สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดสาธิตการปรับมุมล้อ

Demonstration of wheel angle

โดย

นายณัฐพล เจียมวรกุลชัย

นายพงศธร สุวรรณรัศมี

นายศุภฤกษ์ เตชวิทย์วัฒน์

วป.
ณ3424ช
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72036
วัน,เดือน,ปี - 7 มี.ย. 2550

b 11762226
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดสาธิตการปรับมุมล้อ

Demonstration of wheel angle

ผู้จัดทำ

1. นายณัฐพล เจียมวรกุลชัย รหัสประจำตัว 46010209
2. นายพงศธร สุวรรณรัศมี รหัสประจำตัว 46010480
3. นายศุภฤกษ์ เตชวิทย์วัฒน์ รหัสประจำตัว 46010796

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.พิชิต กิตตินนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.เกรียงศักดิ์ สุวรรณโพธิ์ศรี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดสาธิตการปรับมุมล้อ

นายณัฐพล เจียมวรกุลชัย 46010209
นายพงศธร สุวรรณรัศมี 46010480
นายศุภฤกษ์ เดชวิทย์วัฒน์ 46010796
ผศ.พิชิต กิตตินนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสาธิตเรื่องมุมล้อรถ โดยเริ่มจากการสร้างรถสำหรับสาธิตเรื่องมุมล้อรถและออกแบบอุปกรณ์สำหรับปรับมุมล้อรถ เมื่อนำอุปกรณ์ปรับมุมล้อรถประกอบกับรถ ซึ่งทำให้สามารถปรับมุมล้อได้ดีกว่ารถทั่วไป จากนั้นทดลองหาผลกระทบที่เกิดจากการปรับมุมล้อต่างๆ โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ ทดลองเพื่อหาผลกระทบที่เกิดกับคนขับ และรถ โดยผลการทดลองที่ได้จากนำมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีเรื่องมุมล้อรถ

ผลการทดลองจากการปรับมุมล้อต่างๆที่ออกมานั้นทำให้ทราบผลกระทบที่เกิดจากมุมล้อต่างๆได้ และหวังว่าโครงงานนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Demonstration of wheel angle

Nattapol Jeemworakunchai 46010209
Pongsatorn Suwanrasame 46010480
Suphareerk Techawitwat 46010796
Asst.Prof.Pichit Kittinon Advisor

Abstract

The objective of this project was to demonstrate the wheel angle car. The demonstration of wheel angle car was initially fabricated the car for demonstration and design the apparatus for wheel angle car improvement. The apparatus was combined with the fabricated car made more efficiency to improve the wheel angle car better than another car and then tested for finding the effect of wheel angle car improvement. The test was to divide the two section for finding effect occurred to the driver and the car, respectively. The result compared with the wheel angle theorem.

Finally, the experiment's result show the effect of wheel-angle adjustment. Lastly , this project might be useful in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ ก็คือ ผศ.พิชิต กิตตินนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ณัฐพล เจียมวรกุลชัย
พงศธร สุวรรณรัศมี
ศุภฤกษ์ เตชวิทย์วัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญแสดงรูปภาพ	ช
สารบัญตาราง	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ทฤษฎีระบบช่วงล่าง	3
2.1.1 หน้าที่และความสำคัญของระบบช่วงล่าง	3
2.1.2 ส่วนประกอบของระบบช่วงล่าง	3
2.1.3 ชนิดและข้อดีข้อเสียของแต่ละระบบช่วงล่าง	4
2.1.3.1 ระบบช่วงล่างชนิดอิสระต่อกัน	5
2.1.3.2 ระบบช่วงล่างแบบไม่อิสระต่อกัน	7
2.1.4 ระบบช่วงล่างที่เลือกใช้	9
2.2 ทฤษฎีระบบบังคับเลี้ยว(steering theory)	10
2.2.1 การทำงานของระบบเลี้ยว	10
2.2.2 ความสำคัญของระบบบังคับเลี้ยว	10
2.2.3 ระบบบังคับเลี้ยว	10
2.2.4 ส่วนประกอบของระบบบังคับเลี้ยว	11
2.2.5 กลไกปรับเอนและปรับความสูงพวงมาลัย	13
2.2.6 การเลือกระบบบังคับเลี้ยว	13
2.3 มุมล้อหน้า	14
2.3.1 มุมแคมเบอร์ (Camber angle)	14
2.3.1.1 ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดมุมแคมเบอร์	14
2.3.1.2 ลักษณะของมุมแคมเบอร์	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

2.3.1.3 ผลของมุมแคมเบอร์ขณะรถแล่นตรง 15
2.3.1.4 ผลของมุมแคมเบอร์ขณะรถแล่นบนทางเอียง 17
2.3.1.5 ผลของมุมแคมเบอร์ขณะรถแล่นทางโค้ง 17
2.3.2 มุมเอียงของสลักล้อหน้า 17
2.3.2.1 วัตถุประสงค์ของการจัดมุมเอียงของสลักล้อหน้า 18
2.3.2.2 ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดมุมเอียงของสลักล้อหน้า 18
2.3.3 รัศมีหมุนเลี้ยวและแกนหมุนเลี้ยว 19
2.3.4 มุมรวม (Included angle) 20
2.3.5 มุมแคสเตอร์ (Caster angle) 20
2.3.5.1 ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดมุมแคสเตอร์ 21
2.3.5.2 ลักษณะของมุมแคสเตอร์ 21
2.3.5.3 ผลของมุมแคสเตอร์ขณะรถแล่นบนทางเอียง 23
2.3.5.4 ผลของมุมแคสเตอร์ไม่ถูกต้อง 23
2.3.6 ระยะโทของล้อหน้า (Toe) 23
2.3.6.1 วัตถุประสงค์ของการจัดระยะโทของล้อหน้า 24
2.3.6.2 ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดระยะโทของล้อหน้า 24
2.3.6.3 ลักษณะของระยะโทล้อหน้า 25
2.3.6.4 ผลจากระยะโทไม่ถูกต้อง 25
2.3.7 การลื่นไถลของล้อรถขณะเร่งเข้าโค้ง 26
2.3.8 รัศมีการเลี้ยว (Turning radius) 27
บทที่ 3 การออกแบบและคำนวณ 28
3.1 เงื่อนไขพื้นฐานสำหรับการกลิ้งอย่างแท้จริงของล้อ 28
3.1.1 การบังคับเลี้ยวของรถยนต์ 29
3.1.2 การติดตั้งกลไกการบังคับเลี้ยว 32
3.1.3 การหาค่ามุมของแขนบังคับเลี้ยว 33
3.1.3.1 การคำนวณหาค่ามุมของแขนบังคับเลี้ยว 33
3.1.3.2 รัศมีของการเลี้ยว 34
3.2 การหาฐานล้อและ ระยะหน้าล้อ 35
3.3 การทรงตัวบนทางโค้ง (conering) 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

3.3.1 ความเร็วในการเลี้ยวโค้งบนถนนระดับ 38

3.3.2 ความเร็วในการเลี้ยวโค้งบนถนนเอียง 40

3.4 แรงกระทำเมื่อรถจอดนิ่งบนพื้นระดับ 41

บทที่ 4 การออกแบบและอุปกรณ์พิเศษ 42

4.1 อุปกรณ์พิเศษ 42

4.1.1 อุปกรณ์ติดตั้งปีกนกบน 42

4.1.2 อุปกรณ์ปรับมุมแคมเบอร์ 44

4.1.3 อุปกรณ์ปรับมุมแคสเตอร์ 45

4.2 การหาจุด Center of Mass โดยใช้โปรแกรม Solidwork 47

บทที่ 5 การสร้างและติดตั้งชิ้นส่วนต่างๆ 48

5.1 โครงรถ 48

5.2 ช่วงหน้าแบบปีกนกคู่ 49

5.2.1 ปีกนกบน 49

5.2.2 ปีกนกล่าง 50

5.2.3 คอม้า 51

5.2.4 โช๊คอัพ 53

5.3 ระบบบังคับเลี้ยว 54

5.4 ชุดหลังแบบคานแข็ง 55

5.5 ระบบส่งกำลัง 56

5.5.1 เครื่องยนต์ต้นกำลัง 51

5.5.2 ระบบไฟฟ้าเครื่อง 57

5.5.3 เพลาพิเศษ 58

5.5.4 เพลาขับ 59

5.5.5 ล้อและยาง 59

5.6 ระบบเบรค 60

บทที่ 6 การทดลอง 62

6.1 การทดลองการปรับมุมล้อ 63

6.1.1 การทดลองปรับมุมมาตราฐาน 63

6.1.2 การทดลองการปรับมุมแคมเบอร์บวกซ้างซ้าย 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

6.1.3 การทดลองการปรับมุมแคมเบอร์ลบข้างซ้าย 65
6.1.4 การทดลองการปรับมุมแคมเบอร์ไม่เท่ากัน 66
6.1.5 การทดลองการปรับมุมแคมเบอร์บวกทั้งสองล้อ 67
6.1.6 การทดลองการปรับมุมแคมเบอร์ลบทั้งสองล้อ 68
6.1.7 การทดลองการปรับมุมโทอินข้างซ้าย 69
6.1.8 การทดลองการปรับมุมโทเอาท์ข้างซ้าย 70
6.1.9 การทดลองการปรับมุมโทไม่เท่ากัน 71
6.1.10 การทดลองการปรับมุมโทอินทั้งสองล้อ 72
6.1.11 การทดลองการปรับมุมโทเอาท์ทั้งสองล้อ 73
6.1.12 การทดลองการปรับมุมแคสเตอร์บวกเท่ากัน 74
6.1.13 การทดลองการปรับมุมแคสเตอร์ลบเท่ากัน 75
6.1.14 การทดลองการปรับมุมแคสเตอร์ที่ไม่เท่ากัน 76
6.2 การทดลองโทเอาท์ออนเทิร์น 84
บทที่ 7 วิจารณ์และสรุป 86
7.1 สรุปผลการทดลอง 86
7.2 ผลการทดลอง 86
7.3 วิจารณ์การทำงาน 87
7.4 วิจารณ์ผลการทดลอง 88
7.5 แนวทางในการพัฒนาต่อ 88
7.6 ประโยชน์ที่ได้รับ 88
ภาคผนวก ก ตารางคุณสมบัติของโลหะ 89
เอกสารอ้างอิง 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญแสดงรูปภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 ชิ้นส่วนของระบบช่วงล่าง	3
รูปที่ 2.2 ตำแหน่งการวางของปีกนก	5
รูปที่ 2.3 ระบบช่วงล่างชนิดแมคเพอร์สันสตรัท	6
รูปที่ 2.4 ระบบช่วงล่างชนิดมัลติลิงค์	6
รูปที่ 2.5 ระบบช่วงล่างชนิดเทรลลิ่งอาร์ม	7
รูปที่ 2.6 ระบบช่วงล่างชนิดคานแข็ง	8
รูปที่ 2.7 ภาพฉายของระบบช่วงล่างที่จำลองในโปรแกรม Solid Work	9
รูปที่ 2.8 ระบบบังคับเลี้ยวแบบธรรมดา	10
รูปที่ 2.9 ระบบบังคับเลี้ยวแบบเพิ่มกำลังหรือเพาเวอร์	11
รูปที่ 2.10 Universal Joint	13
รูปที่ 2.11 พวงมาลัยที่ใช้ Universal Joint	13
รูปที่ 2.12 มุมแคมเบอร์บวก	15
รูปที่ 2.13 มุมแคมเบอร์ลบ	15
รูปที่ 2.14 เส้นผ่านศูนย์กลางกลิ้ง (Rolling diameter)	16
รูปที่ 2.15 รูปแบบของการสึกหรอของยางเนื่องมาจากมุม แคมเบอร์	16
รูปที่ 2.16 มุมเอียงของสลักล้อหน้า ของปีกนกคู่และแมคเพอร์สันสตรัท	18
รูปที่ 2.17 ลักษณะของมุมเอียงสลักล้อหน้า	18
รูปที่ 2.18 มุมเอียงแกนเลี้ยวล้อ	19
รูปที่ 2.19 รัศมีมุมเลี้ยว	19
รูปที่ 2.20 มุมรวม	20
รูปที่ 2.21 มุมแคสเตอร์	21
รูปที่ 2..22 จุดนำและจุดพ่วง	22
รูปที่ 2..23 มุมแคสเตอร์บวก	22
รูปที่ 2..24 แคสเตอร์ลบ	23
รูปที่ 2..25 มุมโท	24
รูปที่ 2.26 ลักษณะของมุมโท	25
รูปที่ 2.27 ลักษณะของ slip angle	26
รูปที่ 2.28 ลักษณะของลายยางที่เกิด slip angle	26
รูปที่ 3.1 รถที่ออกแบบในโปรแกรม Solid Work	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญแสดงรูปภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 3..2 แสดงการเลี้ยวแบบทฤษฎียัคเคมานน์ 29
รูปที่ 3.3 การบังคับเลี้ยวของรถยนต์ 30
รูปที่ 3.4 การบังคับเลี้ยวแบบเดวิสขณะตรง 31
รูปที่ 3.5 การบังคับเลี้ยวแบบเดวิสขณะเดินขวา 31
รูปที่ 3.6 การบังคับเลี้ยวแบบอัคเคมานน์ 31
รูปที่ 3.7 ลักษณะการติดตั้งคันส่งอยู่หลังคานหน้า 32
รูปที่ 3.8 ลักษณะการติดตั้งคันส่งอยู่หน้าคานหน้า 33
รูปที่ 3.9 การคำนวณหาค่ามุมของแขนบังคับเลี้ยว 33
รูปที่ 3.10 การหาค่ารัศมีของการเลี้ยว 34
รูปที่ 3.11 ระยะฐานล้อและระยะหน้าล้อ 36
รูปที่ 3.12 แสดงเส้น Free body diagram ในการเลี้ยวโค้ง 38
รูปที่ 3.13 ความเร็วในการเลี้ยวโค้ง 38
รูปที่ 3.14 แรงกระทำเมื่อรถจอดนิ่งบนพื้นระดับ 41
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ปรับมุม scub radius ให้มีค่าเป็นลบ 42
รูปที่ 4.2 รายละเอียดอุปกรณ์ปรับมุม scub radius ให้มีค่าเป็นลบ(ด้านข้าง) 43
รูปที่ 4.3 รายละเอียดอุปกรณ์ปรับมุม scub radius ให้มีค่าเป็นลบ(ด้านบน) 44
รูปที่ 4.4 รายละเอียดอุปกรณ์ปรับมุมแคมเบอร์ 44
รูปที่ 4.5 ลักษณะที่ติดตั้งอุปกรณ์ปรับมุมแคมเบอร์ 44
รูปที่ 4.6 รายละเอียดอุปกรณ์ปรับมุมแคสเตอร์(ด้านบน) 45
รูปที่ 4.7 รายละเอียดอุปกรณ์ปรับมุมแคสเตอร์(ด้านข้าง) 45
รูปที่ 4.8 ลักษณะที่ติดตั้งอุปกรณ์ปรับมุมแคสเตอร์ 46
รูปที่ 4.9 ผลจากการ Simulation ของปีกนกล่าง 47
รูปที่ 4.10 จุด Center of Mass 47
รูปที่ 4.11 การหาจุด *Center of Mass* 47
รูปที่ 5.1 ชิ้นส่วนทั้งหมดก่อนติดตั้ง 48
รูปที่ 5.2 โครงรถ 48
รูปที่ 5.3 ช่วงหน้าแบบปีกนกคู่ 49
รูปที่ 5.4 ปีกนกบน 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญแสดงรูปภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 5.5 ลักษณะการปรับมุมแคมเบอร์ 50
รูปที่ 5.6 ปีกนกล่าง 50
รูปที่ 5.7 ชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์ 51
รูปที่ 5.8 คอม้า 51
รูปที่ 5.9 อุปกรณ์ติดปีกนกบน 52
รูปที่ 5.10 อุปกรณ์ที่ติดตั้งแล้ว 52
รูปที่ 5.11 การยึดปีกนกบนปีกนกล่างและคอม้าเข้าด้วยกัน 52
รูปที่ 5.12 โช๊คอัพ 53
รูปที่ 5.13 การติดตั้งโช๊คอัพ 53
รูปที่ 5.14 Lax and pinion ที่ปรับปรุงแล้ว 54
รูปที่ 5.15 ชิ้นส่วนปรับมุมโท 54
รูปที่ 5.16 ชิ้นส่วนชุดหน้าของรถ 55
รูปที่ 5.17 ชุดหลังแบบดานแข็ง 55
รูปที่ 5.18 การติดตั้งดานแข็งกับโช๊คอัพ 56
รูปที่ 5.19 การติดตั้งดานแข็งกับโช๊คอัพ 56
รูปที่ 5.20 เครื่องยนต์ต้นกำลัง 56
รูปที่ 5.21 การติดตั้งเครื่องยนต์ต้นกำลัง 57
รูปที่ 5.22 ระบบไฟฟ้าเครื่อง 57
รูปที่ 5.23 การติดตั้งระบบไฟฟ้าเครื่อง 58
รูปที่ 5.24 เพลาพิเศษ 58
รูปที่ 5.25 การติดตั้งเพลาพิเศษ 58
รูปที่ 5.26 เพลาขับ 59
รูปที่ 5.27 การติดตั้งเพลาขับ 59
รูปที่ 5.28 ล้อและยาง 59
รูปที่ 5.29 ระบบเบรค 60
รูปที่ 5.30 การติดตั้งจานเบรค 60
รูปที่ 5.31 การติดตั้งระบบเบรค 60
รูปที่ 5.32 รูปรถที่เสร็จสมบูรณ์ 61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญแสดงรูปภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 5.33 รูปรถที่เสร็จสมบูรณ์ 61
รูปที่ 6.1 รูปก่อนการทดสอบ 62
รูปที่ 6.2 มุมมาตรฐาน 63
รูปที่ 6.3 ลักษณะมุมมาตรฐาน 63
รูปที่ 6.4 ผลการทดลอง 63
รูปที่ 6.5 การทดลองปรับมุมแคมเบอร์บวกข้างซ้าย 64
รูปที่ 6.6 ลักษณะมุมแคมเบอร์บวกข้างซ้าย 64
รูปที่ 6.7 ผลการทดลอง 64
รูปที่ 6.8 การทดลองปรับมุมแคมเบอร์ลบข้างซ้าย 65
รูปที่ 6.9 ลักษณะมุมแคมเบอร์ลบข้างซ้าย 65
รูปที่ 6.10 ผลการทดลอง 65
รูปที่ 6.11 การทดลองปรับมุมแคมเบอร์ไม่เท่ากัน 66
รูปที่ 6.12 ลักษณะมุมแคมเบอร์ไม่เท่ากัน 66
รูปที่ 6.13 ผลการทดลอง 66
รูปที่ 6.14 แคมเบอร์บวกทั้งสองล้อ 67
รูปที่ 6.15 ลักษณะมุมแคมเบอร์บวก 67
รูปที่ 6.16 ผลการทดลอง 67
รูปที่ 6.17 แคมเบอร์ลบทั้งสองล้อ 68
รูปที่ 6.18 ลักษณะมุมแคมเบอร์ลบ 68
รูปที่ 6.19 ผลการทดลอง 68
รูปที่ 6.20 การทดลองปรับมุมโทอินข้างซ้าย 69
รูปที่ 6.21 ลักษณะมุมโทอินข้างซ้าย 69
รูปที่ 6.22 ผลการทดลอง 69
รูปที่ 6.23 การทดลองปรับมุมโทเอาท์ข้างซ้าย 70
รูปที่ 6.24 ลักษณะมุมโทเอาท์ข้างซ้าย 70
รูปที่ 6.25 ผลการทดลอง 70
รูปที่ 6.26 การทดลองปรับมุมโทไม่เท่ากัน 71
รูปที่ 6.27 ลักษณะมุมโทไม่เท่ากัน 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญแสดงรูปภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 6.28 ผลการทดลอง 71
รูปที่ 6.29 การทดลองปรับมุมโทอินเท่ากัน 72
รูปที่ 6.30 ลักษณะมุมโทอินเท่ากัน 72
รูปที่ 6.31 ผลการทดลอง 72
รูปที่ 6.32 การทดลองปรับมุมโทเอ้าท์เท่ากัน 73
รูปที่ 6.33 ลักษณะมุมโทเอ้าท์เท่ากัน 73
รูปที่ 6.34 ผลการทดลอง 73
รูปที่ 6.35 การทดลองปรับมุมแคสเตอร์บวกเท่ากัน 74
รูปที่ 6.36 ลักษณะมุมแคสเตอร์บวกเท่ากัน 74
รูปที่ 6.37 ผลการทดลอง 74
รูปที่ 6.38 การทดลองปรับมุมแคสเตอร์เท่ากัน 75
รูปที่ 6.39 ลักษณะมุมแคสเตอร์เท่ากัน 75
รูปที่ 6.40 ผลการทดลอง 75
รูปที่ 6.41 การทดลองปรับมุมแคสเตอร์ไม่เท่ากัน 76
รูปที่ 6.42 ลักษณะมุมแคสเตอร์ไม่เท่ากัน 76
รูปที่ 6.43 ผลการทดลอง 76
รูปที่ 6.44 การจำลองเส้นทางของรถตามผลการทดลอง
เมื่อปรับ มุมแคมเบอร์ที่ล้อขวา 78
รูปที่ 6.45 การจำลองเส้นทางของรถตามผลการทดลอง
เมื่อปรับ มุมแคมเบอร์ที่ล้อซ้าย 79
รูปที่ 6.46 การจำลองเส้นทางของรถตามผลการทดลอง
เมื่อปรับ มุมแคมเบอร์ที่ล้อซ้ายและขวา 80
รูปที่ 6.47 การจำลองเส้นทางของรถตามผลการทดลอง
เมื่อปรับ มุมโทที่ล้อขวา 81
รูปที่ 6.48 การจำลองเส้นทางของรถตามผลการทดลอง
เมื่อปรับ มุมโทที่ล้อซ้าย 82
รูปที่ 6.49 การจำลองเส้นทางของรถตามผลการทดลอง
เมื่อปรับ มุมโทที่ล้อซ้ายและขวา 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญแสดงรูปภาพ(ต่อ)

หน้าที่

รูปที่ 6.50 ลักษณะของล้อก่อนการทดลอง 84
รูปที่ 6.51 ลักษณะของล้อหลังการทดลอง 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 3.1 ระยะฐานล้อและระยะหน้าล้อที่เลือก	37
ตารางที่ 6.1 มุมมาตราฐาน	63
ตารางที่ 6.2 มุมแคมเบอร์บวกข้างซ้าย	64
ตารางที่ 6.3 มุมแคมเบอร์ลบข้างซ้าย	65
ตารางที่ 6.4 มุมแคมเบอร์ไม่เท่ากัน	66
ตารางที่ 6.5 มุมแคมเบอร์บวกทั้งสองล้อ	67
ตารางที่ 6.6 มุมแคมเบอร์ลบทั้งสองล้อ	68
ตารางที่ 6.7 มุมโทอินข้างซ้าย	69
ตารางที่ 6.8 มุมโทเอาท์ข้างซ้าย	70
ตารางที่ 6.9 มุมโทไม่เท่ากัน	71
ตารางที่ 6.10 มุมโทอินทั้งสองล้อ	72
ตารางที่ 6.11 มุมโทเอาท์ทั้งสองล้อ	73
ตารางที่ 6.12 มุมแคสเตอร์บวกเท่ากัน	74
ตารางที่ 6.13 มุมแคสเตอร์ลบเท่ากัน	75
ตารางที่ 6.14 มุมแคสเตอร์ที่ไม่เท่ากัน	76
ตารางที่ 6.15 มุมแคมเบอร์ และ มุมโท	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันการใช้ รถยนต์ ถือได้ว่ามีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของเรา ในแต่ละวันไม่ว่าจะ เช้า สาย บ่าย เย็น ต้องมีรถยนต์เข้ามาเกี่ยวข้องโดยตลอด ดังนั้น เราจำเป็นต้องมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรถยนต์ แต่สิ่งที่ต้องคำนึงเป็นอันดับต้นๆ นั้นคือ การดูแลรักษารถยนต์ให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัย ซึ่งจะส่งผลไปถึง สมรรถณะในการควบคุมรถยนต์ การปรับตั้ง มุมล้อ ศูนย์ล้อต่างๆ (Wheel alignment) ระบบเบรก ระบบระบายความร้อน ยาง สิ่งทั้งหลายเหล่านี้ มีความสำคัญซึ่งจะมีผลต่อสมรรถนะ ของรถโดยตรง เราได้สนใจ และศึกษา เกี่ยวกับ เรื่อง มุมล้อ ซึ่งมุมล้อมีความสำคัญและส่งผลอย่างมากต่อสมรรถนะของช่วงล่าง การบังคับรถใน สภาวะต่างๆ โดยชิ้นส่วนหลักของ การปรับมุมล้อ มี 3 ชิ้น สามารถปรับค่ามุม 3 มุม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. มีความรู้มีความเข้าใจในเรื่องระบบช่วงล่างแบบต่างๆ ที่ใช้กันในปัจจุบัน
2. ออกแบบระบบปรับมุมต่างๆ ให้สามารถเห็น และ ทำความเข้าใจในการปรับมุมล้อได้ง่าย เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการศึกษา
3. ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการปรับมุม ต่างๆ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ออกแบบ และ สร้างรถที่สามารถปรับมุมล้อได้ทุกมุม เพื่อใช้ในการศึกษา
2. ส่วนหน้าใช้ระบบรองรับน้ำหนักแบบ ปีกนกคู่ (Wish Bones) เพื่อใช้ปรับมุมล้อ
3. ด้านหลังใช้ระบบคานแข็ง
4. ระบบบังคับเลี้ยวใช้แบบ (Rack and Pinion) แบบปรกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 วิธีการดำเนินงาน

ในการออกแบบรถของเรา เราจะแบ่งรูปแบบของการออกแบบ เป็นขั้นตอนย่อยๆ ดังนี้

1. ศึกษาหาความรู้ เพื่อเข้าใจหลักการของมุมต่างๆ ของรถ เพื่อออกแบบและสร้างรถที่สามารถปรับมุมต่างๆ ได้ ทุกๆ มุม และออกแบบให้ง่าย ต่อการศึกษา
2. ใช้ Autocad ในการออกแบบเบื้องต้นการกำหนดระยะในรูปแบบ 2 มิติ
3. จากนั้นเราใช้โปรแกรม Solidwork 2006 ในการออกแบบในรูปแบบ 3 มิติ ในการออกแบบแบบจำลองเสมือนจริง ในขั้นตอนนี้ เราสามารถระบุขนาด และ ระยะต่างๆ ได้ดีกว่าขั้นแรก เพราะสามารถ เห็นภาพได้จริง
4. การวิเคราะห์ ชิ้นส่วนที่ต้องดัดแปลง ขั้นต้น เป็นการวิเคราะห์ แรง อย่าง หยาบๆ แต่ จะเผื่อค่า Safety factor ไว้ เราจะใช้ Cosmos ซึ่งเป็น โปรแกรมเสริม ของ Solidwork
5. สร้างรถตามแบบที่ออกแบบไว้หลังจากทดสอบด้วยโปรแกรมแล้ว
6. ทดลองผลของมุมล้อ
7. สรุปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

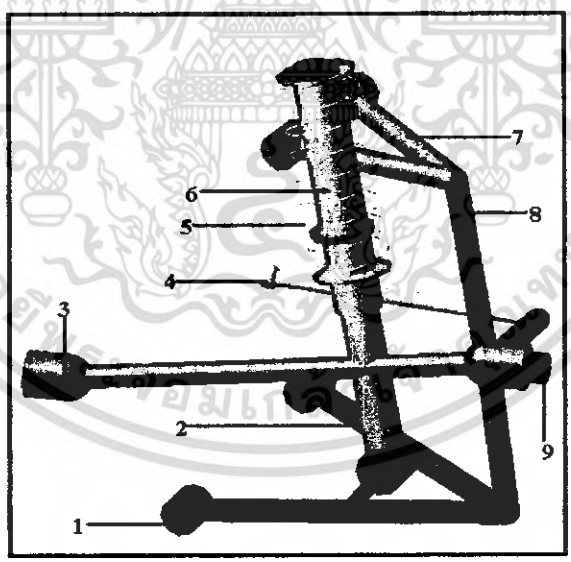
2.1 ทฤษฎีระบบช่วงล่าง

2.1.1 หน้าที่และความสำคัญของระบบช่วงล่าง

ระบบช่วงล่างเป็นสิ่งสำคัญที่รถยนต์ทุกคันจำเป็นต้องมีเพราะว่าระบบช่วงล่างสร้างขึ้นมาเพื่อลดการสั่นสะเทือนและเพิ่มการทรงตัวของตัวรถ เมื่อรถวิ่งอยู่บนถนนที่ขรุขระเป็นหลุมหรือขณะเข้าโค้งถ้ารถไม่มีระบบช่วงล่างแล้วนอกจากผู้โดยสารและคนขับจะได้รับแรงกระแทกจากตัวรถมากแล้ว ชิ้นส่วนบางชิ้นส่วนของรถอาจจะเสียหายเร็วเกินกว่าอายุการใช้งานด้วย นอกจากนั้นหน้าที่รองของระบบกันสั่นสะเทือนคือ เป็นตัวเชื่อมระหว่าง โครงรถยนต์(Chassis) กับล้อรถ

2.1.2 ส่วนประกอบของระบบช่วงล่าง

ระบบช่วงล่างโดยทั่วไปประกอบไปด้วยชิ้นส่วนหลักๆตามรูปที่ 2.1โดยหน้าที่ของแต่ละชิ้นส่วนมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 ชิ้นส่วนของระบบช่วงล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บุชชิ่ง(Bushing) เป็นยางรูปวงกลมมีรูตรงกลางไว้สำหรับใส่เหล็กที่มีลักษณะเดียวกัน สร้างขึ้นเพื่อป้องกันแรงเสียดทานระหว่างตัวปีกนกกับน็อตที่ยึดติดปีกนก

2. ปีกนกล่าง(Lower control arm) มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กสามเหลี่ยม โดยปลายด้านหนึ่งทำหน้าที่ยึดกับตัวโครงรถยนต์ อีกด้านหนึ่งยึดติดกับคอม้าด้านล่าง (หมายเลข 8)

3. ชุดรับแรงจากเพลาขับ มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กยาว ด้านหนึ่งยึดติดกับเพลาขับ อีกด้านหนึ่งยึดติดกับแกนหมุนของล้อ(หมายเลข9)และคอม้า มีหน้ารับแรงจากเพลาขับแล้วส่งกำลังต่อทำให้ล้อสามารถหมุนได้โดยชุดรับแรงจากเพลาขับนี้ติดตั้งทั้งด้านหน้าหรือด้านหลังหรือติดตั้งทั้งหน้าและหลังก็ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของรถที่ทำการออกแบบว่าจะให้เป็นระบบขับเคลื่อนด้านหน้าหรือหลัง หรือขับเคลื่อน 4 ล้อ

4. ชุดแขนบังคับเลี้ยว(Steering rack) มีลักษณะเป็นแท่งยาว ด้านหนึ่งยึดติดกับลิงค์ที่มาจากพวงมาลัย อีกด้านหนึ่งยึดติดกับคอม้า มีหน้าที่บังคับล้อให้หมุนไปตรงตามทิศทางที่พวงมาลัยหมุน โดยชุดแขนบังคับเลี้ยวนี้จะมีเฉพาะระบบช่วงล่างด้านหน้าเท่านั้น

5. สปริง(Spring) มีลักษณะเป็นเหล็กเส้นขดกันเป็นเกลียว ทั้ง2 ด้านยึดติดกับเบ้ารองรับสปริง ทำหน้าที่รับแรงกระแทกจากโครงรถยนต์

6. แดมเปอร์(Damper) มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กมีน้ำมันหรือแก๊สอัดอยู่ภายใน (แล้วแต่ชนิดของแดมเปอร์) ติดอยู่ด้านในของขดสปริง ทำหน้าทีชะลอการดีดกลับของสปริงเนื่องจากแรงกระแทกที่ได้รับ

7. ปีกนกบน (Upper control arm) มีลักษณะเป็นแท่งเหล็กรูปทรงสามเหลี่ยม โดยปลายด้านหนึ่งทำหน้าที่ยึดกับตัวโครงรถยนต์ อีกด้านหนึ่งยึดติดกับคอม้าด้านบน

8. คอม้า(Knuckle) เป็นเหล็กหล่อมีรูสำหรับยึดติดกับชิ้นส่วนต่างๆ 4 ชิ้นคือ 1.ปีกนกล่าง 2.ปีกนกบน 3.ชุดแขนบังคับเลี้ยว 4.ชุดรับแรงส่งจากเพลาขับ เป็นชิ้นส่วนสำคัญที่ระบบช่วงล่างชนิดอิสระต่อกัน (Independent suspension) จะขาดไม่ได้

9. แกนหมุนของล้อ เป็นชุดลูกปืนทำให้ล้อสามารถหมุนได้

2.1.3 ชนิดและข้อดีข้อเสียของแต่ละระบบช่วงล่าง

ระบบช่วงล่างแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือระบบช่วงล่างชนิดที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent suspension) กับ ระบบช่วงล่างชนิดที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (Non-Independent) แต่เนื่องจากระบบช่วงล่างที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีมากมายหลายชนิด โครงงานนี้จึงทำการศึกษาระบบช่วงล่างชนิดที่เป็นที่นิยมแพร่หลายในปัจจุบันเท่านั้น โดยทำการศึกษาระบบช่วงล่างชนิดอิสระต่อกัน 3 ชนิด และระบบช่วงล่างชนิดไม่เป็นอิสระต่อกัน 1 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 ระบบช่วงล่างชนิดอิสระต่อกัน (Independent suspension)

- ระบบช่วงล่างชนิดปีกนกคู่ (Double wishbone suspension)

ระบบปีกนกคู่นี้สามารถติดตั้งได้ทั้งล้อหน้าและล้อหลังโดยระบบนี้เกือบจะเป็นระบบที่สมบูรณ์ที่สุดในด้านการควบคุมมุมแคมเบอร์ ตลอด 40 ปีที่ผ่านมา ระบบนี้เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในรถ สปอร์ตและรถแข่ง ยี่ห้อรถที่ใช้ระบบนี้ได้แก่ เฟอร์รารี่, ทีวีอาร์, โลตัสและฮอนด้า

โดยส่วนประกอบจะประกอบไปด้วยแขน (Wishbone arms) 2 แขนหรือเรียกว่า เอ-อาร์ม (A-Arms) ซึ่งมีความยาวเท่ากันและวางขนาดกันอยู่ แต่จะมีปัญหาตรงที่จะเกิดการเสียดสีกันอย่างแรงตรงขอบยางทำให้วิศวกรพัฒนาระบบนี้ให้เออาร์มเปลี่ยนเป็นมีความยาวไม่เท่ากันและวางไม่ขนานกัน โดยจะทำให้แขนด้านบนเอียงดังรูปที่ 2.2

ระบบนี้เป็นที่นิยมอย่างมากในอเมริกาแต่ไม่นิยมในยุโรปเพราะว่าส่วนใหญ่รถยุโรปจะมีขนาดเล็กทำให้มีเนื้อที่ในการติดตั้งระบบนี้น้อยอีกทั้งยังมีราคาค่อนข้างแพงเมื่อเทียบกับระบบช่วงล่างชนิดแมคเพอร์สันสตรัท (McPherson strut suspension)

