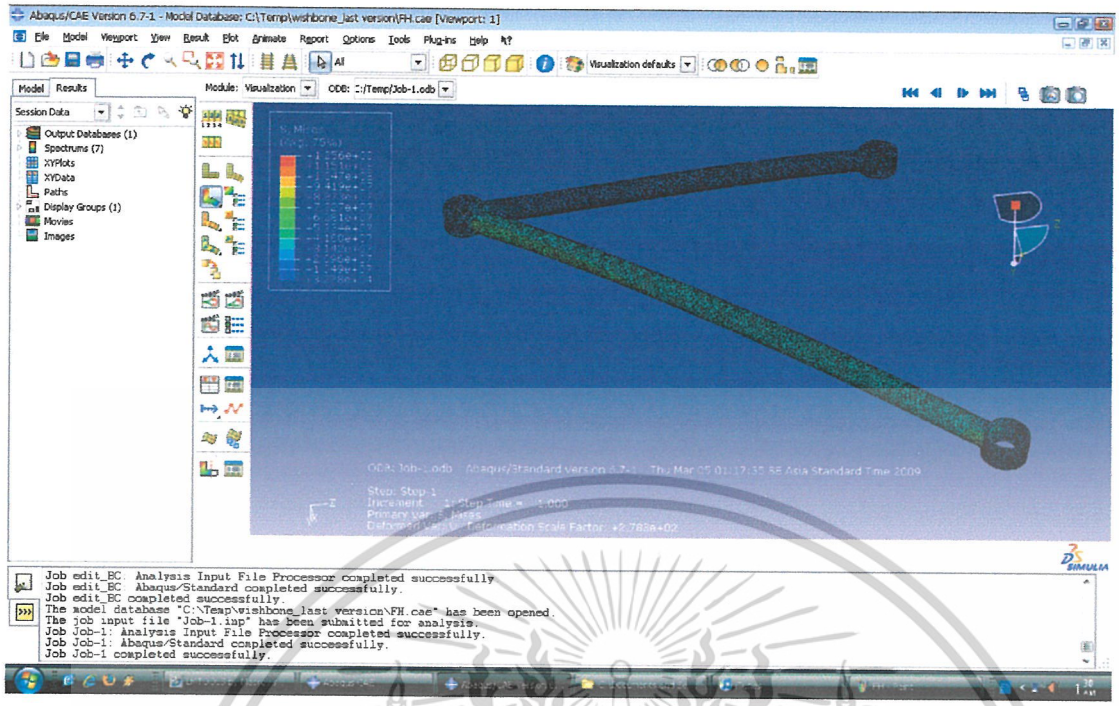


รูปที่ 14 แสดงการตี Mesh เสร็จเรียบร้อยแล้ว

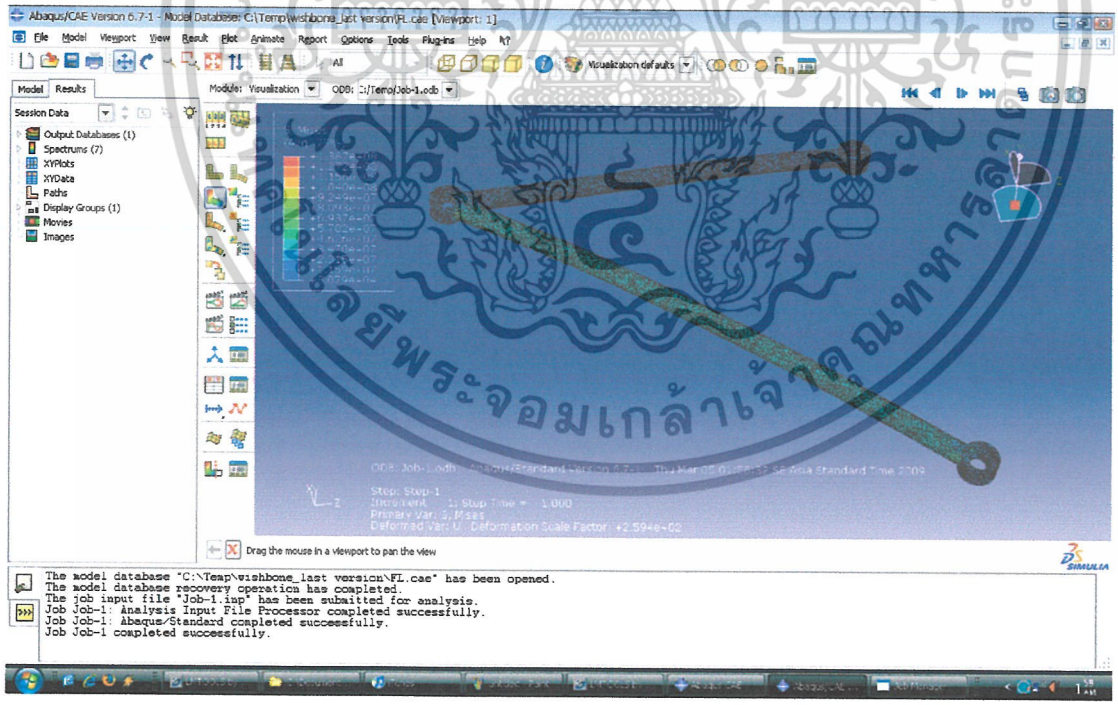


รูปที่ 15 ก่อนทำการรันโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

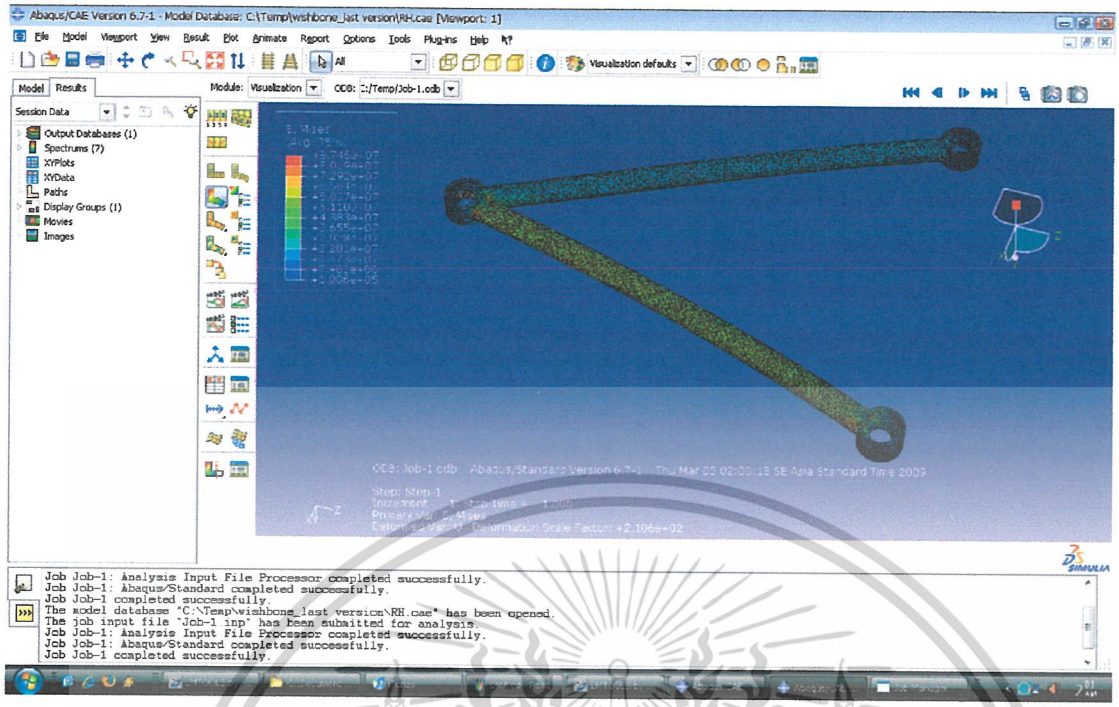


