สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

SOLAR ELECTRIC CAR

T103122

โดย

นาย คมกริช เถื่อนสุวรรณ

นาย จิตรภาณุ ล้ำเลิศธรรม

นาย จิรพัฒน์ ประไพ

นาย บรรหาร อร่ามศิริวัฒน์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 103122
วัน,เดือน,ปี 28 ส.ค. 2552

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

SOLAR ELECTRIC CAR

โดย

นาย คมกริช เถื่อนสุวรรณ

นาย จิตรภาณุ ล้ำเลิศธรรม

นาย จิรพัฒน์ ประไพ

นาย บรรหาร อร่ามศิริวัฒน์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. พงษ์ศักดิ์ คำมูล

ผศ. มิ่ง โลกิจแสงทอง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

(SOLAR ELECTRIC CAR)

ผู้จัดทำ

1. นาย คมกริช	เถื่อนสุวรรณ	รหัสนักศึกษา	48010090
2. นาย จิตรภาณุ	ล้ำเลิศธรรม	รหัสนักศึกษา	48010121
3. นาย จิรพัฒน์	ประไพ	รหัสนักศึกษา	48010127
4. นาย บรรหาร	อร่ามศิริวัฒน์	รหัสนักศึกษา	48010469

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พงษ์ศักดิ์ คำมูล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่ง โลกิจแสงทอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

นาย คมกริช	เถื่อนสุวรรณ	48010090
นาย จิตรภาณุ	ล้ำเลิศธรรม	48010121
นาย จิรพัฒน์	ประไพ	48010127
นาย บรรหาร	อร่ามศิริวัฒน์	48010469
ผศ. พงษ์ศักดิ์ คำมูล	อาจารย์ที่ปรึกษา	
ผศ. มิ่ง โลกิจแสงทอง	อาจารย์ที่ปรึกษา	

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันได้มีการใช้รถยนต์กันอย่างแพร่หลาย นอกจากต้องสิ้นเปลืองเงินและเชื้อเพลิงเป็นอย่างมากแล้วยังส่งผลให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ดังนั้นพลังงานทดแทนจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสม ซึ่งรถยนต์พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สะอาด และมีราคาถูก สามารถนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้ได้ 2 ทาง คือ พลังงานไฟฟ้าจากไฟบ้านและพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โดยการใช้แผงโซลาเซลล์เปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าและใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ ภายใต้การควบคุมระบบการจ่ายไฟ และระบบชาร์จประจุ แต่ทั้งนี้ระบบต่างๆต้องมีการออกแบบอย่างถูกต้อง สำหรับโครงงานนี้ได้ออกแบบให้รถวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในอัตราการกินไฟ 62.5 แอมแปร์ต่อชั่วโมง และใช้เซลล์แสงอาทิตย์ต่ออนุกรมกัน โดยมีประสิทธิภาพที่สามารถช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าที่ใช้ได้ 851.7 บาทต่อเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOLAR ELECTRIC CAR

Komkrish Thuensuwan
Jittrabhanu Lumlerttham
Jirapat prapai
Banharn Aramsiriwat
Assis.Prof Pongsak Kummool
Assis.Prof Ming Logitsangtong

Abstract

At the present time, car has been widely used in transportation. It has high cost and high fuel consumption and produces much gas pollution. Alternative energy is the suitable choice. Electrical energy is a clean energy and has a low cost which can produced by electrical charger or solar cells. Solar cells transfer sunshine into electrical energy, which is stored in batteries under control of driver and charging system. The car, that had been constructed, was exactly and good designed and could run with high-speed at 60 km/hr and use current in transmission system about 62.5amp/hr. Solar charge system is series pattern from solar energy that can reduce cost of electric energy about 851.7 bath per month.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง หน้า

บทที่ 1 บทนำ 12

บทที่ 2 ส่วนประกอบของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ 14

2.2 เครื่องควบคุมการประจุ 19

2.3 แบตเตอรี่ 24

2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 30

2.5 ชุดควบคุมมอเตอร์ – การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 47

2.6 ระบบกันสะเทือน 52

2.7 ระบบเบรก 62

2.8 ระบบบังคับเลี้ยว 69

2.9 ระบบส่งกำลัง 77

2.10 การกำหนดขนาดส่วนประกอบต่างๆ 80

บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ 84

บทที่ 4 ขั้นตอนการทำงานในในการสร้างรถพลังงานแสงอาทิตย์ 103

บทที่ 5 สรุปผลการทำงานและการทดสอบ 116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 คุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแต่ละชนิด และลักษณะการนำไปใช้ 44

3.1 แสดงรัศมีความโค้งของพื้นถนนที่รถเริ่มพลิกคว่ำที่ความเร็วต่างๆ 99

3.2 แสดงรัศมีความโค้งของพื้นถนนที่รถเริ่มลื่นไถลที่ความเร็วต่างๆ 100

3.3 แสดงระยะทางในช่วงการใช้เบรกที่ความเร็วต่างๆ 101

5.1 ผลการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ 117

5.2 ผลการทดลองหาเวลาที่ใช้เร่งถึงความเร็วต่างๆ 117

5.3 ผลการทดลองหาเวลาทีใช้เร่งถึงความเร็วต่างๆเพิ่มความคลาดเคลื่อน 30 % 118

5.4 ผลการทดลองหาเวลาที่ใช้ในการวิ่งความเร็วคงที่ต่างๆ
ขนกะทั่งแบตเตอรี่หมด 119

5.5 แสดงแนวโน้มจุดคุ้มทุนเมื่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น 122

5.6 แสดงความคุ้มค่าในการเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ตลอดการใช้งาน 123

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ 14
2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ 15
2.3 แสดงหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ 17
2.4 สมการหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าของเครื่องไฟฟ้า (วัตต์-ชั่วโมง)ในแต่ละวัน 18
2.5 สมการหากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ 19
2.6 สมการหาขนาดและจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องนำมาใช้งาน 19
2.7 กำลังผลิตสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์/ตารางเมตร แสดงโดยใช้ I-V curve วัดจากโปรแกรม IV Tracer โดย Sandia National Laboratories 21
2.8 กำลังผลิตสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1,00 วัตต์/ตารางเมตร แสดงโดยใช้ I-V curve วัดจากโปรแกรม IV Tracer โดย Sandia National Laboratories 21
2.9 เครื่องควบคุมประจุแบบอนุกรม 22
2.10 เครื่องควบคุมประจุแบบชันท์ 22
2.11 การต่อเครื่องควบคุมประจุเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ 23
2.12 ภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว-กรด แผ่นอาโนดและคาโทดจะวางสลับกัน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างกัน 25
2.13 แสดงไอออนบวกของตะกั่วจะออกออกมา อาโนดเข้าไปในอิเล็กทรอไลท์ อิเล็กตรอนจะมีอิสระ ที่จะเข้าไปวงจรที่นำมาต่อภายนอก ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโทดไปยังโนด 25
2.14 โครงสร้างของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรดที่มีการปิดผนึก 26
2.15 แสดงการประจุแบตเตอรี่แบบ ตะกั่ว-กรด โดยใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่ขนาด 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ 27
2.16 เป็นวงจรสมมูลของวงจรประจุแบตเตอรี่ในรูปที่ 2.15 27
2.17 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม 29
2.18 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน 29
2.19 การต่อแบตเตอรี่แบบผสม 29
2.20 ผังการต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 31
2.21 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.22 ขั้วแม่เหล็กและขดลวดแม่เหล็กที่ยึดติดกับเฟรม 32
2.23 โรเตอร์ของมอเตอร์กระแสตรง 32
2.24 ขดลวดสนามแม่เหล็ก 32
2.25 ภาพร่างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 33
2.26 วงจรสมมูลของมอเตอร์ 36
2.27 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกกระตุ้น 37
2.28 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน 38
2.29 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม 38
2.30 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบผสมต่อแบบขนานสั้น 38
2.31 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบผสมต่อแบบขนานยาว 38
2.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กและความเร็ว 39
2.33 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน 40
2.34 กราฟคุณลักษณะของทอร์กและความเร็วของ
มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน 40
2.35 เส้นกราฟแสดงคุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม 42
2.36 กราฟคุณลักษณะของทอร์กและความเร็ว 43
2.37 ผังของการไหลของกำลังไฟฟ้า 45
2.38 วงจรคอนเวอร์เตอร์ 48
2.39 วงจรชอปเปอร์ 49
2.40 วงจรอาร์เมเจอร์ 50
2.41 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบขนาน 51
2.42 ไดเวอร์เตอร์ขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรม 52
2.43 ไดเวอร์เตอร์ขดลวดอาร์เมเจอร์ 52
2.44 แหนบแผ่น 53
2.45 สปริงขด 54
2.46 ทอชั่นบาร์ 54
2.47 สปริงถุงลม (1) 54
2.47 สปริงถุงลม (2) 55
2.48 โช๊คอัพ 55
2.49 เหล็กกันโคลง 56
2.50 หนวดกุ้ง 56
2.51 ระบบกันสะเทือนแบบคานแข็ง 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.52 ระบบกันสะเทือนแบบอิสระ 57
2.53 ระบบกันสะเทือนแบบปีกนกคู่ 58
2.54 ปีกนกด้านบน 58
2.55 แม็คเฟอร์สันสตรัท 59
2.56 มัลติลิงค์ 59
2.57 ยางรถยนต์ 61
2.58 ยางเรเดียลและยางธรรมดา 61
2.59 เบรกมือ 62
2.60 เบรกเท้า 63
2.61 เบรกจาน 63
2.62 เบรกระทะ 64
2.63 ผ้าเบรก 65
2.64 หม้อลมเบรก 66
2.65 แม่ปั๊มเบรก 66
2.66 ระบบเบรก ABS 67
2.67 ระบบเบรก ABS (2) 68
2.68 ระบบ EBD 68
2.69 การกระจายแรงเบรก 69
2.70 ระบบบังคับเลี้ยว 70
2.71 Rack and Pinion 71
2.72 พวงมาลัยเพาเวอร์ 71
2.73 มุมแคสเตอร์ 72
2.74 มุมแคมเบอร์ 74
2.75 มุมเอียงสลักคอม้า 75
2.76 มุมโท 76
2.77 โซ่ 77
2.78 (ภาพซ้ายมือ) เฟือง A เป็นเฟืองขับและเฟือง B เป็นเฟืองตาม 77
2.79 (ภาพขวามือเฟือง) A เป็นเฟืองขับและเฟือง B เป็นเฟืองตาม 77
2.80 กลไกการขับเคลื่อนด้วยโซ่ 78
2.81โซ่ลูกกลิ้ง 78
2.82 โซ่บู๊ช 79
2.83 โซ่โบลต์ 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.84 โซ่ฟัน 79
2.85 ชนิดสายไฟ 82
3.1 โครงสร้างของรถไฟฟ้า 91
3.2 โครงสร้างของรถไฟฟ้า 91
3.3 การประเมินน้ำหนักของโครงสร้าง 92
3.4 การประเมินความแข็งแรงของโครงสร้าง 92
3.5 คอม้าที่ออกแบบ 93
3.6 การประเมินความแข็งแรงของคอม้า 94
3.7 การส่งกำลังด้วยโซ่ที่อัตราทด 38:16 95
3.8 ปีกนก 96
3.9 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของปีกนกที่ออกแบบ 96
3.10 ระบบกันสะเทือนแบบด้านหน้าที่ออกแบบ 97
3.11 ระบบกันสะเทือนแบบด้านหลังที่ออกแบบ 98
3.12 ระบบกันสะเทือนแบบด้านหลังเมื่อประกอบเข้ากับโครงสร้าง 98
3.13 รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 102
4.1 โครงสร้างฐานของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 103
4.2 ชุดดุมล้อหลังที่ประกอบแล้ว 104
4.3 ชุดล้อและระบบกันสะเทือนด้านหลัง 104
4.4 ชุดล้อและดุมล้อหน้าที่นำไปคว้านเปลี่ยนขนาดเพลาและลูกปืน 105
4.5 ปีกนกที่ทำการประกอบกับลูกหมาก 106
4.6 ปีกนกที่ทำการประกอบกับตัวส่งแรงเข้าโช๊ค 106
4.7 ระบบบังคับเลี้ยวก่อนการดัดแปลง 107
4.8 รถที่ประกอบและตั้งมุมล้อเสร็จสิ้น 108
4.9 รถที่ประกอบและตั้งมุมล้อเสร็จสิ้น (มุมมองด้านหน้า) 108
4.10 การเทียบขนาดแบบกับขนาดจริง 109
4.11 การเทียบขนาดแบบกับขนาดจริงที่เสร็จสิ้น 109
4.12 การดัดขึ้นโครงสร้างด้านบนของรถ 110
4.13 การดัดขึ้นโครงสร้างด้านบนของรถ 110
4.14 เหล็กทั้งหมดที่ใช้การดัดขึ้นโครงสร้างด้านบนของรถ 111
4.15 รถที่ผ่านการดัดขึ้นโครงสร้างด้านบนแล้ว 111
4.16 ติดตั้งมอเตอร์พร้อมกับการตั้งความตึงของโซ่ 112
4.17 ติดตั้งระบบเบรกพร้อมเดินสายเบรกและไล่ลมเบรก 112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.18 ติดตั้งแท่นเหยียบเบรกและคันเร่ง 113
4.19 ชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ 113
4.20 เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ 114
4.21 รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 114
4.22 รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบัน เราท่านทั้งหลาย คงจะตระหนักถึงปัญหาที่เกิดขึ้นของการใช้รถยนต์ ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของปัญหามลพิษของอากาศ ที่นับวันจะร้ายแรงขึ้นทุกที ปัญหาในเรื่องของน้ำมันเชื้อเพลิงที่กำลังเหลือน้อย ถ้าหากเราปล่อยให้ทุกอย่างเป็นไปเช่นเดิม โดยไม่หาหนทางแก้ไขสักวันเราอาจจะไม่เหลือน้ำมันไว้ใช้กันอีกก็เป็นได้