รูปที่ 2.2 ตำแหน่งการวางของปีกนก

ข้อดีและข้อเสียของระบบช่วงล่างชนิดปีกนกคู่

ข้อดี : มีการควบคุมมุม แคมเบอร์ที่ดีมาก, ติดตั้งได้ทั้งล้อหน้าและล้อหลัง

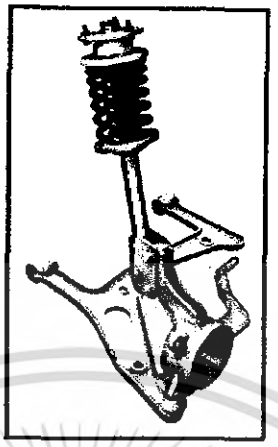
ข้อเสีย : ราคาชิ้นส่วนต่างๆแพง, ใช้กับรถเล็กๆ ไม่ได้, เมื่อรถขึ้นเนินระยะห่างล้อซ้าย-ขวาจะเปลี่ยน

- ระบบช่วงล่างชนิดแมคเพอร์สันสตรัท (McPherson strut suspension)

ระบบนี้ถูกคิดขึ้นในปี ค.ศ. 1940 โดย เอิร์ล แมคเพอร์สัน (Earl S. McPherson) โดยระบบนี้เริ่มใช้กันแพร่หลายมากขึ้นหลังจากฟอร์ดเริ่มใช้ระบบนี้ ในปี 1950 โดยระบบนี้ต่างกับระบบอื่นๆตรงที่ช็อกอับ (Shock absorber) ซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่รองรับแรงสั่นสะเทือนแล้ว ยังเป็นตัวที่สามารถควบคุมมุมของล้อ (Wheel alignments) ที่จะติดตั้งได้ด้วย ทำให้ไม่ต้องมี ปีกนกบนเหมือนกับระบบช่วงล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดปีกนกคู่ ดังรูปที่ 2.3 โดยยี่ห้อรถที่ใช้ระบบนี้ได้แก่ ฮุนได, เฟียซ, และรถขนาดเล็กที่ขับเคลื่อนล้อหน้า



รูปที่ 2.3 ระบบช่วงล่างชนิดแมคเพอร์สันสตรัท

ข้อดีและข้อเสียของระบบช่วงล่างแมคเพอร์สันสตรัท

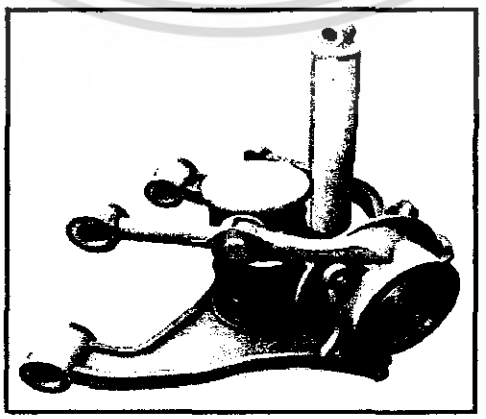
ข้อดี : ใช้เนื้อที่ในการติดตั้งน้อย, ซ่อมแซมได้ง่าย, ใช้กับรถขนาดเล็กได้, ปรับมุมล้อได้ง่าย

ข้อเสีย : นิยมติดตั้งเฉพาะด้านหน้า, มีการควบคุมมุมแคมเบอร์ไม่ดีเท่าไหร่

- ระบบช่วงล่างชนิดมัลติลิงค์ (Multi-link)

ตั้งแต่ทศวรรษที่ 80 เป็นต้นมา ระบบช่วงล่างชนิดมัลติลิงค์เริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้นเรื่อยๆจนถึงปัจจุบันเป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่น นิสสัน 200 เอสเอ็กซ์ (Nisson 200 SX), เมอร์ซิเดส เอสคลาส (Mercedes S-class) และบีเอ็มดับบิว ซีรี่ย์3 (BMW 3-Series) ฯลฯ นับได้ว่าเป็นระบบที่ทันสมัยและเป็นที่นิยมมากระบบหนึ่ง

ระบบนี้เป็นระบบอธิบายรูปแบบและส่วนประกอบได้ยากลำบากเพราะว่าโครงสร้างของระบบนี้ไม่ตายตัว ขึ้นอยู่รูปแบบและโครงสร้างของรถที่ทำการออกแบบ เช่น มัลติลิงค์ (Multi-link) ของบีเอ็มดับบิว (BMW) เป็นรูปแบบคล้ายตัวแซด (Z) ดังนั้นจึงตั้งชื่อเป็นแซดแอ็กเซิ่ล (Z-axle) เป็นต้น โดยระบบนี้เป็นระบบที่ควบคุมมุมแคมเบอร์ได้ดีระบบหนึ่งเทียบเท่ากับระบบช่วงล่างชนิดปีกนกคู่



รูปที่ 2.4 ระบบช่วงล่างชนิดมัลติลิงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีและข้อเสียของระบบช่วงล่างชนิดมัลติลิงค์

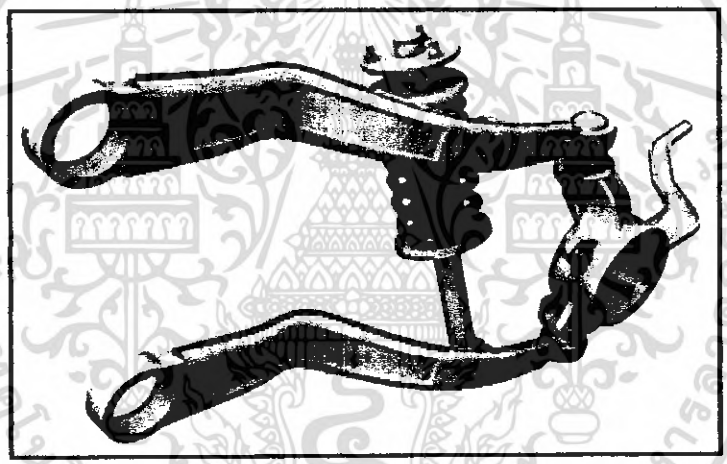
ข้อดี : ควบคุมมุมแคมเบอร์ได้ดีมาก, ให้ความนิ่มนวลสูงเพราะมีลิงค์หลายลิงค์ช่วยรับแรง

ข้อเสีย : ออกแบบได้ยาก, ติดตั้งได้แค่ล้อหลัง, ชิ้นส่วนบางชิ้นส่วนไม่สามารถสร้างขึ้นมาเองได้ทำให้ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

2.1.3.2 **ระบบช่วงล่างชนิดไม่อิสระต่อกัน** (Non-Independent suspension)

- **ระบบช่วงล่างชนิดเทรลลิ่งอาร์ม** (Trailing arm)

เป็นระบบช่วงล่างชนิดเก่า โดยนิยมใช้กันในรถราคาระดับตั้งแต่กลางถึงสูง หลังจากปี ค.ศ. 1990 ระบบช่วงล่างชนิดมัลติลิงค์ได้เข้ามา รถยนต์ส่วนใหญ่ก็หันไปใช้ระบบมัลติลิงค์กันเหลือเพียงรถยนต์ส่วนน้อยที่ใช้กัน ยี่ห้อรถยนต์ที่ใช้ระบบนี้ได้แก่ บีเอ็มดับบิว(1982 BMW 3-series) เมอร์ซิเดส (Mercedes 560SEC) และปอร์เช่ (Porsche 911)



รูปที่ 2.5 ระบบช่วงล่างชนิดเทรลลิ่งอาร์ม

ข้อดีและข้อเสียของระบบช่วงล่างชนิดเทรลลิ่งอาร์ม

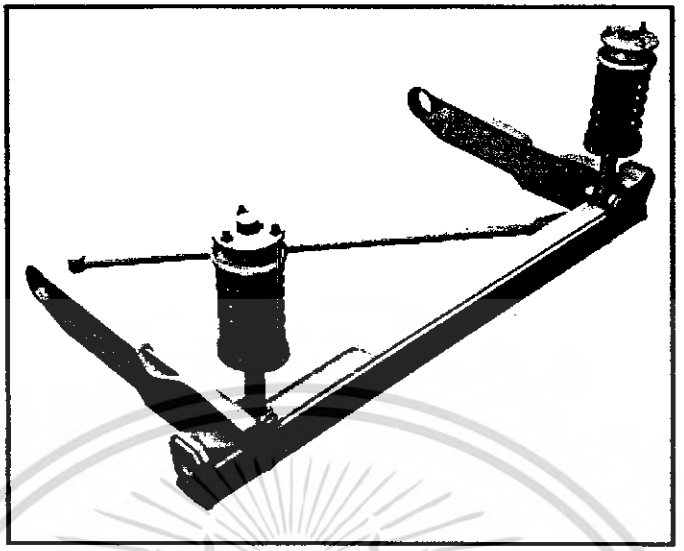
ข้อดี : เวลารถขึ้นเนินระยะห่างระหว่างล้อซ้ายกับขวาไม่เปลี่ยน, ติดตั้งได้ง่าย, ราคาถูก

ข้อเสีย : นิ่มนวลน้อยกว่าระบบช่วงล่างชนิดติลิงค์, เป็นระบบช่วงล่างชนิดไม่อิสระต่อกัน, เวลารถขึ้นเนินระยะห่างระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง (Wheel base) จะเปลี่ยน

- **ระบบะช่วงล่างแบบคานแข็ง**(Rigid axles suspension)

ระบบรองรับน้ำหนักแบบคานแข็งโดยทั่วไปมักนิยมใช้กับรถยนต์ที่มีความต้องการบรรทุกน้ำหนักมาก ดังนั้นรถยนต์ที่ใช้ระบบนี้ จึงมีลักษณะการใช้งานเป็นแบบ เพลาเดียว ทั้งล้อด้านซ้ายและขวา โดยที่ระบบรองรับจะอยู่ติดกับตัวถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ระบบช่วงล่างชนิดคานแข็ง

ลักษณะโดยทั่วไป

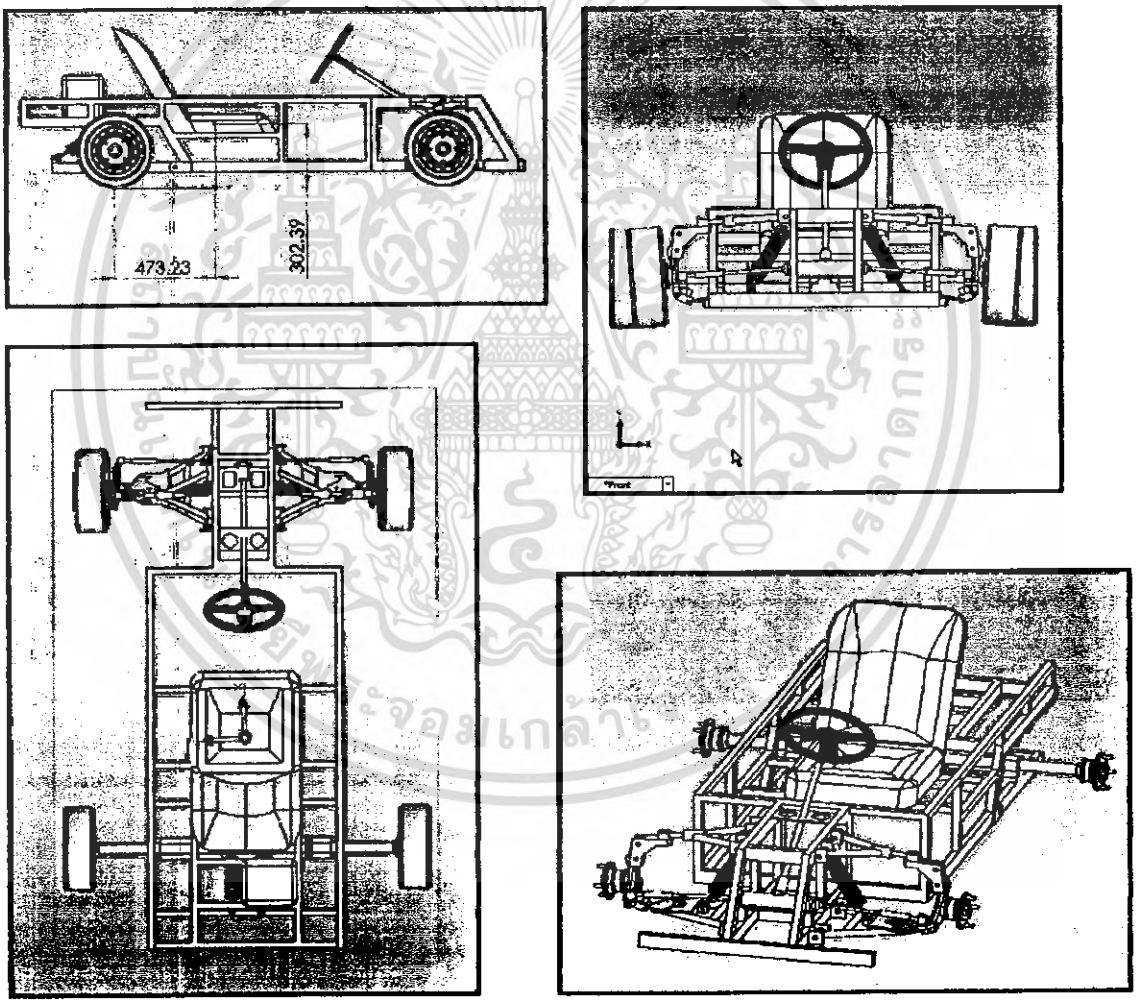
1. มีโครงสร้างแบบง่ายไม่ยุ่งยาก บำรุงรักษาง่าย
2. มีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งานหนักๆ จึงเหมาะกับการใช้งานกับรถบรรทุกหรือรถที่ใช้ในการขนส่งของหนักๆ
3. การสึกของดอกยางจะมีน้อยเนื่องจาก การเปลี่ยนแปลงศูนย์ล้อ ในขณะเคลื่อนที่ขึ้นลงเป็นไปได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น
4. การสั่นสะเทือน จะสามารถเกิดขึ้นได้อย่างง่าย เนื่องจากการเคลื่อนไหวของล้อซ้ายและขวาใช้เพลาร่วมกัน
5. การยึดกับเพลาในกรณีรถที่ไม่มีเฟืองท้ายจะใช้แบริ่งในการยึด แต่ในกรณีที่มีเฟืองท้ายการยึดกับเพลาจะยึดโดยการยึดต่อกับเฟืองท้าย
6. การติดตั้งจะติดตั้งง่ายเพราะมีจุดยึดต่อกับชุดหน้าของตัวรถเพียงจุดเดียว
7. ระบบคานแข็งส่วนมากจะเกิดการปัดได้ง่ายเพราะเป็นระบบมักจะเป็นแบบเพลาเดียวจึงส่งกำลังจากเพลาในความเร็วที่เท่ากันรถจึงเกิดการปัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 ระบบช่วงล่างที่เลือกใช้

ด้านหน้าของรถเลือกใช้ระบบปีกนกคู่เพราะว่าด้านหน้านั้นจะค่อนข้างต่ำทำให้ไม่สามารถใช้ระบบช่วงล่างแมคเพอร์สันสตรัทได้สาเหตุจากระบบช่วงล่างชนิดแมคเพอร์สันสตรัทจะมีส่วนชี้อกอัพค่อนข้างสูง และระบบนี้สนับสนุนการปรับมุมมากกว่าแมคเพอร์สันสตรัททำให้ง่ายต่อการศึกษา

ด้านหลังของรถเลือกใช้ระบบระบบคานแข็งโดยใช้สเตอร์เชื่อมต่อกับเครื่องยนต์ด้วยโซ่ส่งกำลังไปที่ล้อขวาเพียงล้อเดียวเพื่อทำหน้าที่เป็นเฟืองท้ายเวลาเลี้ยวจะไม่เกิดแรงฉุด มีน้ำหนักโดยส่วนใหญ่จะอยู่ทางด้านหลังทั้งหมด โดยระบบนี้จะมีข้อดีคือโครงสร้างแบบง่ายไม่ซุ่งยากตี่มีข้อเสียคือจะเกิดการสั่นสะเทือนได้ง่าย



รูปที่ 2.7 ภาพฉายของระบบช่วงล่างที่จำลองในโปรแกรม Solid Work

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีระบบบังคับเลี้ยว(steering theory)

2.2.1 การทำงานของระบบเลี้ยว

เมื่อเราหมุนพวงมาลัย กระปุกเฟืองพวงมาลัย(steering gear compoment)จะทำให้แขน (tie rod)แกว่งไปทั้งทางซ้ายและทางขวา การเคลื่อนที่นี้จะส่งไปยังแขนเลี้ยวล้อโดยผ่านคันส่ง (steering linkage)ขณะที่แขนเลี้ยวล้อเคลื่อนที่ จะเป็นเหตุให้ล้อบิดเลี้ยวไปทางด้านใดด้านหนึ่ง รถยนต์จึงถูกบังคับให้แล่นไปยังทิศทางที่ต้องการ การออกแบบตำแหน่งการจัดการวางเฟืองบรรทัด เมื่ออยู่ในตำแหน่งหน้าตรงตัวหนอน Drive pinion ต้องถูกควบคุมให้อยู่ในตำแหน่งปกติ (Neutral position)เมื่อ ไม่มีการหมุนพวงมาลัย การออกแบบการจัดวางเฟืองบรรทัดเมื่อหมุนเลี้ยวซ้ายหรือเลี้ยวขวาเมื่อหมุนพวงมาลัยไปทางซ้ายหรือขวา ออกแบบให้เฟืองตัวหนอนรองรับไว้ด้วยเฟืองบรรทัด ให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งความสัมพันธ์ไปในรัศมีบังคับ

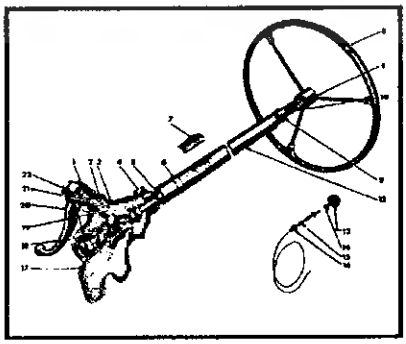
2.2.2 ความสำคัญของระบบบังคับเลี้ยว

หน้าที่สำคัญของระบบบังคับเลี้ยว พร้อมด้วยระบบรองรับก็คือ ช่วยให้การขับขี่ เกิดความสะดวกสบายในทุกสภาวะ จากย่านความเร็วต่ำไปยังความเร็วสูง ระบบส่งกำลังจะส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปขับล้อ เพื่อให้รถยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ระบบบังคับเลี้ยวจะบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถตามความต้องการ และระบบเบรกจะช่วยทำให้เกิดความมั่นใจในเสถียรภาพการทรงตัว การชะลอความเร็วและการหยุด ความสำคัญของระบบบังคับเลี้ยวมีดังนี้ ความคล่องตัวสูง เมื่อรถยนต์มีการหันเลี้ยวไปในที่แคบๆรือถนนที่คดเคี้ยว ระบบบังคับเลี้ยวต้องสามารถควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของล้อหน้าได้อย่างง่ายและคล่องตัว การคืนตัวหลังจากหันเลี้ยว ขณะรถยนต์กำลังเลี้ยว ผู้ขับขี่ต้องถือพวงมาลัยอย่างมั่นคง หลังจากการเลี้ยวอย่างสมบูรณ์แล้ว พวงมาลัยต้องมีแรงหมุนตัวคืนกลับมาสู่แนวตรงไปข้างหน้าของล้อหน้าทั้งสองต้องเกิดขึ้นอย่างคล่องตัวเสมอ เมื่อผู้ขับขี่ผ่อนแรงคลายพวงมาลัย หลังการหันเลี้ยวบังคับทิศทางการเคลื่อนที่รถยนต์

2.2.3 ระบบบังคับเลี้ยว

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

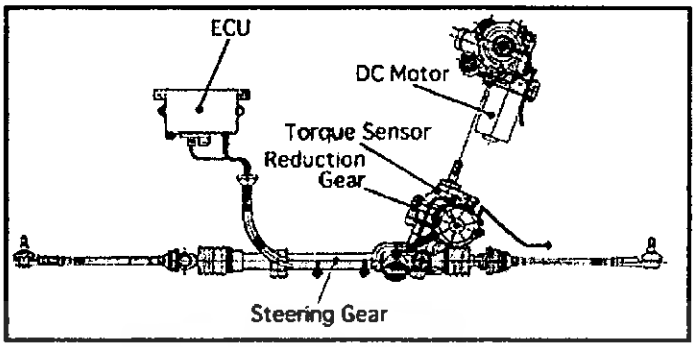
1. ระบบบังคับเลี้ยวแบบธรรมดา(Manual steering)



รูปที่ 2.8 ระบบบังคับเลี้ยวแบบธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบบังคับเลี้ยวแบบเพิ่มกำลังหรือเพาเวอร์(Power steering)



รูปที่ 2.9 ระบบบังคับเลี้ยวแบบเพิ่มกำลังหรือเพาเวอร์

2.2.4 ส่วนประกอบของระบบบังคับเลี้ยว

ส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบเลี้ยว ประกอบด้วย

1. พวงมาลัย (steering wheel) พวงมาลัยทำเป็นรูปวงกลม มีซี่พวงมาลัยเป็นตัวยึดส่วนต่างๆ ตรงกลางของพวงมาลัยทำร่องฟันเฟือง สำหรับสวมกับร่องที่แกนพวงมาลัย

2. แกนพวงมาลัย(steering shaft)แกนพวงมาลัยเป็นเพลาส่งกำลัง จากพวงมาลัยไปยังกระปุกพวงมาลัยมักออกแบบให้เป็นหลายท่อน เพื่อความสะดวกสบาย และความปลอดภัยในการขับขี่ คุณลักษณะของแกนพวงมาลัยธรรมดาเป็นกลไกการบังคับเลี้ยวพวงมาลัยประกอบด้วย แกนพวงมาลัย ส่งแรงหมุนจากพวงมาลัยไปกระปุกเฟือง แกนพวงมาลัยประกอบด้วยกลไกดูดแรงกระแทก เพื่อดูดแรงกระแทกที่เกิดขึ้น ไม่ให้ไปกระทบกระเทือนผู้ขับขี่ในขณะที่รถเกิดการชนกัน

ส่วนล่างของชุดแกนพวงมาลัยต่ออยู่กับกระปุกเฟืองพวงมาลัย โดยทั่วไปจะใช้ข้อต่ออ่อน หรือข้อต่อกากบาท เพื่อลดการสั่นสะเทือนจากสภาพถนนที่ส่งผ่านกระปุกพวงมาลัยไปยังพวงมาลัยให้น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

นอกจากนี้กลไกดูดกลืนแรงกระแทกที่แกนพวงมาลัยของรถยนต์บางรุ่น อาจมีระบบควบคุมพวงมาลัยอื่นอีกเช่น กลไกการล็อกพวงมาลัย ซึ่งจะทำให้ผู้ขับขี่ปรับระดับความสูงต่ำของพวงมาลัยได้หรือกลไกปรับตั้งพวงมาลัย ซึ่งจะทำให้ผู้ขับขี่ปรับระดับความสูงต่ำของพวงมาลัยได้ หรือกลไกปรับอาการยืดหยุ่นระยะฟรีตามแนวแกนพวงมาลัย ซึ่งจะช่วยให้เกิดความเหมาะสมในสภาพการถือพวงมาลัย

3. เฟืองพวงมาลัย (Steering gear) มีหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่จากพวงมาลัยเป็นการเคลื่อนที่โยกคันชักหรือคันส่ง และลดแรงกระแทกกลับขณะล้อหน้ากะทบสิ่งกีดขวาง

- คุณลักษณะกระปุกเฟืองพวงมาลัรถยนต์

เฟืองต่างๆในกระปุกพวงมาลัย ไม่เพียงแต่ทำหน้าที่บังคับทิศทางการเลี้ยวล้อหน้าเท่านั้น กระปุกพวงมาลัยยังทำหน้าที่ทดรอบเฟือง เพื่อทดแรงการหมุนของพวงมาลัย โดยเพิ่มแรงบิดส่งออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้มากขึ้น จะช่วยลดแรงในการหมุนพวงมาลัย แต่จำเป็นในการหมุนพวงมาลัยมากรอบขึ้น เมื่อใช้รถยนต์ทางโค้งโดยมีหลักการคือ

อัตราทดเฟืองพวงมาลัย = จำนวนองศาหมุนของพวงมาลัย / องศาการเคลื่อนที่ของแขนบังคับเลี้ยว

- ประเภทกระปุกพวงมาลัย

  -กระปุกพวงมาลัยเฟืองบรรทัด(Rack and pinion)

  -กระปุกพวงมาลัยลูกปืนหมุนเวียน(Recirculating ball)

  -กระปุกพวงมาลัยตัวหนอน(Worm type)

  -กระปุกพวงมาลัยเกรียวสกรู(Worm and Roller)

กระปุกพวงมาลัยแบ่งออกได้หลายแบบ แต่แบบที่นิยมใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันในรถนั่งเป็นแบบเฟืองสะพาน และแบบลูกปืนหมุนวน

4. คันชักคันส่ง(linkage element)

คันชักคันส่ง (Drag link) เป็นก้านต่อที่ต่อระหว่างขาไก่พวงมาลัยและคันส่งซ้ายและขวาส่งการเคลื่อนที่จากขาไก่ไปยังคันส่ง

คันส่ง(tie rod)เป็นก้านต่อส่งกำลังจากคันชักไปยังแขนบังคับเลี้ยวที่ล้อรถทั้ง 2 ข้าง ตรงกลางคันส่งเป็นปลอกคันส่งสำหรับปรับระยะศูนย์

5. ลูกหมากคันส่ง ลูกหมากคันส่งยึดติดอยู่ที่ปลายคันส่งเพื่อต่อกับคันชัก หรือแขนบังคับเลี้ยว ลูกหมากคันส่งที่ใช้ในรถยนต์นั่งใช้ชนิดที่ไม่ต้องมีการหล่อลื่น วัสดุที่ใช้ทำเป็นรองเบาะรองเป็นวัสดุทนต่อการสึกหรอ การป้องกันฝุ่นของยางกันฝุ่น จะต้องดีและจาระบีที่ใช้มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ที่หัวลูกหมากคันส่งจะมีสปริงยันเบาะรองไว้ด้วย สำหรับชดเชยการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับเบาะรองและความฝืดขั้นต้น

6. ปลอกคันส่ง(Adjust tube) ปลอกคันส่งเป็นท่อกลมมีเกลียวในหัวท้าย ด้านหนึ่งเป็นเกลียวซ้ายอีกด้านหนึ่งเป็นเกลียวขวา ตรงปลายปลอกคันส่งผ่าตามยาวเพื่อให้หมุนเกลียวปรับได้ง่าย เมื่อรัดแน่นด้วยปลอกรัดเกลียวท่ปลายคันส่งต่อเข้าเฟืองสะพานปรับระยะตั้งศูนย์ล้อ แต่ปลอกคันส่งที่ใช้กระปุกพวงมาลัยแบบลูกปืนหมุนวรนลูกหมากอยู่หัวท้าย

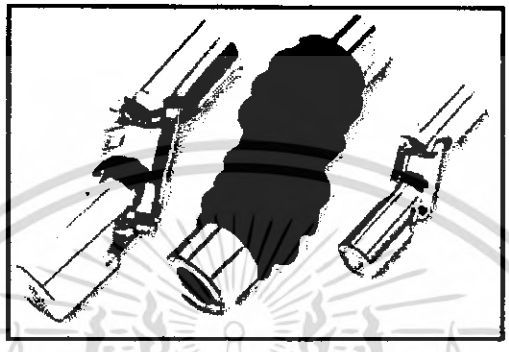
7. แขนบังคับเลี้ยว (Steering arms) แขนบังคับเลี้ยวส่งถ่ายกำลังการเคลื่อนตัวของคันส่ง หรือก้านดึงไปยังล้อหน้าโดยผ่านแกนบังคับเลี้ยว

8. แกนบังคับเลี้ยว (Steering knuckles) แกนบังคับเลี้ยวเป็นตัวส่งกำลังจากแขนบังคับเลี้ยว หน้าที่อีกอย่างหนึ่งคือหมุนเพลาของล้อแกนบังคับเลี้ยวจะหมุนโดยลูกหมาก หรือ คิงพินของระบบรองรับล้อหน้าแบบคานแข็ง

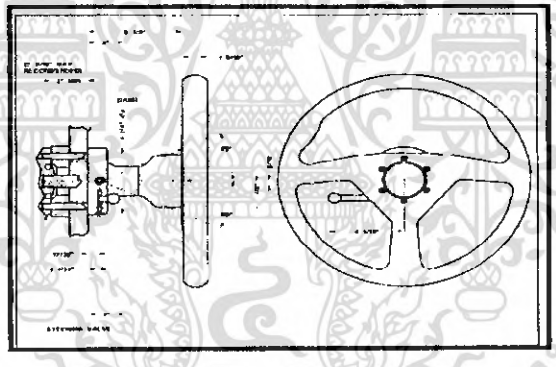
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 กลไกปรับเอนและปรับความสูงพวงมาลัย

กลไกปรับเอนพวงมาลัย ยอมให้เลือกตำแหน่งของพวงมาลัย(ในทิศทางแนวตั้ง) เพื่อให้เหมาะสมกับท่าทางการขับขี่ของผู้ขับ กลไกปรับเอนพวงมาลัยแบ่งตามตำแหน่งของจุดหมุนปรับเอน ได้ข้อต่อของแกนพวงมาลัยอยู่ภายในฝาครอบแกนพวงมาลัยใช้เป็นตัวปรับแต่งจุดหมุนขึ้นและลงของมุมแกนพวงมาลัย จำนวณการปรับเอนสามารถปรับเอนขึ้นได้มุมปรับ 9 องศาจากตำแหน่งศูนย์



รูปที่ 2.10 Universal Joint



รูปที่ 2.11พวงมาลัยที่ใช้ Universal Joint

2.2.6 การเลือกระบบบังคับเลี้ยว

การบังคับ คือ การเปลี่ยนอาการหมุนของพวงมาลัยเป็นการเคลื่อนที่หันไปมาของล้อโดยอาศัยข้อต่อบังคับเลี้ยวต่างๆ เป็นตัวส่งแรงไปเลี้ยวล้อ ทิศทางการหมุนของพวงมาลัยกับทิศทางการเลี้ยวล้อสอดคล้องไปในทางเดียวกัน คุณสมบัติบังคับเลี้ยว คือ

- มุมของการเลี้ยวต้องน้อยที่สุด
- รถต้องมีการทรงตัวที่ดี ขณะเลี้ยวโค้งและขณะรถมีความสูง
- ระหว่างการเลี้ยว ไม่ต้องออกแรงหมุนพวงมาลัยมาก
- เลี้ยวรถได้อย่างสะดวกสบาย โดยหมุนมาลัยเพียงเล็กน้อย
- มีแรงสะเทือนน้อยขณะรถผ่านสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของกระปุกพวงมาลัยแบบเฟืองสะพาน

- โครงสร้างเล็กกะทัดรัด ง่าย น้ำหนักเบา เนื่องจากกระปุกเฟืองมีขนาดเล็ก และเฟืองสะพานยังทำ
  หน้าที่เป็นคันชักคันส่งในตัว โดยไม่ต้องใช้คันชักคันส่งเหมือนแบบอื่น
- เนื่องจากฟันเฟืองขบกันโดยตรง ดังนั้นการตอบสนองในการบังคับเลี้ยวจึงมีความคล่องตัวดีมาก
- มีความต้านทานในการหมุน และอาการลื่นไถลมีน้อย รวมทั้งการส่งถ่ายแรงบิดดีดังนั้นการบังคับเลี้ยวจึงเบากว่าแบบอื่น
- การผนึกป้องกันการรั่วซึมของจารบีทำอย่างง่ายจึงบำรุงรักษาง่าย

2.3 มุมล้อหน้า

การจัดตั้งมุมล้อหน้า (Wheel alignment) มีผลทำให้การขับเลี้ยวง่าย การขับเลี้ยวทรงตัวได้ดี รถมีคุณภาพในการขับขี่ และมีผลต่ออายุของยางด้วย มุมต่างๆจะเปลี่ยนไปตามระบบแขวนล้อ การเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของตัวรถเมื่อเปรียบเทียบกับล้อ น้ำหนักบรรทุกและความเร็วของรถด้วยแรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นเมื่อรถเข้าทางโค้งมุมล้อหน้าคือมุมที่เปรียบเทียบหรือสัมพันธ์กันของล้อหน้า และล้อหน้าที่จุดสัมผัสกับผิวถนนกับพื้นถนน มุมต่างๆของล้อหน้ารถยนต์แบ่งออกหลายอย่างคือ มุมแคมเบอร์ การเอียงสลักล้อหน้า มุมแคสเตอร์ มุมโท และมุมล้อของรถยนต์ มุมต่างๆเหล่านี้จะสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ถ้ามุมหนึ่งมุมใดเปลี่ยนไปก็จะทำให้มุมอื่นๆผิดพลาดตามไปด้วย โดยโครงงานนี้ได้ทำการศึกษามุมล้อ 3 มุมด้วยกัน คือมุมแคมเบอร์ มุมแคสเตอร์ และมุมโท

2.3.1 มุมแคมเบอร์ (Camber angle)

รถยนต์ส่วนมากเมื่อยืนมองจากด้านหน้ารถเข้าไป จะเห็นว่าล้อหน้าของรถเอียงเข้าหากันและกันหรือเอียงออกจากันและกัน การเอียงของล้อรถ เรียกว่า แคมเบอร์ การวัดการเอียงของล้อนั้นวัดเป็นมุมซึ่งเรียกว่า มุมแคมเบอร์ (Camber angle) อันมีหน่วยวัดเป็นองศา มุมแคมเบอร์เป็นมุมระหว่างเส้นศูนย์กลางของดอกยางล้อรถตัดกับเส้นดิ่งบนพื้นผิวถนน โดยวิศวกรผู้ออกแบบรถยนต์จะเป็นผู้ออกแบบว่าจะให้มุมแคมเบอร์มีค่าเป็นบวกหรือลบ

2.3.1.1 ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดมุมแคมเบอร์

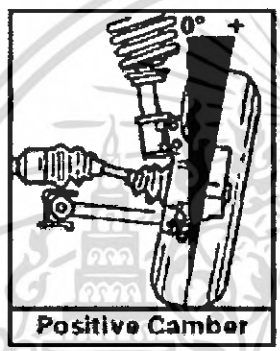
การเอียงของล้อหน้าทำได้โดยการเอียงเพลาล้อหน้า (Wheel spindle) ในรถยนต์ที่ใช้ระบบคานหน้าเป็นคานแข็งจะไม่มีการออกแบบจัดเตรียมเพื่อการปรับตั้งมุมแคมเบอร์ไว้ เพราะฉะนั้นถ้าเกิดว่ามุมแคมเบอร์เกิดการผิดพลาดขึ้น แสดงว่าเกิดการชำรุดหรือสึกหรอขึ้นที่ชิ้นส่วนดังต่อไปนี้คือ คานหน้าคด ข้อเลี้ยวล้อคด เพลาล้อคด บูชสลักล้อหน้าหลวมคลอน ส่วนในกรณีที่ระบบช่วงล่างเป็นแบบชนิดอิสระต่อกัน จะมีการออกแบบจัดเตรียมเพื่อการปรับตั้งมุมแคมเบอร์ไว้ โดยการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

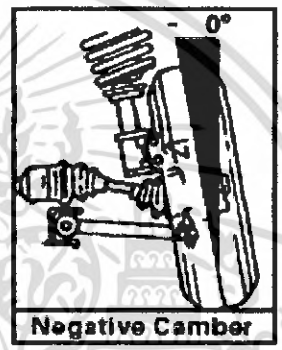
ชิ้นส่วนที่จะปรับตั้งระยะของปีกนกตัวบนหรือตัวล่างของรถโดยการใช้ลูกเบี้ยว แผ่นชิม หรือร่องสกรูยึด เป็นต้น