รูปที่ 16 แสดงตำแหน่งของความเสียหายที่เกิดขึ้น ของปีกนกด้านหน้าชิ้นบน

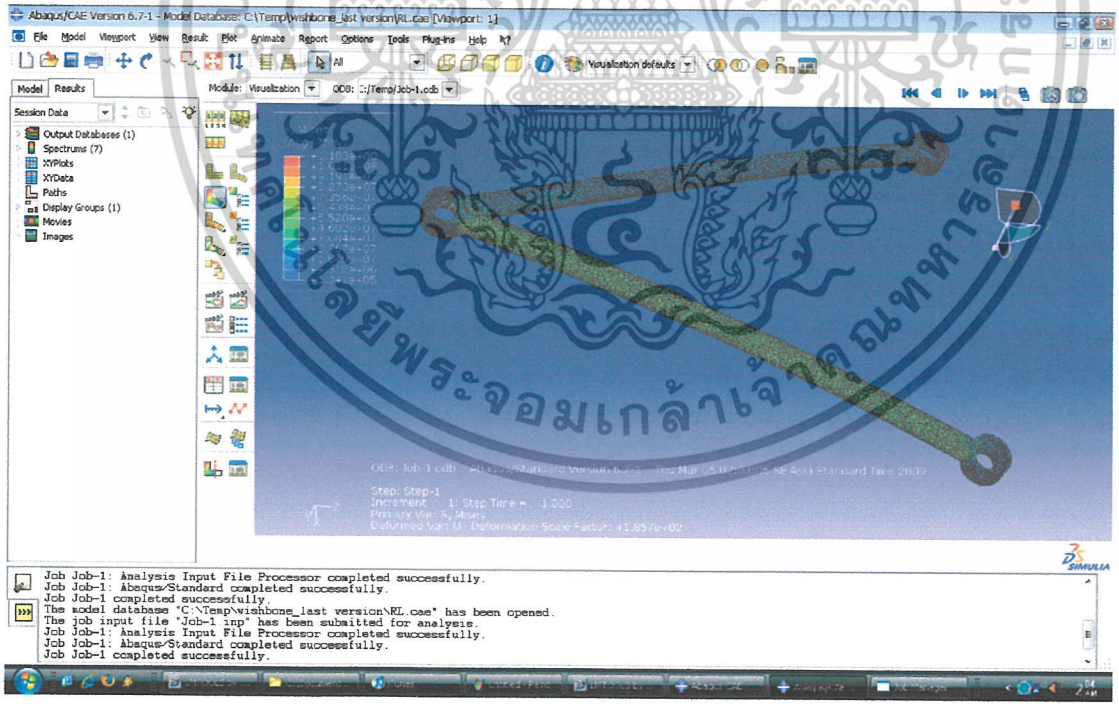


รูปที่ 17 แสดงตำแหน่งของความเสียหายที่เกิดขึ้น ของปีกนกด้านหน้าชิ้นล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