ทุกวันนี้มนุษย์เราพยายามหาวิธีทางต่างๆเพื่อแก้ไขปัญหาที่ประสบอยู่ดังนั้น รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ในการแก้ปัญหาข้างต้น

1.1.1 ปัญหามลพิษทางอากาศ

รถยนต์ในปัจจุบันที่เราใช้กันอยู่จะใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เพื่อให้ได้พลังงานขึ้นมาจำนวนหนึ่งที่จะนำไปใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ ซึ่งสิ่งที่ได้หลังจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น ก็คือไอเสียนั่นเอง แต่ในทางตรงกันข้ามกรณีของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้น เซลล์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ ซึ่งไม่ก่อให้เกิดไอเสียหรือมลพิษทางอากาศขึ้นมา

1.1.2 ปัญหาการสิ้นเปลืองทรัพยากร

ปริมาณของรถยนต์ที่มีจำนวนมากขึ้นทุกวันนี้ มีผลทำให้ปริมาณความต้องการน้ำมันในแต่ละวันอยู่ในเกณฑ์ที่สูงมาก ซึ่งหากเราปล่อยให้เป็นเช่นนี้ต่อไป โดยไม่หาหนทางแก้ไขสักวันหนึ่งน้ำมันจะต้องหมดไปอย่างแน่นอน รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นทางเลือกใหม่สำหรับมนุษย์ เพราะพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดสิ้น โดย ไม่ต้องกังวลกับปัญหาสิ้นเปลืองทรัพยากรอีกต่อไป

พวกเราหวังว่าในอนาคตการพัฒนาของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะทำให้ สามารถเข้ามาแทนที่รถยนต์ในปัจจุบันที่เราใช้กันอยู่ พร้อมกับช่วยลดและขจัดปัญหาต่างๆที่เรากำลังประสบอยู่ในปัจจุบันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 วิเคาระค่าความแข็งแรงของโครงสร้าง ระบบกันสะเทือน ระบบแบรก อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน ของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบ

1.2.2 สร้างรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ที่สามารถใช้งานได้จริงในขนาดที่เล็กกว่ารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ทั่วไป

1.2.3 ทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ที่สร้างขึ้นมาเพื่อพิสูจน์ค่าที่ได้จากออกแบบ และหาอัตราการใช้กระแสไฟฟ้าและการประหยัดพลังงาน

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

การออกแบบและสร้างรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบากว่ารถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วไปโดยมุ่งเน้นในเรื่องของการประหยัดพลังงานเมื่อเราใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานร่วม โดยการทดสอบการวิ่งที่ความเร็วคงที่ต่างๆเพื่อหาเวลาและระยะทางจากแบตเตอรี่เต็มจนหมด โดยเราจะนำข้อมูลนั้นมาใช้ในการหาประสิทธิภาพและค่าไฟฟ้าที่ลดลง

1.4 วิธีการดำเนินงาน

ในโครงงานนี้เริ่มต้นโดยการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบต่างๆภายในรถยนต์เพื่อใช้ในการออกแบบ จากนั้นทำการวิเคราะห์โครงสร้าง ความปลอดภัย ของแบบที่ได้ออกแบบไว้ หลังจากนั้นก็ทำการสร้างตามที่ได้ออกแบบและวิเคราะห์ไว้ เมื่อทำการสร้างเสร็จก็จะทำการทดลองตามจุดประสงค์ของโครงงานหาความคุ้มค่าและประสิทธิภาพของรถที่สร้าง

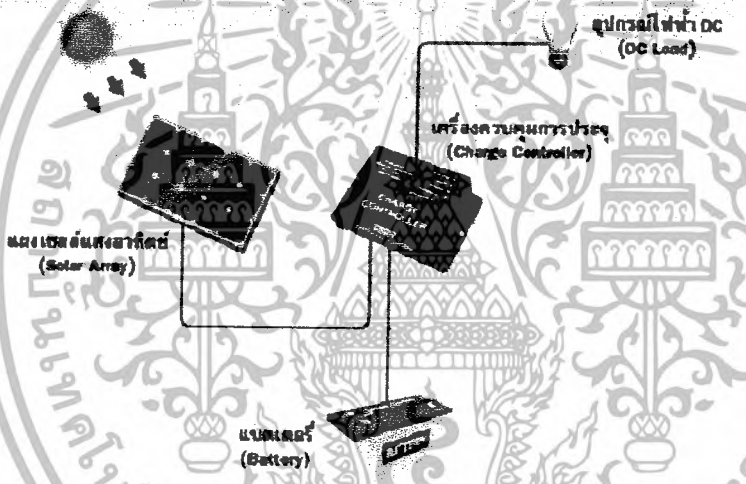
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ส่วนประกอบของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้ากระแสตรง จึงนำกระแสไฟฟ้าไปใช้ได้เฉพาะกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น หากต้องการนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับหรือเก็บสะสมพลังงานไว้ใช้ต่อไป จะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ อีก โดยรวมเข้าเป็นระบบที่ผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์สำคัญๆ มีดังนี้



รูปที่ 2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module)

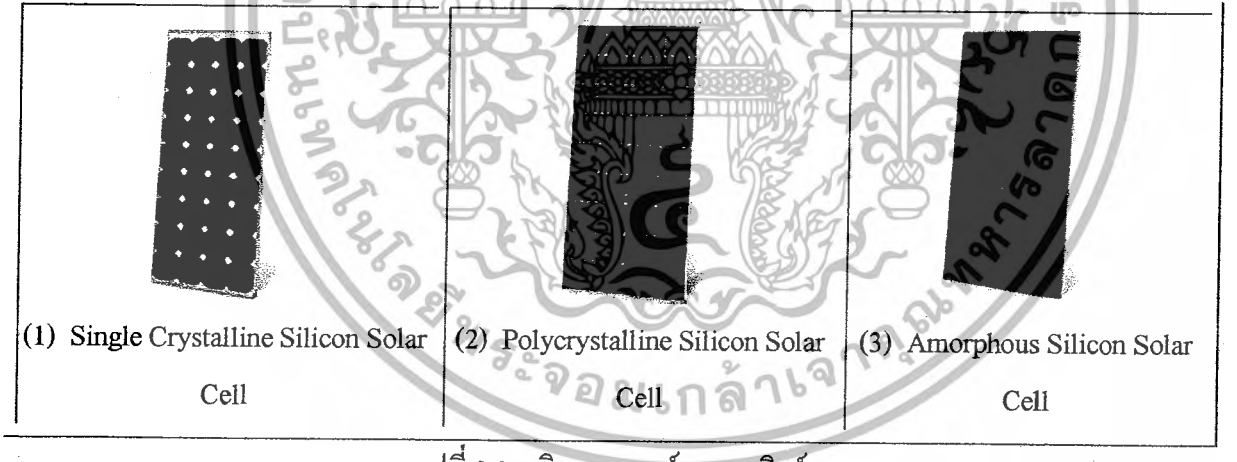
เซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) มีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาต่อกันเป็นแถวหรือเป็นชุด (Solar Array) เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าใช้งานตามที่ต้องการ โดยการต่อกันแบบอนุกรมจะเพิ่มแรงดันไฟฟ้า และการต่อกันแบบขนาน จะเพิ่มพลังงานไฟฟ้า หากสถานที่ตั้งทางภูมิศาสตร์แตกต่างกัน ก็จะมีผลให้ปริมาณของค่าเฉลี่ยพลังงานสูงสุดในหนึ่งวันไม่เท่ากันด้วย รวมถึงอุณหภูมิก็มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า หากอุณหภูมิสูงขึ้น การผลิตพลังงานไฟฟ้าจะลดลง Solar Cell หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PV มีชื่อเรียกกันไปหลายอย่าง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์สุริยะ หรือเซลล์ photovoltaic ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกออกเป็น photo หมายถึง แสง และ volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1839 แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา จนกระทั่งใน ปี ค.ศ. 1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ และได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมในอวกาศ เมื่อ ปี ค.ศ. 1959 ดังนั้น สรุปได้ว่า