2.3.1.2 ลักษณะของมุมแคมเบอร์

สำหรับรถยนต์ส่วนมากในปัจจุบันและกฎเกณฑ์โดยทั่วไป การปรับตั้งมุมแคมเบอร์หรือโดยทั่วไปเรียกกันแต่เพียงว่าแคมเบอร์ ของล้อหน้าทั้งสองจาก 0° ถึง 0.5° ซึ่งถ้าแคมเบอร์ของรถได้ปรับตั้งถูกต้องตามนี้หรือถูกต้องตามที่บริษัทผลิตรถยนต์กำหนดไว้ ยางรถจะได้รับการรักษาให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้นลักษณะมุมแคมเบอร์มีอยู่ 3 ลักษณะ คือมุมแคมเบอร์เป็นศูนย์ แคมเบอร์เป็นบวก (Positive camber) และแคมเบอร์เป็นลบ (Negative camber) ตามรูปที่ 3-1



รูปที่ 2.12 มุมแคมเบอร์บวก



รูปที่ 2.13 มุมแคมเบอร์ลบ

2.3.1.3 ผลของมุมแคมเบอร์ขณะรถแล่นตรง

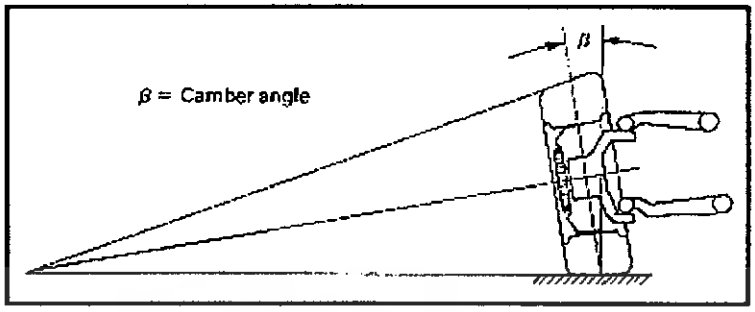
นอกจากมุมแคมเบอร์ของล้อหน้าทั้งสองจะทำงานสัมพันธ์ซึ่งกันและกันแล้ว ก็ยังจะต้องทำงานสัมพันธ์กับมุมอื่นๆของล้อมันเองด้วย ดังนั้นมุมแคมเบอร์จึงต้องได้รับการปรับตั้งอย่างถูกต้อง แต่ถ้าไม่ถูกต้องจะมีผลดังนี้คือ พวงมาลัยดึง ยางสึกหรอเร็วและลูกปืนล้อหรือลูกหมากคันส่งสึกหรอเร็ว

- พวงมาลัยดึงหรือรถแล่นแฉจากทิศทางตรง

การเอียงของล้อในขณะที่รถแล่นจะมีผลต่อการกลิ้งของล้อรถที่กลิ้งไปบนพื้นผิวถนน เพราะถ้าล้อเกิดการเอียงทำให้ยางรถอ่อนตัวมีผลให้ขนาดของยางมีรัศมีที่ไม่เท่ากันตลอดทั้งหน้ายาง ดังนั้นผลของเส้นผ่านศูนย์กลางกลิ้ง (Rolling diameter, รูปที่ 2.12) ของล้อในแต่ละจุดที่มีขนาดไม่เท่ากันเกิดการกลิ้งไปในลักษณะของกรวย คือการหมุนของกรวยจะกลิ้งไปเป็นวงกลมรอบจุดยอดของกรวย ในทำนองเดียวกันการเอียงของล้อจะทำให้ล้อหมุนกลิ้งไปในทิศทางที่ไม่ตรงกับทิศทางตรงของรถ ยิ่งล้อรถมีมุมแคมเบอร์มากขึ้นเท่าใดหรือมีมุมแคมเบอร์โตเกินไป จะทำให้ล้อเกิดการดึงออกจากทิศทางตรงมากขึ้นเท่านั้นดังนั้นถ้าล้อหน้าทั้งสองของรถมีมุมแคมเบอร์ไม่เท่ากัน ล้อที่มีมุมแคมเบอร์มากกว่าจะดึงให้รถยนต์แฉไปทางด้านนั้น ทำให้คนขับรถจะต้องดึงพวงมาลัยเพื่อให้รถแล่นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลอดเวลาหรือถ้าปล่อยมือจากพวงมาลัยรถยนต์จะแล่นแฉไปทางด้านล้อหน้าที่มีมุมแคมเบอร์มากกว่าเสมอ



รูปที่ 2.14 เส้นผ่านศูนย์กลางกลิ้ง (Rolling diameter)

- ยางสึกหรอเร็วผิดปรกติ

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

รูปที่ 2.15 รูปแบบของการสึกหรอของยางเนื่องมาจากมุม แคมเบอร์

- ลูกปืนและลูกหมากคันส่งสึกหรอเร็วผิดปรกติ

จากการที่ล้อรถยนต์ที่มีมุมแคมเบอร์โตเกินกว่าปรกติ ทำให้ล้อกลิ้งไปในทิศทางที่โค้งออกจากแนวตรงจึงมีผลให้ลูกหมากคันส่งต้องรับแรงที่จะต้องบังคับล้อสูงขึ้นกว่าปรกติจึง ทำให้ลูกหมากเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสึกหรอเร็วยิ่งขึ้น พร้อมกันนั้นการที่ล้อเอียงเกินปรกติทำให้ลูกปืนล้อต้องรับแรงไม่ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้จึงมีโอกาสสึกหรอเร็วขึ้นด้วย

2.3.1.4 ผลของมุมแคมเบอร์ขณะรถแล่นบนทางเอียง

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

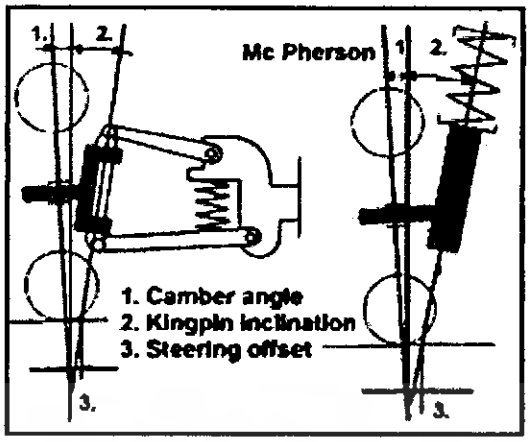
2.3.1.5 ผลของมุมแคมเบอร์ขณะรถแล่นทางโค้ง

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

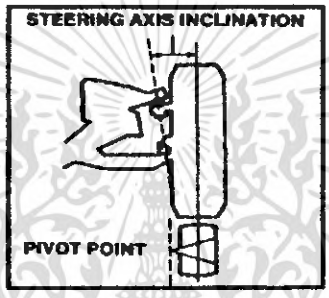
2.3.2 มุมเอียงของสลักล้อหน้า

มุมเอียงของสลักล้อหน้า (King pin) คือมุมที่สลักล้อหน้าหรือแนวศูนย์กลางของลูกหมากเอียงออกจากแนวดิ่งเข้าไปข้างใน มุมเอียงของสลักล้อหน้าจะร่วมกับมุมแคสเตอร์ช่วยทำให้เกิดเสถียรภาพในการบังคับทิศทาง มุมเอียงสลักล้อหน้ากับมุมแคสเตอร์จะร่วมกันทำให้จุดศูนย์กลางการเลี้ยวของยางอยู่บนถนนและทำให้แรงดันขึ้นข้างบนที่กระทำกับแกนล้อ (stub axle) ใกล้เคียงกับจุดศูนย์กลางของสลักล้อหน้ามาก ผลรวมของมุมแคมเบอร์กับมุมเอียงของสลักล้อหน้าเรียกว่ามุมรวม (Included angle) มุมเอียงของสลักล้อหน้าของรถยนต์สมัยใหม่มีค่าอยู่ระหว่าง 4 ถึง 8 องศาเซลเซียส

72036
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 มุมเอียงของสลักล้อหน้า ของปีกนกคู่และแมคเพอร์สันสตรัท



รูปที่ 2.17 ลักษณะของมุมเอียงสลักล้อหน้า

2.3.2.1 วัตถุประสงค์ของการจัดมุมเอียงของสลักล้อหน้า

- ลดความต้องการมุมแคมเบอร์มากเกินไป

จากการที่มุมแคมเบอร์มากเกินไป จะมีผลเสียต่อการสึกหรอของดอกยางรถยนต์ และการหมุนในลักษณะกรวยของล้อทำให้แล่นไปในแนวทางโค้งซึ่งเป็นผลให้เกิดแรงดึงพวงมาลัย อันเป็นผลเสียของมุมแคมเบอร์ที่มากเกินไป ดังนั้นเมื่อทำการเอียงแกนเลี้ยวล้อแล้วก็ไม่จำเป็นต้องมีความต้องการที่จะออกแบบให้มีมุมแคมเบอร์มากๆ

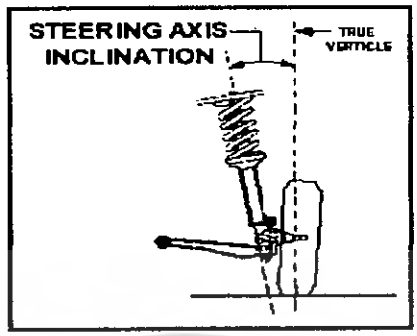
- กระจายน้ำหนักรถที่ตกบนพื้นถนนให้ใกล้จุดศูนย์กลางของผิวสัมผัสของยางกับผิวถนน

จากการที่สามารถลดมุมแคมเบอร์ลงหรือให้มุมแคมเบอร์เป็นศูนย์ได้นั้น ทำให้ยางรถยนต์ตั้งอยู่ในแนวดิ่งดอกยางก็จะสัมผัสอย่างเต็มหน้ากับผิวถนน ดังนั้นจุดรวมของน้ำหนักของรถที่ดอกยางสัมผัสกับผิวถนนจะกระจายอยู่ ณ จุดศูนย์กลางของดอกยางหรือใกล้จุดศูนย์กลางมากที่สุด

2.3.2.2 ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดมุมเอียงของสลักล้อหน้า

เส้นศูนย์กลางของสลักล้อหน้าหรือเส้นตรงที่ผ่านจุดศูนย์กลางของลูกหมากปีกนกทั้งตัวบนและตัวล่าง เรียกว่า แกนเลี้ยวล้อ เพราะเป็นเส้นแกนอันเป็นจุดหมุนของล้อขณะที่บิดเลี้ยวเพื่อการบังคับเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

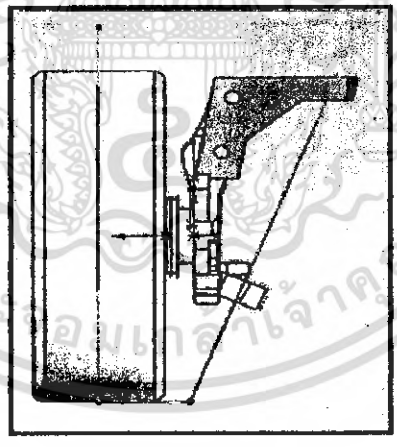


รูปที่ 2.18 มุมเอียงแกนเลี้ยวล้อ

2.3.3 รัศมีหมุนเลี้ยวและแกนหมุนเลี้ยว

- รัศมีมุมเลี้ยว(Srcub radius)

รัศมีหมุนเลี้ยว คือระยะห่างระหว่าง เส้นศูนย์กลางยางสัมผัสถึงเส้นศูนย์กลางแกนหมุนเลี้วที่ลากมาสัผัสพื้นนั้น ถ้ารัศมีหมุนเลี้ยวยิ่งยาวแขนของแรงหมุนเลี้ยวจะยิ่งยาวขึ้น แรงที่กดที่จุดสัมผัสแกนบังคับเลี้ยวกับหัวคานจะมาก บังคับเลี้ยวหนัก ล้อที่มีมุมแคมเบอร์ลบ รัศมีหมุนเลี้ยวจะสั้น บังคับเลี้ยวได้เบา



รูปที่ 2.19 รัศมีมุมเลี้ยว

- หน้าที่รัศมีหมุนเลี้ยว

รัศมีหมุนเลี้ยวจะมีหน้าที่คือ

1) ลดแรงบังคับเลี้ยวลง

2) เพื่อป้องกันล้อสั่น

3) ให้รถเคลื่อนที่คงทิศทางตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

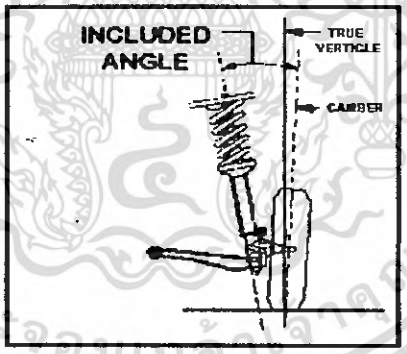
รัศมีหมุนเลี้ยว บวก ทำให้ขับขี่คงทิศทางตรง ทำได้ยากเพราะเกิดแรงที่กระทำล้อด้านใน ส่งผลกระทบเช่นเดียวกับ มุมโทเอาท์ชั่วขณะ ทำให้รถ ส่าย ควบคุมพวงมาลัยได้ยาก หาก ประสิทธิภาพ เบรกทุกล้อ ไม่เท่ากัน เบรกจะปัด จะมีผลกระทบต่อระบบบังคับเลี้ยว เพราะแขนของแรงยาวเมื่อแรงกระทำรถจะลื่นไถลได้ง่าย

รัศมีหมุนเลี้ยวลบ ทำให้การขับขี่ มีแรงเสียดทานมากระทำที่ยางทางด้านนอก ส่งผลให้ล้อเกิดโมเมนต์ ทำให้ล้อ ส่งผลกระทบเช่นเดียวกับเกิดมุมโทอิน ทำให้ยางสึกทางนอก รัศมีมุมเลี้ยวลบ ยังทำให้เกิดความมั่นคงการวิ่งทางตรง

รัศมีมุมเลี้ยว ศูนย์ ไม่ส่งผลใดๆ ต่อระบบเลี้ยว ทำให้ไม่เกิดแรงกระทำที่ยาง ทำให้ยางสึกหรอเท่ากัน หน้ายางสัมผัสกับพื้นถนน ได้มาก ซึ่งเป็นความต้องการในปัจจุบัน เพราะ เพื่อเสถียรภาพในการขับขี่ เช่นในกรณีที่ยางระเบิด จะไม่เกิดโมเมน ที่กระทำต่อล้อ ทำให้รถไม่มีการปัด

2.3.4 มุมรวม (Included angle)

มุมรวมเป็นผลรวมของมุมแคมเบอร์กับมุมเอียงแกนเลี้ยวล้อ รถยนต์ที่มีมุมแคมเบอร์เป็นบวกจะมีมุมรวมโตกว่ามุมเอียงแกนเลี้ยวล้อแต่ในกรณีที่รถยนต์ออกแบบให้มุมแคมเบอร์เป็นลบจะมีค่ามุมรวมเล็กกว่ามุมเอียงเล็กน้อย



รูปที่ 2.20 มุมรวม

2.3.5 มุมแคสเตอร์ (Caster angle)

เมื่อมองจากด้านข้างของรถยนต์เข้าไปที่ล้อหน้าแกนเลี้ยวล้อจะเอียงจากแนวดิ่งโดยปลายบนของแกนเลี้ยวล้อจะเอียงไปทางด้านหน้าหรือทางด้านหลังของตัวรถ ลักษณะการเอียงของแกนเลี้ยวล้อนี้ทำให้เกิดมุมแคสเตอร์ขึ้น โดยมุมแคสเตอร์คือมุมระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางล้อที่ตั้งในแนวดิ่งตัดกับเส้นศูนย์กลางของแกนเลี้ยวล้อ

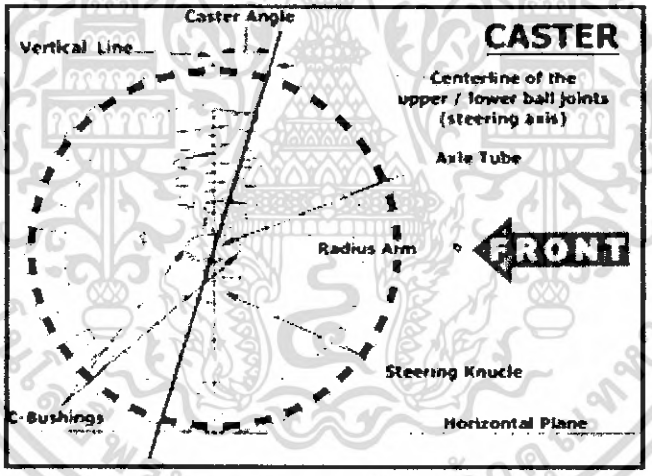
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5.1 ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดมุมแคสเตอร์

รถยนต์ปัจจุบันได้รับการออกแบบสร้างจากบริษัทผู้ผลิต โดยใช้เครื่องมือกลพิเศษที่ออกแบบเฉพาะแต่ละงานหรือชิ้นส่วนและข้อเลี้ยวล้อ (Steering knuckle) ซึ่งทำขึ้นโดยวิธีกดขึ้นรูป (Forging) แล้วจึงนำไปผ่านเครื่องมือกล ดังนั้นในการออกแบบติดตั้งตัวยึดข้อเลี้ยวล้อและเพลาล้อหน้าเข้ากับคานหน้าโดยใช้สลักล้อหน้าหรือลูกหมากปีกนก จึงสามารถทำได้เที่ยงตรง เพราะมีเครื่องมือกลและเครื่องมือวัดที่ทันสมัยในรถยนต์ที่ใช้ปีกนกการยึดติดปีกนกเข้ากับคานหน้าก็สามารถปรับตั้งตำแหน่งเพื่อปรับมุมแคมเบอร์ได้ ถ้าไม่อยู่ที่ปีกนกตัวบนก็จะอยู่ที่ปีกนกตัวล่างตัวใดตัวหนึ่ง ในการปรับตำแหน่งของปีกนกอาจจะใช้แผ่นชิมรอง ลูกเบี้ยวหรือหนวดกุ้ง (Strut rod) ยึดปีกนกตัวล่าง ส่วนในรถยนต์ที่คานหน้าเป็นแบบคานแข็งก็มีลิ่มรองอยู่ใต้แผ่นแหนบ

2.3.5.2 ลักษณะของมุมแคสเตอร์

มุมแคสเตอร์มีลักษณะเป็นทั้งบวก ศูนย์และลบขึ้นอยู่การออกแบบรถ ที่จะใช้ตามลักษณะหรือแบบของรถ เช่น รถยนต์นั่งขนาดเล็ก รถยนต์นั่งมีระบบพวงมาลัยกำลัง หรือรถบรรทุกเป็นต้น

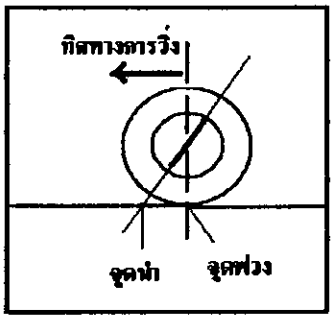


รูปที่ 2.21 มุมแคสเตอร์

- มุมแคสเตอร์ศูนย์ (Zero caster)

จากรูปที่ 2.21 ถ้ามุมแคสเตอร์เป็นศูนย์ จุดนำกับจุดพ่วงจะอยู่ที่เดียวกันมีผลทำให้ล้อไม่เกิดการโน้มเอียงที่จะเลี้ยวไปในทิศทางใด ดังนั้นล้อก็ไม่มีความมั่นคงในทิศทางด้วยเหมือกันแต่ในการใช้แรงหมุนพวงมาลัยไม่จำเป็นต้องออกแรงมากนัก

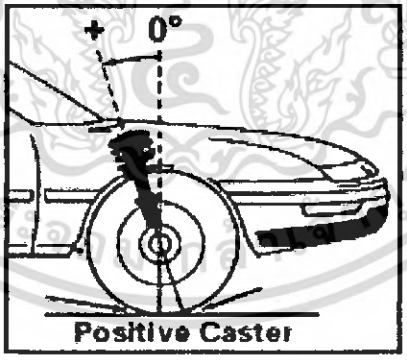
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 จุดนำและจุดพ่วง

- มุมแคสเตอร์บวก (Positive caster)

เป็นมุมของแกนเลี้ยวล้อที่เอียงไปทางด้านหลังของรถ ขณะที่ล้อเลี้ยวออกจากแนวเส้นตรง จุดนำหรือจุดศูนย์นำจะไม่อยู่บนเส้นทิศทางแล่นของรถ ทำให้เกิดแรงจากการเลี้ยว (Turning force) ขึ้นซึ่งเป็นผลให้เกิดโมเมนต์ที่จะทำให้เกิดการจัดตั้งศูนย์ล้อด้วยตัวเอง (Self aligning torque) อันทำให้ล้อมีแนวโน้มที่จะรักษาล้อให้อยู่ในตำแหน่งแล่นตรงไปข้างหน้าแต่ต้องใช้แรงพยายามในการหมุนพวงมาลัยหรือขับรถเกินความเป็นจริงเช่น เมื่อขณะรถแล่นทางโค้งจะต้องใช้แรงจับยึดพวงมาลัยมากโดยการที่รถมีมุมแคสเตอร์มากเกินไปจนเป็นสาเหตุให้รถยนต์เกิดการเต้น และกระดอนจากการไม่เรียบของถนน แต่ก็เป็นผลดีในกรณีที่รถยนต์แล่นที่ความเร็วสูงๆ เพราะจะไม่ทำให้หัวรถส่ายไปมาทางด้านข้าง



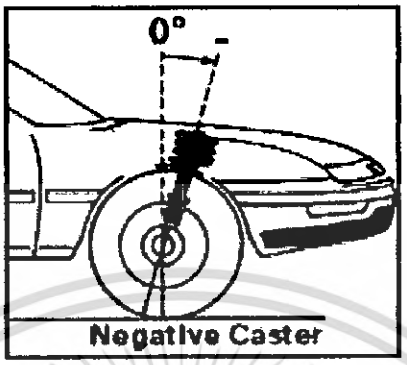
รูปที่ 2.23 มุมแคสเตอร์บวก

- มุมแคสเตอร์ลบ (Negative caster)

เป็นมุมของแกนเลี้ยวล้อที่เอียงไปทางด้านหน้าของรถ การที่รถยนต์มีมุมแคสเตอร์เป็นลบนี้จะทำให้แรงเลี้ยวล้อและจุดพ่วงอยู่นำหน้าจุดนำ เป็นผลทำให้ล้อพยายามที่จะเลี้ยวอยู่ตลอดเวลาเพราะแรงเลี้ยวล้อที่เกิดขึ้นจะพยายามไปอยู่ด้านหลัง ประเภทของรถยนต์ที่ใช้มุมแคสเตอร์ลบได้แก่รถยนต์ที่มีความมั่นคงในทิศทางมากเกินไปคือรถที่พวงมาลัยกลับที่เดิมเร็วเกินไปเมื่อผ่านทางโค้ง และรถยนต์ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขับเคลื่อนล้อหน้าเพราะจุดสัมผัสของยางกับพื้นถนนเป็นจุดที่ล้อหมุนตะกุยให้เกิดการขับเคลื่อนหรือจุดนำนั่นเอง



รูปที่ 2.24 แคสเตอร์ลบ

2.3.5.3 ผลของมุมแคสเตอร์ขณะรถแล่นบนทางเอียง

ขณะที่รถยนต์แล่นบนทางเอียง รถจะถูกดึงไปทางที่เอียงต่ำกว่าหรือให้รถตกจากถนน ดังนั้นการจัดมุมแคสเตอร์ก็สามารถที่จะช่วยแก้อาการที่รถถูกดึงได้ โดยการปรับตั้งมุมแคสเตอร์ของล้อหน้าซ้ายให้มากกว่ามุมแคสเตอร์ของล้อหน้าขวาประมาณ 0.5 องศา โดยการแก้ปัญหานี้ด้วยมุมแคสเตอร์จะดีกว่าการแก้โดยมุมแคมเบอร์ซึ่งจะมีผลต่อการสึกหรอของดอกยาง

2.3.5.4 ผลของมุมแคสเตอร์ไม่ถูกต้อง

- มุมแคสเตอร์ไม่เท่ากันเป็นสาเหตุให้รถแล่นดึงออกไปทางด้านข้างหรือแล่นเฉไปทางที่มีมุมแคสเตอร์เป็นบวกน้อยกว่า

-มุมแคสเตอร์น้อยเกินไปเป็นสาเหตุให้รถแล่นหัวรถส่ายไปมา หรือเฉไปเฉมา ไม่ตรงทิศทาง

-มุมแคสเตอร์น้อยเกินไปเป็นสาเหตุให้รถยนต์แล่นไม่มีความมั่นคงในทิศทางที่ความเร็วสูงๆ

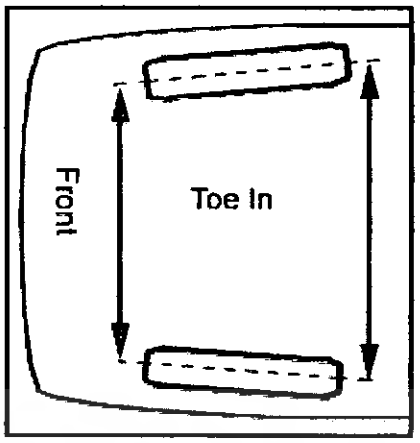
- มุมแคสเตอร์มากเกินไปเป็นสาเหตุให้พวงมาลัยหนัก

- มุมแคสเตอร์มากเกินไปเป็นสาเหตุให้รถเต้น และกระดอนตามสภาพของถนน

2.3.6 ระยะโทของล้อหน้า (Toe)

ตามทฤษฎีแล้วล้อหน้ารถยนต์ต้องขนานกัน เมื่อรถแล่นตรงไปข้างหน้า แต่เมื่อใช้งานจริงๆและจากการที่ล้อรถยนต์จะต้องจัดมุมต่างๆหลายมุม จึงเป็นผลให้การจัดล้อหน้าตามปรกติต้องออกจากแนวขนานเล็กน้อย การจัดมุมล้อในลักษณะนี้เรียกว่า ระยะโทของล้อหน้า หมายถึงความแตกต่างของระยะห่างระหว่างด้านหน้าและด้านหลังของล้อหน้าที่นำมาหักลบกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 มุมโท

2.3.6.1 วัตถุประสงค์ของการจัดระยะโทของล้อหน้า

ระยะโทของล้อหน้าจัดว่าเป็นการปรับตั้งตำแหน่งของล้อหน้าอย่างหนึ่งเมื่อพูดถึงศูนย์ล้อหน้ารถยนต์ดังนั้นการที่รถยนต์มีระยะโทเกิดขึ้นก็เพื่อ การหลีกเลี่ยงการสึกหรอของยางเร็วกว่าปรกติและการทำงานร่วมกันกับมุมแคมเบอร์

- การหลีกเลี่ยงการสึกหรอของยางเร็วกว่าปรกติ

เพื่อให้ล้อหมุนกลิ้งไปข้างหน้าในทิศทางเดียวกัน เพื่อหลีกเลี่ยงการที่ยางถูไปบนทางแล่น และเพื่อเป็นการรักษาระยะโทของล้อหน้าขณะรถแล่นให้เป็นศูนย์ จึงจำเป็นที่จะต้องตั้งให้ล้อเอียงเข้าหากันเล็กน้อยในขณะที่รถอยู่กับที่ อันเป็นการแก้หรือการทดแทนสำหรับการหันเหของล้อที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานของล้อบนผิวถนนและแรงที่เกิดจากการเบรก ซึ่งแรงเสียดทานของล้อบนผิวถนนและแรงเบรกนี้จะทำให้เกิดเป็นโมเมนต์ อันเป็นแนวโน้มที่ทำให้ล้อหน้าเกิดการออกทางข้างหน้าให้ล้อแล่นแยกออกจากัน

- การทำงานร่วมกันกับมุมแคมเบอร์

ดังที่ทราบแล้วว่าล้อหน้ารถยนต์ถ้ามุมแคมเบอร์มีค่าเป็นบวกจะทำให้ล้อหน้าแล่นออกจากันเปรียบเสมือนการกลิ้งของกรวยดังนั้นเมื่อจัดตั้งระยะโทให้ข้างหน้าแคบเข้าก็จะเป็นผลให้ล้อแล่นเข้าหากัน เมื่อปรับตั้งระยะโทสัมพันธ์กับมุมแคมเบอร์ก็จะเป็นผลให้ล้อแล่นตรงไปข้างหน้าตามทิศทางแล่นของรถ

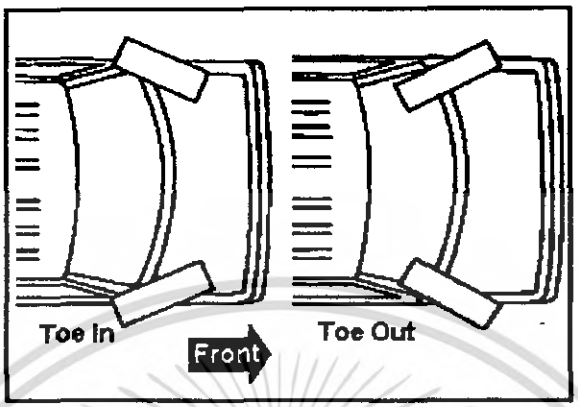
2.3.6.2 ชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดระยะโทของล้อหน้า

โดยปรกติล้อหน้าทั้งสองจะทำงานในการเลี้ยวล้อไปด้วยกันเพื่อเลี้ยวรถ โดยมีคันส่ง (Steering rack) เป็นตัวต่อเชื่อมให้ล้อทั้งสองทำงานไปพร้อมๆกัน ณ ที่คันส่งนี้จะสามารถปรับความสั้นยาวของคันส่งได้ ดังนั้นในการปรับให้คันส่งยาวออกหรือสั้นเข้า หมายถึงการปรับระยะโทของล้อตามลักษณะที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6.3 ลักษณะของระยะโทล้อหน้า

โดยทั่วไประยะโทของล้อหน้าเป็นโทอิน แต่ในรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยล้อหน้าจะกำหนดให้ล้อหน้ามีโทเป็นศูนย์หรืออาจจะเป็นโทเอาท์



รูปที่ 2.26 ลักษณะของมุมโท

- โทอิน (Toe-in)

ระยะโทของล้อหน้าเป็นโทอินหมายถึงลักษณะของล้อหน้าทั้งสองที่มีระยะห่างด้านหน้าสุดน้อยกว่าระยะห่างหลังสุดของล้อหน้า

- โทเป็นศูนย์ (Toe zero)

หมายถึงระยะระหว่างความห่างของล้อหน้าทั้งด้านหน้าสุดและหลังสุดมีค่าเท่ากัน ซึ่งความต้องการอันแท้จริงคือรถยนต์จะต้องมีระยะโทของล้อหน้าขณะรถแล่นเป็นศูนย์ เพื่อต้องการให้ล้อรถยนต์ทุกๆ ล้อขนานแก่กันและกัน แต่ในทางปฏิบัติจะทำการปรับตั้งระยะโทของล้อหน้าให้เป็นโทอินเมื่อรถหยุดอยู่กับที่ โดยปรกติรถยนต์ที่ขับเคลื่อนล้อหน้าจะตั้งระยะโทเป็นศูนย์หรือเป็นโทอินเพียงเล็กน้อย

- โทเอ้าท์ (Toe-out)

คือล้อหน้าของรถยนต์ที่มีระยะห่างของล้อหน้า ด้านหน้าสุดกว้างกว่าด้านหลังสุด ปรกติโทเอ้าท์จะเกิดขึ้นจากการชำรุดเสียหายของชิ้นส่วนของระบบขับเลี้ยวและระบบช่วงล่างด้านหน้า อันซึ่งไม่เป็นปรารถนาของรถยนต์ เพราะจะมีผลทำให้รถแล่นแล้วหัวรถส่ายไป-มาไม่สามารถแล่นตรงทางไปข้างหน้าได้คนขับจะต้องคอยควบคุมให้รถแล่นตรงไปข้างหน้าตลอดเวลา

2.3.6.4 ผลจากระยะโทไม่ถูกต้อง

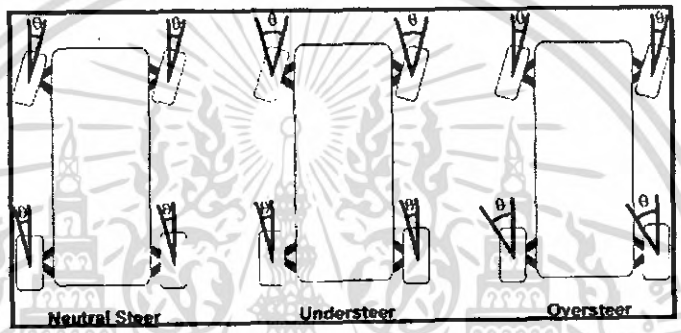
- ทำให้ดอกยางสึกเร็วเกินไป
- รถมีระยะโทเอ้าท์ทำหัวรถแล่นแฉไปทางด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

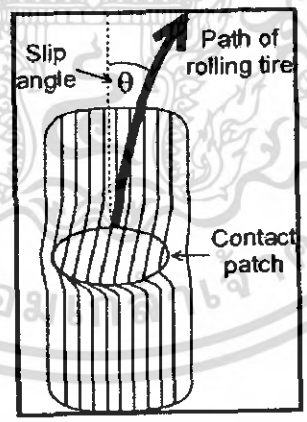
2.3.7 การลื่นไถลของล้อรถขณะเร่งเข้าโค้ง

ความสัมพันธ์ของมุมต่างๆ ที่ช่วยให้การขับขี่คงตัวด้วยความปลอดภัยยางรถยนต์เกาะถนนได้ดี ขณะเลี้ยวโค้ง และยางสึกหรอไม่ผิดปรกติ ขณะเร่ง ล้อหน้าเลี้ยวโค้ง มีแรงดันข้างทำให้ยางบิดตัวไปจากรอยสัมผัสผิวถนน เป็นมุมไถลลื่น (Slip Angle) ล้อหน้าและล้อหลังซึ่งจะเกิดไม่เท่ากัน ลักษณะดังนี้

- ไถลลื่นล้อหน้า (Under steer) คือ ล้อหน้าไถลลื่นมากกว่าล้อหลัง
- ไถลลื่นล้อหลัง (Over steer) คือ ล้อหลังไถลลื่นมากกว่าล้อหน้า
- ไถลลื่นสมดุล (Neutral steer) คือ ล้อหน้าล้อหลังไถลลื่นเท่ากัน



รูปที่ 2.27 ลักษณะของ slip angle



รูปที่ 2.28 ลักษณะของลายยางที่เกิด slip angle

- การไถลลื่นล้อหน้า

การลื่นไถลล้อหน้า หรือเรียกว่า หลุดโค้ง คือ อาการที่เกิดขึ้นเมื่อรถยนต์เลี้ยวได้น้อยกว่าที่ผู้ขับคาดการณ์ไว้ หรือ กล่าวอีกอย่างว่า รถจะพยายามไถลออกนอกทางโค้ง เมื่อขับด้วยความเร็วสูง น้ำหนักกดลงล้อหน้ามากจนคุณสมบัติ ของระบบขับล้อหน้าจะผลักศูนย์ถ่วงในแนวตรง ซึ่งทำให้เกิดการหมุนไถลมากขึ้น ที่ล้อหน้า มากกว่าล้อหลัง เป็นเหตุให้ล้อหน้า ลื่นออกนอกโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **การไถลลื่นล้อหลัง**