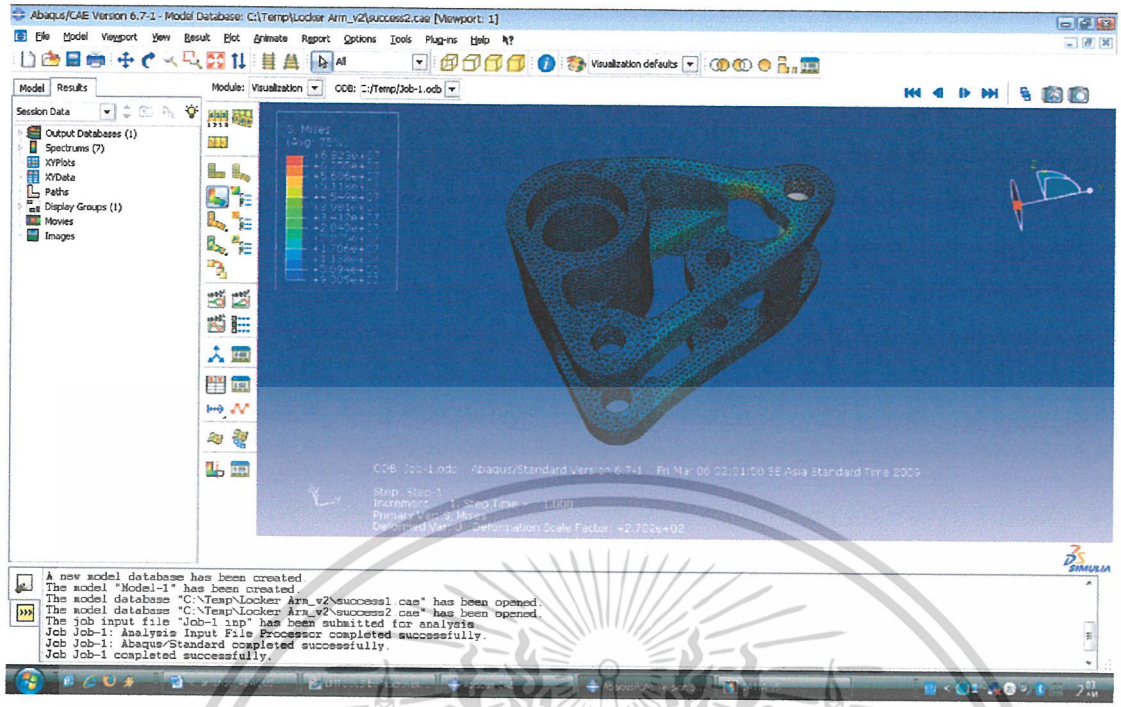


รูปที่ 18 แสดงตำแหน่งของความเสียหายที่เกิดขึ้น ของปีกนกด้านหลังชิ้นบน

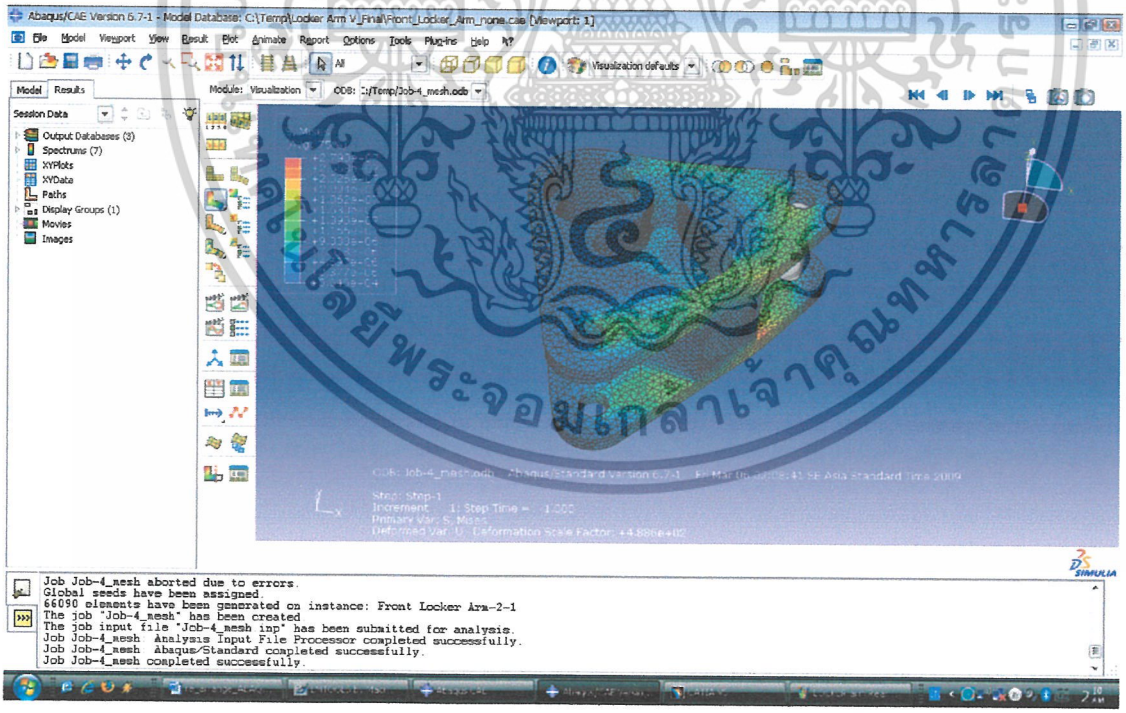


รูปที่ 19 แสดงตำแหน่งของความเสียหายที่เกิดขึ้น ของปีกนกด้านหลังชิ้นล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 20 แสดงตำแหน่งของความเสียหายที่เกิดขึ้น ของล็อคเกอร์อาร์มด้านหน้า

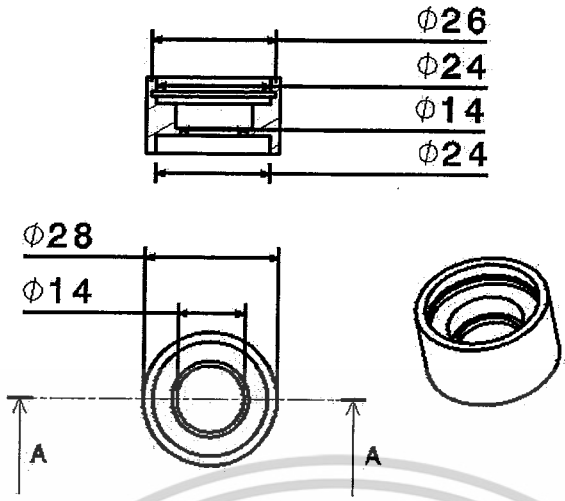


รูปที่ 21 แสดงตำแหน่งของความเสียหายที่เกิดขึ้น ของล็อคเกอร์อาร์มด้านหลัง

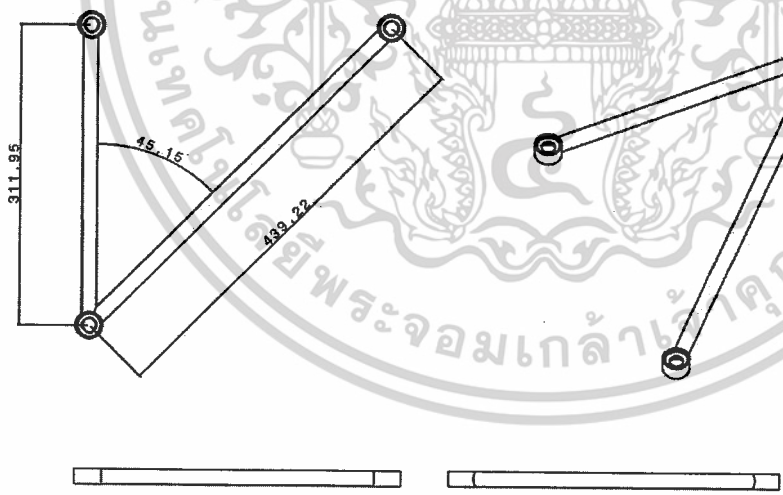
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