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้

2.1.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งตามวัสดุที่ใช้เป็น 3 ชนิดหลักๆ คือ



รูปที่ 2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

(1) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell และชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกรวม (Polycrystalline) มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำซิลิคอนที่ถลุงและหลอมละลายเป็นของเหลวแล้วมาเทลงในแบบพิมพ์เมื่อซิลิคอนแข็งตัวจะได้เป็นแท่งซิลิคอนเป็นแบบผลึกรวม แล้วนำมาตัดเป็นแว่นๆ จากนั้นนำมาแพร่ซึมด้วยสารเจือปนต่างๆและทำขั้วไฟฟ้าสองด้านด้วยวิธีการเช่นเดียวกับที่สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนชนิดผลึกเดี่ยว

(2) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) น้ำหนักเบามาก และประสิทธิภาพเพียง 5-10% โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิคอน มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้ ทำการแยกสลายก๊าซไซเลน (Saline Gas) ให้เป็นอะมอร์ฟัสซิลิคอน โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่อง Plasma CVD (Chemical Vapor Deposition) เป็นการผ่านก๊าซไซเลนเข้าไปในครอบแก้วที่มีขั้วไฟฟ้าความถี่สูง จะทำให้ก๊าซแยกสลายเกิดเป็นพลาสมา และอะตอมของซิลิคอนจะตกลงบนฐานหรือ สแตนเลสที่วางอยู่ในครอบแก้ว เกิดเป็นฟิล์มบางขนาดไม่เกิน 1 ไมครอน (0.001 มม.) ขณะที่แยกสลายก๊าซไซเลน จะผสมก๊าซฟอสฟีนและไดโบเรนเข้าไปเป็นสารเจือปน เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นสำหรับใช้เป็นโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ การทำขั้วไฟฟ้า มักใช้ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงที่ทำจาก ITO (Indium Tin Oxide)

(3) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น แกลเลี่ยม อาร์เซไนด์, แคดเมียม เทลเลอไรด์ และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ เป็นต้น มีทั้งชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกรวม (Polycrystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ จะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 20-25% เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแกลเลี่ยม อาร์เซไนด์ มีขั้นตอนการผลิต ดังนี้ เริ่มที่ขั้นตอนการปลูกชั้นผลึก โดยใช้เครื่องมือ คือ เตาปลูกชั้นผลึกจากสถานะของเหลว (LPE; Liquid Phase Epitaxy) จากนั้นจะทำขั้นตอนการปลูกชั้นผลึกที่เป็นรอยต่อเอ็นพี โดยเครื่องมือที่ใช้นั้น คือ เครื่องปลูกชั้นผลึกด้วยลำโมเลกุล (MBE; Molecular Beam Epitaxy)

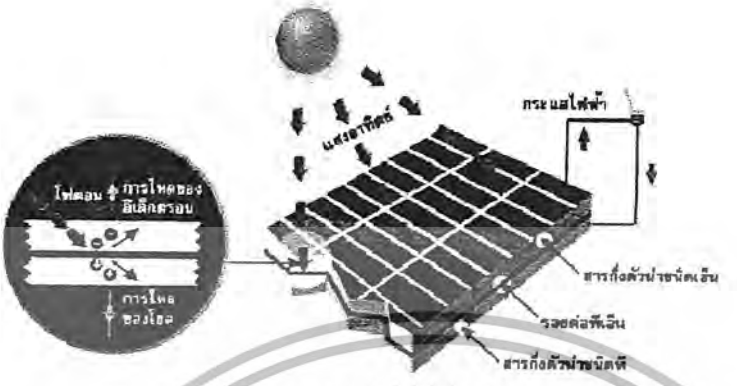
2.1.3 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างที่นิยมมากที่สุด ได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนโลก คือ ซิลิคอน จึงถูกนำมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำซิลิคอนมาถลุง และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ จนกระทั่งทำให้เป็นผลึก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนเพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น โดยเมื่อเติมสารเจือฟอสฟอรัส จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (เพราะนำไฟฟ้าด้วยอิเล็กตรอนซึ่งมีประจุลบ) และเมื่อเติมสารเจือโบรอน จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (เพราะนำไฟฟ้าด้วยโฮลซึ่งมีประจุบวก) ดังนั้น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นมาต่อกัน จะเกิดรอยต่อพีเอ็นขึ้น โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน อาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัส ความหนา 200-400 ไมครอน (0.2-0.4 มม.) ผิวด้านรับแสงจะมีชั้นแพร่ซึมที่มีการนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่รับแสงจะมีลักษณะคล้ายก้างปลาเพื่อให้ได้พื้นที่รับแสงมากที่สุด ส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นขั้วโลหะเต็มพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.1.4 หลักการทำงานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.3 แสดงหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและ โฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก (ปกติที่ฐานจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิดพี ขั้วไฟฟ้าด้านหลังจึงเป็นขั้วบวก ส่วนด้านรับแสงใช้สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ขั้วไฟฟ้าจึงเป็นขั้วลบ) ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น

2.1.5 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์

(1) ใช้พลังงานจากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ ไม่ก่อปฏิกิริยาที่จะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ

(2) เป็นการนำพลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่าและไม่มีวันหมดไปจากโลกนี้

(3) สามารถนำไปใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทุกพื้นที่บนโลก และได้พลังงานไฟฟ้าใช้โดยตรง

(4) ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอื่นใดนอกจากแสงอาทิตย์ รวมถึงไม่มีการเผาไหม้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านอากาศและน้ำ

(5) ไม่เกิดของเสียขณะใช้งาน จึงไม่มีการปล่อยมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อม

(6) ไม่เกิดเสียงและไม่มีการเคลื่อนไหวขณะใช้งาน จึงไม่เกิดมลภาวะด้านเสียง

(7) เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ และไม่มีชิ้นส่วนใดที่มีการเคลื่อนไหวขณะทำงานจึงไม่เกิดการสึกหรอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
103122

(8) ต้องการการบำรุงรักษาน้อยมาก

(9) อายุการใช้งานยืนยาวและประสิทธิภาพคงที่

(10) มีน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย เคลื่อนย้ายสะดวกและรวดเร็ว

(11) เนื่องจากมีลักษณะเป็นโมดูล จึงสามารถประกอบได้ตามขนาดที่ต้องการ

(12) ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไฮโดรคาร์บอน และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฯลฯ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจำพวกน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก ทำให้โลกร้อนขึ้น เกิดฝนกรด และอากาศเป็นพิษ ฯลฯ

ตัวอย่าง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว จะให้กระแสไฟฟ้าประมาณ 2-3 แอมแปร์ และให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดประมาณ 0.6 โวลต์ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มากนัก ดังนั้นเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้ามากเพียงพอสำหรับใช้งาน จึงมีการนำเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาต่อกันเป็น เรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Modules) ลักษณะการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่ว่าต้องการกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าโดยการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน จะทำให้ได้กระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น หรือการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น

2.1.6 การคำนวณหาปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องการใช้งานต่อวัน

คำนวณหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า(วัตต์-ชั่วโมง) ในแต่ละวัน จากนั้นนำมาบวกเพิ่มกับพลังงานที่สูญเสียที่เกิดในสายไฟและแบตเตอรี่เพื่อที่จะได้ทราบพลังงานทั้งหมดที่ต้องการ

พลังงานที่ระบบต้องผลิตได้ต่อวัน	=	กำลังไฟฟ้าที่เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดต้องการต่อวัน	x 1.3

รูปที่ 2.4 สมการหาปริมาณพลังงานไฟฟ้าของเครื่องไฟฟ้า (วัตต์-ชั่วโมง)ในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 การคำนวณหากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์อาทิตย์ทั้งระบบที่ต้องผลิตได้ต่อวัน

การคำนวณหากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์อาทิตย์สามารถผลิตได้จะมีหน่วยเป็น Wp (วัตต์สูงสุด) ต่อชั่วโมง เป็นการวัดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากช่วงที่ดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งสูงสุด แต่เนื่องจากความสว่างและความเข้มแสงไม่สม่ำเสมอ จะต้องพิจารณาค่าแฟ็คเตอร์ในแต่ละพื้นที่ที่รับแสงอาทิตย์ เพื่อนำมาผลิตไฟฟ้าได้ต่อวัน สำหรับเขตพื้นที่ประเทศไทยค่าแฟ็คเตอร์ (Panel Generation Factor) คือ 3.43

$$\text{กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงทั้งระบบ (Wp)} = \frac{\text{พลังงานที่ระบบต้องผลิตได้ต่อวัน}}{3.43}$$

รูปที่ 2.5 สมการหากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้

2.1.8 การคำนวณหาจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องใช้

เมื่อทราบกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุดทั้งระบบที่ต้องผลิตได้ต่อวันและพลังงานแสงอาทิตย์ที่ระบบผลิตได้ต่อวันแล้ว จะสามารถคำนวณหาขนาดและจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องนำมาใช้งานได้ดังนี้

$$\text{จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงทั้งระบบ (Wp)}}{\text{พลังงานแสงอาทิตย์ที่ระบบผลิตได้ต่อวัน}}$$