  รถไถลลื่นล้อหนังหรือเรียกว่าเข้าโค้งมาก คือ อาการที่เกิดการเลี้ยวมากกว่าที่ตั้งใจเลี้ยวล้อหลังพยายามไถลลื่นออกนอกทางโค้ง เป็นเหตุให้ล้อหน้าเลี้ยวมากเกินไป อันเป็นคุณสมบัติของระบบ ขับล้อหลัง

  รัศมีการเลี้ยวและการไถลด้านข้าง

- **การลื่นไถลด้านข้าง**

  การลื่นไถลด้านข้าง คือ ระยะทางที่ล้อ ซ้ายและขวาเลื่อนออกด้านข้างขณะที่ขับรถยนต์ การลื่นไถลวัดได้ด้วย เครื่องทดสอบการลื่นไถล ในระหว่างการขับขี่ทางตรงไปข้างหน้า สาเหตุของความผิดปรกติของการลื่นไถล ส่วนใหญ่เกิดจากมุม แคมเบอร์ หรือ โทอิน ไม่ถูกต้อง ซึ่งมีผลถึงมุม แคสเตอร์ และมุม แกนล้อหน้าด้วย

2.3.8 **รัศมีการเลี้ยว** (Turning radius)

ถ้าล้อหน้าด้านซ้ายและขวา หันเลี้ยวด้วยรัศมีเท่ากัน (นั่นคือมุมเลี้ยวของล้อซ้าย กับขวาเท่ากัน) ล้อแต่ละล้อจะหมุนรอบจุดหมุนเลี้ยว คนละจุด ทำให้ การเลี้ยวเป็นไปอย่างไม่คล่องตัวอันเกิดมาจาก การลื่นไถลด้านข้าง (Side slip) ของยาง

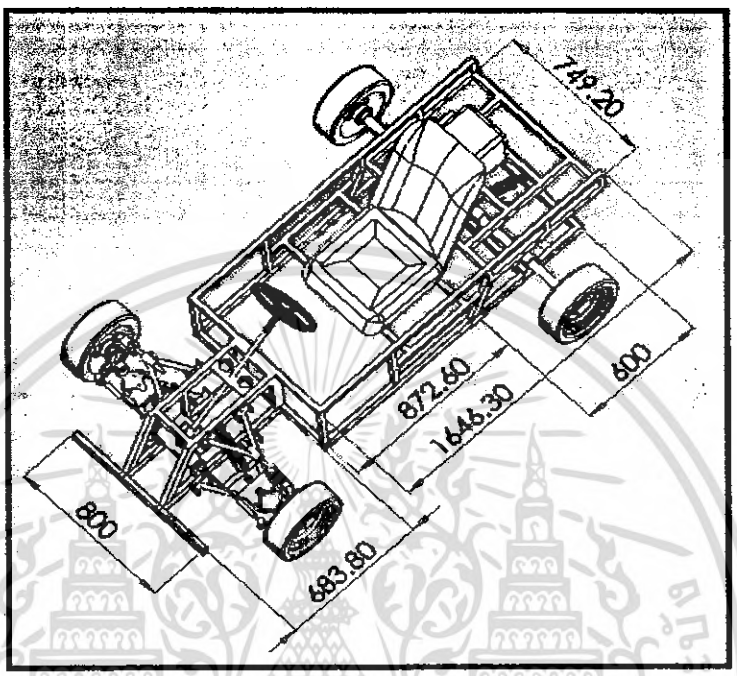
เพื่อป้องกันการเลี้ยวไม่คล่องตัวแขนสลักล้อและคันส่งจึงจัดเอาไว้เพื่อทำให้เกิดมุมโทเอาท์ เล็กน้อนในขณะเลี้ยว ทำให้ล้อด้านในเลี้ยวด้วยมุมที่มากกว่าล้อด้านนอก ล้อทั้งสองจึงมีศูนย์กลางการเลี้ยวเป็นจุดเดียวกันแต่รัศมีเลี้ยวต่างกัน

การลื่นไถลด้านข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและคำนวณ



รูปที่ 3.1 รถที่ออกแบบในโปรแกรม Solid Work

3.1 เงื่อนไขพื้นฐานสำหรับการกลิ้งอย่างแท้จริงของล้อ

ในขณะที่รถยนต์เลี้ยวล้อหน้าทั้งซ้ายและขวาจะหมุนในลักษณะที่สัมพันธ์กัน นอกจากนี้ แนวแกนล้อหน้าทั้งคู่จะต้องไปตัดกับแนวแกนล้อหลังที่จุดเดียวกันเพื่อขจัดการเลื่อนไถลทางด้านข้าง และทำให้ล้อทั้งหมดเกิดการกลิ้งไปอย่างแท้จริงตามเงื่อนไขพื้นฐานดังกล่าว ล้อหน้าทั้งสองจะต้องหมุนรอบจุดศูนย์กลางร่วมจุดเดียวกันซึ่งจุดศูนย์กลางนี้เป็นจุดศูนย์กลางหมุนชั่วขณะ (Instantaneous center) เนื่องจากแนวแกนล้อหลังอยู่คงที่ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าจุดศูนย์กลางร่วมจุดนี้จะต้องยืดออกนอกตัวรถ

O คือ จุดศูนย์กลางการหมุนชั่วขณะในขณะที่รถยนต์เลี้ยว

θ คือ มุมของ Inside lock

ϕ คือ มุมของ outside lock

C คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางระหว่างสลักล้อทั้งสองข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D คือ ความยาวของคันชักคันส่ง

A คือ ระยะห่างระหว่างล้อแต่ละข้างบนเพลาล้อเดียวกัน

B คือ ระยะฐานล้อของรถยนต์

X คือ ระยะจากจุดศูนย์กลางของสลักด้านในโค้งถึงจุด o

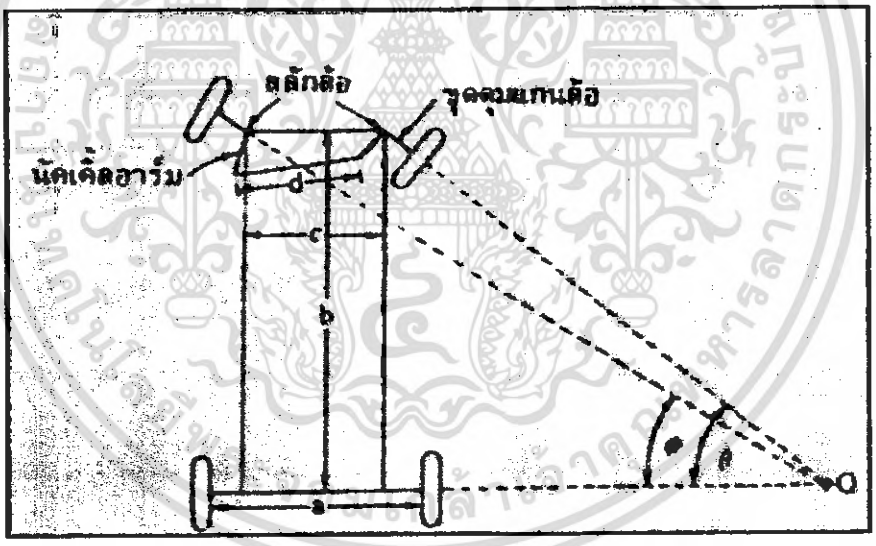
จากตรีโกณมิติเราจะได้

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

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

$$= \left(\frac{c}{b}\right) + \cot\theta$$

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



รูปที่ 3..2 แสดงการเลี้ยวแบบทฤษฎีอัคเคมานน์

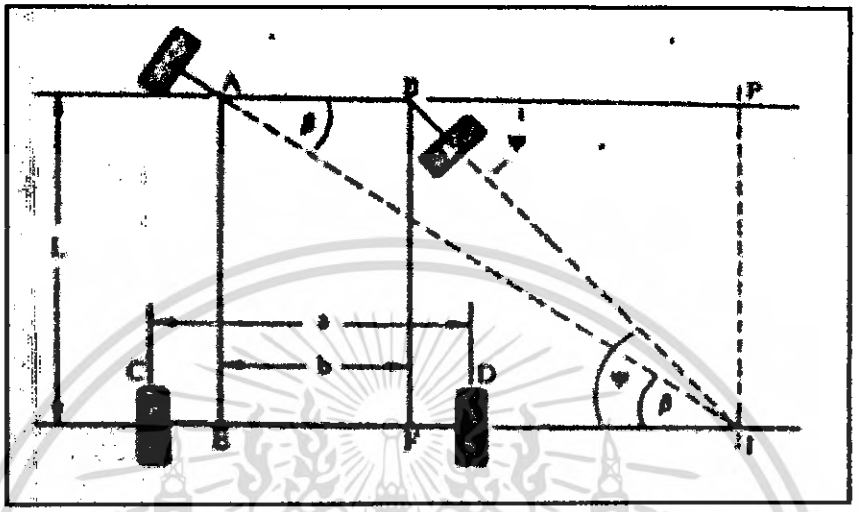
สมการนี้ให้เงื่อนไขพื้นฐานซึ่งทางกลไกในระบบเลี้ยวทุกแบบต้องทำได้ถ้าต้องการให้ได้การกลิ้งอย่างแท้จริงของล้อทุกล้อโดยไม่เกิดการลื่นไถลไปด้านข้างก้านหรือกลไกในระบบเลี้ยวที่ใช้ในรถยนต์จะต้องทำให้ล้ออยู่ในมุมที่ถูกต้องเมื่อวิ่งในทางโค้ง แต่ในทางปฏิบัติแล้วยังไม่สามารถทำให้ล้ออยู่ในมุมที่ถูกต้องได้อย่างแท้จริงสำหรับทุกมุมเลี้ยว

3.1.1 การบังคับเลี้ยวของรถยนต์

เมื่อรถยนต์วิ่งไปบนถนนจะเห็นรอยสัมผัสที่เสียดสีระหว่างยางและถนน การกลิ้งตัวของยางบนผิวถนนนั้นจะพิจารณาได้จากการเขียนวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางร่วมกัน ในขณะที่รถเลี้ยวแกนล้อจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอียงตัวไปตามทิศทางของการเลี้ยว แนวแกนล้อทั้งสองจะหันเลี้ยวพบกันที่จุดศูนย์กลางของการเลี้ยว โดยจุดนี้จะอยู่แนวเดียวกับเพลาหลัง จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าแกนล้อด้านในของการเลี้ยวเอียงทำมุมกับแนวเสื้อเพลาเป็นมุม แกมมา และมีขนาดกว้างกว่ามุม เบต้า ของแกนล้อด้านนอกของการลี้ยว



รูปที่ 3.3 การบังคับเลี้ยวของรถยนต์

กำหนดให้ a = CD คือ ช่วงกว้างของล้อ

b = AB คือ ระยะระหว่างจุดหมุนเพลาหน้า

L = AE คือ ช่วงยาวระหว่างล้อ

I คือ จุดศูนย์กลางการเลี้ยวของล้อทั้ง 4

ถ้าลากเส้นที่ IP ตั้งฉากกับ AB ที่จุด P ดังรูป

$$b = AP - BP$$
$$= L\cot\beta - L\cot\gamma$$

นั่นคือ $\cot\beta - \cot\gamma = b/L$

วิธีการของระบบบังคับเลี้ยว

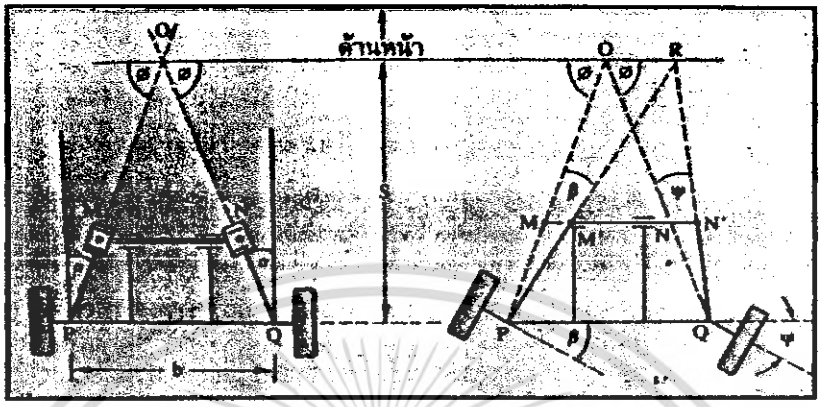
ระบบบังคับเลี้ยวแบ่งได้ 2 แบบ คือ

1. แบบเดวิส (Davis steering gear)
2. แบบอัคเคมานน์ (Ackermann steering gear)

1. แบบเดวิส ระบบบังคับเลี้ยวนี้ ชิ้นส่วนต่างๆจะเลื่อนไปมาทำให้เกิดการฝืดและสึกหรอเป็นผลทำให้ค่าของมุมผิดพลาดไป ระบบนี้ค่าทางคณิตศาสตร์เป็นไปอย่างถูกต้องแต่ไม่เหมาะสมเหมือน

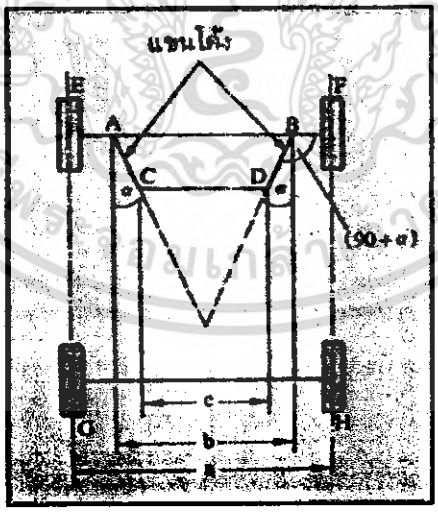
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบอัคเคมานน์ทั้งนี้เพราะมีกลไกมากกว่า จึงไม่สามารถแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการสึกหรอได้



รูปที่ 3.4 การบังคับเลี้ยวแบบเดวิสขณะตรง รูปที่ 3.5 การบังคับเลี้ยวแบบเดวิสขณะเดินขวา

2. แบบอัคเคมานน์เป็นระบบที่ชิ้นส่วนต่างๆเคลื่อนที่ด้วยการหมุนเพียงอย่างเดียว กลไกบังคับเลี้ยว 4 แขน ประกอบด้วยคันส่ง CD ที่ต่ออยู่กับแขน AE และ BF ของล้อหน้าทั้งสอง ทั้งนี้แขน AC และ BD ต่างก็เป็นส่วนหนึ่งของแขนโค้ง CAE และ DBF ตามลำดับ โดยงอเป็นมุม $90 + \alpha$ ดังรูปที่ 3.6 ทั้งนี้ ABCD จะเป็นแขน 4 แขน โดยมีแขน AC และ BD เอียงทำมุม α กับแนวโครงรถ ฉะนั้นแขน CD จึงขนานกับแนว AB เมื่อรถเคลื่อนที่เดินหน้าตรง



รูปที่ 3.6 การบังคับเลี้ยวแบบอัคเคมานน์

ถ้าหากกำหนดขนาดของกลไกและมุม α ค่าของมุมสำหรับล้อด้านใน γ และสำหรับล้อด้านนอก β สามารถหาได้จากการเขียนสเกลต่างๆ ของกลไกอย่างถูกต้องหรือจากสมการ

$$\cot\beta - \cot \quad = \quad b/L$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปแล้วค่าของ b/L มีค่าระหว่าง 0.4-0.5 หรือเฉลี่ยประมาณ 0.455 ซึ่งเป็นค่าเพียงค่าเดียวที่จะทำให้ตำแหน่งของการเลี้ยวถูกต้องตามสมการ สำหรับสภาพความเป็นจริงค่ามุม γ จะมีค่าถูกต้องเพียง 3 ค่า คือค่าที่วัดได้ในขณะที่เลี้ยว ขวา ในขณะที่เลี้ยวซ้าย และในตำแหน่งเดินหน้าตรงที่มุมของการเลี้ยวเป็นศูนย์

(มุม $\gamma = 0$) ส่วนค่าของ cot β จะเปลี่ยนแปลงไปพร้อมๆกับการเปลี่ยนแปลงของมุม α

เมื่อผลของการเลี้ยวเป็นไปตาม cot β – cot = 4.55 ก็จะทำให้ค่าของมุม β ถูกต้อง ($\beta_c = \beta$ correct) การที่จะเปรียบเทียบค่าของ β_c กับ β_a ($\beta_a = \beta$ actual) ได้นั้น ก็โดยการเขียนขนาดของข้อต่อต่างๆแล้วพิจารณาถึงความถูกต้อง โดยหลักความเป็นจริงนั้น ถ้าค่าของ γ มีค่าน้อยมุม β_a จะมีค่ามากกว่ามุม β_c

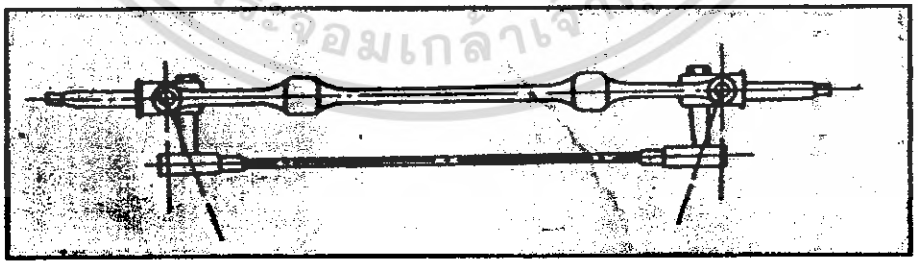
ถ้าค่าของ γ มีค่ามากมุม β_a จะมีค่าน้อยกว่ามุม β_c ในกรณีที่รถเลี้ยวเป็นวงกว้าง ค่าของ γ มีค่าน้อย ความแตกต่างระหว่างมุม β_a กับ β_c จะมีค่าน้อยอาจไม่ต้องนำมาพิจารณาก็ได้ แต่หากเลี้ยววงแคบๆ ความแตกต่างระหว่างทั้งสองมุมจะมีค่ามากจึงต้องนำมาพิจารณาทั้งนี้เพราะจะเป็นผลทำให้อายุการใช้งานของยางสั้นลง แต่ถ้าเลี้ยวรถอย่างช้าๆก็จะลดอัตราการสึกหรอของยางได้ ดังนั้นค่าความแตกต่างของมุมทั้งสองจึงไม่สำคัญนักและรถที่วิ่งอยู่ตามถนนก็ไม่มีลักษณะวงเลี้ยวที่แน่นอนที่จะต้องเลี้ยวในลักษณะใด

กลไกการบังคับเลี้ยวนี้จุดศูนย์กลางการเลี้ยวอาจจะไม่อยู่ในแนวเดียวกับเสื้อเพลา ถ้ารถเลี้ยววงแคบ จุดศูนย์กลางการเลี้ยวจะอยู่ห่างจากแนวเสื้อเพลาเป็นระยะประมาณ 0.3L ดังแสดงในรูป

3.1.2 การติดตั้งกลไกการบังคับเลี้ยว

การติดตั้งมี 2 ลักษณะ คือ

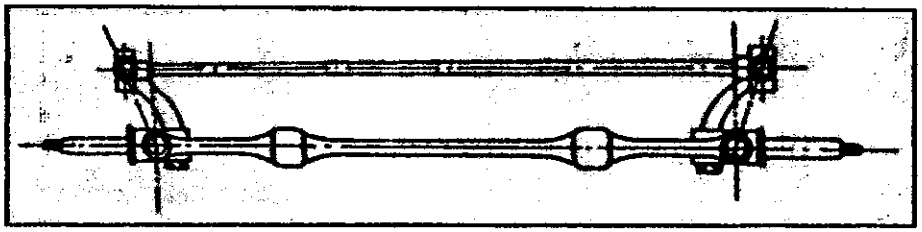
1. แบบติดตั้งภายใน แบบนี้คันส่งจะติดตั้งอยู่หลังคานหน้า เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวรถกระแทกกับสิ่งกีดขวางบนถนนและตัวคันส่งจะอยู่ในลักษณะรับแรงอัด



รูปที่ 3.7 ลักษณะการติดตั้งคันส่งอยู่หลังคานหน้า

2. แบบติดตั้งภายนอก แบบนี้ตัวคันส่งจะติดตั้งอยู่ทางด้านหน้าคาน อาจทำให้กระแทกกับสิ่งกีดขวางได้ ถ้าตัวคันส่งงอก็จะมีผลต่อมุมล้อหน้าได้ และตัวคันส่งจะอยู่ในลักษณะรับแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ลักษณะการติดตั้งคันส่งอยู่หน้าคานหน้า

3.1.3 การหาค่ามุมของแขนบังคับเลี้ยว

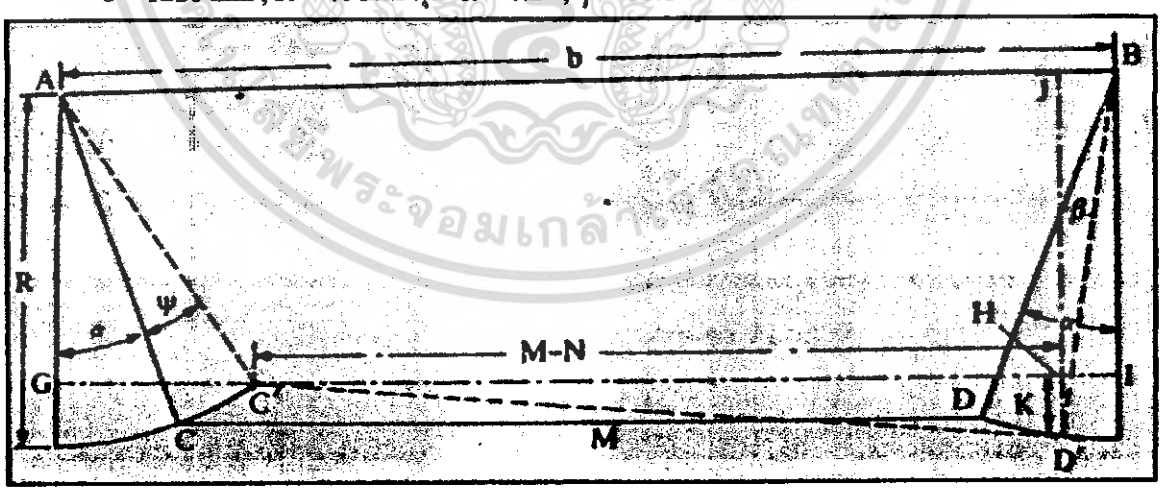
ปัญหาและขนาดของแขนบังคับเลี้ยวที่กี่ยวข้องกับการคำนวณนั้นมี 4 กรณี คือ แขนบังคับเลี้ยว อยู่ด้านหน้าหรือด้านหหลังของคาน มุมของแขนบังคับเลี้ยวหรือมุม α มีขนาดใหญ่และเล็กกว่ามุมหักเห (β) ของล้อด้านนอกการเลี้ยว ทั้งนี้ในการหาค่ามุม α จะต้องคำนึงถึงสิ่งต่างๆเช่น

1. ช่วงกว้างระหว่างล้อ (Wheel tack) ,a
2. ระยะระหว่างจุดหมุนของเพลาหน้า ,b
3. ความยาวของคันส่ง (Track rod) ,M
4. ช่วงยาวระหว่างล้อ (Wheel base) ,L

3.1.3.1 การคำนวณหาค่ามุมของแขนบังคับเลี้ยว

ในส่วนของรถปรับมุมล้อนี้ติดตั้งแขนบังคับเลี้ยวอยู่ด้านหน้าคานซึ่งมีค่าต่างๆดังนี้

b = 1220 mm , R = 40 mm มุม α = 6.2° , γ = 63.8°และ L=1605mm



รูปที่ 3.9 การคำนวณหาค่ามุมของแขนบังคับเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสูตร

$$2\sin(\alpha) = 2\sin(\alpha+\gamma) - \sin(\beta-\alpha)$$

$$\sin(\beta-\alpha) = \sin(\alpha+\gamma) - 2\sin(\alpha)$$

$$\sin(\beta-\alpha) = 0.723$$

$$\sin(\beta-\alpha) = \sin(46.3)$$

$$\beta = 52.5$$

$$K = R(\cos(\beta-\alpha) - \cos(\alpha-\gamma)$$

$$K = -52.508$$

$$M = b - R\sin(\alpha)$$

$$M = 1.223 \times 10^{5}$$

ถ้าคำนึงถึงค่า N จะได้

$$N := M - \sqrt{M^2 - K^2}$$

$$N = 1.127$$

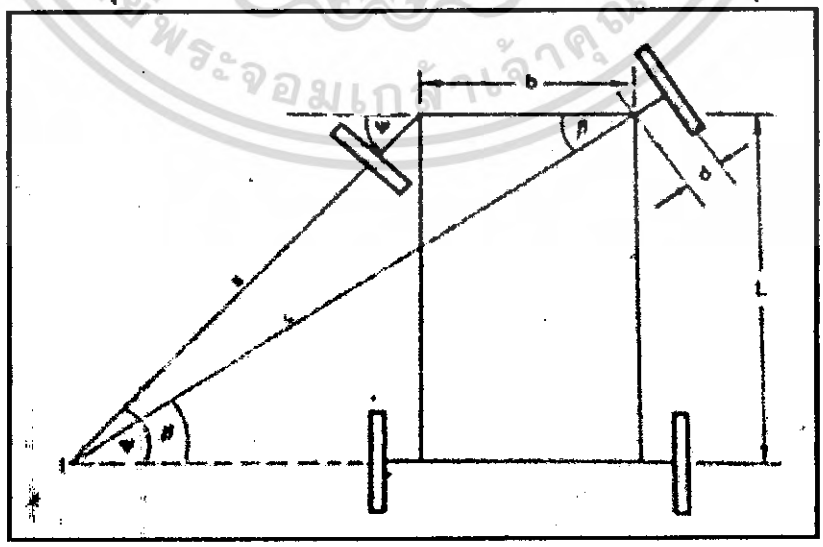
$$N/R = 0.228$$

$$2\cdot\sin(\alpha) := \sin(\alpha + \gamma) - \sin(\beta - \alpha) + \frac{N}{R}$$

$$\beta := 49.7^{\circ}$$

3.1.3.2 รัศมีของการเลี้ยว

สำหรับการเลี้ยวนั้น สมาคมยานยนต์ได้กำหนดไว้ว่า "รัศมีการเลี้ยวของรถยนต์เป็นรัศมีของส่วนโค้งที่พิจารณาจากจุดกึ่งกลางของหน้ายางล้อด้านนอก เมื่อรถเลี้ยววงแคบที่สุด



รูปที่ 3.10 การหาค่ารัศมีของการเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 3.10 จากกฎของสามเหลี่ยม

$$C := \sqrt{a^2 + b^2 + 2a \cdot b \cdot \cos(\gamma)}$$

$$a := \frac{L}{\sin(\gamma)}$$

$C = 2825$ mm

แต่รัศมีวงเลี้ยว $R = d + C$

เพราะฉะนั้น $R = 110 + 2825$

$R = 2935$ mm

ซึ่งมาตรฐานรถยนต์กำหนดว่าค่ารัศมีของการเลี้ยวมีค่าไม่เกิน 12000 mm

3.2 การหาฐานล้อและ ระยะหน้าล้อ

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

ถ้าระยะฐานล้อสั้นทำให้มีการเข้าโค้งง่ายเหมาะสำหรับรถขนาดเล็กที่ต้องการวงเลี้ยวแคบๆ ซึ่งจะทำให้สามารถเลี้ยวได้ด้วยรัศมีวงเลี้ยวที่น้อยว่าเมื่อเทียบกับรถที่มีขนาดฐานล้อยาวกว่า โดยหมุนพวงมาลัยด้วยจำนวนรอบที่เท่ากัน

ถ้าระยะฐานล้อกว้างเหมาะสำหรับรถสปอร์ต รถนั่งเก๋งขนาดใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามขึ้นอยู่กับรูปร่างของบอดี้ ฐานล้อแบบนี้จะเหมาะกับรถประเภทอเนกประสงค์มากกว่ารถขนาดเล็ก สามารถออกแบบฐานล้อได้จากสัดส่วนดังนี้

$$i = \frac{\text{wheel base}}{\text{vehicle length}} \qquad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้ค่าอ้างอิงตามขนาดของรถที่เป็นไปได้ดังนี้

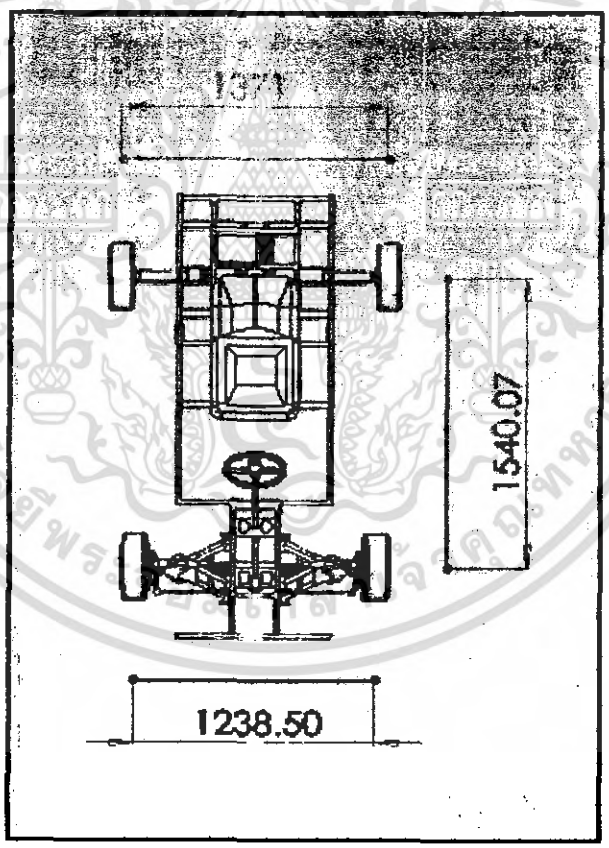
$i_l = 0.57 \sim 0.67$ สำหรับรถขนาดใหญ่

$i_s = 0.56 \sim 0.61$ สำหรับรถขนาดเล็ก

แต่สำหรับรถสปอร์ตูเป้ อาจมีค่า i ได้เพียง 0.56 แต่สำหรับรถขนาดเล็กมากๆอาจมีค่าได้มากกว่า 0.72

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

$$i_b = \frac{\text{Tread width}}{\text{vehicle width}} = 0.84 \sim 0.87 \qquad (2)$$



รูปที่ 3.11 ระยะฐานล้อและระยะหน้าล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	รถปรับมุมล้อ
ฐานล้อ (มม.)	1540.07
ระยะหน้าล้อด้านหน้า (มม.)	1238.50
ระยะหน้าล้อด้านหลัง (มม.)	1371

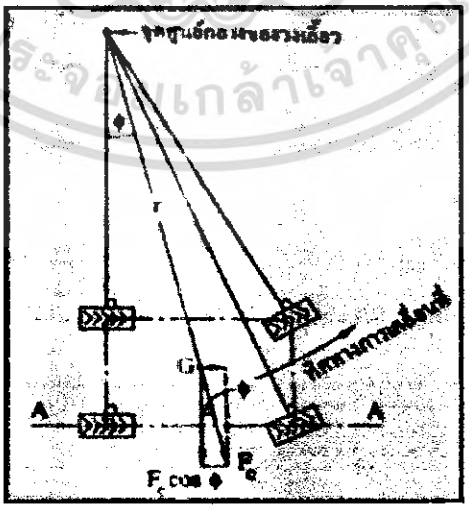
ตารางที่ 3.1 ระยะฐานล้อและระยะหน้าล้อที่เลือก

3.3 การทรงตัวบนทางโค้ง (conering)

แรงข่อยผิวสัมผัสหน้ายาง(Laterla Force and Friction coefficients)

ขณะเข้าโค้ง(conering) ตัวแปรสำคัญ คือ ผลจากความเร็ว (v,m/s) และมุมเลี้ยว(Radian of Bend,r) การทีรถเลี้วไปบนทาง โค้งหรือถนนได้นั้นก็เนื่องมาจากมีแรงมากระทำทางด้านข้างที่ศูนย์กลางของการเลี้ยวตามแนรัศมี เรียกว่า แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง(Centripetal force) และอัตราเร่งที่เกอดขึ้นเรียกว่า อัตราเร่งเข้าสู่ศูนย์กลาง (Centripetal accleration) ส่วนแนงโน้มที่ล้อจะหลุดโค้งเป็นเหตุมาจากแรงรบกวน($F_{c,v}$)
เป็นแรงเหว่ยงออกจากศูนย์กลาง(Centrifugal force) กระทำต่อจุดศูนย์กลางโน้มถ่วง (Center of gravity) มีผลให้ล้อหมุนหลุดจากเส้นทางการเคลื่อนที่ (Slip) จะเกิดแรงนี้ก็ต่อเมื่อรถวิ่งไปถึงมุม α = Slip angle เมื่อสมมติแรงกระทำที่ศูนย์กลางผิวหน้ายาง พิจารณาแรงเหวี่ยงจากสมการ

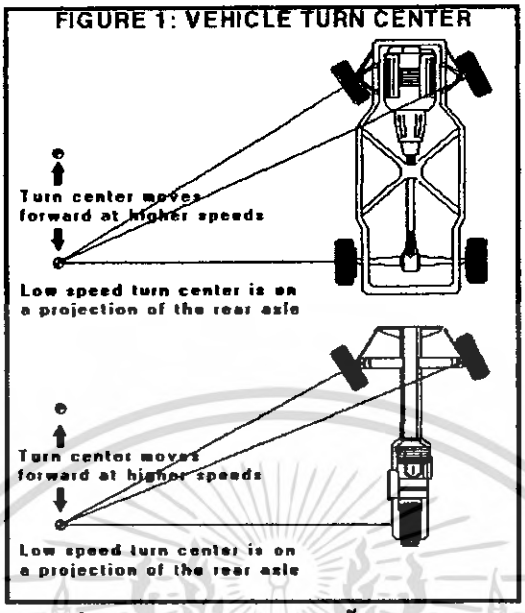
$$F_{c,v} = \frac{mv^2}{R}$$



รูปที่ 3.12 แสดงเส้น Free body diagram ในการเลี้ยวโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 ความเร็วในการเลี้ยวโค้งบนถนนระดับ



รูปที่ 3.13 ความเร็วในการเลี้ยวโค้ง

- กรณีที่ 1 การเริ่มพลิกคว่ำของรถยนต์เมื่อหักเลี้ยวบนถนนระนาบรอบแกน A-A

โดยปกติรถทุกคันจะต้องได้รับการออกแบบไม่ให้พลิกคว่ำได้ง่าย อย่างไรก็ตามเมื่อหักเลี้ยวที่ความเร็วสูงๆรถก็อาจพลิกคว่ำได้ ในบางครั้งขณะที่รถเลี้ยว ล้ออาจไปกระแทกกับขอบถนนหรือก้อนหินก็อาจจะมีโอกาสที่จะพลิกคว่ำได้เช่นกันซึ่งสามารถเขียนได้เป็นสูตรดังนี้

$$v = \sqrt{\frac{(g \cdot rt)}{2h}}$$

- กรณีที่ 2 รถยนต์เริ่มไถลออกนอกถนนเมื่อหักเลี้ยว

เมื่อแรงหนีศูนย์กลางมีค่ามากกว่าแรงเสียดทานในขณะเลี้ยว คือมากเกินกว่า $F_A + F_B$ รถจะไถลหรือแฉลบออกนอกทาง แรงเสียดทานก็คือแรงต้านทานที่เท่ากับน้ำหนักของรถยนต์คูณด้วยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างยางกับถนน