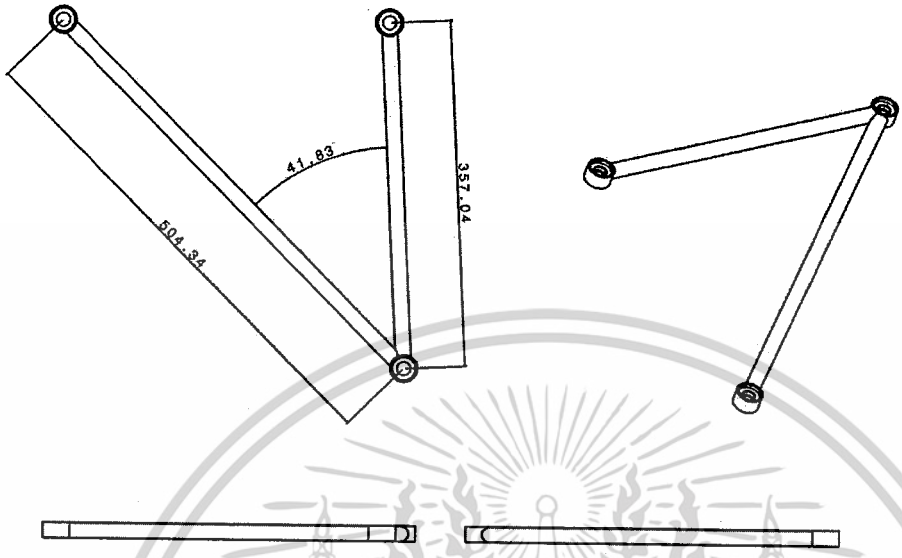


รูปที่ 1 บริเวณยึดลูกหมาก

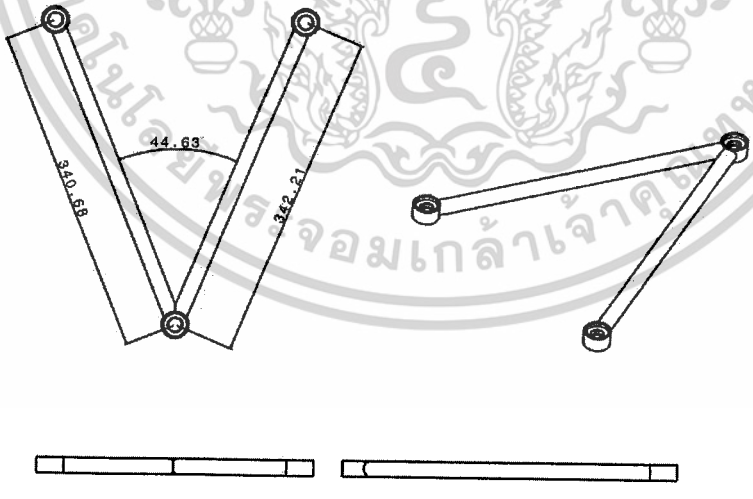


รูปที่ 2 ปีกนกด้านหน้าชิ้นบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

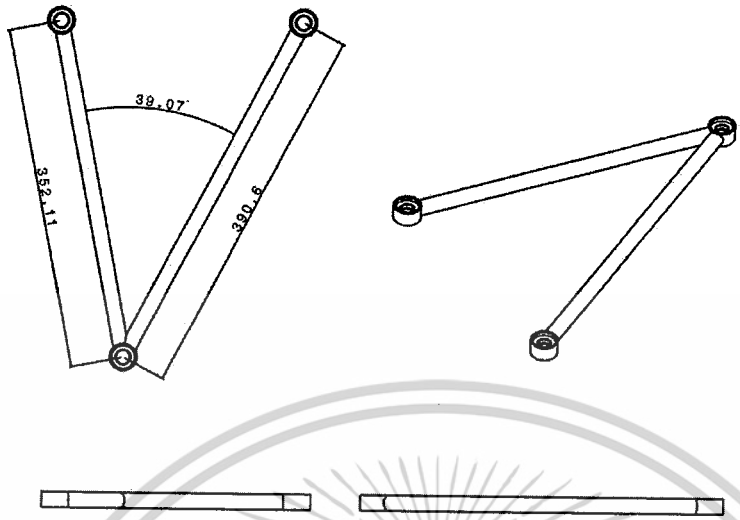


รูปที่ 3 ปีกนกด้านหน้าชิ้นล่าง

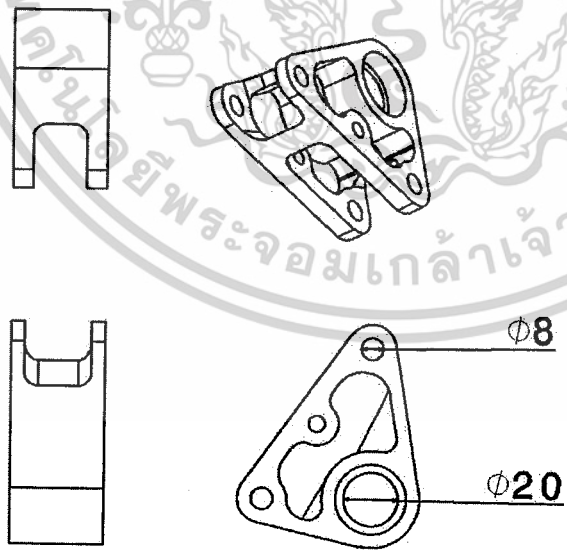


รูปที่ 4 ปีกนกด้านหลังชิ้นบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

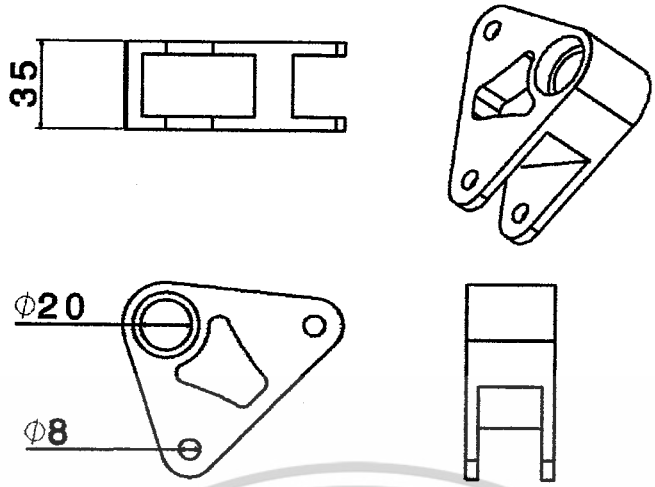