รูปที่ 2.6 สมการหาขนาดและจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องนำมาใช้งาน

2.2 เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller)

ทำหน้าที่ประจุกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่ และควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณเหมาะสมกับแบตเตอรี่ เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมถึงการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ด้วย ดังนั้น การทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ คือ เมื่อกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่จนเต็มแล้ว จะหยุดหรือลดการประจุกระแสไฟฟ้า (และมักจะมีคุณสมบัติในการตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า กรณีแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงด้วย) ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าในกรณีที่มีการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่เท่านั้น

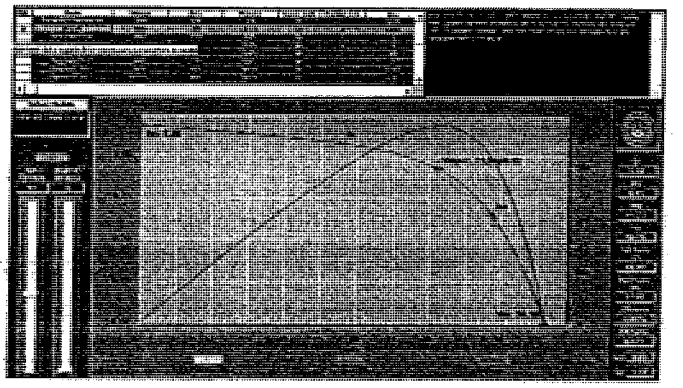
เครื่องควบคุมการประจุ ตรงกับคำภาษาอังกฤษว่า Charge controller หรือ Charge regulator มีหน้าที่คือ ประจุไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงในแบตเตอรี่จนเต็ม และควบคุมไม่ให้ประจุไฟฟ้ามากเกินด้วยการเบี่ยงเบนไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่เมื่อมีการประจุจนเต็ม ถ้าไม่มีเครื่องควบคุมการประจุ แผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่มากเกินไป (Overcharge) จะทำให้แบตเตอรี่เกิดการสูญเสียน้ำอย่างรวดเร็ว ร้อนขึ้นและอาจเกิดความเสียหายได้ ถ้าเป็นระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดประมาณ 1-5 วัตต์หรือจ่ายไฟฟ้าได้ประมาณ 1/60 ของความจุแบตเตอรี่ต่อวันหรือน้อยกว่านั้น ก็ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องควบคุมการประจุ

ปัจจุบันนี้การผลิตเครื่องควบคุมการประจุมักรวมฟังก์ชั่นพิเศษๆ เข้าไว้มากมาย เพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งเอื้อประโยชน์ต่อการใช้งานอย่างยิ่ง เช่น Low Voltage Disconnect (LVD) ช่วยป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับแบตเตอรี่และอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยจะปิดสวิตช์อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ต่อเชื่อม หากแรงดันของแบตเตอรี่ต่ำลงในระดับที่เป็นอันตรายต่อแบตเตอรี่, Maximum Power Point Tracking (MPPT) เป็นกระบวนการที่ทำให้เครื่องควบคุมการประจุดึงพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากที่สุดเพื่อประจุลงแบตเตอรี่ โดยไม่คำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่รวมถึง Battery Temperature Compensation (BTC) จะปรับอัตราการประจุแบตเตอรี่ตามอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ซึ่งเหมาะและจำเป็นอย่างยิ่งต่อประเทศที่สภาพอากาศหนาวเย็น ฯลฯ

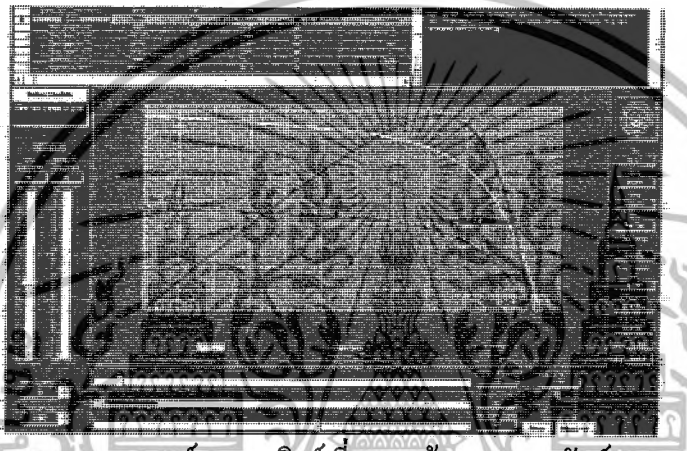
2.2.1 ความหมายของ Maximum Power Point Tracking

Maximum Power Point Tracking หรือ MPPT หมายถึง ขั้นตอนวิธี (algorithm) ที่ถูกรวมเข้าไว้ในอุปกรณ์ควบคุมอิเลคทรอนิคส์ ซึ่งใช้ในการทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าให้ได้สูงสุด (maximum power) ทั้งนี้ กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ความเข้มของแสงอาทิตย์ (Solar radiation), อุณหภูมิสภาพแวดล้อม (Ambient temperature) และอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell temperature) ระบบ MPPT ได้รับการออกแบบให้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับทำการตรวจสอบกำลังไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดเวลา เพื่อให้ได้ค่ากำลังผลิตสูงสุดในแต่ละเวลาตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ได้รับในรูปของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าด้วยขั้นตอนวิธีของ MPPT ที่จะทำให้ได้กำลังไฟฟ้ามากขึ้น หากตรวจสอบพบว่า กลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใดให้ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกสูงกว่า จะย้ายจุดควบคุมไปยังแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกของกลุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 กำลังผลิตสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์/ตารางเมตร แสดงโดยใช้ I-V curve วัดจากโปรแกรม IV Tracer โดย Sandia National Laboratories



รูปที่ 2.8 กำลังผลิตสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 100 วัตต์/ตารางเมตร แสดงโดยใช้ I-V curveวัดจากโปรแกรม IV Tracer โดย Sandia National Laboratories

จากกราฟรูป 2.7 และ 2.8 จะพบว่า ที่ความเข้มของแสงอาทิตย์แตกต่างกัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะให้ค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไปด้วย ได้แก่

(1) กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power; Pm)

(2) แรงดันไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power voltage; Vpm)

(3) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit voltage; Voc)

(4) กระแสไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power current; Ipm)

(5) กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short circuit current; Isc)

2.2.2 การทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ

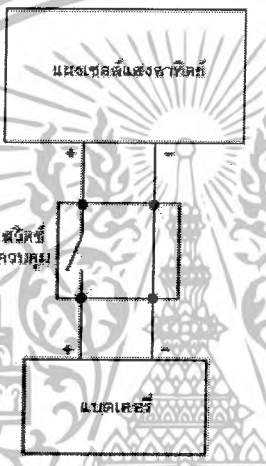
หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุคือ มีวงจรสำหรับตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งทำงานเป็นสวิตช์ที่เบี่ยงเบนไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เมื่อประจุจนเต็มวิธีเบี่ยงเบนการไหลของไฟฟ้าที่ไปยังแบตเตอรี่ใช้การลัดวงจรหรือเปิดวงจรโดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เกิดความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบคุมการประจุจะตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่เพื่อกำหนดสถานะในการประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่มีประจุอยู่เต็ม แรงดันจะสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ เครื่องควบคุมการประจุจะตัดการประจุไฟฟ้าเมื่อแรงดันสูงถึง 14.4 โวลต์และจะประจุไฟฟ้าใหม่อีกครั้งหลังจากแรงดันลดลงเหลือ 13.4 โวลต์

2.2.3 ชนิดของเครื่องควบคุมการประจุ

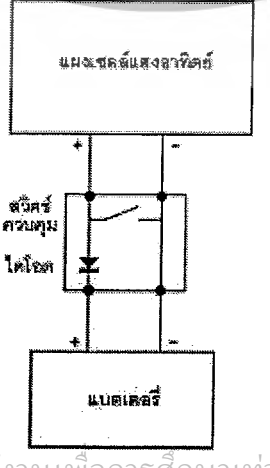
เครื่องควบคุมการประจุถูกจำแนกออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ดังนี้



รูปที่ 2.9 เครื่องควบคุมประจุแบบอนุกรม

(1) เครื่องควบคุมการประจุแบบอนุกรม (Series charge controller)

เป็นการต่อเครื่องควบคุมการประจุกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดการไหลของกระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังแบตเตอรี่เมื่อประจุไฟฟ้าเต็ม หรือเป็นการเปิดวงจรระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่เมื่อประจุแบตเตอรี่เต็ม สวิตช์ควบคุมใช้สวิตช์แม่เหล็กที่เรียกว่า รีเลย์ (Relay) หรือสวิชชิ่งทรานซิสเตอร์ (Switching transistor) ก็ได้



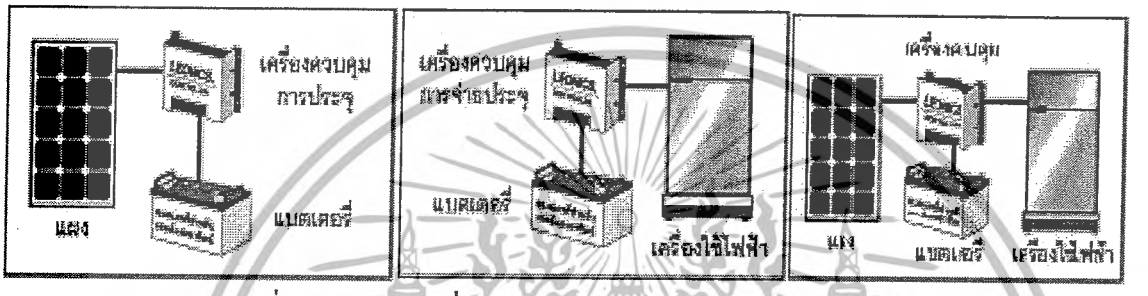
รูปที่ 2.10 เครื่องควบคุมประจุแบบชันท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) เครื่องควบคุมการประจุแบบชันท์ (Shunt charge controller)