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

เมื่อ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

μ คือ สัมประสิทธิความสียดทานระหว่างยางกับพื้นกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.75

r คือ รัศมีความโค้งของการเลี้ยวการเลี้ยวกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 30 m

h คือ ความสูงของจุดศูนย์กลางมวลรถยนต์จากพื้นถนนมีค่าเท่ากับ 0.3 m

t คือ ระยะห่างระหว่างล้อข้างซ้ายกับข้างขวามีหน่วยเป็น m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นสามารถนำมาคำนวณหาค่าได้ดังนี้

- ความเร็วที่ทำให้รถยนต์เริ่มพลิกคว่ำ

$$v = \sqrt{\frac{(g \cdot rt)}{2h}}$$

$$= \sqrt{\frac{9.81 \cdot 30 \cdot 1.2}{2 \cdot 0.3}}$$

$$= 24.647 \text{ m/s}$$

$$= 88.729 \text{ km/hr}$$

- ความเร็วที่ทำให้รถเริ่มไถล

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

$$= \sqrt{0.75 \cdot 9.81 \cdot 30}$$

$$= 14.85 \text{ m/s}$$

$$= 53.48 \text{ km/hr}$$

ในกรณีที่รถไม่พลิกคว่ำหรือลื่นไถลเราสามารถหาแรงปฏิกิริยาต่อล้อได้ดังนี้

- ปฏิกิริยาที่ล้อด้านใน

$$Ri := m\left[\left(\frac{g}{2}\right) - \left(\frac{V^2 \cdot h}{r \cdot t}\right)\right]$$

$$= 700\left[\left(\frac{9.81}{2}\right) - \left(\frac{14.85^2 \cdot 0.3}{30 \cdot 1.2}\right)\right]$$

$$= 2186 \text{ N}$$

- ปฏิกิริยาที่ล้อด้านนอก

$$Ro := m\left(\frac{g}{2} + \frac{V^2 \cdot h}{r \cdot t}\right)$$

$$= 700\left(\frac{9.81}{2} + \frac{14.85^2 \cdot 0.3}{30 \cdot 1.2}\right)$$

$$= 4681 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ความเร็วในการเลี้ยวโค้งบนถนนเอียง

- ความเร็วที่ทำให้รถพลิกคว่ำ $v := \sqrt{\frac{g \cdot r \cdot \left(h \cdot \sin(\theta) + \frac{t}{2}\cos(\theta)\right)}{h \cdot \cos(\theta) - \frac{t}{2}\sin(\theta)}}$

$$= \sqrt{\frac{9.81 \cdot 30\left(0.3 \cdot \sin(36.86) + \frac{1.2 \cdot \cos(36.86)}{2}\right)}{0.3 \cdot \cos(36.86) - \frac{1.2 \cdot \sin(36.86)}{2}}}$$

$$= 9.209 \text{ m/s}$$

$$= 33.12 \text{ km/hr}$$

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

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

$$= 13.348 \text{ m/s}$$

$$= 48 \text{ km/hr}$$

ในกรณีที่รถไม่มีการพลิกคว่ำหรือถีนไถลเราสามารถหาแรงปฏิกิริยาที่ล้อได้ดังต่อไปนี้

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

$$= 700\left[-\left(9^2 \cdot \frac{0.3 \cdot \cos(36.86)}{30 \cdot 1.2}\right) + 9.81 \cdot 0.3\frac{\sin(36.86)}{1.2} + 9^2 \cdot \frac{\sin(36.86)}{2 \cdot 30} + \frac{9.81 \cdot \cos(36.86)}{2}\right]$$

$$= 2.16 \text{ N}$$

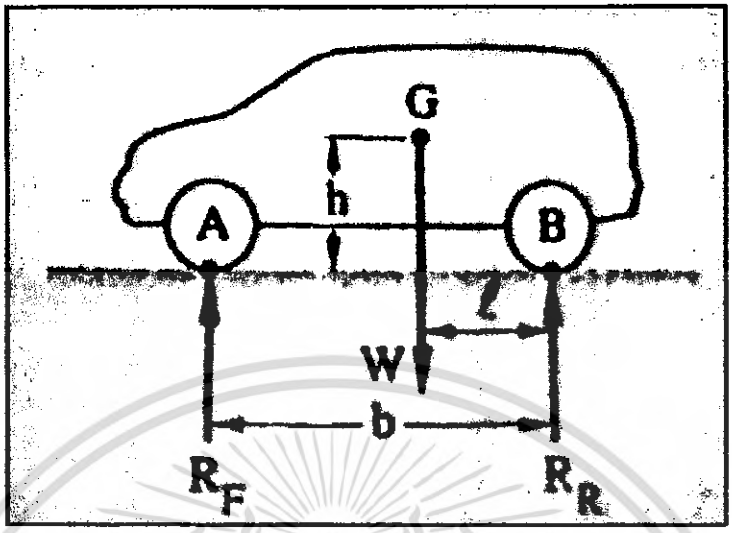
- ปฏิกิริยาที่ล้อด้านนอก $R_o = m\left(\frac{g}{2}\cos\theta + \frac{v^2}{2r}\sin\theta - \frac{gh}{l}\sin\theta + \frac{v^2 h}{rt}\cos\theta\right)$

$$= 700\left[\left(9^2 \cdot \frac{0.3 \cdot \cos(36.86)}{30 \cdot 1.2}\right) + -9.81 \cdot 0.3\frac{\sin(36.86)}{1.2} + 9^2 \cdot \frac{\sin(36.86)}{2 \cdot 30} + \frac{9.81 \cdot \cos(36.86)}{2}\right]$$

$$= 3184 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แรงกระทำเมื่อรถจอดนิ่งบนพื้นระดับ



รูปที่ 3.14 แรงกระทำเมื่อรถจอดนิ่งบนพื้นระดับ

เมื่อ W = น้ำหนักของรถ x 9.81 m/s^2

h = ระยะจากจุด Centre of gravity ถึงพื้น

l = ระยะจากจุด Centre of gravity ที่พื้นถึงจุดสัมผัสของล้อหลังกับพื้น

b = ระยะห่างระหว่างจุดสัมผัสถึงพื้นของล้อหน้ากับล้อหลัง

$$Rf = \frac{(Wl)}{b}$$

$= 175\ kg \times 9.81\ m/s^2 \times 0.47\ m / 1.58$

$= 570.68\ N$

$$Rr = W\left(1 - \frac{l}{b}\right)$$

$= 175\ kg \times 9.81\ m/s^2 \times [0.47 - (0.47/1.58)]$

$= 296.20\ N$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

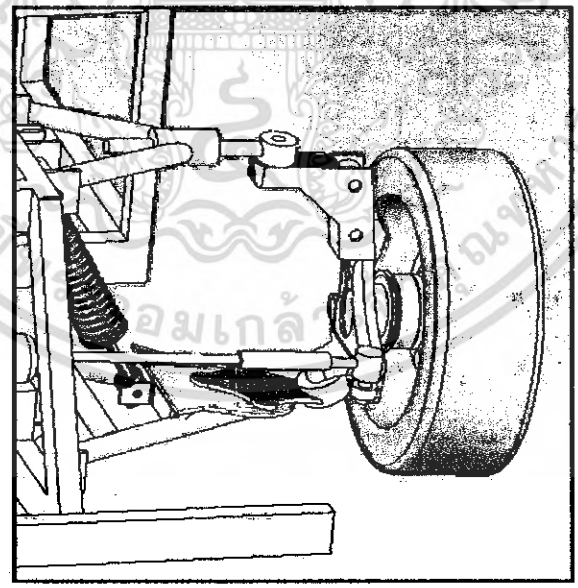
บทที่ 4

การออกแบบและอุปกรณ์พิเศษ

4.1 อุปกรณ์พิเศษ

เนื่องจากการผลิตรถที่ใช้โดยทั่วไปนั้นจะไม่ค่อยคำนึงถึงการปรับมุมล้อเท่าไร่นักและรถที่ผลิตขึ้นจากโรงงานต่างๆได้มีการจำกัดค่ามุมไว้ในระดับหนึ่งทำให้การปรับมุมล้อของรถที่ใช้กันทั่วไปสามารถปรับได้น้อยและไม่สามารถปับมุมล้อบางมุมนั่นก็คือมุมแคสเตอร์ได้แต่ในการผลิตรถแข่งเช่นรถฟอร์มูล่า วันช่วงล่างของรถได้สนับสนุนให้มีการปรับมุมล้อเพื่อรับกับสภาพแวดล้อมในการขับและรับกับการเปลี่ยนอะไหล่ที่หลากหลาย ซึ่งในที่นี้เรามีความจำเป็นที่จะต้องออกแบบอุปกรณ์ติดตั้งพิเศษขึ้นเพื่อทำให้รถที่เราสร้างขึ้นนั้นสามารถศึกษามุมได้อย่างละเอียดซึ่งจะรวมไปถึงการทดลองหาผลกระทบจากมุมต่างๆที่จะทำให้รถที่สร้างนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้นหรือทำให้มีประสิทธิภาพน้อยลงซึ่งการปรับมุมนั้นเราจะทำให้รถที่สร้างสามารถปรับมุมได้มากกว่ารถทั่วไปเพื่อการศึกษาเพื่อหาผลกระทบจากการปรับมุมได้อย่างเต็มที่ซึ่งอุปกรณ์ติดตั้งพิเศษที่สร้างนั้นมีด้วยกัน 3 ชิ้นได้แก่

4.1.1 อุปกรณ์ติดตั้งปีกนกบน



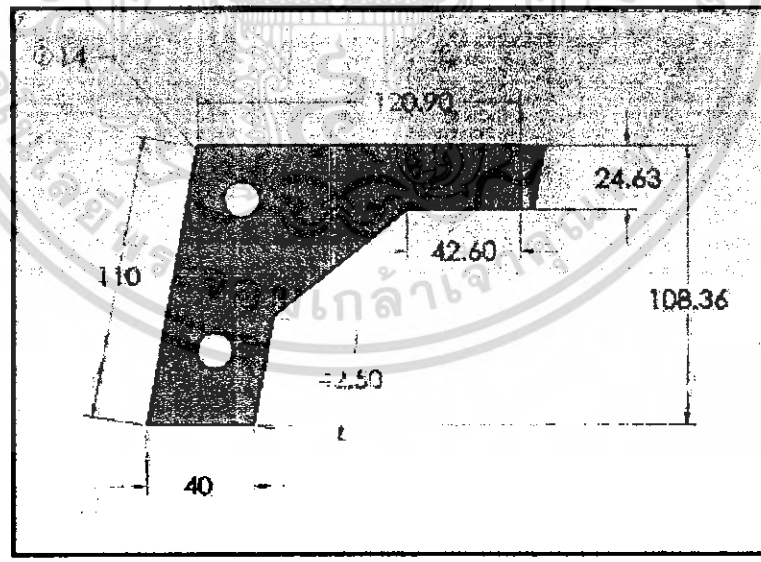
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ปรับมุม scub radius ให้มีค่าเป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์นี้จะติดตั้งอยู่กับสองช่องบนของคุมล้อซึ่งจะทำให้มีลักษณะยาวเพื่อการปรับมุม scub radius ให้มีค่าเป็นลบ พร้อมทั้งเปลี่ยนแนวลูกหมากให้สามารถเคลื่อนไหวในแนวแกนดิ่งได้ด้วย ที่ต้องทำให้มุม scub radius ให้มีค่าเป็นลบนั้นเพื่อทำให้เราสามารถปรับมุม scub radius ได้ครบทั้งสามสภาวะคือเมื่อเราสร้างเสร็จแล้ว

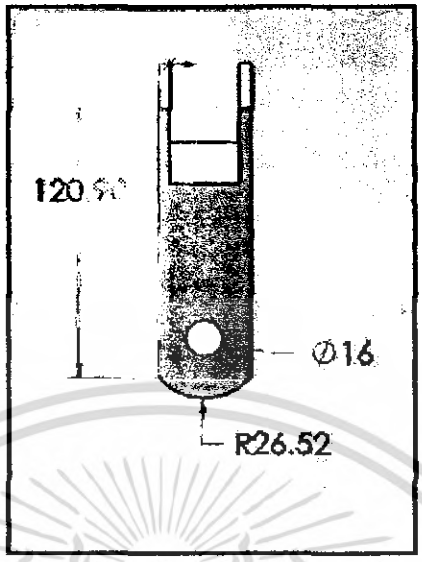
ในตอนปกติรถจะมีมุม scub radius เป็นลบคือปลายเส้นตรงที่ลากผ่านแกนของดุมล้อมาบรรจบกับเส้นที่ลากผ่านแกนกลางของล้อก่อนถึงพื้นซึ่งเราสามารถทำการปรับมุมนี้ให้มีสภาวะเป็นศูนย์ได้โดยเราจะมี

การติดจานเหล็กหรือเรียกว่า สเปเซอร์ เมื่อเรานำ สเปเซอร์ไปติดกับดุมล้อด้านนอกก่อนที่เราจะนำล้อไปติดจะทำให้ระยะห่างระหว่างแกนกลางของล้อกับของดุมล้อหรือเราเรียกว่า ระยะ offset ให้มีค่าเป็นบวกมากขึ้นทำให้ปลายเส้นตรงที่ลากผ่านแกนของดุมล้อมาบรรจบกับปลายเส้นที่ลากผ่านแกนกลางของล้อที่พื้นพอดีเกิดเป็นมุม scub radius มีค่าเป็นศูนย์หรือที่เราเรียกว่ามุม zero scub ได้ซึ่งในกรณีที่เราต้องการให้มุม scub radius ให้มีค่าเป็นบวกก็ใช้วิธีเดียวกันคือใช้ สเปเซอร์ให้มีความกว้างมากขึ้นอีกเท่าตัวและนำไปติดที่ดุมล้อด้านนอกก่อนติดตั้งล้อจะทำให้เส้นตรงที่ลากผ่านแกนของดุมล้อมาบรรจบกับเส้นที่ลากผ่านแกนกลางของล้อที่ได้พื้นดินเกิดเป็นมุม scub radius บวกขึ้นทำให้เราสามารถหาผลกระทบต่างๆ ได้



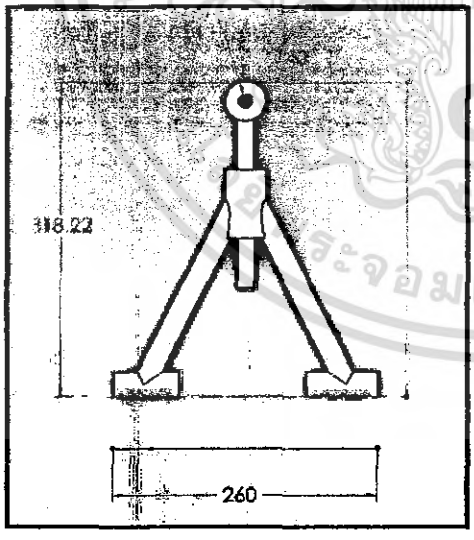
รูปที่ 4.2 รายละเอียดอุปกรณ์ปรับมุม scub radius ให้มีค่าเป็นลบ(ด้านข้าง)

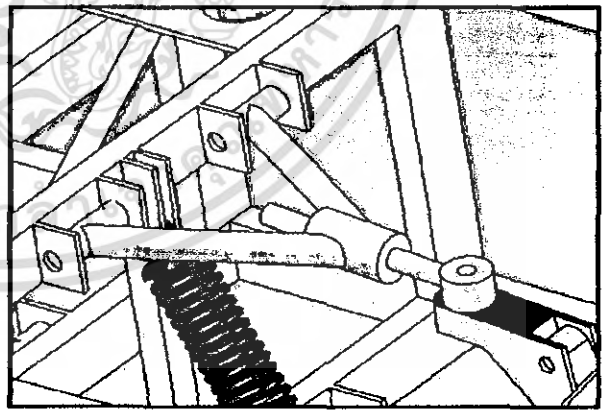
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รายละเอียดอุปกรณ์ปรับมุม scub radius ให้มีค่าเป็นลบ(ด้านบน)

4.1.2 อุปกรณ์ปรับมุมแคมเบอร์



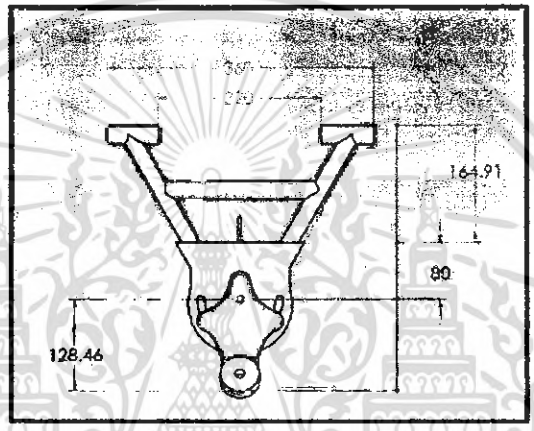


รูปที่ 4.4 รายละเอียดอุปกรณ์ปรับมุมแคมเบอร์ รูปที่ 4.5 ลักษณะที่ติดตั้งอุปกรณ์ปรับมุมแคมเบอร์

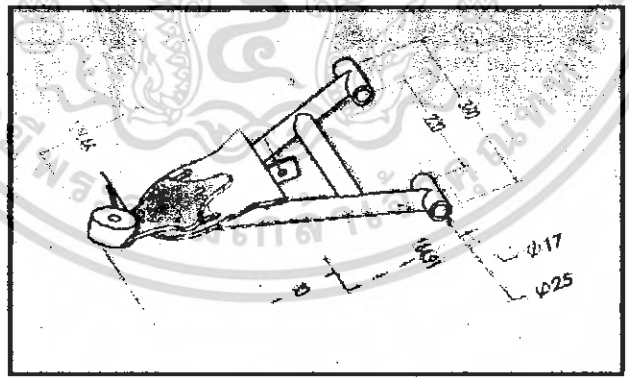
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตัวนี้จะติดตั้งอยู่ระหว่างปีกนกบนกับลูกหมากตัวบนจะมีลักษณะเป็นน็อตตัวผู้และตัวเมียต่อติดอยู่กับเหล็กชนิดท่อกลวงซึ่งด้านข้างจะยึดติดอยู่กับแกนทั้งปีกนกบนทั้ง 2 ข้างส่วนน็อตตัวผู้จะยึดติดอยู่กับลูกหมากซึ่งสามารถจะเลื่อนเข้าออกได้โดยมีน็อตตัวเมียเป็นตัวล็อก เมื่อเราเลื่อนลูกหมากเข้ามาหาตัวรถจะทำให้เกิดมุมแคมเบอร์ลบขึ้นและเมื่อเราเลื่อนลูกหมากออกจากตัวรถจะทำให้เกิดมุมแคมเบอร์บวกขึ้นและอุปกรณ์นี้ยังเป็นตัวช่วยในการปรับมุมแคสเตอร์ด้วยซึ่งจะอธิบายในอุปกรณ์ถัดไป

4.1.3 อุปกรณ์ปรับมุมแคสเตอร์



รูปที่ 4.6 รายละเอียดอุปกรณ์ปรับมุมแคสเตอร์(ด้านบน)

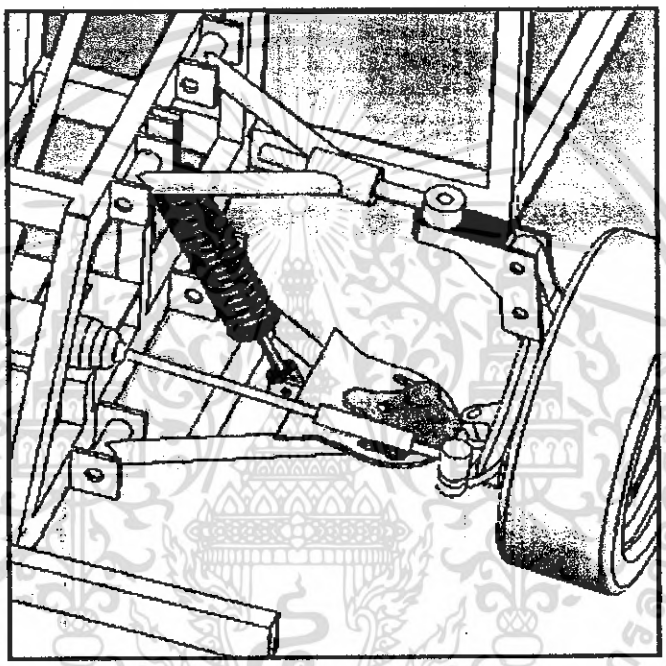


รูปที่ 4.7 รายละเอียดอุปกรณ์ปรับมุมแคสเตอร์(ด้านข้าง)

อุปกรณ์นี้ บริเวณส่วนบนของอุปกรณ์จะยึดอยู่กับตัว โช๊คอัป ส่วนล่างจะยึดติดกับลูกหมากโดยส่วนล่างจะเชื่อมติดอยู่กับปีกนกล่างด้วย ลักษณะการปรับมุมนั้นจะปรับมุมตามแนวเส้นรอบรูปของวงกลมโดยจะมีสลักน็อตอยู่ 2 ตัวยึดเหล็กที่มีลักษณะเป็นแผ่นเหล็ก 4 แฉกไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

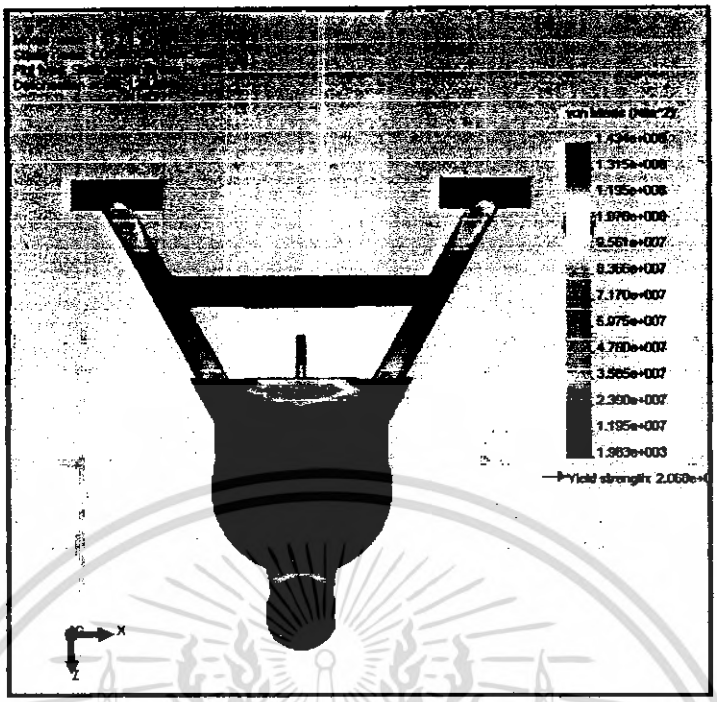
โดยแฉกบนจะเป็นตัวที่ยึดเหล็กแฉกกับเหล็กตัวใหญ่และเป็นแกนหมุนของแผ่นเหล็กส่วนสลักซ้ายขวาจะเป็นตัวเลื่อนแผ่นเหล็กให้ไปทางซ้ายหรือขวาตามเส้นรอบรูปของวงกลมส่วนแฉกล่างยาวไปถึงจุดกลางของเหล็กของเหล็กจะยึดติดอยู่กับลูกหมากตัวล่างในการปรับมุมแคสเตอร์นั้นเราต้องคำนึงถึงอุปกรณ์ปรับมุมแคมเบอร์ด้วยและมุมโทด้วยเพราะในการปรับนั้นจะต้องใช้อุปกรณ์ในการปรับมุมแคมเบอร์เป็นตัวหมุน คือตัวเกลียวของมุมแคมเบอร์เปรียบเสมือนจุดศูนย์กลางของดุมล้อบนซึ่งจะถูกตรึงไว้โดยใช้ดุมล้อล่างเป็นตัวหมุนในการปรับมุมแคสเตอร์



รูปที่ 4.8 ลักษณะที่ติดตั้งอุปกรณ์ปรับมุมแคสเตอร์

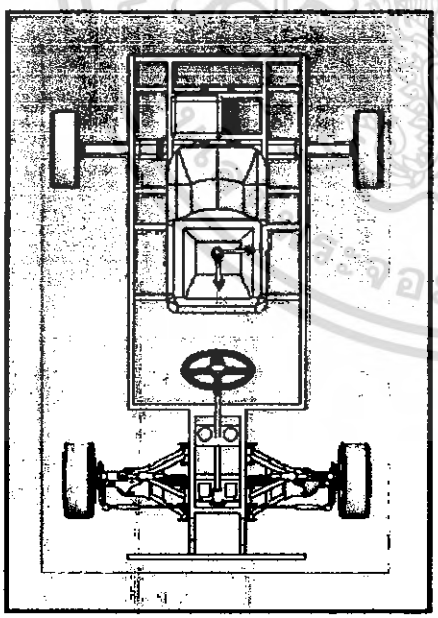
เนื่องจากอุปกรณ์ที่เราสร้างขึ้นมานั้นไม่มีมาตรฐานในการออกแบบมารองรับจึงต้องมีการซิมมูเลชั่น (Simulation)เบื้องต้นก่อนที่จะสร้าง ซึ่งในที่นี้เราใช้โปรแกรม Cosmos เพื่อทดสอบว่าอุปกรณ์ที่เราออกแบบนั้นสามารถรองรับแรงต่างๆทั้งที่มาจากตัวรถ น้ำหนักคน น้ำหนักเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นน้ำหนักในขณะที่รถหยุดนิ่งและน้ำหนักในขณะที่รถเคลื่อนที่เช่น การเข้าโค้งซึ่งน้ำหนักจะไปรวมอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งซึ่งการ Simulation นั้นการใส่แรงเราต้องใส่แรงให้มีค่ามากกว่าแรงปกติหรือนั่นก็คือมีการใส่ค่า Safety Factor เข้าไปอีกประมาณ 10 % เพื่อลดอันตรายจากกรณีที่ไม่คาดคิด ซึ่งผลการ Simulation ได้ผลดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

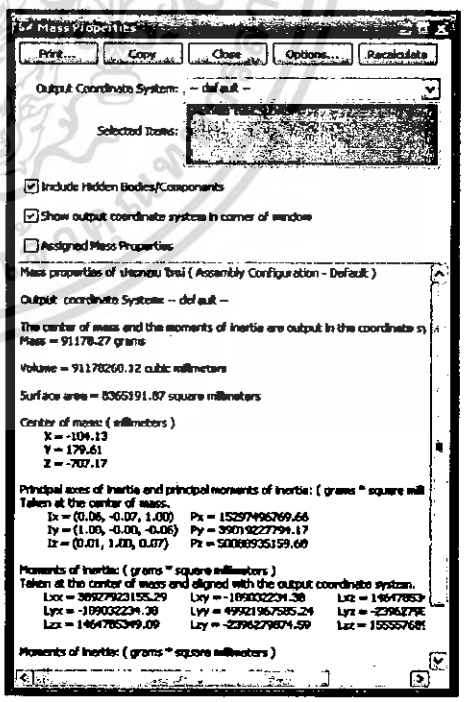


รูป 4.9 ผลจากการ Simulation ของปีกนกล่าง

4.2 การหาจุด Center of Mass โดยใช้โปรแกรม Solidwork



รูปที่ 4.10 จุด Center of Mass



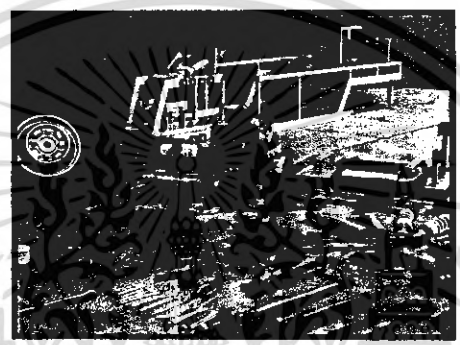
รูปที่ 4.11 การหาจุด Center of Mass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

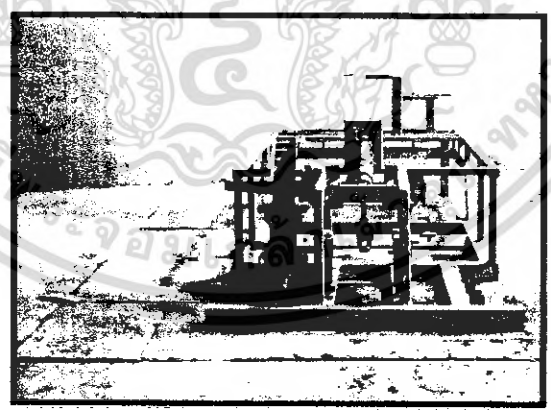
การสร้างและติดตั้งชิ้นส่วนต่างๆ

การสร้างและการติดตั้งชิ้นส่วนพิเศษนั้นในความเป็นจริงแล้วต้องสร้างออกมาให้ตรงตามแบบมากที่สุดซึ่งนอกจากโครงรถ ปีกนก คานแข็ง และชิ้นส่วนปรับมุมแล้ว เราต้องเลือกอะไหล่รถต่างๆในตลาดไม่ว่าจะเป็นรถยต์หรือรถมอเตอร์ไซด์ ซึ่งเราต้องเลือกใช้ให้เหมาะสอกับรถและตรงตามแบบมากที่สุด ชิ้นส่วนต่างๆ มีดังนี้



รูปที่ 5.1 ชิ้นส่วนทั้งหมดก่อนติดตั้ง

5.1 โครงรถ

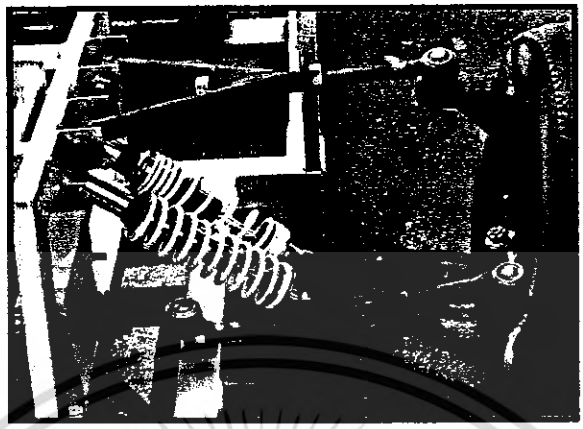


รูปที่ 5.2 โครงรถ

เป็นโครงที่ทำจากเหล็กกล่องขนาด 2x1 , 2x2 , 1x1 ,1x1.5 นิ้วทำขึ้นมาก่อนเพื่อรับกับชิ้นส่วนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ช่วงหน้าแบบปีกนกคู่

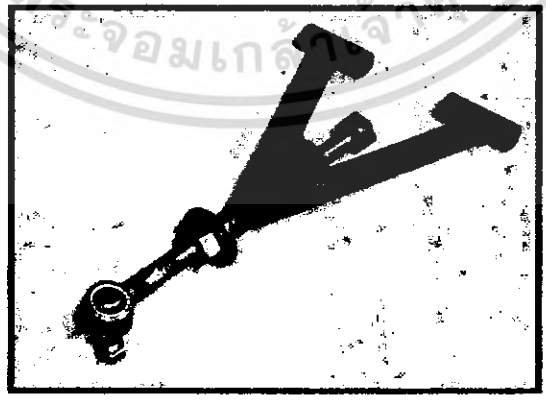


รูปที่ 5.3 ช่วงหน้าแบบปีกนกคู่

เนื่องด้วยปีกนกคู่จะต้องมีทั้งด้านบนและล่าง ดังนั้น การออกแบบปีกนกจึงมีการวางขนาดและตำแหน่งให้เหมาะสมกับการปรับตั้งมุมแคมเบอร์ ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักของโครงงานนี้

เราเลือกที่จะปรับมุมแคมเบอร์โดยสามารถปรับตั้งได้ที่ปีกนกตัวบน ด้วยเหตุผลที่ว่าเราจะแยกชิ้นส่วนในการปรับมุมให้อยู่กันคนละชิ้นส่วนเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจและศึกษา ส่วนปีกนกล่างเราก็จะสามารถปรับตั้งมุมแคสเตอร์ได้อีกมุมหนึ่ง ซึ่งจะแยกอยู่คนละชิ้นส่วนอย่างชัดเจน ทำให้ง่ายต่อการศึกษา ส่วนประกอบอื่นๆ ของช่วงหน้าแบบปีกนกคู่ ก็มีโชคอัพสปริง ซึ่งทำหน้าที่รับแรง และช่วยทำให้รถทรงตัวอยู่ได้ รวมๆ กันเป็นช่วงหน้าแบบปีกนกคู่ ซึ่งขึ้นชื่อได้ว่าเกือบจะเป็นระบบที่ดีที่สุดของการปรับมุมแคมเบอร์ได้ โดยอธิบายแต่ละส่วนย่อยๆ ได้ดังนี้

5.2.1ปีกนกบน



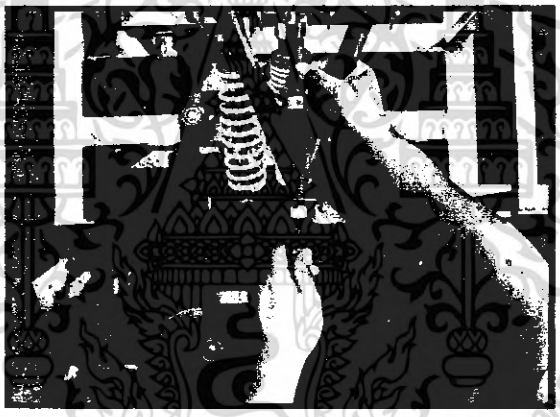
รูปที่ 5.4 ปีกนกบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบปีกนกบนให้มาสามารถปรับมุมแคมเบอร์ได้มากนั้น เราเลือกที่จะออกแบบให้ตัวลูกหมาก ที่จะเป็นตัวยึดติดกับคอม้านั้น สามารถปรับระยะได้ เพราะเมื่อเราสามารถปรับระยะลูกหมากได้นั้น เราก็จะสามารถ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างปีกนกบนและปีนกล่างทำให้เกิดมุมเอียงของล้อ

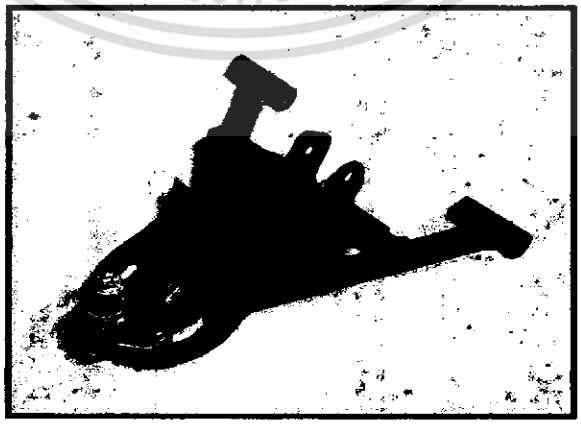
เมื่อเราต้องการจะปรับให้เกิดแคมเบอร์บวก เราก็ยืดตัวปรับเกลียวให้ยาวขึ้นเพื่อเพิ่มระยะให้ปีกนกบนยาวกว่าปีกนกล่างจึงทำให้ทางด้านบนของล้อเบนออกไปในระยะ และ มุมที่ต้องการ หรือหากต้องการปรับมุมแคมเบอร์ลบ เราก็สามารถลดความยาวของปีกนกบนเพื่อให้ได้ระยะด้านบนน้อยกว่าด้านล่างทำให้เกิดมุมแคมเบอร์ลบ การปรับตั้งทำได้ง่ายเพียงไขน็อตและเลื่อนระยะได้ตามต้องการ