รูปที่ 5 ปีกนกด้านหลังชิ้นล่าง

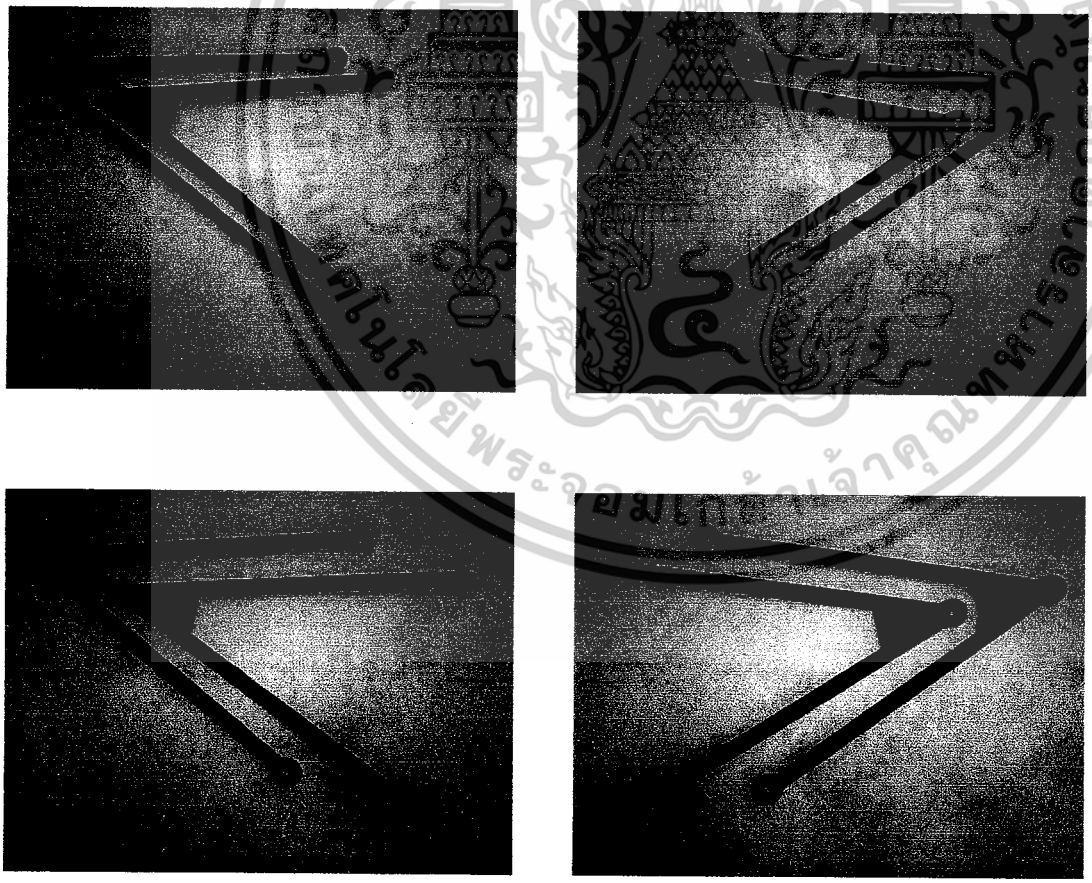


รูปที่ 6 ล็อคเกอร์อาร์มด้านหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

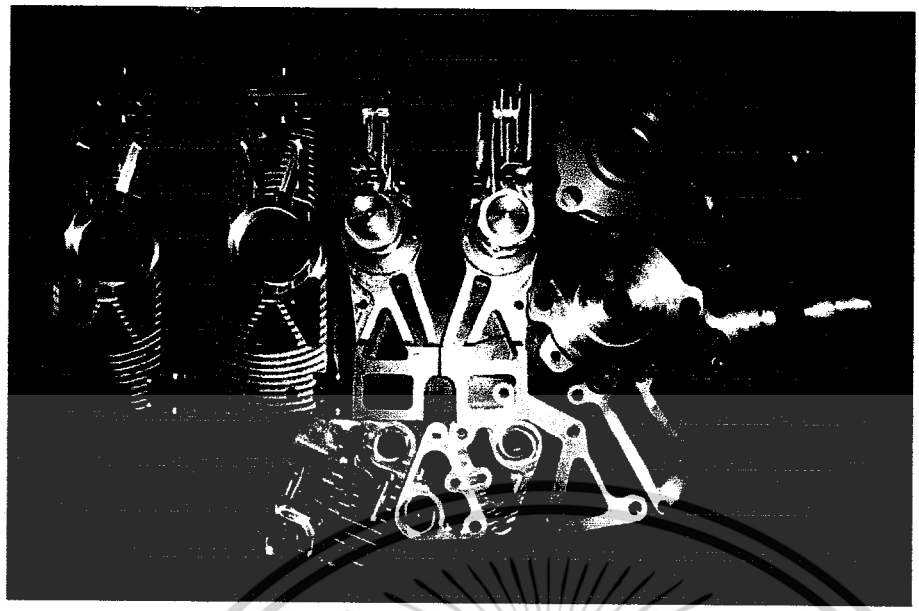


รูปที่ 7 ล็อคเกอร์อาร์มด้านหลัง



รูปที่ 8 ปีกนกทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9 ล็อคเกอร์อาร์มและชิ้นส่วนอื่นๆในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สืบค้นข้อมูลออนไลน์ของบทความและปริญญานิพนธ์ได้ที่
www.kmitl.info