เป็นการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับสายไฟขาออกแบบขนาน จะทำการเชื่อมวงจรกับสายไฟของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้ไม่มีไฟฟ้าไหลจากแผงไปยังแบตเตอรี่เมื่อประจุไฟฟ้าเต็ม แม้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ได้รับความเสียหายจากการลัดวงจร แต่แบตเตอรี่จะได้รับความเสียหาย จึงต้องมีไดโอด (Diode) ซึ่งเป็นวาล์วทางเดียวติดตั้งระหว่างเครื่องควบคุมการประจุกับแบตเตอรี่ เพื่อป้องกันการลัดวงจรทั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่

สวิตช์ควบคุมใช้สวิตช์สารกึ่งตัวนำ



รูปที่ 2.11 การต่อเครื่องควบคุมประจุเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์

โดยเครื่องควบคุมการประจุทั้งสองชนิดนี้ มีการควบคุมสวิตช์ได้ 2 แบบด้วยกัน คือ แบบ On-Off ที่จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิดและปิดธรรมดาๆ เท่านั้นและแบบ PWM (Pulse Width Modulation) ที่ช่วยให้การประจุแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพสูงและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ซึ่งการควบคุมสวิตช์แบบ PWM มีข้อดีมากกว่าการควบคุมสวิตช์แบบ On-Off

การเลือกขนาดเครื่องควบคุมการประจุนั้น จะถูกกำหนดด้วยแรงดันของระบบที่ถูกออกแบบขึ้นและกระแสสูงสุดที่สามารถควบคุมได้ แรงดันของระบบทั่วไปเท่ากับ 12 โวลต์, 24 โวลต์ หรือ 48 โวลต์ ส่วนกระแสสูงสุดจะถูกกำหนดโดยจำนวนและขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในระบบ

ส่วนมากแล้วเครื่องควบคุมการประจุและเครื่องควบคุมการจ่ายประจุจะรวมอยู่ภายในเครื่องเดียวกัน เท่ากับว่าเครื่อง ควบคุมการประจุมีฟังก์ชั่นการทำงานของการควบคุมการจ่ายประจุรวมอยู่ด้วย และเรามีข้อสังเกตที่จะบอกได้ว่าเครื่องควบคุมเป็นแบบใด โดยดูจากการต่อวงจรดังนี้ ถ้ามีการต่อจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังเครื่องควบคุม แสดงว่า เครื่องควบคุมนั้นมีเครื่องควบคุมการประจุรวมอยู่ด้วย ถ้ามีการต่อไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า แสดงว่า เครื่องควบคุมนั้นมีเครื่องควบคุมการจ่ายประจุรวมอยู่ด้วย และเครื่องควบคุมทั้งหมดต้องต่อไปยังแบตเตอรี่

ในขณะที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีเครื่องควบคุมการประจุและจ่ายประจุ เพื่อป้องกันแบตเตอรี่ประจุไฟฟ้ามากเกินไปและยังทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายประจุเพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เหลือไฟฟ้าน้อยเกินไป เปรียบเทียบได้กับระบบกักเก็บน้ำฝน การเก็บน้ำในถังเก็บน้ำจะต้องไม่เต็มเกินไปหรือมีน้ำน้อยเกินไป จึงมีการติดตั้งวาล์วเพื่อปิดน้ำที่เข้าถังเมื่อน้ำเต็มเพื่อไม่ให้น้ำล้นออกมาและมีวาล์วอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวหนึ่งที่ควบคุมการจ่ายน้ำออกจากถังเพื่อไม่ให้น้ำที่เหลืออยู่น้อยเกินไป วาล์วเหล่านี้ก็คือตัวควบคุมปริมาณน้ำในถังเก็บน้ำ เทียบได้กับเครื่องควบคุมการประจุและจ่ายประจุนั่นเอง

2.3 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ต่อไป เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโตรไลต์ (Electrolyte solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์หรือมากกว่าก็ได้ แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ได้ผลิตไฟฟ้า สามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (Recharge) ได้หลายครั้ง และประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100% จะอยู่ที่ประมาณ 80% เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุ/จ่ายประจุนั่นเอง

2.3.1 โครงสร้างแบตเตอรี่

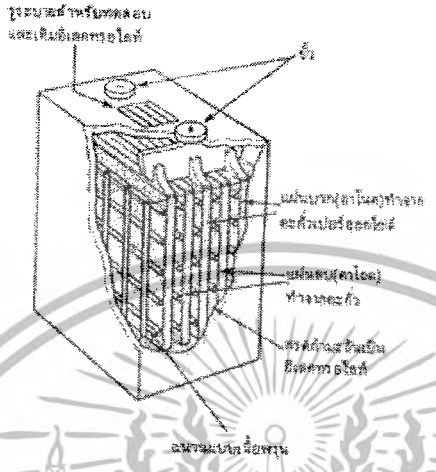
เซลล์แบบสังกะสี – ถ่านแบบอัลคาไลน์ แมงกานีส แบบปรอท แบบซิลเวอร์ แบบสังกะสี – อากาศและแบบลิเธี่ยม ซึ่งเซลล์ต่างๆ ที่กล่าวมานี้ถูกจัดอยู่ในเซลล์แบบปฐมภูมิ เมื่อพลังงานเคมีในตัวเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าหมดแล้ว ก็หมดสภาพในการเป็นแหล่งจ่ายไฟอีกต่อไป แต่ยังมีเซลล์อีกแบบหนึ่ง เรียกว่าเซลล์แบบทุติยภูมิ (Secondary cell) สามารถที่จะประจุไฟกลับใหม่ได้ โดยที่ปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจ่ายเป็นพลังงานไฟฟ้าออกมานั้น เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ การใช้เซลล์แบบทุติยภูมินี้ ทำให้เหมาะที่จะใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟมาก เนื่องจากถ้าเซลล์ถูกใช้ไฟไปจนหมดแล้ว สามารถจะประจุกลับไปใหม่เพื่อจะได้ใช้ต่อไปได้ เซลล์แบบทุติยภูมินี้จะมีราคาแพงกว่าเซลแบบปฐมภูมิ ในการลงทุนซื้อมาตอนแรก เนื่องจากจำเป็นที่จะต้องซื้อเครื่องประจุไฟมาด้วย แต่เมื่อคิดในระยะยาวแล้วเซลล์แบบทุติยภูมินี้ จะมีค่าใช้จ่ายถูกกว่า ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับผู้ใช้ว่าจะเลือกใช้เซลล์ชนิดใด

(1) เซลล์แบบตะกั่ว – กรด (Lead Acid)

เซลล์แบบทุติยภูมิชนิดหนึ่งที่เป็นที่นิยมใช้กันมากก็คือ เซลล์แบบตะกั่วกรด ซึ่งใช้กันทั่วไปในรถยนต์ ตัวอย่างเซลล์ชนิดนี้แสดงในรูปที่ 2.12ซึ่งเราจะเห็นมันประกอบด้วยแผ่นคาโทด และแผ่นอาโนด วางสลับกันจุ่มอยู่ในอิเล็กทรอไลท์ที่ทำจากสารละลายกรดกำมะถัน แผ่นเพลทจะวางสลับกันเพื่อจะได้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิเล็กทรอไลท์ได้มาก ในขณะที่รักษาปริมาตรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ สารที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างแผ่นอิเล็กโทด และอิเล็กทรอไลท์มากเท่าไร ปฏิกิริยาเคมีก็จะเกิดขึ้นมากเท่านั้น นอกจากนี้ค่าความต้านทานภายในเซลล์จะยิ่งมีค่าน้อยลงด้วย ดังนั้นในการค้นคว้าจึงมุ่งทางด้านเพิ่มที่ผิวสัมผัส วิธีที่นิยมใช้กันก็คือใช้แผ่นเพลทบางๆ คั่นด้วยฉนวนแบบมีรูพรุน อิเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทดเป็นอาโนดจะสร้างขึ้นมาจากตะกั่วบริสุทธิ์ ในขณะที่คาโทดจะสร้างจากส่วนผสมของตะกั่วและตะกั่วเปอร์ออกไซด์ ในขณะที่เซลล์คายประจุให้กระแสไฟฟ้าออกมานั้น อะตอมของตะกั่วจากแผ่นอาโนดจะแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุบวกเข้าไปอยู่ในอิเลคทรอไลท์และทิ้งอิเล็กตรอนให้ไหลเข้าสู่วงจรที่นำมาต่อภายนอก ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12ภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์แบบตะกั่ว–กรด แผ่นอาโนดและคาโทดจะวางสลับกัน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวระหว่างกัน

รูปที่ 2.13 แสดงไอออนบวกของตะกั่วจะออกมา อาโนดเข้าไปในอิเล็กทรอไลท์ อิเล็กตรอนจะมีอิสระ ที่จะเข้าไปวงจรที่นำมาต่อภายนอก ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโทดไปยังอาโนด

ที่คาโทด ตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่ว ซึ่งมีประจุบวกสูงและเป็นไอออนที่มีประจุลบสูง ไอออนของตะกั่วที่มีประจุบวกสูงจะดึงเอาอิเล็กตรอนจากวงจรที่ต่ออยู่ภายนอก เพื่อรวมตัวกลายเป็นอิออนตะกั่วที่มีประจุบวก ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับอาโนดทำให้เกิดกระแสไหลจากคาโทดผ่านไปยังวงจรภายนอกไอออนของตะกั่วจากแผ่นอิเลคโทรดทั้งสองจะทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถัน ซึ่งเป็นอิเลคทรอไลท์ กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต (lead sulphate) (ซึ่งจะเห็นเป็นตะกอนสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาวเกาะอยู่ที่อิเล็กโทดทั้งสอง) และก๊าซไฮโดรเจน (ซึ่งจะรวมกับอิออนของออกซิเจนจากคาโทดกลายเป็นน้ำ) เราสามารถจะเขียนสูตรสำหรับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

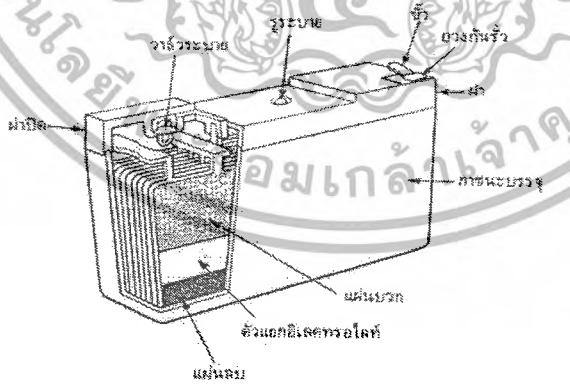
$$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 \rightleftharpoons 2PbSO_4 + 2H_2O$$