เนื่องจากปีกนกบนนั้นต้องใช้ ลูกหมากในการจับยึดกับคอม้า เราจึงใช้ลูกหมากของ ระบบบังคับเลี้ยวแทน เพราะด้วยลักษณะเอื้ออำนวยต่อการนำมาปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการออกแบบไว้ ตัวลูกหมากนี้จะทำตัวเป็นจุดหมุนของล้อเมื่อเกิดการเลี้ยวรถ



รูปที่ 5.5 ลักษณะการปรับมุมแคมเบอร์

5.2.2 ปีกนกล่าง



รูปที่ 5.6 ปีกนกล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีกนกล่างซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในระบบช่วงหน้าแบบปีกนกคู่นั้น เราสามารถปรับมุมแคสเตอร์ที่ตัวปีกล่างได้ด้วยโดยการแปลงจากอุปกรณ์ของรถจริง โดยการใช้ลูกหมากปีกนกตัวล่าง หลังจากนั้น เราก็ทำอุปกรณ์ขึ้นมารองรับ ตัวลูกหมากชุดนี้ ซึ่งสามารถเลื่อนไปตามแนวรัศมีครึ่งวงกลมได้ ทำให้เกิดมุมแคสเตอร์เมื่อเราปรับที่ตัวปีนกล่าง

นอกจากนี้ ปีกนกล่างยังทำหน้าที่ รับแรงจากโช๊คอัพ ซึ่ง ติดตั้งไว้เพื่อรับแรงและน้ำหนักของรถ ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะเป็นชิ้นส่วนที่รับแรงมากที่สุดในรถ เพื่อความปลอดภัย เราจึงเลือกท่อที่มีความแข็งแรงสูงเพื่อนำมาใช้เป็นปีกนกล่าง แผ่นเหล็กซึ่งมีความหนา 6 mm. เพื่อรับแรงที่ตัวลูกหมาก

การติดตั้งก็สามารถทำได้โดย ทำหูช้างติดไว้กันตัว โครงรถ เพื่อยึดปีกนกไว้ โดยสามารถขยับตัวได้ในแนวขึ้นลงเท่านั้น ส่วนลูกหมากจะเป็นตัวทำให้เกิดจุดหมุนของคอม้าเพื่อใช้ในการเลี้ยว

รูปที่ 5.7 ชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์

5.2.3 คอม้า

รูปที่ 5.8 คอม้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอม้าที่หาซื้อได้เป็นคอม้าของระบบช่วงหน้าแบบ แมคเพอร์สันสตรัท ทำให้ต้องเกิดการแปลงอุปกรณ์จับยึดซึ่งก็คืออุปกรณ์ปรับมุม scub radius ที่สามารถใช้ยึดปีกนกบน ของระบบช่วงหน้าแบบปีกนกคู่ได้ ดังนั้น อุปกรณ์ที่ได้ต้องมีลักษณะที่แข็งแรง และสามารถ ติดตั้งบนตัวคอม้าชิ้นเดิมได้ ที่สำคัญคือ ต้องมีรูสำหรับจับยึดลูกหมากของปีกนกบนได้อย่างลงตัว

รูปที่ 5.9 อุปกรณ์ติดปีกนกบน

รูปที่ 5.10 อุปกรณ์ที่ติดตั้งแล้ว

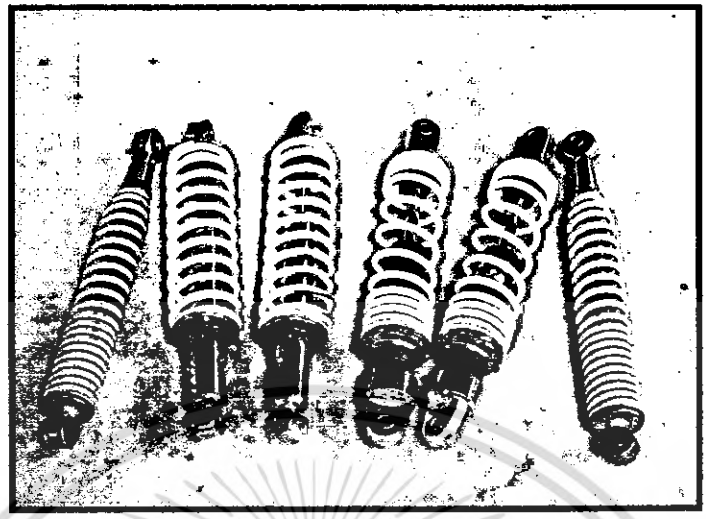
เนื่องจาก ด้วยลักษณะรูปทรงของอุปกรณ์ชิ้นนี้ มีลักษณะที่ทำขึ้นมาเป็นชิ้นได้ยาก และหากทำเป็นเหล็กชิ้นเดียวก็จะมีราคาสูง ดังนั้น เราจึงพยายามลดต้นทุนของการทำโดยการใช้ เหล็กแผ่นซึ่งมีความหนา 6-8 mm. มาเรียงต่อกัน หลังจากนั้น ก็เชื่อมเข้าด้วยกัน แล้วจึงเจาะรู สำหรับยึดปีกนกบน

เมื่อเราได้คอม้าพร้อมกับช่วงล่างแบบปีกนกคู่แล้ว เราก็สามารถประกอบขึ้นเป็นชุดช่วงหน้าได้ ซึ่งการติดตั้ง เราจะติดตั้งจาก ปีกนกล่าง ขึ้นมาก่อนจากนั้นค่อยประกอบปีกนกบนตามด้วยชุดบังคับเลี้ยวเป็นชุดสุดท้าย

รูปที่ 5.11 การยึดปีกนกบนปีกนกล่างและคอม้าเข้าด้วยกัน

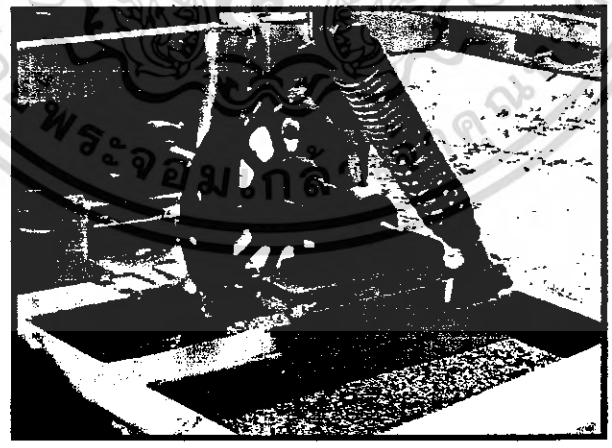
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.4 โช๊คอัพ



รูปที่ 5.12 โช๊คอัพ

เนื่องด้วยต้นทุนที่ต่ำ เราจึงเลือกใช้โช๊ค มอเตอร์ไซค์ ซึ่งขนาดเล็ก และ ราคา ถูกกว่ามาก แต่ด้วยการออกแบบมุมวางของ โช๊คอัพ ซึ่ง ทำไว้เพื่อหลบปีกนกบน ก็ทำให้เกิดปัญหาเรื่องค่า นิจ ของสปริง ในการรับน้ำหนัก ทำให้ต้องเสริมโช๊คด้านหน้า เป็น ข้างละ สองตัว เพื่อช่วยกันรับน้ำหนักของรถ รถคันนี้ใช้ชุ๊คอัพทั้งหมด 3 คู่ในการรับแรงทั้งหมดของรถ โดยแบ่งเป็น 2 คู่ทางด้านหน้าและ 1 คู่ทางด้านหลัง

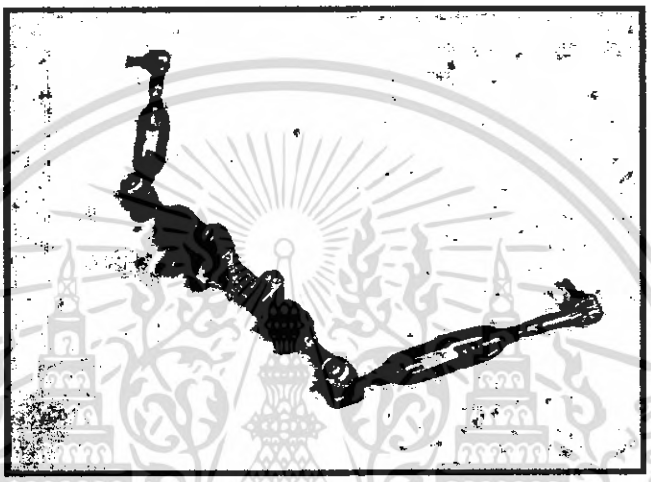


รูปที่ 5.13 การติดตั้งโช๊คอัพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ระบบบังคับเลี้ยว

ระบบบังคับเลี้ยวถือว่าเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่ง ในชุดช่วงล่างของรถ ซึ่งทำงานสัมพันธ์ กับปีกนกบนและปีนกล่าง เพื่อบังคับเลี้ยว ในตอนออกแบบได้ออกแบบรถซึ่งวางพวงมาลัยไว้ตรงกลางของตัวรถซึ่งเป็นลักษณะที่หาได้ยากในท้องตลาดทั่วไป เราจึงดัด แปลงหลายส่วนด้วยกัน เพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่เราต้องการ คือสามารถปรับพวงมาลัยมาอยู่ส่วนกลางของตัวรถได้



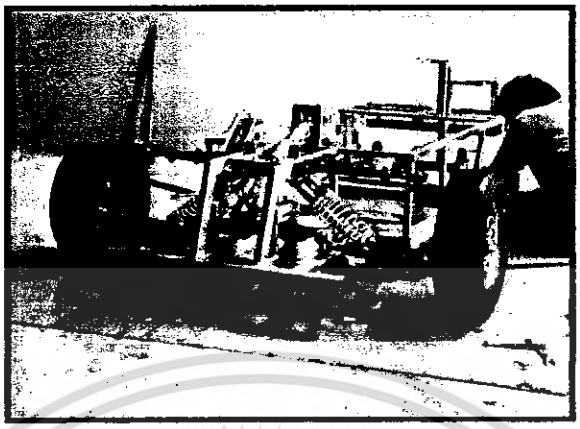
รูปที่ 5.14 Lax and pinion ที่ปรับปรุงแล้ว

การแปลงชิ้นส่วนของชุดบังคับเลี้ยวให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานและ ราคา เราจึงมีการแปลงก้านดันชักดันส่งให้มีลักษณะที่ปรับตั้งได้ง่าย เพียงใช้มือหมุนได้ เพื่อปรับตั้งมุมโท ทั้งสะดวกและรวดเร็ว ซึ่งเป็นขอดีของชุดแลปทำการทดลอง เพื่อการศึกษา เป็นอย่างมาก

รูปที่ 5.15 ชิ้นส่วนปรับมุมโท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำชิ้นส่วนชุดหน้ามาประกอบกันสามารถติดตั้งได้ดังรูป



รูปที่ 5.16 ชิ้นส่วนชุดหน้าของรถ

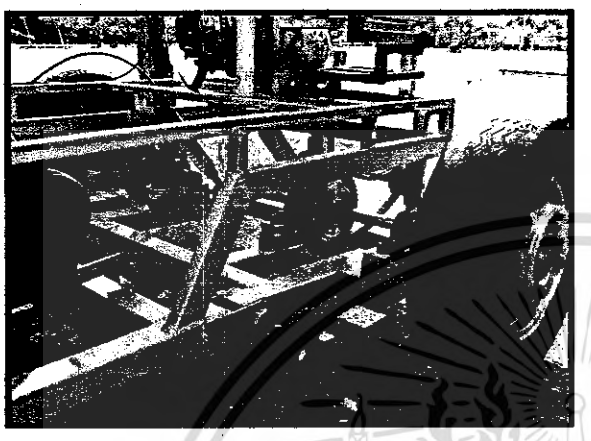
5.4 ชุดหลังแบบคานแข็ง

คานแข็งเป็นระบบช่วงหลังที่ทำได้ง่าย และรับน้ำหนักได้มาก ดังนั้น การเลือกใช้ระบบนี้ จึงเป็นระบบที่เหมาะสมกับรถที่สุด ไม่ว่าจะเป็นระบบส่งกำลัง ระบบเบรค ระบบรองรับน้ำหนัก เหล่านี้จะเกิดขึ้นที่ชุดหลัง ทั้งหมด ดังนั้น การวางการออกแบบ จำเป็นต้องให้ความสำคัญ เช่นกัน ในการออกแบบชุดหนังนี้อาจจะพัฒนาได้มากกว่านี้ เพราะว่า ยังมีระบบอีกหลายระบบ ซึ่งมีเสถียรภาพและความนุ่มนวลมากกว่าระบบนี้ แต่เนื่องด้วยขอบเขตของโครงงานนี้ ซึ่งเป็นเรื่องเกี่ยวกับมุมล้อหน้าของรถ เราจึงให้ความสำคัญกับชุดช่วงหน้ามากกว่าส่วนอื่นๆ

รูปที่ 5.17 ชุดหลังแบบคานแข็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คานแข็งของรถคันนี้ทำจากเหล็กกล่องขนาด 2x1 2x2 นิ้ว การติดตั้งจะยึดติดกับโครงรถโดยรูทางด้านหน้าซ้ายและขวา ยึดติดกับชิ้คอัพที่รูทางด้านบนและยึดติดกับแบริ่ง 4 ตัวซึ่งจะไปต่อกับเพลาขับและเพลาเบรคต่อไป

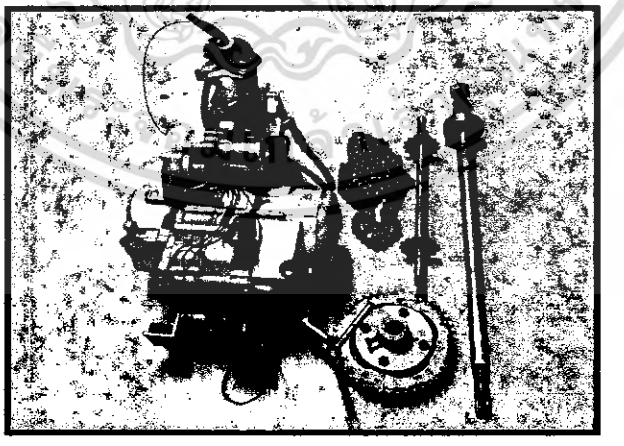


รูปที่ 5.18 การติดตั้งคานแข็งกับโช๊คอัพ

รูปที่ 5.19 การติดตั้งคานแข็งกับโช๊คอัพ

5.5 ระบบส่งกำลัง

5.5.1 เครื่องยนต์ต้นกำลัง



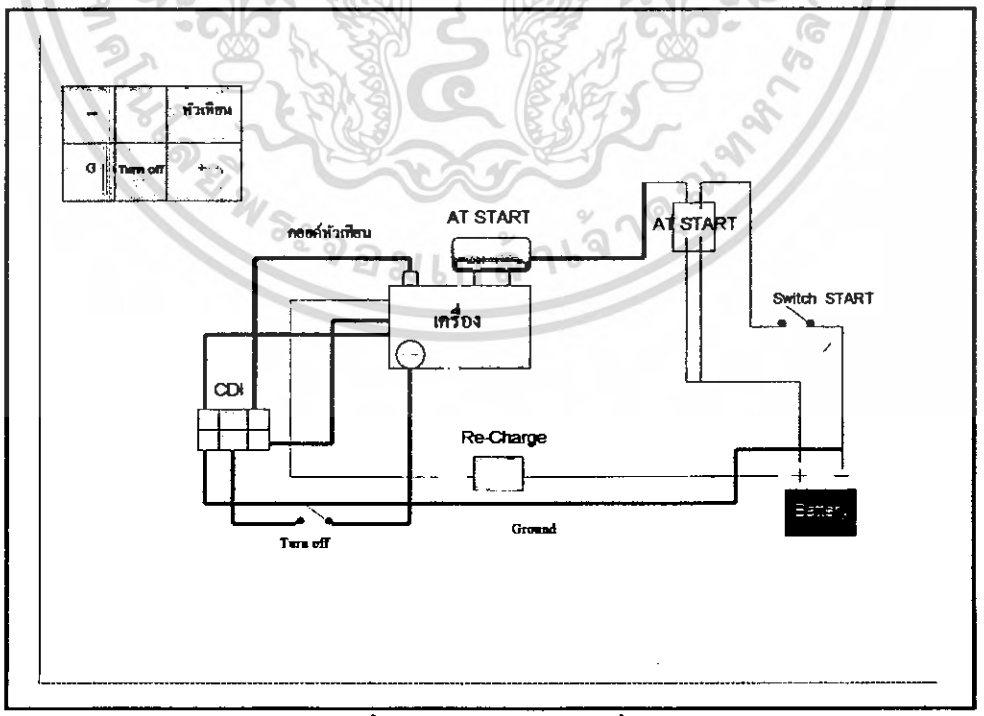
รูปที่ 5.20 เครื่องยนต์ต้นกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถคันนี้ใช้เครื่องยนต์ 120 ซีซี ของมอเตอร์ไซค์ยี่ห้อ Honda Wave ซึ่งจะมี 4 เกียร์ 1 สูบการส่งกำลังจะส่งกำลังจากสเตอร์ของเครื่องไปสู่เพลาโดยใช้โซ่ การส่งกำลังไปขับเพลาขับนั้นจะต้องมีการผ่านเพลาพิเศษก่อนซึ่งเพลานี้จะทำการย้ายแกนสเตอร์ไปสู่แกนเดียวกับเสตอร์ของเพลาขับ เหตุที่เราต้องใช้เพลาพิเศษนี้เพื่อจะทำให้การวางเครื่องวางตรงกลางของรถได้เพื่อทำให้จุด Centre of Gravity อยู่ตรกลางมากที่สุด การทดลองจึงจะคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

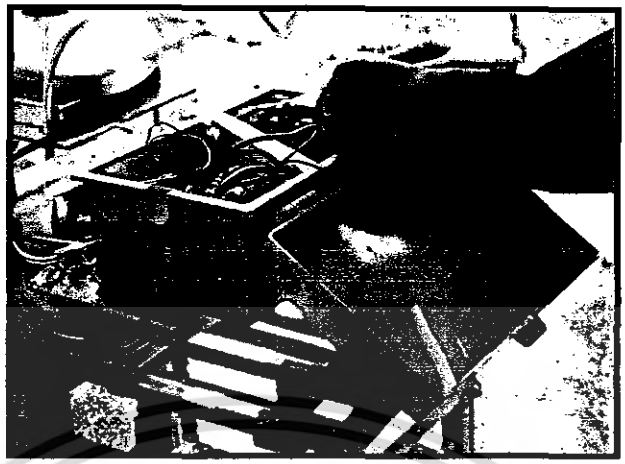
รูปที่ 5.21 การติดตั้งเครื่องยนต์ต้นกำลัง

5.5.2 ระบบไฟฟ้าเครื่อง



รูปที่ 5.22 ระบบไฟฟ้าเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

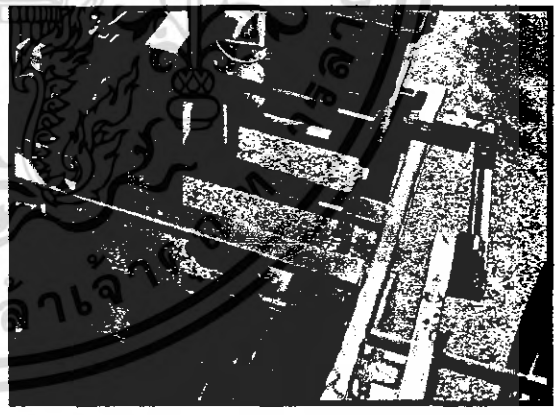


รูปที่ 5.23 การติดตั้งระบบไฟฟ้าเครื่อง

5.5.3 เพลาพิเศษ

เป็นเพลาที่มีลักษณะยาว 37 เซนติเมตร มีสเตอร์ขนาด 6 เซนติเมตร 15 ฟัน เบอร์ 428 อยู่ที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ซึ่งเพลานี้จะมีหน้าที่รับกำลังจากสเตอร์ของเครื่องยนต์ส่งต่อไปที่สเตอร์ของเพลาขับ และเพลาขับจึงจะส่งกำลังไปที่ล้อทำให้ล้อหมุน

รูปที่ 5.24 เพลาพิเศษ



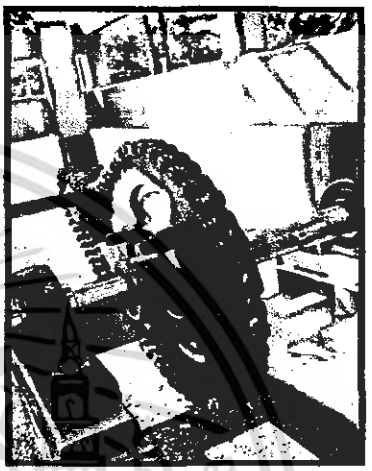
รูปที่ 5.25 การติดตั้งเพลาพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.4 เพลาขับ

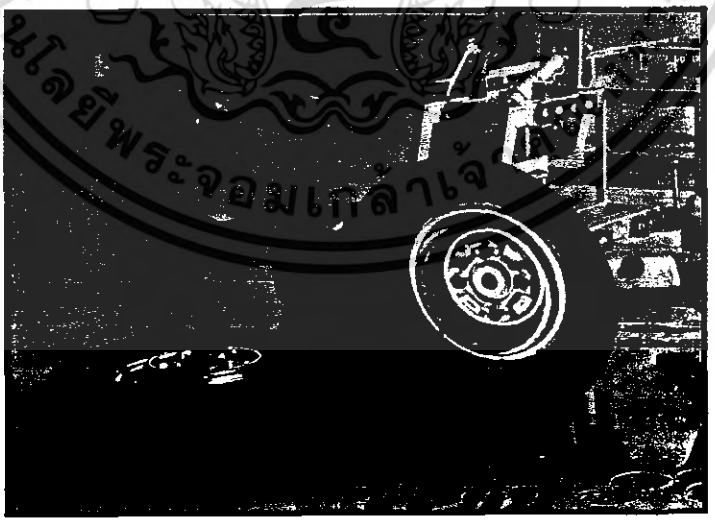
เพลาขับจะเป็นเพลาที่อยู่ทางซ้ายของคนขับเหตุผลที่ใช้พลาขับแทนที่จะใช้เพลาทั้ง 2 ล้อเป็นเส้นเดียวก็เพื่อทำให้ล้อทั้ง 2 ล้อมีความเร็วไม่เท่ากันขณะเลี้ยวเพราะการเลี้ยวที่ดีนั้นล้อด้านนอกต้องมีความเร็วมากกว่าล้อด้านใน การเลี้ยวจึงจะสมบูรณ์ ถ้าหากล้อทั้ง 2 หมุนพร้อมกันแล้วการเลี้ยวล้อด้านในจะพยายามหมุนพร้อมกับล้อด้านนอกทำให้เกิดการลื่นไถลของรถทำให้การทรงตัวนั้นทำได้ยาก

รูปที่ 5.26 เพลาขับ



รูปที่ 5.27 การติดตั้งเพลาขับ

5.5.5 ล้อและยาง



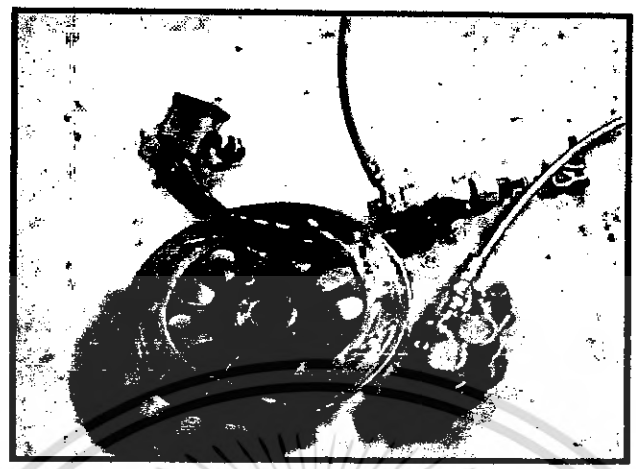
รูปที่ 5.28 ล้อและยาง

ล้อของรถนั้นเป็นล้อขนาด 10 นิ้ว 4 รู 110 มิลลิเมตร

ยางเป็นยางเปอร์เซนต์ คุณภาพประมาณ 30 %

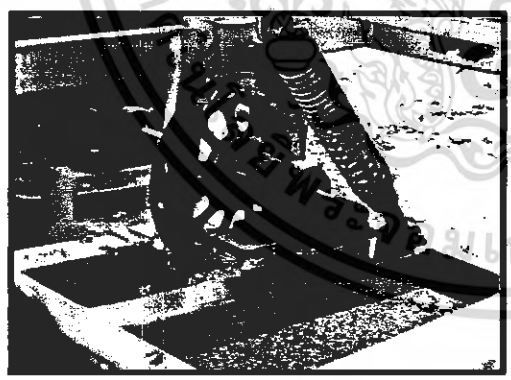
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.6 ระบบเบรค



รูปที่ 5.29 ระบบเบรค

ระบบเบรคเป็นเบรคของมอเตอร์ไซค์รุ่น Honda Wave ของญี่ปุ่น ซึ่งจะเป็นดิสต์เบรค ประเภทก้ามปูประกอบไปด้วยปั๊มเบรค สายไฮโดรริค จานเบรค และคาลิปเปอร์ โดยส่งกำลังจากการเหยียบ ซึ่งจะส่งแรงไปดันปั๊มเบรคและปั๊มเบรคจะอัดน้ำมันผ่านสายไฮโดรริค ส่งไปที่คาลิปเปอร์ให้ไปดันลูกสูบ ที่ลูกสูบจะมีฟลักซ์ไว้สำหรับจับจานเบรคซึ่งจะติดอยู่กับเพลาทำให้ล้อหยุดหมุน



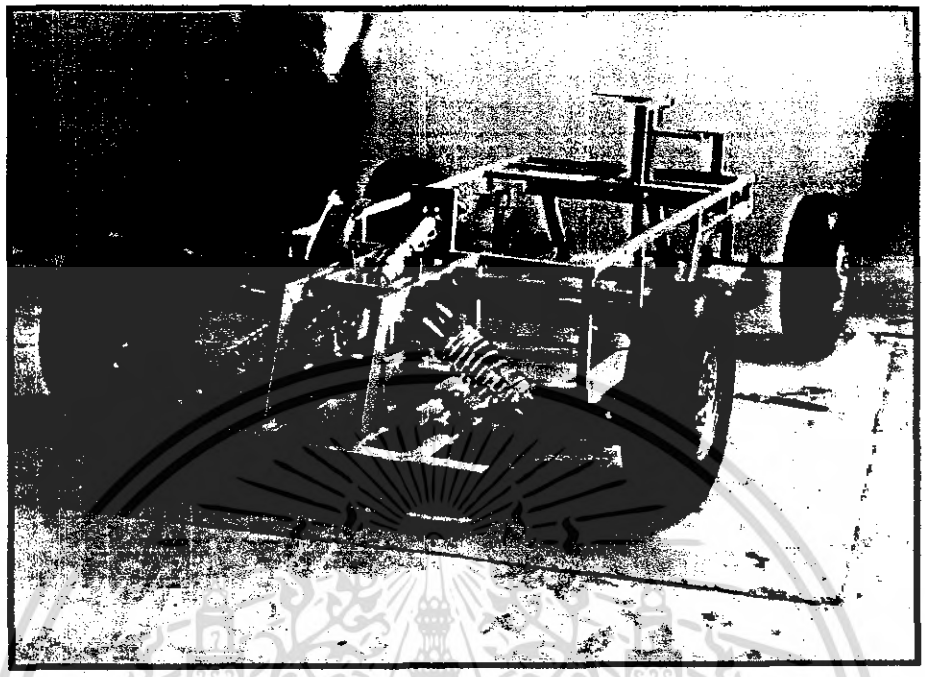
รูปที่ 5.30 การติดตั้งจานเบรค

รูปที่ 5.31 การติดตั้งระบบเบรค

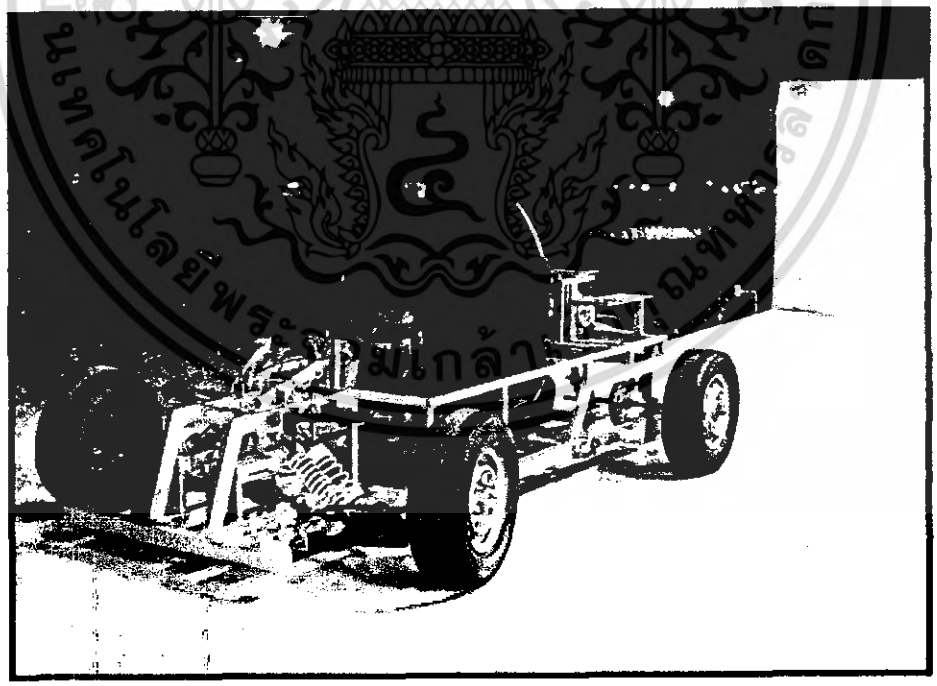
การติดตั้งนั้นจะติดตังปั๊มเบรคอยู่ทางด้านหน้าและคาลิปเปอร์อยู่ทางด้านขวาหลังคนขับทำให้ต้องใช้สายไฮโดรริคที่มีความยาวมากกว่าสายไฮโดรริคของมอเตอร์ไซค์ทั่วไปซึ่งสายนี้จะมีความยาวเท่ากับ 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำส่วนต่างๆทั้งหมดมาประกอบกันก็จะได้รูปรถ ดังนี้



รูปที่ 5.32 รูปรถที่เสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 5.33 รูปรถที่เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

การทดลอง

ในบทนี้เราจะเจาะลึกไปที่การทดลองในเรื่องของมุมล้อว่าผลกระทบของมุมลล้อแต่ละมุมนั้นเป็นอย่างไรและอะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดขึ้น ซึ่งเราได้ทำการทดสอบให้เห็นผลกระทบชัดเจนที่สุดโดยการแยกทดลองหาผลกระทบของมุมล้อทีละมุมโดยห้มุมอื่นคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองคือสวนสาธารณะ โดยวิธีการทดลองมีดังนี้

1. กำหนดแนวเส้นตรงเพื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของรถ
2. ทำการตั้งปรับค่ามุมของล้อที่ต้องการ โดยใช้อุปกรณ์วัดมุมล้อ
3. ทำการทดลองโดยนำรถให้ไปหยุดอยู่ที่จุดเริ่มต้นของแนวเส้นตรงและตั้งรถให้ขนานกับแนวเส้นตรง
4. เริ่มการทดลองโดยขับรถให้ขนานกับแนวเส้นตรงมากที่สุดพร้อมกับอัดวีดีโอเพื่อวิเคราะห์อาการของรถและในขณะเดียวกันบุคคลที่ขับรถต้องสังเกตอาการของรถที่ส่งผลมาที่คนขับด้วย
5. บันทึกผลการทดลองโดยแบ่งเป็นอาการของรถและอาการของคนขับ
6. ทดสอบกรณีเดิมโดยการนำรถมาวิ่งผ่านน้ำเพื่อสังเกตแนวการเคลื่อนที่ของล้อพร้อมถ่ายรูปเก็บผล
7. ทำการปรับมุมล้อให้ครบและบันทึกผลเก็บข้อมูลตามที่กำหนดไว้

รูป 6.1 รูปก่อนการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1 การทดลองการปรับมุมล้อ

6.1.1 การทดลองปรับมุมมาตราฐาน

Right						Left					
Camber		Caster		Toe		Camber		Caster		Toe	
Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out	Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out
0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0

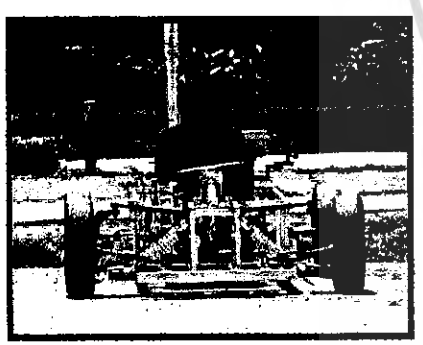
ตารางการทดลองที่ 6.1 การทดลองปรับมุมมาตราฐาน

อาการรของรถ: การวิ่งในทางตรงของการปรับมุมล้อ ในลักษณะนี้ จะทำให้รถทรงตัวในทางตรงได้ดี ไม่เกิดอาการ ส่ายไปมา หรือ เบนออกทางด้านข้าง

อาการคนขับ : การควบคุมพวงมาลัย เบา ไม่ต้องใช้แรงมาก ควบคุมรถได้ง่าย

สาเหตุ : การปรับมุม เป็น ศูนย์ทุกมุม ทำให้อาการของรถ เป็นปรกติ ในทางตรง แต่อาจจะมีการ โทเอ้าท์ และ แคมเบอร์ลบเล็กน้อยเวลามีโหลด

วิเคราะห์ : การปรับมุม เพื่อให้เกิด มุมปรกติของรถ เราควรจะเผื่อ มุมไว้เพื่อรับโหลด และ การเกิดโทเอ้าท์ ขณะรถวิ่ง ดังนั้น การเผื่อ มุม แคมเบอร์บวก จะ โทอิน จะช่วยให้รถกลับมาสู่สภาพ มุมทุกมุมเป็น ศูนย์ได้



รูปที่ 6.2 มุมมาตราฐาน

รูปที่ 6.3 ลักษณะมุมมาตราฐาน

รูปที่ 6.4 ผลการทดลอง

6.1.2 การทดลองการปรับมุมแคมเบอร์บวกข้างซ้าย

Right						Left					
Camber		Caster		Toe		Camber		Caster		Toe	
Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out	Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out
0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0

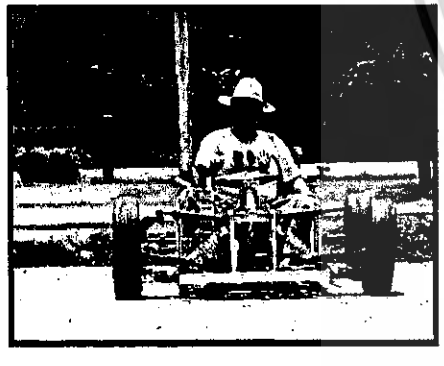
ตารางการทดลองที่ 6.2 มุมแคมเบอร์บวกข้างซ้าย

อาการของรถ : การวิ่งในทางตรง จะพยายามเบนออกไปทางด้านซึ่งเป็นแคมเบอร์บวก

อาการคนขับ : การควบคุมพวงมาลัย ทำได้ยาก เพราะรถพยายามเลี้ยวอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากมุมแคมเบอร์ซึ่งมากเกินไป