PS.19.2551

บทความประกอบวิชา 01054025 Project II ภาคเรียนที่ 2/2551 วันจันทร์ที่ 16 มีนาคม 2552

การออกแบบและพัฒนาระบบช่วงล่าง สำหรับรถฟอร์มูล่านักศึกษาปี 2009[1]

เฉลิมชัย มังษะชาติ[2], สมชาย สังข์วิจิตร[2], เอกชัย ส่งวัฒนา[2], จินดา เจริญพรพาณิชย์[3]

บทคัดย่อ

ระบบช่วงล่างเป็นระบบที่สำคัญมากระบบหนึ่งในรถยนต์ การออกแบบจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยที่ครอบคลุมทั้งหมด เช่น การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนในขณะที่รถวิ่ง ความสามารถในการรับแรงที่มากระทำ รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงมุมล้อในสถานการณ์ต่างๆ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีผลต่อประสิทธิภาพของช่วงล่างทั้งสิ้น การนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบจึงเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดทางหนึ่งในปัจจุบัน โดยในการทำโครงงานจะทำการวิเคราะห์ทางจลศาสตร์และพลศาสตร์ด้วยโปรแกรมอดัมส์ (ADAMS) และวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนด้วยโปรแกรมอบาคัส (ABAQUS) ซึ่งทั้งสองโปรแกรม จะช่วยให้การออกแบบเป็นไปอย่างรวดเร็ว ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการสร้างแบบจำลองหลายๆชิ้น เมื่อเสร็จสิ้นการสร้างแล้วจึงทำการทดสอบขึ้นจริงเพื่อเปรียบเทียบผลกับการจำลองด้วยโปรแกรม

Abstract

The suspension system is one of the most important systems in automobile. To design suspension, we have to consider all of factor that related to suspension such as the movement of parts , a ability to obtain loads, changing in angle of wheels in different situation etc, all of these factor will effect the efficiency of suspension system. Using computer program is the optimum choice for design in nowadays. We used ADAMS to analyze kinematics and dynamics and used ABAQUS to analyze part's hardening which both program will make us design faster, easier and cheaper for create many part of suspension. Finally we will compare practical and simulation with computer program.
© 2008 Department of Mechanical Engineering, KMITL. All rights reserved

๑. บทนำ

ประสิทธิภาพของยานยนต์นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆด้าน ระบบช่วงล่างที่ดีนั้นก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง ในปัจจุบันจึงมีการค้นคว้าวิจัยทางด้านนี้เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะการนำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้าง วิเคราะห์การเคลื่อนที่ และจำลองความเสียหายที่เกิดขึ้น นับเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการสร้างแบบจำลองของจริงหลายๆชิ้นได้ และลดการสูญเสียที่ไม่จำเป็นลงได้ องค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมเหล่านี้จำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงระบบช่วงล่างให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นต่อไป ซึ่งเป็นจุดประสงค์ข้อหนึ่งในการทำโครงงานครั้งนี้ การส่งรถเข้าแข่งขันรายการ TSAE Auto Challenge 2009 นับเป็นทางหนึ่งที่จะช่วยให้มีการศึกษาวิจัยด้านเทคโนโลยียานยนต์ ในระดับนักศึกษามากขึ้น และเป็นอีกจุดประสงค์หนึ่งในการทำโครงงานนี้เช่นเดียวกัน

---

[1] ชื่ออังกฤษ "Design and development suspension system for student formula car 2009"

[2] นักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ห้อง 4G รหัส 48010160 , 48010933 และ 48011137 ตามลำดับ

[3] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล., โทร. 0-2326-4197 , kchchind@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จุดประสงค์

1. เพื่อเป็นการศึกษาและนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการออกแบบ ระบบช่วงล่าง
2. เพื่อศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวกับระบบช่วงล่าง แล้วนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์และปรับแต่งรถ
3. เพื่อนำระบบช่วงล่างที่ออกแบบมาสร้างเป็นรถแข่งขนาดเล็กและใช้ในการแข่งขัน TSAE autochallenge 2009

3. การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ

3.1 ปีกนก (Wishbone)

โดยจะออกแบบในโปรแกรม Catia ก่อนจากนั้นก็จะทำการวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นงานด้วยโปรแกรม Abaqus โดยจะทำการหาความเหมาะสมของชิ้นงาน โดยจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะสามารถรับแรงได้โดยไม่เสียรูป แล้วยังไม่ใหญ่จนเกินไป

3.2 ล็อคเกอร์อาร์ม (Locker Arm)

ในการออกแบบชิ้นส่วนนี้เราจะ พิจารณาถึงความถี่ของรถสำหรับรถแข่งที่เราออกแบบ จะใช้ค่าความถี่ประมาณ 130 CPM และ 140 CPM สำหรับล็อคเกอร์อาร์มหน้าและหลัง ตามลำดับ

โดยเราจะคำนวณอัตราส่วนการทดแรง จากสมการ

$$\frac{CR}{SL^2} = \left(\frac{Freq}{187.8}\right)^2 \times SW \qquad (1)$$

โดยที่ CR = ค่าความแข็งของสปริง (lbs/in)
SL = Suspension leverage
Freq = ความถี่ (CPM)
SW = น้ำหนักเหนือสปริง (lbs)

จากสมการที่ 1 เราจะได้ค่า SL หรือ อัตราส่วนของWheel / Spring มาจากนั้นให้แทนค่านี้ลงไปในสมการที่ 2 แล้วค่าการเคลื่อนที่ของ Rod โดยหาจาก การเคลื่อนที่ทางกายภาพของ Rod กับล้อรถ