ซึ่งแสดง (โดยลูกศร 2 ทิศทาง) ว่าเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ดังนั้นจึงสามารถที่จะประจุเซลล์ใหม่โดยการต่อวงจร ซึ่งจะขับอิเล็กตรอนให้ไหลจากคาโทดไปสู่อาโนด ดังจะเห็นวงจรต่อไป

สูตรทางเคมีแสดงให้เห็นว่าสารละลายอิเล็กทรอไลท์ จะเจือจางลงโดยโมเลกุลของน้ำที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นขณะเดียวกับที่เซลล์คายประจุ ทำให้เราสามารถใช้เป็นวิธีการหาสถานะ การประจุและคายประจุของเซลล์ได้ โดยการวัดความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของสารละลายอิเล็กทรอไลท์ ซึ่งจะบอกว่าเซลล์ใกล้จะถึงสถานะคายประจุหมดหรือไม่ เพื่อจะได้ประจุไฟฟ้ากลับเข้าไปใหม่ โดยค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์ที่ประจุมาเต็มที่จะมีค่าประมาณ 1.25 และค่าความถ่วงจำเพาะของเซลล์ที่คายประจุหมดจะมีค่าระบุไว้ประมาณ 1.2 เราใช้ไฮโดรมิเตอร์ในการวัด แรงดันของเซลล์โดยปกติจะมีค่าเท่ากับ 2 โวลต์

เซลล์แบบตะกั่ว – กรดนี้มีโครงสร้างแบบที่กล่าวมาเป็นระยะเวลานานแล้ว การปรับปรุงให้เซลมีอายุการใช้งานนานขึ้น โดยที่แบตเตอรี่ที่มีการผนึกอย่างดี และมีอิเล็กทรอไลท์เป็นของแข็งได้ถูกผลิตขึ้นมาแล้ว ซึ่งไม่ต้องมีการบำรุงรักษาเลย จึงสามารถนำไปใช้ที่ใดก็ได้ นับว่ามีประโยชน์ในการใช้แทนหรือใช้อย่างปกติแทนเซลล์แบบปฐมภูมิในเครื่องมือวัดแบบกระเป๋าหิ้ว

เนื่องจากมันสามารถประจุไฟใหม่ได้ โครงสร้างของเซลแบบนี้ในแบตเตอรี่ขนาด 6 โวลต์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14โครงสร้างของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว - กรดที่มีการปิดผนึก

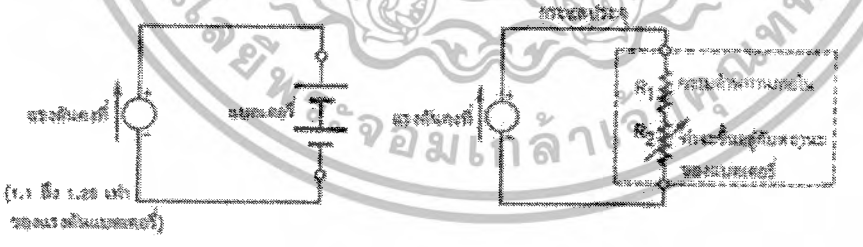
ซึ่งแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถจะใช้ที่ใดก็ได้โดยจะไม่ปล่อยอิเล็กทรอไลท์ออกมา ใช้ประโยชน์ในเครื่องมือแบบกระเป๋าหิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 การประจุไฟกลับเข้าไปใหม่

การประจุเซลล์แบบตะกั่ว – กรดนั้น สามารถทำได้อย่างง่ายๆ โดยการป้อนกระแสกลับทางเข้าไปในแบตเตอรี่ เพื่อบังคับให้ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น เกิดจากทางขวามือไปทางซ้ายมือ ซึ่งจะเปลี่ยนตะกั่วซัลเฟตให้กลับเป็นตะกั่วและกรดกำมะถันตามเดิม วิธีการที่ง่ายที่สุดในการป้อนกระแสกลับทางก็โดยการต่อขั้วคาโทด(ขั้วบวก)และขั้วอาโนด(ขั้วลบ) เข้ากับขั้วบวกและขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟฟ้าภายนอก แรงดันของแหล่งจ่ายไฟภายนอกนี้จะอยู่ในช่วง 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันของเซลโดยปกติ ดังนั้นเซลล์แบบนี้เซลล์เดียว ซึ่งมีแรงดันปกติ 2 โวลต์ สามารถที่จะประจุเข้าไปด้วยแรงดันระหว่าง 2.2 โวลต์ถึง 2.5 โวลต์ ตัวอย่างที่เห็นได้ง่ายๆก็คือแบตเตอรี่รถยนต์ (ซึ่งแรงดันปกติเท่ากับ 12 โวลต์เนื่องจากประกอบด้วยเซล 6 เซลอนุกรมกัน) จะถูกประจุโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือไดนาโมและผ่านชุดรักษาระดับแรงดันให้เป็นไฟตรงมีค่าแรงดันคงที่ที่ 14 โวลต์

เป็นที่เห็นได้ชัดว่า กระแสที่ป้อนเข้าไปเมื่อประจุไฟใหม่นั้นขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนเข้าไป นอกจากนั้นยังขึ้นอยู่กับสถานะของเซลล์ว่าคายประจุหมดเต็มที่หรือไม่ ถ้าแรงดันที่ป้อนเข้าประจุไฟมีค่าสูงและเซลล์คายประจุหมดเต็มที่แล้ว จะทำให้กระแสที่ไหลเข้าประจุเซลล์จะมีค่ามากตามไปด้วย หรือถ้าเซลล์ถูกใช้แบบเป็นวงรอบ (Cycle) คือจากสถานะประจุเต็มไปสู่สถานะหมดประจุเต็มที่แล้วจึงค่อยประจุใหม่อีกครั้ง จะใช้กระแสในการประจุมากตามไปด้วย แต่ถ้าเซลล์ถูกใช้งานพร้อมกับประจุไฟเข้าตลอดเวลา เช่นในแบตเตอรี่รถยนต์แล้ว กระแสที่ใช้ในการประจุก็จะมีค่าต่ำ ซึ่งก็เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมแบตเตอรี่รถยนต์ขนาด 12 โวลต์ จึงใช้แรงดันในการประจุเพียง 14 โวลต์ ซึ่งประมาณ 1.17 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.15 แสดงการประจุแบตเตอรี่แบบ ตะกั่ว –กรด โดยใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีแรงดันคงที่ขนาด 1.1 ถึง 1.25 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่

รูปที่ 2.16 เป็นวงจรสมมูลของวงจรประจุแบตเตอรี่ในรูปที่ 2.15

วงจรที่ใช้ในการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่ว – กรดนี้ แสดงในรูปที่ 2.15 ซึ่งแสดงให้เห็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีแรงดันคงที่อยู่กับแบตเตอรี่ วงจรสมมูลของรูปที่ 2.15 แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเราจะเห็นว่าแบตเตอรี่จะถูกพิจารณาว่าประกอบด้วยตัวต้านทาน 2 ตัว โดยตัวต้านทาน R_1 จะเป็นค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่เอง จะมีอยู่ในแบตเตอรี่เสมอไม่ว่าแบตเตอรี่นั้นกำลังประจุหรือคายประจุอยู่ ส่วนตัวต้านทาน R_2 นั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปโดยขึ้นอยู่กับสถานการณ์หมดประจุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่คายประจุหมดเต็มที่ ค่าความต้านทานตัวนี้จะมีค่าสูง อย่างไรก็ตามเมื่อแบตเตอรี่ใกล้หมด หรือประจุจนเต็มที่แล้ว ค่าความต้านทาน R_2 นี้จะมีค่าสูงขึ้นทำให้กระแสที่ใช้ในการประจุมีค่าลดลง

เราสามารถที่จะตรวจสอบสถานการณ์ประจุของแบตเตอรี่ได้ โดยการสังเกตค่าของกระแสที่ใช้ในการประจุ ซึ่งจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันที่ใช้ในการประจุมีค่าคงที่ (โดยการใช้แหล่งจ่ายไฟที่มีการรักษาระดับแรงดันออกให้คงที่) แบตเตอรี่รถยนต์โดยทั่วไป ตัวอัดประจุให้แก่แบตเตอรี่จะจ่ายแรงดันออกมาไม่คงที่ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้วิธีการดูกระแสในการบอกสถานการณ์ประจุของแบตเตอรี่ได้อย่างถูกต้อง

เราสามารถที่จะใช้วิธีประจุอย่างรวดเร็วแก่แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้ โดยใช้แรงดันคงที่ขนาด 1.25 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ โดยคอยสังเกตระดับกระแสที่ประจุไว้ และการประจุจะสิ้นสุดเมื่อระดับกระแสที่ประจุตกลงมาถึงค่ากระแสสุดท้ายในการประจุ ซึ่งจะบ่งบอกโดยผู้ผลิตแบตเตอรี่ชนิดนั้น ภายใต้เงื่อนไขนี้การประจุจะเต็ม (จากตอนที่แบตเตอรี่หมดประจุเต็มที่จนถึงประจุโดยสมบูรณ์) ภายในเวลา 5 ชั่วโมง ถ้าเราไม่สามารถรักษาระดับแรงดันในการประจุได้คงที่อยู่ได้ ก็ไม่สมควรที่จะใช้วิธีประจุอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากจะทำความเสียหายแก่เซลจนไม่สามารถแก้ไขได้ ในกรณีนี้จึงควรใช้แรงดันในการประจุน้อยลงเป็นประมาณ 1.1 ถึง 1.2 เท่าของแรงดันปกติของแบตเตอรี่จึงจะดีที่สุด โดยใช้เวลาในการประจุเกินกว่า 20 ชั่วโมงขึ้นไป

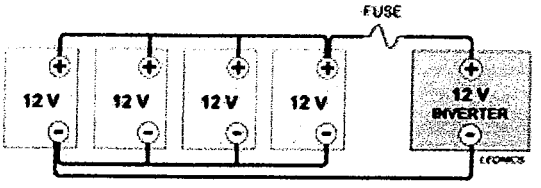
2.3.3 ชนิดของแบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery)ด้วยเหตุผลในด้านราคาที่ถูกกว่าและหาซื้อได้ง่าย