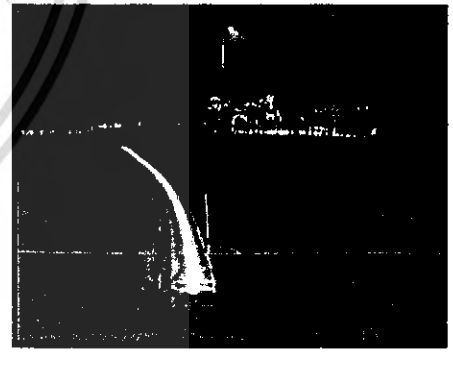
สาเหตุ : การปรับมุมแคมเบอร์จะส่งผลต่อ รัศมีของยางที่สัมผัสพื้น ทำให้ล้อเกิดการกลิ้งไปในลักษณะของกรวย ซึ่งทิศทางจะเบนไปทางด้าน ที่มีมุมแคมเบอร์มากเสมอ และจะ ส่งผลเหมือน โทเอาท์ชั่วขณะ

วิเคราะห์ : การปรับมุม เพื่อให้ได้การทรงตัวที่ดีของรถ เราควรจะปรับมุมแคมเบอร์ทั้งสองล้อให้เท่ากัน และไม่ควรปรับมากเกินไป เพราะอาจจะทำให้เกิดพาระต่อลูกหมากคันส่งได้



รูปที่ 6.5 การทดลองปรับมุมแคมเบอร์บวกข้างซ้าย

รูปที่ 6.6 ลักษณะมุมแคมเบอร์บวกข้างซ้าย



รูปที่ 6.7 ผลการทดลอง

6.1.3 การทดลองการปรับมุมแคมเบอร์ลบข้างซ้าย

Right						Left					
Camber		Caster		Toe		Camber		Caster		Toe	
Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out	Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out
0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0

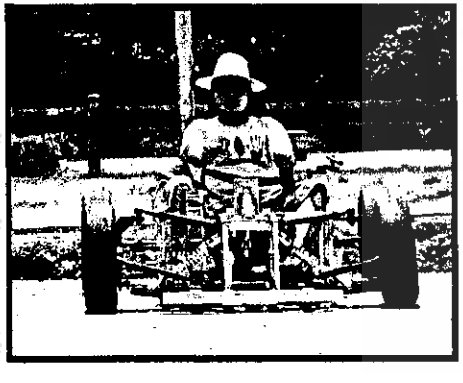
ตารางการทดลองที่ 6.3 มุมแคมเบอร์ลบข้างซ้าย

อาการของรถ : การวิ่งในทางตรง จะพยายามเบนออกไปทางด้าน ขวาหรือล้อที่เป็นแคมเบอร์ศูนย์ แต่จะเบนออกไปมากกว่ากรณีอื่นๆ

อาการคนขับ : การควบคุมพวงมาลัย ทำได้ยาก เพราะรถพยายามเลี้ยวอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากมุมแคมเบอร์ซึ่งมากเกินไป

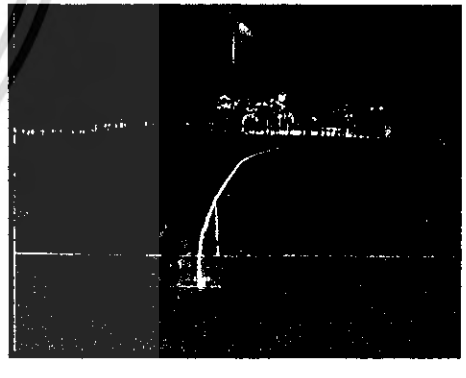
สาเหตุ : การปรับมุมแคมเบอร์จะส่งผลต่อ รัศมีของยางที่สัมผัสพื้น ทำให้ล้อเกิดการกลิ้งไปในลักษณะของกรวย ซึ่งทิศทางจะเบนไปทางด้าน ที่มีมุมแคมเบอร์มากเสมอ และจะ ส่งผลเหมือน โทอินชั่วขณะ

วิเคราะห์ : การปรับมุม เพื่อให้ได้การทรงตัวที่ดีของรถ เราควรจะปรับมุมแคมเบอร์ทั้งสองล้อให้เท่ากัน และไม่ควรปรับมากเกินไป เพราะอาจจะทำให้เกิดพาระต่อลูกหมากคันส่งได้



รูปที่ 6.8 การทดลองปรับมุมแคมเบอร์ลบข้างซ้าย

รูปที่ 6.9 ลักษณะมุมแคมเบอร์ลบข้างซ้าย



รูปที่ 6.10 ผลการทดลอง

6.1.4 การทดลองการปรับมุมแคมเบอร์ไม่เท่ากัน

Right						Left					
Camber		Caster		Toe		Camber		Caster		Toe	
Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out	Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out
10	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0

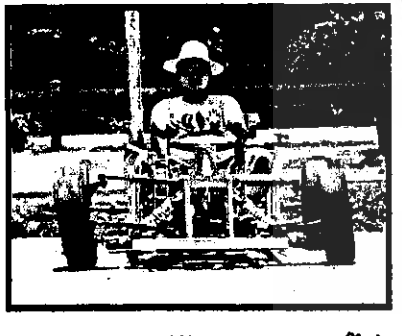
ตารางการทดลองที่ 6.4 มุมแคมเบอร์ไม่เท่ากัน

อาการของรถ: การวิ่งในทางตรง จะพยายามเบนออกไปทางด้านซึ่งเป็นแคมเบอร์บวก

อาการคนขับ : การควบคุมพวงมาลัย ทำได้ยาก เพราะรถพยายามเลี้ยวอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากมุมแคมเบอร์ซึ่งมากเกินไป

สาเหตุ : การปรับมุมแคมเบอร์จะส่งผลต่อ รัศมีของยางที่สัมผัสพื้น ทำให้ล้อเกิดการกลิ้งไปในลักษณะของกรวย ซึ่งทิศทางจะเบนไปทางด้าน ที่มีมุมแคมเบอร์มากเสมอ มุมแคมเบอร์ที่ต่างกัน แคมเบอร์ลบ จะส่งผลเสริมให้รถเบนไปทางแคมเบอร์บวกมากขึ้น

วิเคราะห์ : การปรับมุม เพื่อให้ได้การทรงตัวที่ดีของรถ เราควรจะปรับมุมแคมเบอร์ทั้งสองล้อให้เท่ากัน และไม่ควรปรับมากเกินไป เพราะอาจจะทำให้เกิดพาระต่อถูกหมากคันส่งได้ และรถจะเบนออกไปไม่เท่าที่ควรนั้นเนื่องจากแรงเสียดทานของล้อบนผิวถนนน้อยมากล้อจึงเคลื่อนที่ออกจากกันไม่เท่าที่ควรแต่รถจะพยายามวิ่งตรงแทนพร้อมกับเกิดการแถของล้อด้วย



รูปที่ 6.11 การทดลองปรับมุมแคมเบอร์ไม่เท่ากัน

รูปที่ 6.12 ลักษณะมุมแคมเบอร์ไม่เท่ากัน

รูปที่ 6.13 ผลการทดลอง

6.1.5 การทดลองการปรับมุมแคมเบอร์บวกทั้งสองล้อ

Right						Left					
Camber		Caster		Toe		Camber		Caster		Toe	
Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out	Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out
10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0

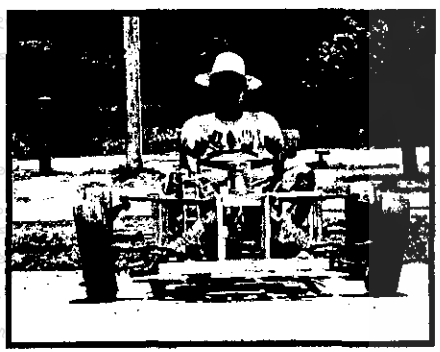
ตารางการทดลองที่ 6.5 มุมแคมเบอร์บวกทั้งสองล้อ

อาการของรถ : การวิ่งในทางตรง รถจะพยายามเลี้ยวอยู่ตลอดเวลา ทำให้การบังคับ เกิดอาการล่ายได้ง่าย

อาการคนขับ : การควบคุมพวงมาลัย ทำได้ง่าย และเบามือ

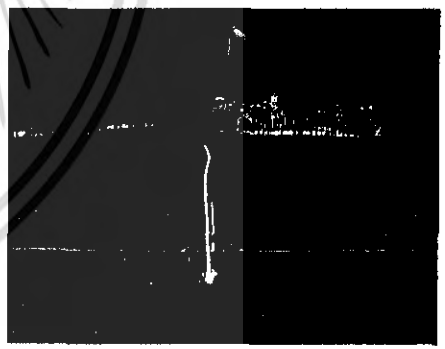
สาเหตุ : การปรับมุมแคมเบอร์บวก จะส่งผลเสมือนเกิดมุม โทเอาท์ชั่วขณะ และ เหตุนี้เองทำให้รถพยายามเลี้ยวอยู่ตลอดเวลา ทำให้รถไม่เสถียรเมื่อมีความเร็วสูง

วิเคราะห์ : การปรับมุม แคมเบอร์บวกช่วยในรถที่มีภาระของการหักเลี้ยวของพวงมาลัยมาก ทำให้รถเลี้ยวง่าย แต่มีข้อเสียในการควบคุมรถที่ความเร็วสูง จะมีผลต่อยาง และ ลูกหมากคันส่ง



รูปที่ 6.14 แคมเบอร์บวกทั้งสองล้อ

รูปที่ 6.15 ลักษณะมุมแคมเบอร์บวก



รูปที่ 6.16 ผลการทดลอง

6.1.6 การทดลองการปรับมุมแคมเบอร์ลบทั้งสองล้อ

Right						Left					
Camber		Caster		Toe		Camber		Caster		Toe	
Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out	Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out
0	10	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0

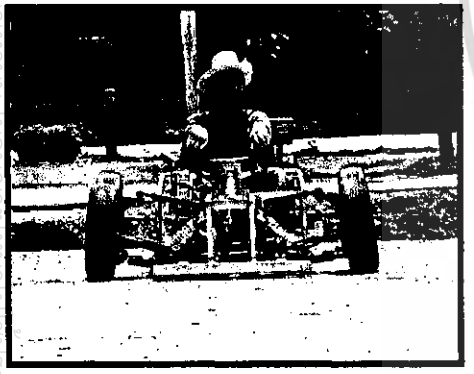
ตารางการทดลองที่ 6.6 มุมแคมเบอร์ลบทั้งสองล้อ

อาการของรถ : การวิ่งในทางตรง รถจะสั่น รถจะต่ำมากๆ

อาการคนขับ : การควบคุมพวงมาลัย ทำได้ง่าย

สาเหตุ : การปรับมุมแคมเบอร์ลบ จะเสมือนการเกิดโทอิน ชั่วขณะซึ่งจะทำให้รถวิ่งคงสภาพทางตรงได้ดี แต่พวงมาลัยจะหนักขึ้นเวลาเลี้ยว

วิเคราะห์ : การปรับมุม แคมเบอร์ลบ ที่เหมาะสมจะทำให้รถมีเสถียรภาพในทางตรงที่ดี แต่อาจจะเกิดผลกับลูกหมาก และยาง สึกหรอเร็วกว่าปรกติ



รูปที่ 6.17 แคมเบอร์ลบทั้งสองล้อ

รูปที่ 6.18 ลักษณะมุมแคมเบอร์ลบ

รูปที่ 6.19 ผลการทดลอง

6.1.7 การทดลองการปรับมุมโทอินข้างซ้าย

Right						Left					
Camber		Caster		Toe		Camber		Caster		Toe	
Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out	Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0

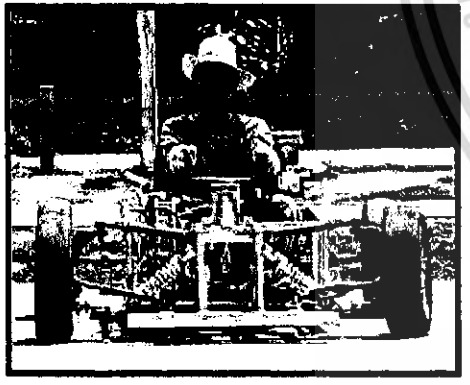
ตารางการทดลองที่ 6.7 มุมโทอินข้างซ้าย

อาการของรถ : ล้อหน้าทั้งสองล้อเกิดการวิ่งไปด้านเดียวกับล้อที่ปรับมุมโทเป็นศูนย์

อาการคนขับ : ควบคุมรถค่อนข้างยากต้องหักพวงมาลัยให้เข้ามาที่เส้นกลางตลอดเวลา

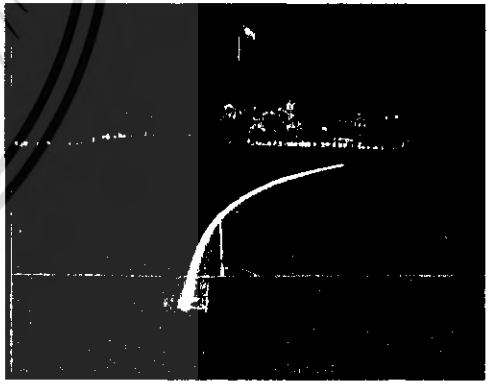
สาเหตุ : ล้อทั้งสองข้างหมุนไปในทิศทางที่ต่างกัน ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างล้อกับผิวถนนทำให้เกิดโมเมนต์ซึ่งจะทำให้ล้อเบนออกจากกัน

วิเคราะห์ : รถเบนออกไปไม่เท่าที่ควรนั้นเนื่องจากแรงเสียดทานของล้อบนผิวถนนน้อยมากล้อจึงเคลื่อนที่ออกจากกันไม่เท่าที่ควรแต่รถจะพยายามวิ่งตรงแทนพร้อมกับเกิดการแถของล้อด้วย



รูปที่ 6.20 การทดลองปรับมุมโทอินข้างซ้าย

รูปที่ 6.21 ลักษณะมุมโทอินข้างซ้าย



รูปที่ 6.22 ผลการทดลอง

6.1.8 การทดลองการปรับมุมโทเอาท์ข้างซ้าย

Right						Left					
Camber		Caster		Toe		Camber		Caster		Toe	
Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out	Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

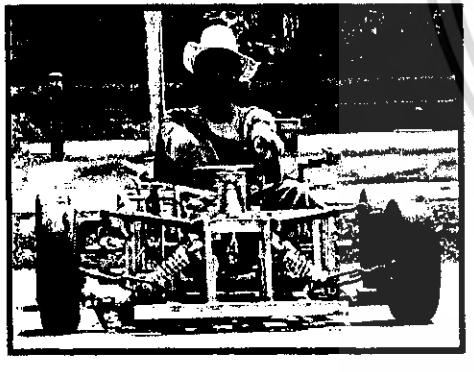
ตารางการทดลองที่ 6.8 มุมโทเอาท์ข้างซ้าย

อาการของรถ : ล้อหน้าทั้งสองล้อเกิดการวิ่งไปด้านเดียวกับล้อที่ปรับโทมุมเอาท์

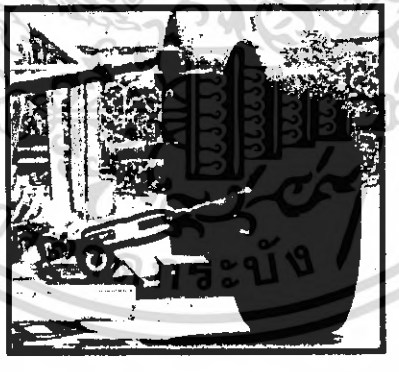
อาการคนขับ : ควบคุมรถค่อนข้างยากต้องหักพวงมาลัยให้เข้ามาที่เส้นกลางตลอดเวลา

สาเหตุ : ล้อทั้งสองข้างหมุนไปในทิศทางที่ต่างกัน ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างล้อกับผิวถนนทำให้เกิดโมเมนต์ซึ่งจะทำให้ล้อเบนออกจากกัน

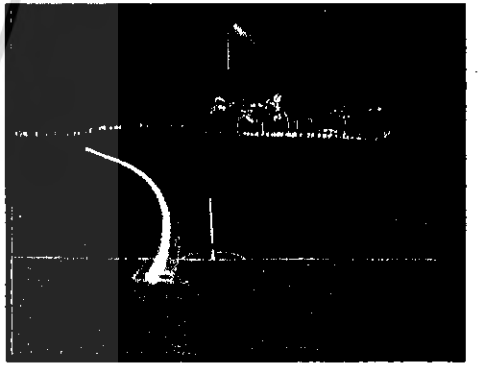
วิเคราะห์ : รถเบนออกไปไม่เท่าที่ควรนั้นเนื่องจากแรงเสียดทานของล้อบนผิวถนนน้อยมากล้อจึงเคลื่อนที่ออกจากกันไม่เท่าที่ควรแต่รถจะพยายามวิ่งตรงแทนพร้อมกับเกิดการแถของล้อด้วย



รูปที่ 6.23 การทดลองปรับมุมโทเอาท์ข้างซ้าย



รูปที่ 6.24 ลักษณะมุมโทเอาท์ข้างซ้าย



รูปที่ 6.25 ผลการทดลอง

6.1.9 การทดลองการปรับมุมโทไม่เท่ากัน

Right						Left					
Camber		Caster		Toe		Camber		Caster		Toe	
Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out	Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out
0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	5	0

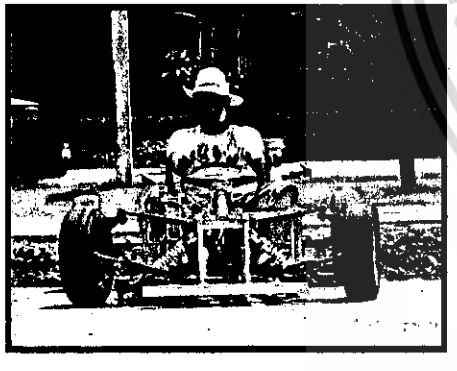
ตารางการทดลองที่ 6.9 มุมโทไม่เท่ากัน

อาการของรถ : ล้อหน้าทั้งสองล้อเกิดการวิ่งไปด้านเดียวกับล้อที่ปรับโทอินแต่จะเบนออกไปมากกว่ากรณีอื่นๆ

อาการคนขับ : เป็นไปไม่ได้เลยที่จะควบคุมรถให้แล่นตรงต้องหักพวงมาลัยให้เข้ามาที่เส้นกลางตลอดเวลา

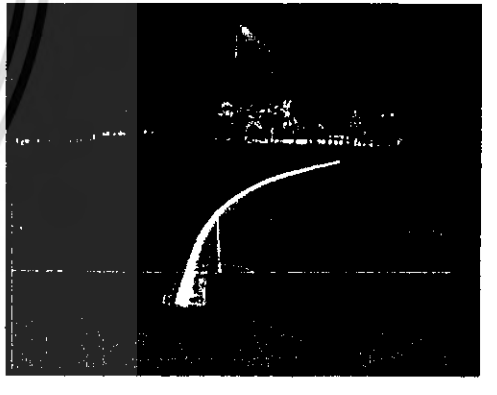
สาเหตุ : ล้อวิ่งไปในทิศทางใกล้เคียงกันแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจึงมีน้อยแต่รถจะเคลื่อนที่ไปทางขวาตลอดเวลา

วิเคราะห์ : รถเบนออกไปไม่เท่าที่ควรนั้นเนื่องจากแรงเสียดทานของล้อบนผิวถนนน้อยมากล้อจึงเคลื่อนที่ออกจากกันไม่เท่าที่ควรแต่รถจะพยายามวิ่งตรงแทนพร้อมกับเกิดการแถของล้อด้วย



รูปที่ 6.26 การทดลองปรับมุมโทไม่เท่ากัน

รูปที่ 6.27 ลักษณะมุมโทไม่เท่ากัน



รูปที่ 6.28 ผลการทดลอง

6.1.10 การทดลองการปรับมุมโทอินทั้งสองล้อ

Right						Left					
Camber		Caster		Toe		Camber		Caster		Toe	
Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out	Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out
0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10	0

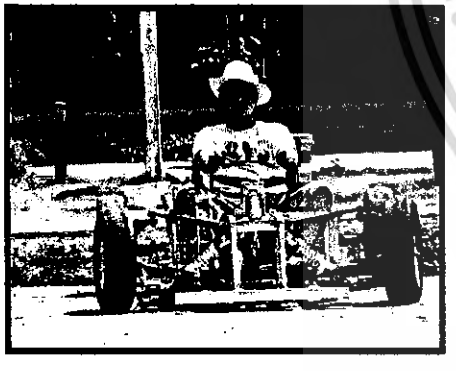
ตารางการทดลองที่ 6.10 มุมโทอินทั้งสองล้อ

อาการของรถ : รถแล่นออกไปในตอนแรกแต่ต่อมารถวิ่งตรงไปข้างหน้าโดยไม่มีการเบนออกด้านข้างมีการหมุนฟรีของล้อเล็กน้อย

อาการคนขับ : ต้องเหยียบคันเร่งมากกว่าปกติ และต้องออกแรงในการหกพวงมาลัยกลับเข้าเส้นกลางมากขึ้น

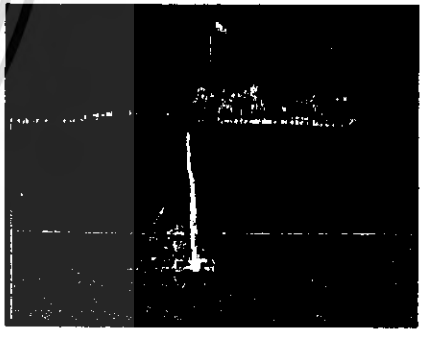
สาเหตุ : ล้อทั้งสองข้างหมุนไปในทิศทางที่ตรงข้ามกันน ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างล้อกับผิวถนนและยังทำให้เกิดแรงที่พุ่งเข้าตัวรถในทิศตรงข้ามกันทำให้พวงมาลัยถูกกดจากด้านข้างรถเข้ามา การเลี้ยวจึงยากขึ้น

วิเคราะห์ : รถจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าง่ายกว่าเท่าที่ควรเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างผิวล้อกับถนนมีน้อย



รูปที่ 6.29 การทดลองปรับมุมโทอินเท่ากัน

รูปที่ 6.30 ลักษณะมุมโทอินเท่ากัน



รูปที่ 6.31 ผลการทดลอง

6.1.11 การทดลองการปรับมุมโทเอาท์ทั้งสองล้อ

Right						Left					
Camber		Caster		Toe		Camber		Caster		Toe	
Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out	Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out
0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10

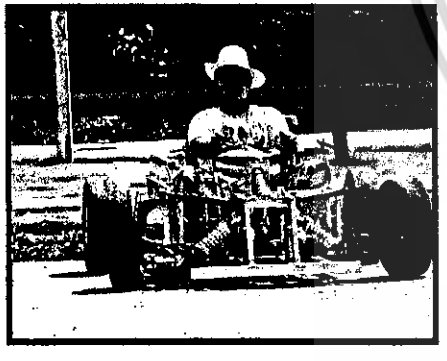
ตารางการทดลองที่ 6.11 มุมโทเอาท์ทั้งสองล้อ

อาการของรถ : รถมีการแล่นออกไปด้านข้างทั้งซ้ายและขวาเล็กน้อยและล้อทั้งสองล้อเกิดการหมุนฟรีอย่างมาก

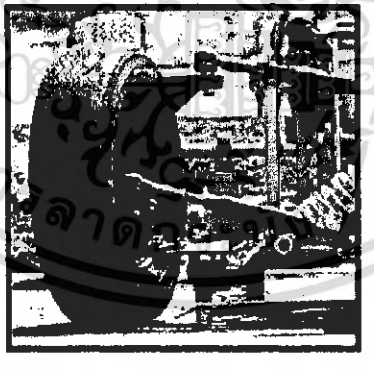
อาการคนขับ : ต้องเหยียบคันเร่งมากกว่าปกติ และต้องออกแรงในการหักพวงมาลัยกลับเข้าเส้นกลางมากขึ้น และรถจะพยายามจะเบนออกตลอด

สาเหตุ : ล้อทั้งสองข้างหมุนไปในทิศทางที่ตรงข้ามกันน ทำให้เกิดแรงเสียดทานระหว่างล้อกับผิวถนนและยังทำให้เกิดแรงที่พุ่งเออกจากตัวรถในทิศตรงข้ามกัน

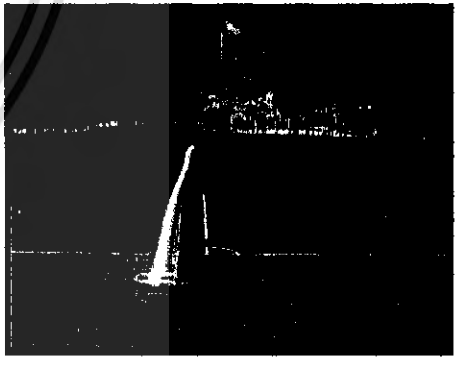
วิเคราะห์ : รถจะบนออกด้านข้างทั้งซ้ายและขวาเนื่องจากแรงที่ส่งผ่านล้อทั้งสองไม่เท่ากันจึงไม่เกิดสมดุลและรถเกิดการหมุนฟรีอย่างมากเนื่องจากแรงเสียดทานระหว่างล้อกับผิวถนนน้อยมากและต้องออกแรในการเคลื่อนที่มากขึ้นด้วย



รูปที่ 6.32 การทดลองปรับมุมโทเอ้าท์เท่ากัน



รูปที่ 6.33 ลักษณะมุมโทเอ้าท์เท่ากัน



รูปที่ 6.34 ผลการทดลอง

6.1.12 การทดลองการปรับมุมแคสเตอร์บวกเท่ากัน

Right						Left					
Camber		Caster		Toe		Camber		Caster		Toe	
Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out	Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out
0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0

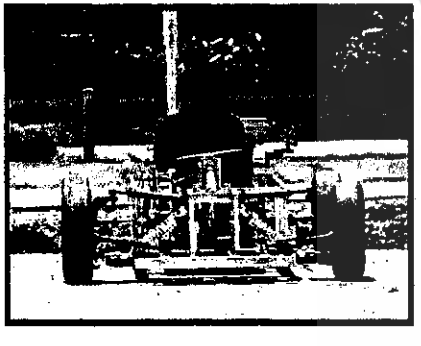
ตารางการทดลองที่ 6.12 มุมแคสเตอร์บวกเท่ากัน

อาการของรถ : รถแล่นตรงไปข้างหน้าโดยมีการเบนออกไปซ้ายหรือขวาน้อยมากและโครงรถจะมีการยกตัวสูงขึ้น

อาการคนขับ : พวงมาลัยหนักกว่าปกติและรู้สึกสะเทือนมากขึ้นขณะขับ

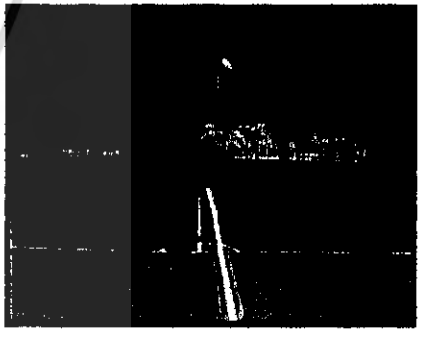
สาเหตุ : เส้นตรงจุดนำหรือจุดศูนย์นำจะไม่อยู่บนเส้นทิศทางแล่นของรถ ทำให้เกิดแรงจากการเลี้ยว ขึ้นซึ่งเป็นผลให้เกิดโมเมนต์ที่จะทำให้เกิดการจัดตั้งศูนย์ล้อด้วยตัวเอง อันทำให้ล้อมีแนวโน้มที่จะรักษาล้อให้อยู่ในตำแหน่งแล่นตรงไปข้างหน้าแต่ต้องใช้แรงพยายามในการหมุน

วิเคราะห์ : ผลจากมุมแคสเตอร์จะส่งผลไม่มากเท่าที่ควรเนื่องจากน้ำหนักของหน้ารถมีน้อยแรงด้านการหมุนของพวงมาลัยจึงมีน้อยตามไปด้วย



รูปที่ 6.35 การทดลองปรับมุมแคสเตอร์บวกเท่ากัน

รูปที่ 6.36 ลักษณะมุมแคสเตอร์เท่ากัน



รูปที่ 6.37 ผลการทดลอง

6.1.13 การทดลองการปรับมุมแคสเตอร์ลบเท่ากัน

Right						Left					
Camber		Caster		Toe		Camber		Caster		Toe	
Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out	Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out
0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	0	0

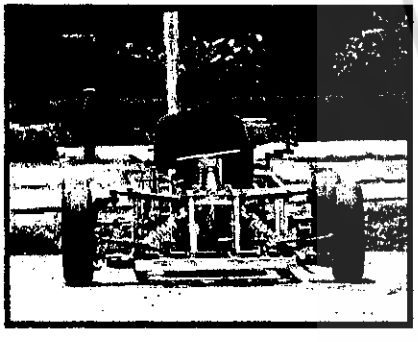
ตารางการทดลองที่ 6.13 มุมแคสเตอร์ลบเท่ากัน

อาการของรถ : รถมีการแล่นออกไปด้านข้างทั้งซ้ายและขวาเล็กน้อยและล้อทั้งสองล้อเกิดการหมุนฟรีอย่างมาก

อาการคนขับ : พวงมาลัยเบากว่าปกติสั่นกว่าปกติทำให้ควบคุมทางตรงได้ยาก

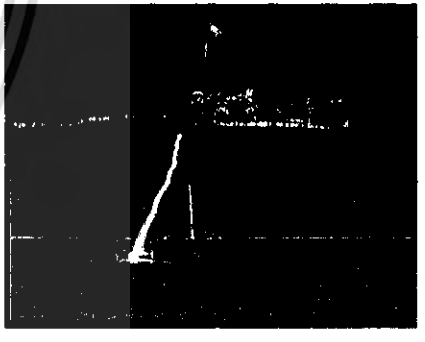
สาเหตุ : แรงเลี้ยวล้อและจุดพ่วงอยู่นำหน้าจุดนำ เป็นผลทำให้ล้อพยายามที่จะเลี้ยวอยู่ตลอดเวลาเพราะแรงเลี้ยวล้อที่เกิดขึ้นจะพยายามไปอยู่ด้านหลัง

วิเคราะห์ : ผลจากมุมแคสเตอร์จะส่งผลไม่มากเท่าที่ควรเนื่องจากน้ำหนักของหน้ารถมีน้อยแรงต้านการหมุนของพวงมาลัยจึงมีน้อยตามไปด้วย



รูปที่ 6.38 การทดลองปรับมุมแคสเตอร์ลบเท่ากัน

รูปที่ 6.39 ลักษณะมุมแคสเตอร์เท่ากัน



รูปที่ 6.40 ผลการทดลอง

6.1.14 การทดลองการปรับมุมแคสเตอร์ที่ไม่เท่ากัน

Right						Left					
Camber		Caster		Toe		Camber		Caster		Toe	
Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out	Positive	Negative	Positive	Negative	In	Out
0	0	0	5	0	0	0	0	5	0	0	0

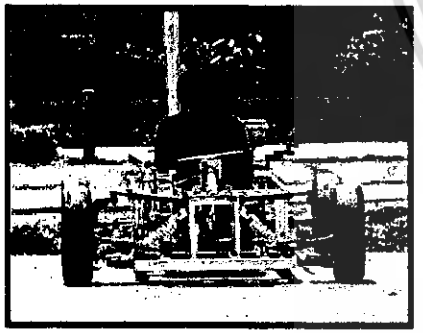
ตารางการทดลองที่ 6.14 มุมแคสเตอร์ที่ไม่เท่ากัน

อาการของรถ : รถมีการเบนออกไปทางที่มุมแคสเตอร์ลบเล็กน้อยและระยะห่างระหว่างแกนล้อถึงโครงรถจะไม่เท่ากันโดยแคสเตอร์ศูนย์มีความยาวมากกว่า

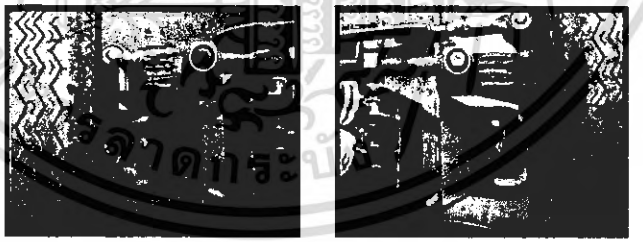
อาการคนขับ : ต้องใช้แรงเล็กพอสมควรในการควบคุมรถให้แล่นตรงไปข้างหน้าได้

สาเหตุ : จุดพ่วงและจุดนำอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ตรงกัน ซึ่งนำไปสู่การเกิดโมเมนต์ที่ไม่เท่ากันทำให้รถเกิดการเบนออกไปทางที่มีโมเมนต์น้อยกว่า

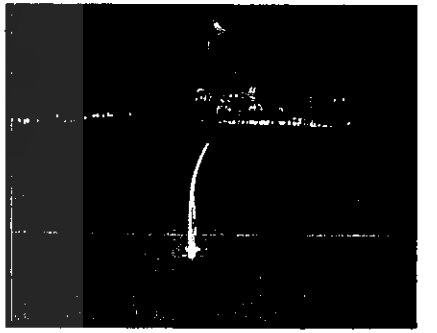
วิเคราะห์ : ผลจากมุมแคสเตอร์จะส่งผลไม่มากเท่าที่ควรเนื่องจากน้ำหนักของหน้ารถมีน้อยแรงต้านการหมุนของพวงมาลัยจึงมีน้อยตามไปด้วย