Wheel : Rod : Locker Arm Ratio : Spring (2)

โดยสุดท้ายเราก็จะได้ อัตราส่วนการทดแรงของล็อคเกอร์อาร์มดังนี้

Locker Arm Ratio Front = 1 : 1.4
Locker Arm Ratio Rear = 1 : 1.3

4. การวิเคราะห์ความเสียหายของชิ้นงาน

โดยเราจะทำการวิเคราะห์ชิ้นงาน เพื่อหาค่าความปลอดภัย(Safety Factor) คือจะทำการจำลองชิ้นงานขึ้นมาจากนั้นจะทำการกำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุลงไป จากนั้นจะทำการใส่แรงที่กระทำกับชิ้นงานลงไปแล้วโปรแกรมจะรัน สุดท้ายเราจะได้ค่าความเค้น (Von Mises Stress) โดยจะสามารถนำมาคำนวณหาค่าความปลอดภัยได้ โดยเราจะใช้โปรแกรม Abaqus ในการวิเคราะห์

ตารางที่ 4-1 แสดงค่าความปลอดภัยของปีกนก

ชิ้นงาน	ค่าความปลอดภัย (SF)
FH	1.40
FL	1.26
RH	2.00
RL	1.59

ตารางที่ 4-2 แสดงค่าความปลอดภัยของล็อคเกอร์อาร์ม

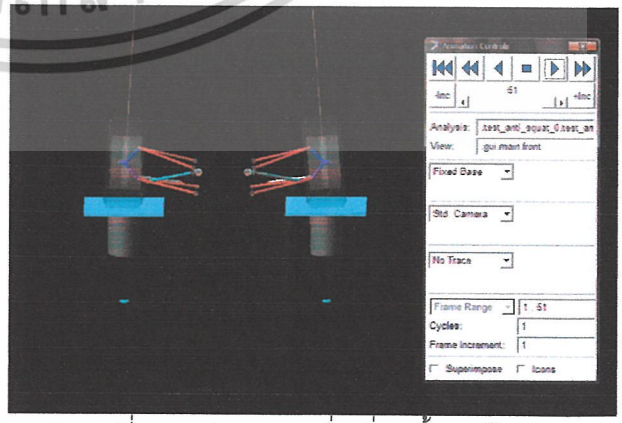
ชิ้นงาน	ค่าความปลอดภัย (SF)
Front Locker Arm	8.06
Rear Locker Arm	19.71

รูปที่ 1 แสดงการวิเคราะห์ความเสียหายของปีกนก

5. การจำลองการเคลื่อนที่ของช่วงล่าง

การสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบระบบช่วงล่างหลังที่มี Anti Squat ในหลายๆค่า และเปรียบเทียบกับแบบที่ไม่มี Anti squat โดยดูการเปลี่ยนแปลงมุมแคมเบอร์ มุมโท และค่าAnti squatของระบบช่วงล่าง

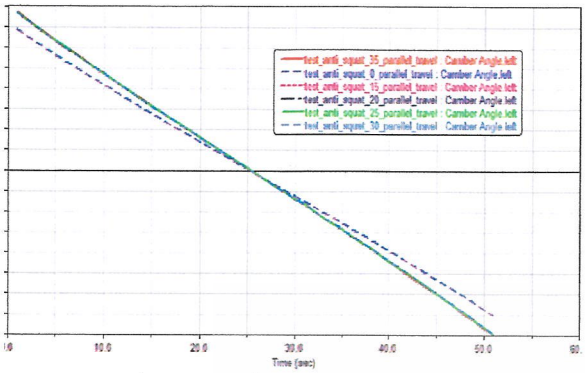
มีการจำลองการเคลื่อนที่ของระบบช่วงแล้วเปลี่ยนค่า Anti Squat ไปทั้งหมด 5ค่าแล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน การจำลองการเคลื่อนที่ทำได้โดยให้ล้อเคลื่อนที่ขึ้นลงพร้อมกัน



รูปที่ 2 การจำลองการเคลื่อนที่แบบขึ้นลงพร้อมกัน

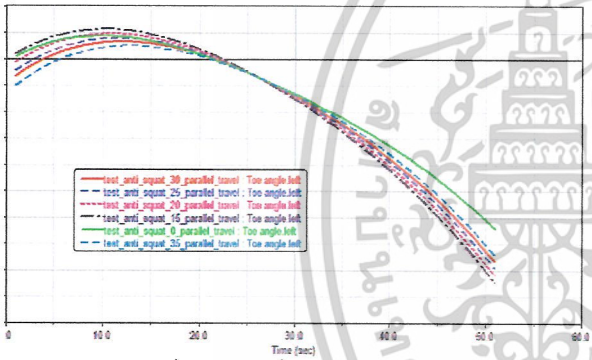
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการจำลองการเคลื่อนที่ได้ผลการเปลี่ยนแปลงมุมแคมเบอร์
า และ Anti lift ดังนี้



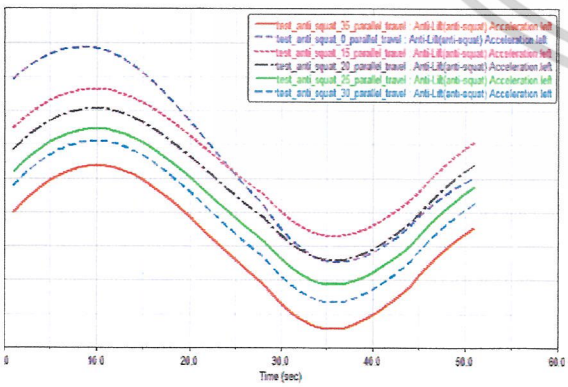
รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงมุมแคมเบอร์

จากกราฟการเปลี่ยนแปลงมุมแคมเบอร์จะพบว่าการเปลี่ยนแปลง
องระบบช่วงล่างที่ไม่มี Anti Squat เปลี่ยนแปลงน้อยกว่าที่มี
อย นั่นคือ Anti Squat ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงมุมแคมเบอร์
ัก



รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงมุมโท

จากกราฟการเปลี่ยนแปลงมุมโท จะพบว่าการเปลี่ยนมุมโท ของ
ช่วงล่างที่มี Anti Squat จะเปลี่ยนแปลงมากกว่าที่ไม่มี แต่มีค่า
คียงกัน



รูปที่ 5 การเปลี่ยนค่าAnti lift

จากกราฟการเลี่ยนแปลง Anti life จะพบว่าระบบที่ไม่มี Anti
t การเปลี่ยนแปลงมากกว่าระบบที่มี Anti Squat ซึ่งจะส่งผลต่อ
ลงของรถ แต่ระบบที่มีจะเปลี่ยนแปลงน้อยซึ่งจะช่วยลดการโคลง
ถ

6.การทดสอบและวิเคราะห์ผล

จากที่เราได้ศึกษาการเก็บข้อมูลต่างๆ ของรถแข่งแล้ว จึงพบว่า ข้อมูลต่างๆที่ได้มานั้น สามารถนำไปเป็นแนวทางในการสร้างรถ การปรับแต่ง การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของรถ รวมถึงนักแข่งด้วย

โดยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบช่วงล่างนี้ได้แก่

6.1 การกระจัดของ shock absorber

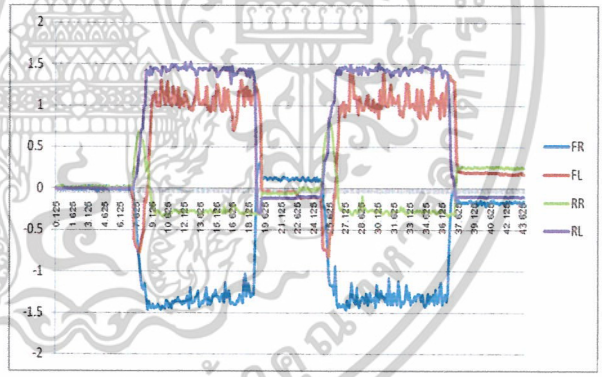
หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า damper position เป็นการวัดการเคลื่อนที่ของ shock absorber คือวัดระยะการยุบและยืด ของสปริงและแดมเปอร์ ดังรูปที่ 1

6.2 ความเร่งในแนวขวาง (Lateral Acceleration)

โดยความเร่งในแนวขวางนี้จะเป็นความเร่งในแนวตั้งฉากกับตัวรถ โดยจะวัดขณะที่รถเข้าโค้ง ซึ่งส่วนมากความเร่งนี้จะทำการวัดในหน่วยของ แรงจี (G-force) โดยที่ (1 G-force = 9.81 m/s^2)

6.3 ความเร่งในแนวตรง (Longitudinal Acceleration)

โดยจึงเป็นความเร่งที่เกิดขึ้นมาจาก การเร่งของเครื่องยนต์หรือการเบรค โดยถ้าเป็นการเร่งไปข้างหน้าหรือการออกตัว ความเร่งนี้จะมีเครื่องหมายเป็นบวก แต่ถ้าเป็นการเบรก ความเร่งนี้จะมีเครื่องหมายเป็นลบ



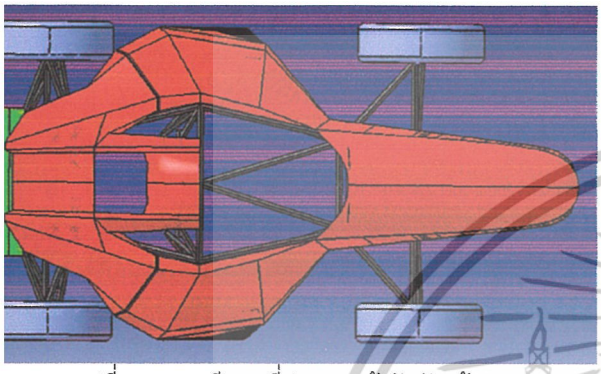
รูป 6 แสดงถึงการกระจัดของ shock absorber

จากรูป 6 โดยจะการกระจัดของ shock absorber โดยจะทำการพล็อตข้อมูลระหว่างการกระจัด กับเวลา

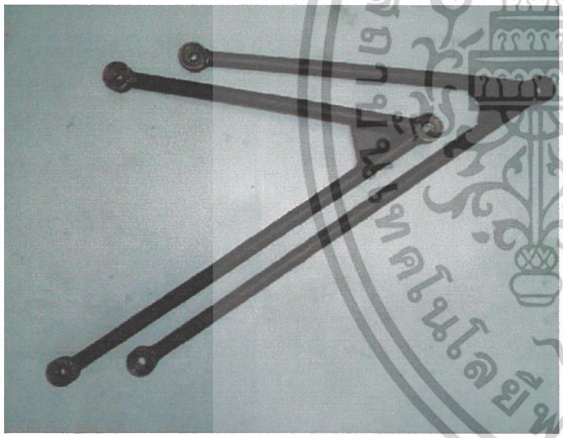
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รุปผล

สุดท้ายเราได้ทำการสร้างระบบช่วงล่างเสร็จสมบูรณ์ ไม่ว่าจะเป็น
ก ล็อคเกอร์อาร์มและชิ้นส่วนอื่นๆ เพื่อใช้ในการแข่งขัน ในรายการ
.E Autochallenge 2009 โดยเรามีการเก็บข้อมูลและทำการ
าะห์ข้อมูลนั้น เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาประสิทธิภาพของรถ
นของระบบช่วงล่าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์กับผู้ที่จะศึกษาเกี่ยวกับ
บช่วงล่างต่อไป



รูปที่ 12 แสดงปีกนกที่ประกอบเข้ากับตัวแล้ว



รูปที่ 13 ปีกนกด้านหน้า

อกสารอ้างอิง

James D. Halderman Automotive Steering, Suspension and Alignment

Jay Webster Automotive suspension, steering and brakes

William F. Milliken, Douglas L. Milliken and Maurice Olley Chassis Design Principle and Analysis

Robert L. Norton Machine Design An Integrated Approach Third Edition

Jack Erjavec Automotive Technology A Systems Approach 4th Edition

Jorge Segers, Analysis Techiques for Racecar Data Acquisition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้