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว - กรดมีส่วนประกอบสำคัญเป็นแผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวกและลบจุ่มอยู่ในสารละลายกรดซัลฟุริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโตรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุ โมเลกุลของซัลเฟอร์จากสารละลาย อิเล็กโตรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่วและปล่อยอิเล็กตรอนออกมามากมาย เมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เอง และไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ให้แรงดัน 2 โวลต์ แบตเตอรี่ 12 โวลต์จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรม เซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ภายในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้

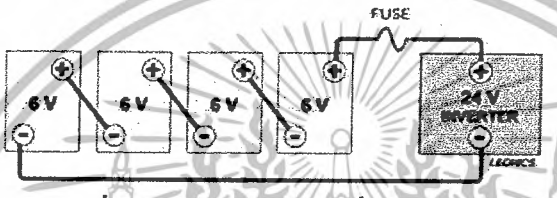
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) ถ้าต้องการแรงดันมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่หลายลูกมาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันสูงขึ้นตามต้องการ



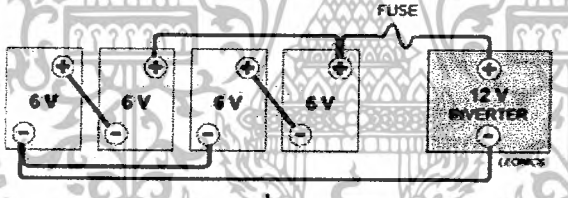
รูปที่ 2.17 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม

(2) ถ้าต้องการกระแสมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่ 2 ลูกหรือมากกว่านั้นต่อกันแบบขนานจนได้กระแสที่ต้องการ



รูปที่ 2.18 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน

(3) ถ้าต้องการแรงดันและกระแสมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่มาต่อกันแบบอนุกรมผสมกับแบบขนาน



รูปที่ 2.19

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีอยู่หลายแบบด้วยกัน แต่ที่เหมาะสำหรับใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุดคือ แบตเตอรี่แบบจ่ายประจุสูง (Deep discharge battery) เพราะถูกออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานปริมาณเล็กน้อยได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดความเสียหาย คุณจะสามารถใช้ไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่นี้ได้อย่างต่อเนื่องถึง 80% โดยแบตเตอรี่ไม่ได้รับความเสียหาย (แบตเตอรี่ทั่วไปที่ใช้ในการติดเครื่องยนต์ถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานสูงในช่วงเวลาสั้นๆ ถ้าใช้ไฟฟ้ามากกว่า 20-30% ของพลังงานที่เก็บอยู่ จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลงได้) ส่วนมากแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะที่ฝาครอบด้านบนเปิดออกได้ เพื่อให้สามารถตรวจสอบเซลล์และเติมน้ำในเวลาที่จำเป็นได้ เรียกว่า แบตเตอรี่แบบเซลล์เปิด (Open cell หรือ Unsealed หรือ Flooded cell battery) มีบางชนิดที่ถูกปิดแน่นและไม่ต้องการการซ่อมบำรุง เรียกว่า แบตเตอรี่แบบไม่ต้องดูแลรักษา (Maintenance free หรือ Sealed battery)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ความสามารถในการจัดเก็บพลังงาน

ความจุของแบตเตอรี่ในการบรรจุพลังงานมีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour; Ah) พลังงานในแบตเตอรี่ 12 V 100 Ah เท่ากับ 12V x 100Ah หรือ 12V x 100A x 3600s จะได้เท่ากับ 4.32 MJ ถ้าแบตเตอรี่ 100 Ah เท่ากับว่าแบตเตอรี่จะจ่ายกระแส 1 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 100 ชั่วโมง หรือแบตเตอรี่จ่ายกระแส 10 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เช่นเดียวกับแบตเตอรี่จ่ายกระแส 5 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งทั้งหมดนี้จ่ายกระแสเท่ากับ 100 Ah ทั้งสิ้น จะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากันอาจมีความเร็วในการจ่ายกระแสต่างกันได้ ดังนั้น การจะทราบความจุของแบตเตอรี่ต้องทราบถึงอัตราการจ่ายกระแสด้วย กำหนดเป็นจำนวนชั่วโมงของการจ่ายกระแสเต็มที่ การกำหนดขนาดของแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ในการจัดเก็บพลังงาน, อัตราการจ่ายประจุสูงสุด, อัตราการประจุสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่จะนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน (อุณหภูมิที่ได้ผลดีที่สุดของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือ 77 ^{o}F หรือประมาณ 60-80 ^{o}C)

2.4 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล ต้องการอุปกรณ์ควบคุมเพื่อให้ได้มาซึ่งการควบคุมอัตราเร็วหรือแรงบิดตามที่ต้องการ ซึ่งข้อได้เปรียบของการขับเคลื่อนทางไฟฟ้าสามารถที่จะสรุปได้ดังต่อไปนี้

(1) ย่านการทำงานที่กว้างของการขับเคลื่อนทางไฟฟ้ากล่าวคือ เริ่มจากกำลังน้อยๆ ไปจนถึงกำลังหลายๆเมกกะวัตต์

(2) ความไม่ต้องการเชื้อเพลิงที่เป็นอันตราย ไม่ปล่อยแก๊สหรือสารที่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม นอกจากนั้นระดับเสียงรบกวนขณะการทำงานก็ต่ำอีกด้วย

(3) การขับเคลื่อนทางไฟฟ้ามีความสามารถในการทำงานเกินกำลัง ซึ่งทำให้สามารถเลือกมอเตอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าได้สำหรับการทำงานที่ช่วงเวลาสั้นๆ

(4) ความเร็วของมอเตอร์สามารถควบคุมได้โดยตรง ดังนั้นจึงสามารถที่จะให้การทำงานอยู่ในย่านของแรงบิดและอัตราเร็วที่สอดคล้องและเหมาะสมกับโหลดทางกลได้

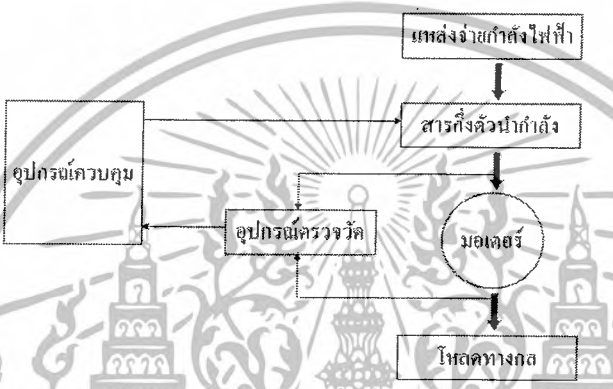
(5) การขับเคลื่อนทางไฟฟ้าสามารถควบคุมการทำงานได้ 4 ควอดแรนต์ (Quadrant: ภาค) ของระนาบแรงบิดและอัตราเร็ว ดังนั้นทำงาน 4 ควอดแรนต์ จึงอาจทำให้มอเตอร์หมุนและเบรก ในแต่ละทิศทางได้ตามต้องการ นอกจากนั้นในการเบรกยังสามารถทำให้อยู่ในรูปของการคืนพลังงาน (Regenerative braking) ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(6) ความหลากหลายของมอเตอร์ไฟฟ้า ในเรื่องของขนาดพิกัดต่างๆ จึงทำให้สามารถเลือกใช้งานได้ตามความเหมาะสมและสอดคล้องกับชนิดของโหลด

(7) การขับเคลื่อนสามารถเริ่มเดินและเพิ่มอัตราเร็วในช่วงสั้นๆ นอกจากนั้นยังสามารถขับโหลดได้เต็มพิกัดอย่างทันทีทันใดโดยไม่ต้องเติมเชื้อเพลิงหรือมีการอุ่นเครื่องแต่อย่างใด

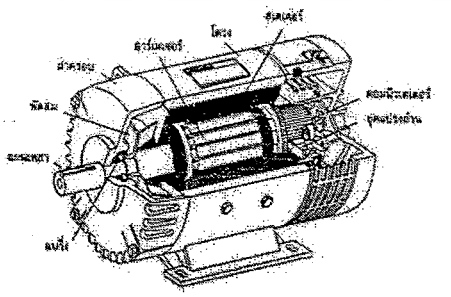
(8) ส่วนประกอบของการขับเคลื่อนทางไฟฟ้าระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าในปัจจุบันได้มีการนำเอาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังมาใช้ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าจึงส่งผลให้การทำงานของระบบควบคุมมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ส่วนประกอบของระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้าสามารถแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.20 ผังการต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

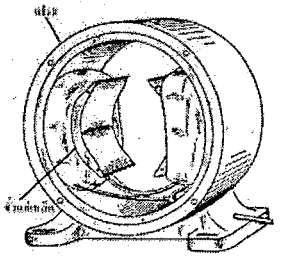
2.4.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Motor) ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ

(1) ส่วนที่อยู่กับที่ ได้แก่ เฟรม หรือส่วนที่ที่เรามองเห็นเป็นตัวมอเตอร์ จะทำหน้าที่เป็นเส้นทางเดินของสนามแรงแม่เหล็ก และเป็นที่ยึดส่วนต่าง ๆ ให้แข็งแรง และ ขั้วแม่เหล็ก จะประกอบด้วย แกนขั้วแม่เหล็ก ส่วนนี้จะติดอยู่กับเฟรมและขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) ที่พันรอบ ๆ แกนขั้วแม่เหล็ก จะทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอก และสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้เกิดแรงบิดขึ้น (Torque)



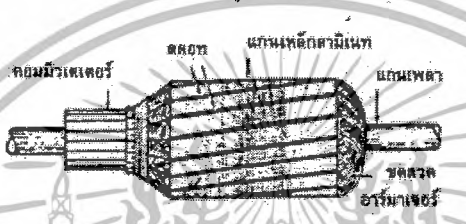
รูปที่ 2.21 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



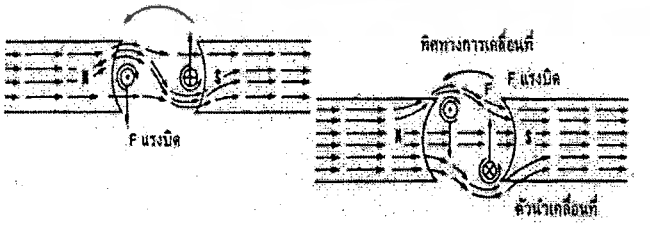
รูปที่ 2.22 ขั้วแม่เหล็กและขดลวดแม่เหล็กที่ยึดติดกับเฟรม