รูปที่ 6.41 การทดลองปรับมุมแคสเตอร์ไม่เท่ากัน



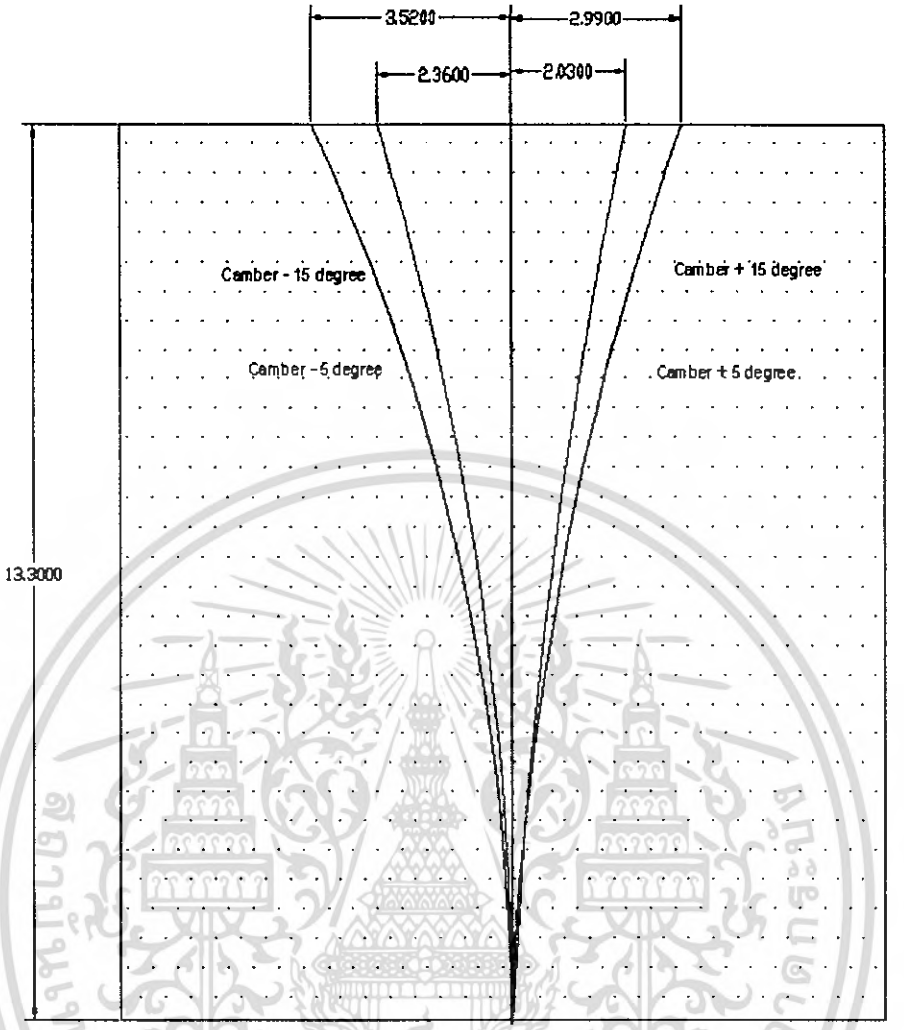
รูปที่ 6.42 ลักษณะมุมแคสเตอร์ไม่เท่ากัน



รูปที่ 6.43 ผลการทดลอง

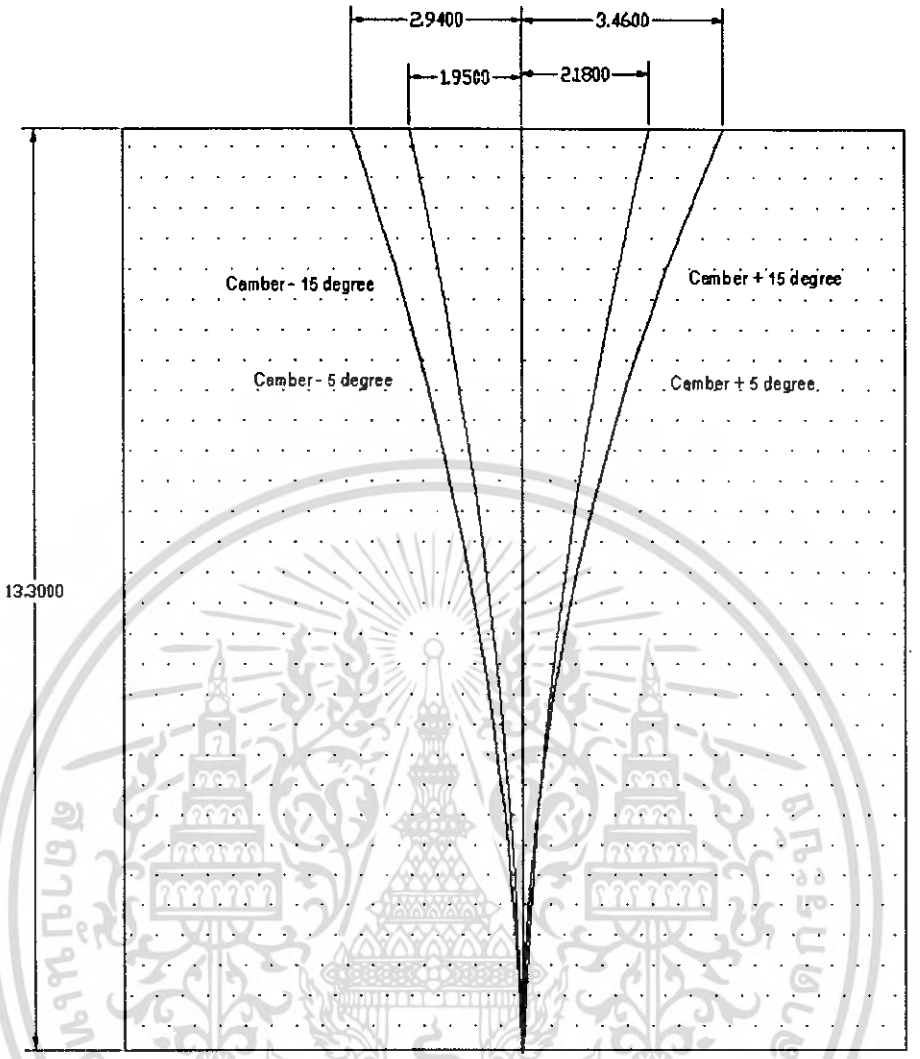
	ขวา		ซ้าย		ระยะที่รถเบนออก			Average	มุมที่ได้			Average
ระยะทาง	+	-	+	-	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1330	5	0	0	0	220	205	230	218.33	80.60	81.24	80.19	80.67
1330	10	0	0	0	280	304	290	291.33	78.11	77.12	77.69	77.64
1330	15	0	0	0	365	330	345	346.66	74.65	76.06	75.45	75.39
1330	0	5	0	0	198	186	201	195.00	81.53	82.04	81.40	81.65
1330	0	10	0	0	256	265	248	256.33	79.10	78.73	79.43	79.09
1330	0	15	0	0	293	289	301	294.33	77.57	77.74	77.24	77.52
1330	0	0	5	0	233	240	235	236.00	80.06	79.77	79.98	79.93
1330	0	0	10	0	298	292	308	299.33	77.37	77.62	76.96	77.31
1330	0	0	15	0	355	361	341	352.33	75.01	74.81	75.61	75.14
1330	0	0	0	5	203	199	207	203.00	81.32	81.79	81.15	81.42
1330	0	0	0	10	249	261	267	259.00	79.40	78.90	78.65	78.98
1330	0	0	0	15	297	292	310	299.66	77.41	77.62	76.9	77.31
1330	5	0	0	0	403	412	397	404	73.14	72.79	73.38	73.10
1330	2.5	0	0	0	218	198	204	206.66	80.69	81.53	81.28	81.16
1330	0	5	0	0	341	348	353	347.33	75.62	75.34	75.14	75.36
1330	0	2.5	0	0	164	175	179	172.66	82.97	82.5	82.33	82.60
1330	0	0	5	0	418	422	409	416.33	72.55	72.40	72.91	72.62
1330	0	0	2.5	0	222	231	219	224.00	80.52	80.15	80.65	80.44
1330	0	0	0	5	344	332	337	337.66	75.5	75.98	75.78	75.75
1330	0	0	0	2.5	156	167	169	164.00	83.31	82.84	82.76	82.97

ตารางผลการทดลองที่ 6.15 มุมแคมเบอร์ และ มุมโท



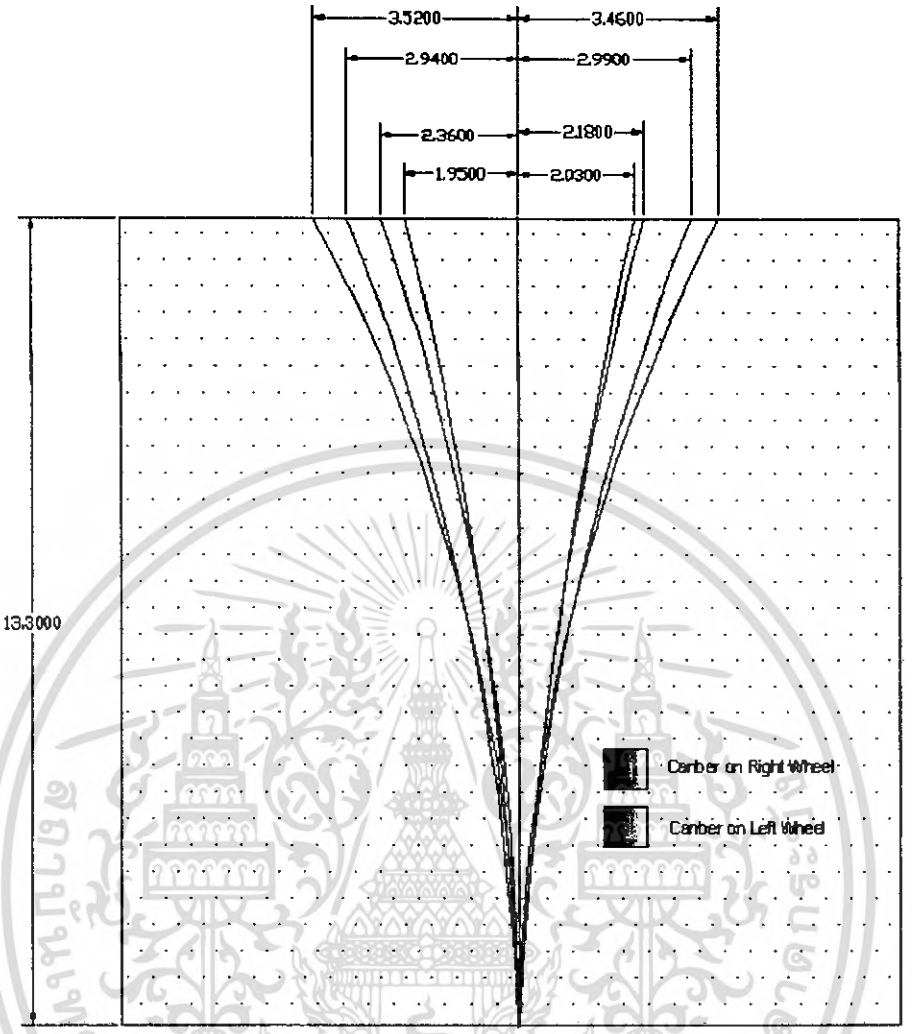
รูปที่ 6.44 การจำลองเส้นทางของรถตามผลการทดลอง เมื่อปรับ มุมแคมเบอร์ที่ล้อขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



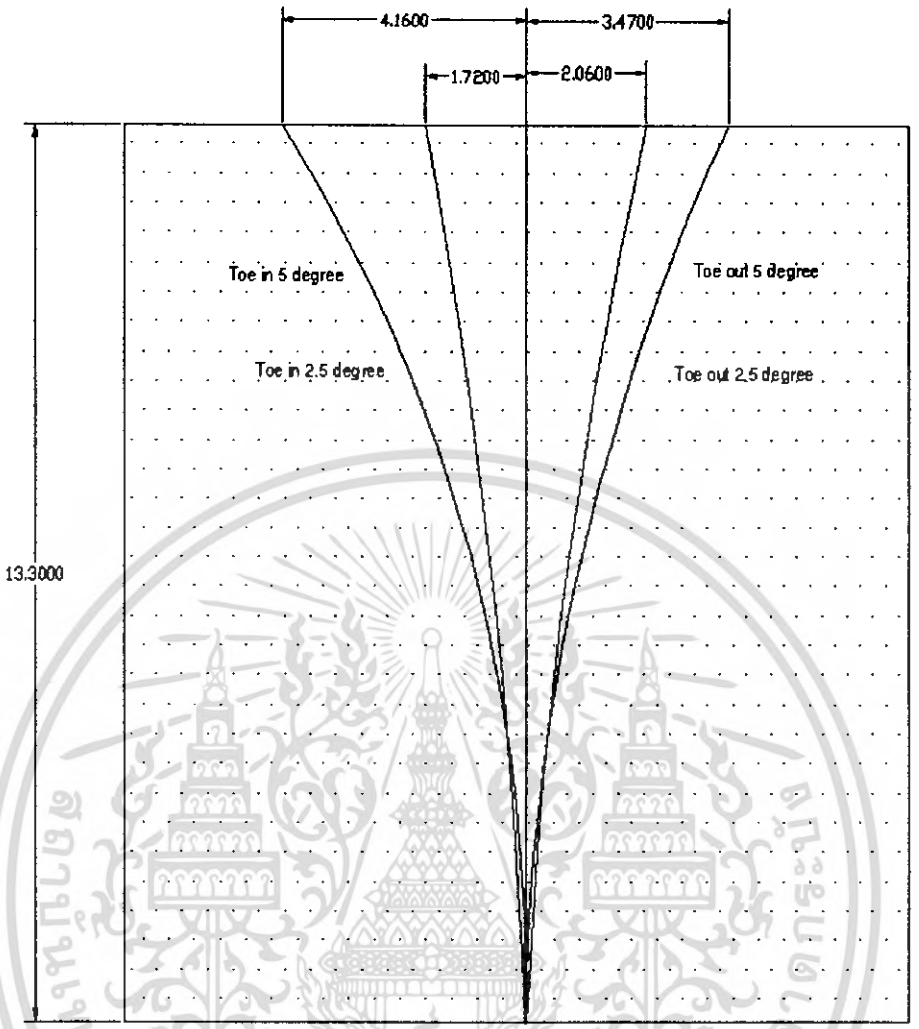
รูปที่ 6.45 การจำลองเส้นทางของรถตามผลการทดลอง เมื่อปรับ มุมแคมเบอร์ที่ล้อซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



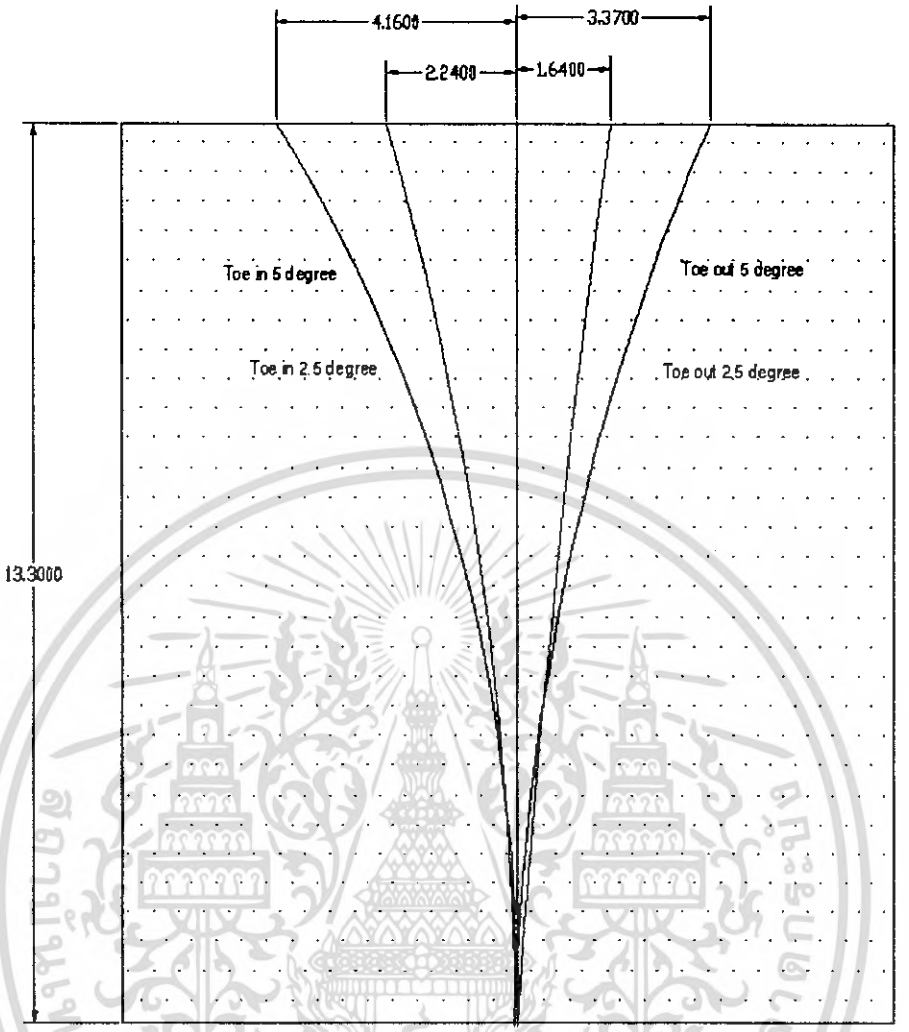
รูปที่ 6.46 การจำลองเส้นทางของรถตามผลการทดลอง เมื่อปรับ มุมแคมเบอร์ที่ล้อซ้ายและขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



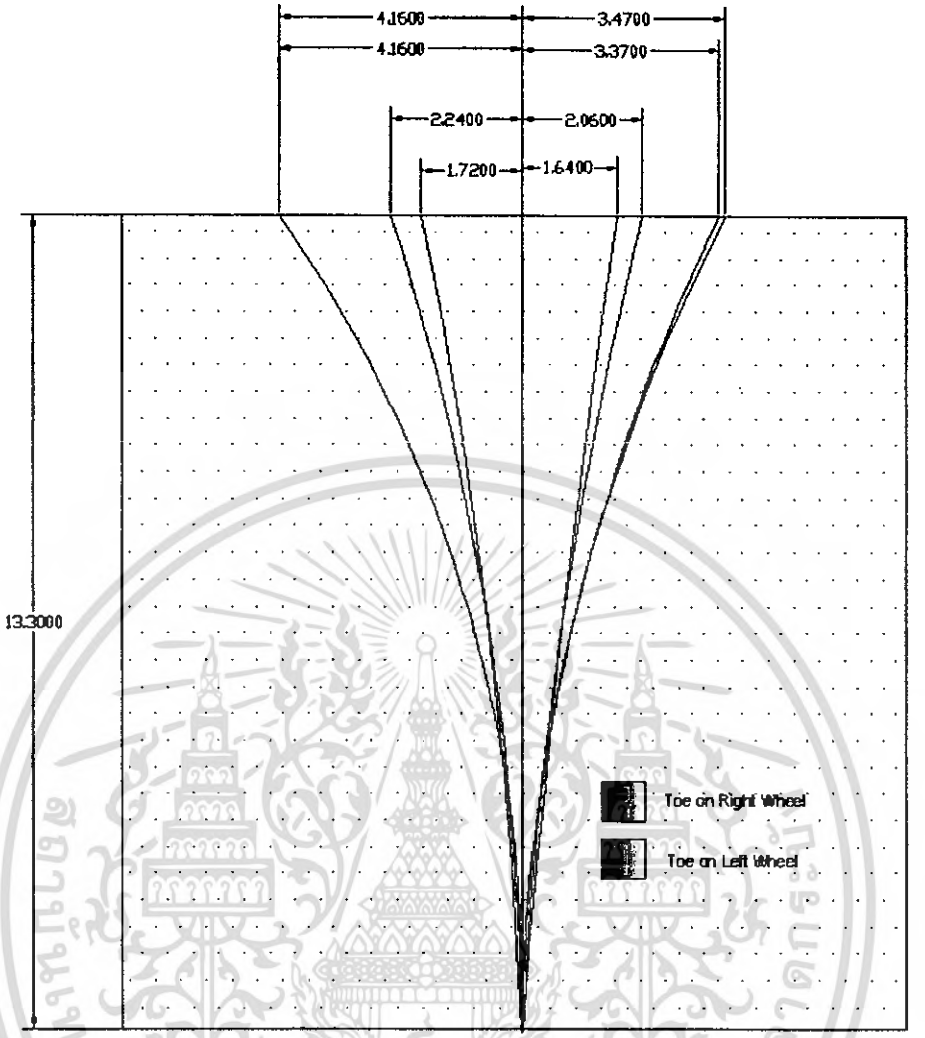
รูปที่ 6.47 การจำลองเส้นทางของรถตามผลการทดลอง เมื่อปรับ มุมโทที่ล้อขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.48 การจำลองเส้นทางของรถตามผลการทดลอง เมื่อปรับ มุมโทที่ล้อซ้าย

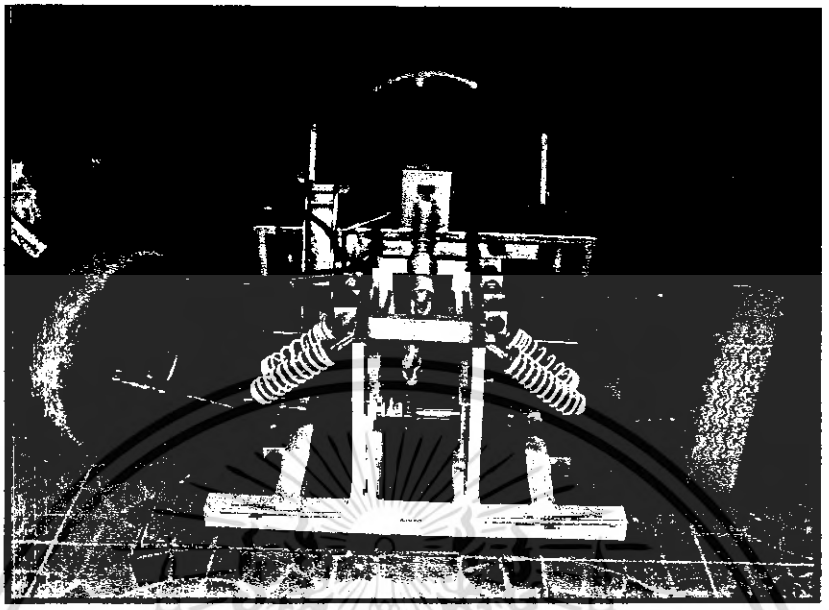
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



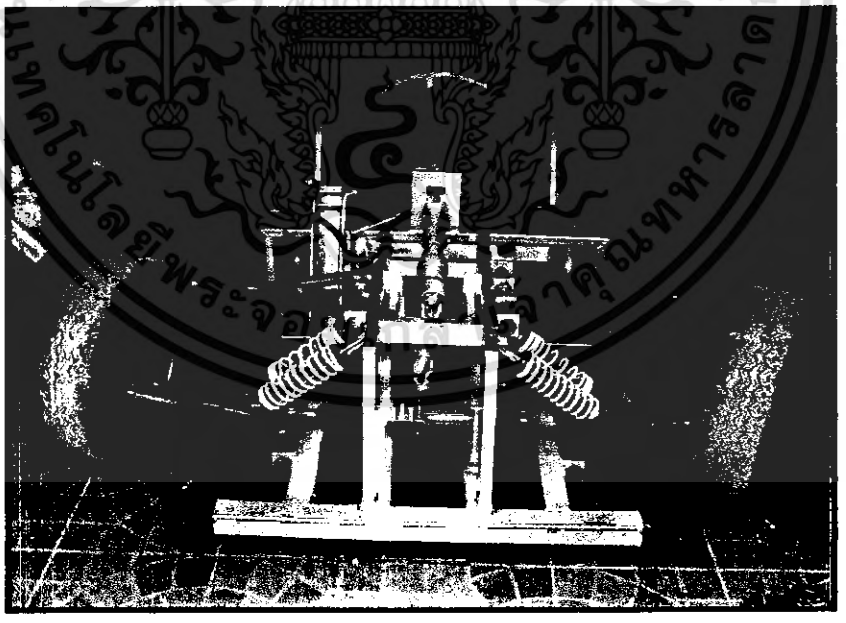
รูปที่ 6.49 การจำลองเส้นทางของรถตามผลการทดลอง เมื่อปรับ มุมโทที่ล้อซ้ายและขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การทดลองโทเอาท์ออนเทิร์น



รูปที่ 6.50 ลักษณะของล้อก่อนการทดลอง



รูปที่ 6.51 ลักษณะของล้อหลังการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองโทเอาท์ออนเทรินน์นั้น จะเกิดขึ้นเมื่อล้อหน้ากับล้อซ้ายทำมุมเท่ากันขณะเลี้ยวซึ่งในระบบอัคเคมานน์จะไม่มีกรณีนี้เกิดขึ้นเราจึงทดลองโดยปรับมุมโทของล้อด้านในให้มีองศาเท่ากับล้อด้านนอกดังรูปที่ 6.51 และทดลองเก็บผลโดยการบันทึกวีดีโอการเลี้ยวเปรียบเทียบตอนก่อนปรับกับหลังปรับซึ่งผลที่ได้คือ ตอนก่อนปรับเมื่อทำการเลี้ยวรถจะเลี้ยวได้เป็นปกติอาจจะมีการปัดเล็กน้อยเนื่องจากผลของถนนและยางแต่เมื่อ ทำการปรับมุมโทล้อด้านในให้ล้อห้านในกับด้านนอกขนานกันขณะเลี้ยวและทดลองขับดูปรากฏว่า ล้อด้านในเกิดการแถออกด้านนอกอย่างมากเพื่อพยายามหมุนให้เร็วเท่ากับล้อด้านนอกมีรัศมีการเลี้ยวที่ยาวกว่าทำให้ล้อด้านในพยายามหมุนให้มีรัศมีเท่ากับล้อด้านนอก ซึ่งผลที่ได้ถูกต้องตามทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

วิจารณ์และสรุป

7.1 สรุปผลการทดลอง

จากการออกแบบ และ พัฒนารถเพื่อการศึกษาการปรับมุมล้อ ทำให้เราได้ค่าต่างๆ ของรถดังนี้

มุมแคมเบอร์ที่สามารถปรับค่าได้	± 10	องศา
ค่ามุมแคสเตอร์ที่สามารถปรับค่าได้	± 20	องศา
ระยะโทที่ปรับที่สามารถปรับค่าได้	± 10	องศา

7.2 ผลการทดลอง

- จากการทดสอบมุมต่างๆ ให้ผลที่มีแนวโน้มใกล้เคียงกับทาง ทบ. และเห็นผลที่ชัดเจน
- อุปกรณ์ ชัดเจนและง่ายต่อการปรับแต่ง เช่น ชิ้นส่วนปรับมุม แคมเบอร์ ชิ้นส่วนปรับมุมแคสเตอร์ และ ชิ้นส่วนปรับมุมโท
- การวัดมุมทำได้โดยใช้เครื่องมือช่วย และ อุปกรณ์การวัดโดยทั่วไป ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับ ทบ.
- การออกแบบปีกนกบนให้มีการปรับแคมเบอร์ได้มากทำให้เห็นผลของมุมแคมเบอร์ได้ชัดเจน
- การออกแบบคันส่ง ทำให้ปรับค่าได้มาก และง่ายต่อการปรับตั้งทำให้ศึกษาและเรียนรู้ได้ง่าย
- การออกแบบโดยใช้ SolidWork ช่วยลดระยะเวลาในการทำงานลง ทำให้งาน เป็นไปตามขั้นตอนมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 วิจารณ์การทำงาน

การติดตั้ง

- เนื่องจากเป็นรถที่มีความสูงน้อย ทำให้การวาง โชคอัพ ทำได้ยาก และต้องวางในองศาที่น้อย
- ลักษณะการวางพวงมาลัย ตรงกลางทำให้ต้องมีการปรับแก้อุปกรณ์ก่อนติดตั้งใช้งาน เพื่อให้ได้ อุปกรณ์ซึ่งเหมาะสมกันรถคันนี้
- เนื่องจาก เครื่องยนต์ถูกออกแบบให้วางตรงกลาง เพื่อสมดุลของรถ ดังนั้น จึงต้องมีการติดตั้งเพลาพิเศษเพื่อ ปรับเปลี่ยนตำแหน่งของการส่งแรง ทำให้ ลดกำลังของเครื่องไปมาก อีกทั้งยังมีปัญหาของระบบส่งกำลัง เพราะ การส่งกำลังผ่านโซ่ ในแนวแกนดิ่ง ซึ่งมีโชคอัพ จะทำให้เกิดการกระตุกของชุดคานแข็ง ส่งผลให้เกิดเสียงเมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบของเครื่องโดยกระทันหัน
- ล้อซึ่งมีขนาด เล็กเกินไปส่งผลให้ อุปกรณ์ที่ออกแบบไว้ เกิดปัญหา เพราะ ด้วยผลต่างทางด้านราคา ทำให้เราจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่ราคาต่ำเพื่อลดต้นทุนของ การทำงานในครั้งนี้

การหาอะไหล่

- เนื่องจากเป็นครั้งแรกที่ต้องเดินหาอะไหล่ในการทำรถ ทำให้เกิดความล่าช้าในหลายๆ ด้านทั้งข้อมูลอะไหล่ ข้อมูลร้านค้า ดังนั้น ในระยะแรกจึงมีความล่าช้าในเรื่องการจัดหาอุปกรณ์เป็นอย่างมาก
- การซื้ออะไหล่ที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ต้องปรับแก้ไปตามปัญหาที่เกิดขึ้น ทำให้เกิดอาการงบบานปลายด้วยเช่นกัน
- แต่ท้ายที่สุดในการซื้ออะไหล่ เราก็ได้ประสบการณ์ และร้านค้าที่มีคุณภาพ ในที่สุด

การประกอบ

- ทำให้มีความรู้ทางด้าน เทคนิคเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นระบบใด ก็สามารถรวบรวมภาพไว้ได้ทั้งหมด

การออกแบบ

- ผลของการออกแบบ และสร้างแบบจำลองช่วยได้มากในชิ้นส่วนซึ่งมีของอยู่แล้ว แต่ชิ้นส่วนบางชิ้นยังหาซื้อไม่ได้ เมื่อได้ชิ้นส่วนนั้นมาก็ไม่ตรงตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ ส่งผลให้ต้องปรับแก้ และแก้ไขอยู่ตลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

ปัญหาที่เกิดขึ้น

- ส่วนใหญ่ เป็นเรื่องของเวลาในการทำงาน ซึ่งมีข้อนข้างจำกัด ซึ่งเวลาที่ว่างจากการเรียนก็จะทำโปรเจก จนหมด บางครั้งอาจต้องทำงานถึงเช้าเพื่อให้ได้งานตามแผนซึ่งได้วางเอาไว้
- ปัญหาการปรับตั้งค่ามุมล้อต่างๆ แม้จะพยายามใช้เครื่องมือ เพื่อให้เกิดความใกล้เคียงแล้วก็ตาม ก็มิอาจจะเทียบกลับเครื่องมือวัดโดยตรงได้ ดังนั้น ผลที่ได้อาจจะเกิดมุมที่คาดเคลื่อนจากความเป็นจริงไปเล็กน้อย
- ปัญหาในการทดสอบ เนื่องจากล้อซึ่งมีขนาดเล็กเกินไป ทำให้ มุมซึ่งส่งผลต่อความสูงของรถเปลี่ยนไป จะทำการทดสอบได้ยาก

7.5 แนวทางในการพัฒนาต่อ

- ระบบช่วงหลังซึ่งเป็นคานแข็ง อาจจะพัฒนาต่อเป็นระบบปีกนกคู่ ซึ่งจะสามารถปรับเปลี่ยนมุมล้อได้ทั้ง 4 ล้อ
- เนื่องเป็นรถที่ศึกษาเกี่ยวกับมุมล้อ ดังนั้น หากประยุกต์ใช้ระบบ ไฮโดรลิก เข้ามาปรับมุมอาจจะทำให้เกิดแนวทางในการศึกษาและปรับเปลี่ยนมุมล้อในขณะที่รถยังวิ่งอยู่ได้
- การพัฒนาระบบอื่นๆ เช่น เบรค ระบบส่งกำลัง ระบบรองรับน้ำหนัก

7.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

- มีความรู้และประสบการณ์ทำงานโดยตรง เช่น การเชื่อม การตัด การเจียร การกลึง
- สามารถเข้าใจถึงระบบต่างๆ เกี่ยวกับรถได้มากขึ้น
- เรียนรู้จักการทำงานร่วมกัน และความอดทน ความมานะอุตสาหะ
- มีความรู้ความสามารถในการเขียนแบบชิ้นส่วน รถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1]ประสานพงษ์ หาเรือนชีพ. 2548. **งานเครื่องล่างรถยนต์** . กรุงเทพฯ . ซีเอ็ดยูเคชั่น

[2]รศ. ธีระยุทธ์ สุวรรณประทีป .2542 . **วิศวกรรมยานยนต์** . กรุงเทพ . วัฒนาพานิช.

เธียรชัย บุณยะกุล : ทบ. ช่างเทคนิคยานยนต์ เล่ม 3 ระบบบังคับเลี้ยว. สสท.

[3]The Car Bibles. 2006. Suspension Types. [online]. Available: http://www.carbibles.com/suspension_bible.html.

[4]AutoZine. 2006. AutoZine Technical School. [online]. Available: http://www.autozine.org/technical_school/tech_index.html

[5]lancerevoclub. 2006. wheel alignment. [online]. Available: http://lancerevoclub.org/faq/handling.php

[6]lancerevoclub. 2006. Alignment definitions. [online]. Available: http://www.mocomracing.com/news_details.asp?id=8.

[7]Mocom Racing Ltd . 2004 – 2007 . Mocom Racing Performance car and trackday products [Online]. Available . http://www.mocomracing.com.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ก ตารางคุณสมบัติของโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางคุณสมบัติของโลหะ

Properties of Gray Cast Iron

ASTM Number	Tensile Strength (Kpsi)	Compressive Strength (Kpsi)	Shear Modulus of Rupture (Kpsi)	Modulus of Elasticity (Mpsi)		Endurance Limit (Kpsi)	Brinell Hardness H_b
				Tension	Torsion		
20	22	83	26	9.6-14	3.9-5.6	10	156
25	26	97	32	11.5-14.8	4.6-6.0	11.5	174
30	31	109	40	13.0-16.4	5.6-6.6	14	201
35	36.5	124	48.5	14.5-17.2	5.8-6.9	16	212
40	42.5	140	57	16.0-20	6.4-7.8	18.5	235
50	52.5	164	73	18.8-22.8	7.2-8.0	21.5	262
60	62.5	187.5	88.5	20.4-23.5	7.8-8.5	24.5	302

Steel Alloy Designation System

AISI-SAE Designation Number	Type and Description
Carbon steels	
10xx	Plain Carbon (Mn. 1.00% max.)
11xx	Resulfurized
12xx	Resulfurized and rephosphorized
15xx	Plain Carbon (max. Mn. range 1.00-1.65%)
Manganese steels	
13xx	Mn 1.75
Nickel steels	
23xx	Ni 3.50
25xx	Ni 5.00
Nickel-chromium steels	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tungsten-chromium steels	
72xx	W 1.75; Cr 0.75
Silicon-manganese steels	
92xx	Si 1.40, 2.00; Mn 0.65, 0.82, 0.85; Cr 0.00, 0.65
High-strength low-alloy steels	
9xx	Various SAE grades
Boron steels	
xxBxx	B denotes boron steels
Leaded steels	
xxLxx	L denotes leaded steels
43xx	Ni 1.82; Cr 0.50, 0.80; Mo 0.25
43BVxx	Ni 1.82; Cr 0.50; Mo 0.12, 0.25; V 0.03 min.
47xx	Ni 1.05; Cr 0.45; Mo 0.20, 0.35
81xx	Ni 0.30; Cr 0.40; Mo 0.12
86xx	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.20
87xx	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.25
88xx	Ni 0.55; Cr 0.50; Mo 0.35
93xx	Ni 3.25; Cr 1.20; Mo 0.12
94xx	Ni 0.45; Cr 0.40; Mo 0.12
97xx	Ni 1.00; Cr 0.20; Mo 0.20
98xx	Ni 1.00; Cr 0.80; Mo 0.25
Nickel-molybdenum steels	
46xx	Ni 0.85, 1.82; Mo 0.20, 0.25
48xx	Ni 3.50; Mo 0.25
Chromium steels	
50xx	Cr 0.27, 0.40, 0.50, 0.65
51xx	Cr 0.80, 0.87, 0.92, 0.95, 1.00, 1.05
50xxx	Cr 0.50; C 1.00 min.
51xxx	Cr 1.02; C 1.00 min.
52xxx	Cr 1.45; C 1.00 min.
Chromium-vanadium steels	
61xx	Cr 0.60, 0.80, 0.95; V 0.10, 0.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Range of Compositions for Typical Unalloyed Cast Irons (Values in Percent (%))					
Type of Iron	**Carbon**	**Silicon**	**Manganese**	**Sulfur**	**Phosphorus**
Gray	2.5 - 4.0	1.0 - 3.0	0.2 - 1.0	0.02 - 0.25	0.02 - 1.0
Ductile	3.0 - 4.0	1.8 - 2.8	0.1 - 1.0	0.01 - 0.03	0.01 - 0.1
Compacted Graphite	2.5 - 4.0	1.0 - 3.0	0.2 - 1.0	0.01 - 0.03	0.01 - 0.1
Malleable (Cast White)	2.0 - 2.9	0.9 - 1.9	0.15 - 1.2	0.02 - 0.2	0.02 - 0.2
White	1.8 - 3.6	0.5 - 1.9	0.25 - 0.8	0.06 - 0.2	0.06 - 0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้