(2) ส่วนที่เคลื่อนที่ หรือโรเตอร์ จะมีขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ที่พันอยู่บนแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature core)และมีคอมมิวเตเตอร์ยึดติดอยู่ที่ปลายของขดลวดอาร์เจอร์ดังรูป



รูปที่ 2.23 โรเตอร์ของมอเตอร์กระแสตรง

คอมมิวเตเตอร์จะทำหน้าที่ในการสัมผัสกับแปรงถ่านคาร์บอน (Carbon Brushes) ที่อยู่ในมอเตอร์เพื่อที่จะให้มีกระแสไหลผ่านไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์ ทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นเพื่อให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดแม่เหล็ก ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนได้ หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Motor) เมื่อมีกระแสไหลผ่านเข้าไปในมอเตอร์กระแสจะแบ่งออกไป 2 ทาง คือ ส่วนที่หนึ่งจะผ่านเข้าไปที่ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นและอีกส่วนหนึ่งจะผ่านแปลงถ่านคาร์บอนและผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์เมเจอร์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นเช่นกัน ซึ่งทั้งสองสนามจะเกิดขึ้นขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็กแล้วจะไม่มีการตัดกัน จะมีแต่การหักล้างและการเสริมกัน ซึ่งทำให้เกิดแรงบิดในอาร์เมเจอร์ ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนซึ่งในการหมุนนั้นจะเป็นไปตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง (Fleming's left hand rule)



รูปที่ 2.24 ขดลวดสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีโครงสร้างและส่วนประกอบเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงทุกประการนั่นหมายความว่าเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงสามารถนำมาใช้งานได้ 2หน้าที่ คือ

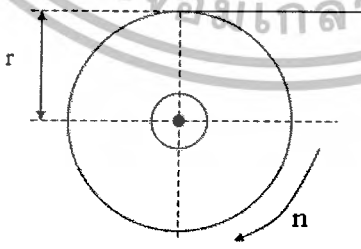
(1) ถ้าป้อนกำลังกล เข้าที่เพลาของมันให้หมุน เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงจะทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลด นั่นคือ เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องกลที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นไฟฟ้า

(2) ถ้าป้อนพลังงานไฟฟ้าเข้าที่อาร์เมเจอร์ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงมันจะทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพราะมันจะผลิตกำลังงานกลขึ้นที่เพลาของมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนและขับโหลดทางกลไปได้ นั่นหมายความว่า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องกลที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล

ดังนั้น การศึกษาถึงหลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จึงเน้นที่การคำนวณหาพลังงานกลที่เอาท์พุตของมอเตอร์ นั่นคือ การคำนวณหาค่าทอร์กที่เพลาของมอเตอร์และกำลังเอาท์พุตของมอเตอร์ อีกส่วนหนึ่งที่สำคัญของการศึกษามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือการคำนวณค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับภายในอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ และสุดท้ายคือ การหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าอินพุต กำลังสูญเสียต่างๆ ภายในมอเตอร์ และกำลังเอาท์พุตของมอเตอร์มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

2.4.3 ทอร์กของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากรูปที่ 2.25 เมื่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้รับพลังงานไฟฟ้าอินพุต คือ $P_{in} = VI$ เข้าที่ขั้วทั้งสองข้างของอาร์เมเจอร์ พลังงานไฟฟ้านี้จะเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานกลขับเคลื่อนให้เพลาของมอเตอร์ ที่ยึดติดกับอาร์เมเจอร์หมุนไปได้ในทิศทางตามกฎมือซ้ายของมอเตอร์



รูปที่ 2.25 ภาพร่างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ค่าทอร์กสามารถหาได้จากสมการ

$$T = Fr \qquad \text{หน่วย Nm}$$

ถ้าระยะทาง 1 รอบของการหมุนที่ได้จากมอเตอร์เท่ากับ $2\pi r$ คือ เส้นรอบวงของการหมุน ดังนั้นงานที่ได้จากการหมุน 1 รอบเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$W = F \times 2\pi r \quad \text{หน่วย J}$$

กำลังที่ได้จากการหมุน 1 รอบของมอเตอร์ คือ

$$P = F \times 2\pi r(N/60) \quad \text{หน่วย J/s}$$

แต่ $Fr = T$

และ $(2\pi rN)/60 = \omega$

เมื่อ ω คือ ความเร็วเชิงมุม หน่วย Radians

แทนค่า $P = \omega T$ หน่วย W

นั่นคือกำลังที่เกิดขึ้นจากการหมุนของมอเตอร์เท่ากับผลคูณของความเร็วเชิงมุมกับทอร์ก มีหน่วยเป็นวัตต์

(1) ทอร์กที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์

ทอร์กที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ (T_a, Armature Torque) หมายถึงทอร์กที่อาร์เมเจอร์สร้างขึ้นจากกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าทางอินพุตของมอเตอร์ ดังนั้นการคำนวณหาค่าทอร์กที่อาร์เมเจอร์สร้างขึ้นหาได้จากกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ และความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ดังสมการต่อไปนี้

จาก $P_a = \omega T_a$ (W)

และ $P_a = E_b I_a$ (W)

เมื่อ E_b = แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านทานกลับในอาร์เมเจอร์ (V)

I_a = กระแสที่จ่ายเข้าอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ (A)

แต่ $\omega = (2\pi N)/60$

ดังนั้น $E_b I_a = (2\pi N T_a)/60$

$T_a = (E_b I_a * 60)/ 2\pi N$

แต่ $E_b = (\phi PZN)/60A$

แทนค่า E_b ในสมการ T_a ได้ว่า

$$T_a = (\phi PZN\ 60\ I_a)/60A2\pi N$$

$$= (\phi PZI_a)/A2\pi = (1/2\pi)(\phi PZ\ I_a)/A$$

$$\therefore \quad T_a = 0.15\phi\ I_a P(Z/A)$$

แต่ 9.81 N = 1 kg

ดังนั้น $T_a = 0.0162\phi\ I_a P(Z/A)$ Kg-m

เมื่อ ϕ = เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (Wb)

Z = จำนวนตัวนำทั้งหมดบนอาร์เมเจอร์

I_a = กระแสอาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P = จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

A = จำนวนทางขนาน

(2) ทอร์กที่เกิดที่เพลาของมอเตอร์

ทอร์กที่เกิดขึ้นที่เพลาของมอเตอร์ (T_{sh}, Shaft Torque) หมายถึง ทอร์กที่ทำให้เกิดแรงหมุนที่เพลาและนำไปใช้งานได้จริงทอร์กที่เพลาของมอเตอร์จะมีค่าน้อยกว่าที่ผลิตขึ้นในอาร์เมเจอร์เพราะว่าก่อนที่ทอร์กซึ่งผลิตขึ้นได้ในอาร์เมเจอร์จะส่งกำลังผ่านมาที่เพลา จะเกิดการสูญเสียจำนวนหนึ่งคือการสูญเสียในแกนเหล็กอาร์เมเจอร์และการสูญเสียที่เกิดจากความฝืดและแรงต้านจากลม ทอร์กที่เพลานี้เป็นทอร์กที่ขับงานให้หมุนไปได้ งานที่ได้จะมีหน่วยเป็นแรงม้า (Hp) บางครั้งจะพบตัวย่อแรงม้าเป็น B.H.P. หรือ Break Horse Power อย่างไรก็ตามค่าแรงม้าที่มีหน่วยเดียวกัน และ 1 H.P. = 1 B.H.P. = 746 วัตต์ กำลังสูญเสียดังกล่าวจะทำให้เกิดทอร์กที่สูญเสียไปด้วย ระหว่างการส่งกำลังจากอาร์เมเจอร์มาที่เพลา ทอร์กสูญเสียคือ Losses Torque (T_{losses}) ดังนั้นความสัมพันธ์ของทอร์กที่เพลาคือ

$$T_a = T_{sh} + T_{losses}$$

หรือ $$T_{sh} = T_a - T_{losses}$$

แต่ $$T_{sh} = P_{out} / 2\pi N \quad \text{(Nm)}$$

และ $$T_{losses} = 0.159 \text{ (Stray Losses/N*)} \quad \text{(Nm)}$$

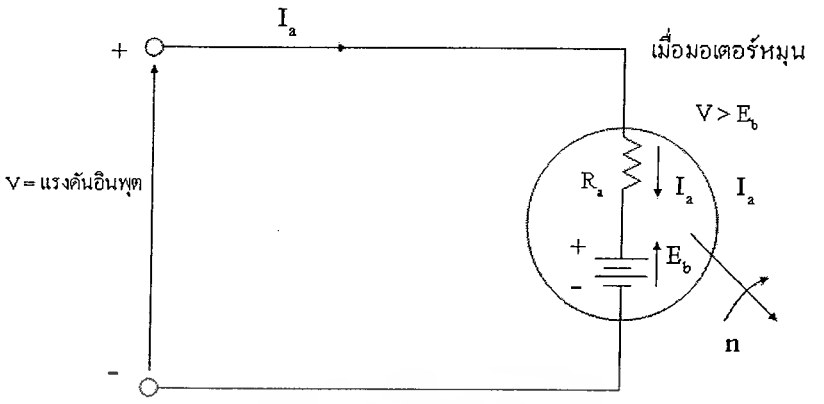
หรือ $$T_{losses} = 0.0162 \text{ (Stray Losses/N*)} \quad \text{(Nm)}$$

เมื่อ N มีหน่วยเป็น rpm = รอบต่อวินาที

2.4.4 สมการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับ

เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า (V) เข้าที่อินพุตของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะเกิดกระแสไหลเข้าอาร์เมเจอร์ (I_a) และอาร์เมเจอร์หมุนไปได้ ในขณะที่อาร์เมเจอร์หมุนไปนั้นลวดตัวนำที่พันอยู่บนทุ่นอาร์เมเจอร์จะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ไปได้ ผลคือจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นภายในอาร์เมเจอร์จำนวนหนึ่ง ซึ่งทิศทางการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้ เป็นไปตามกฎมือซ้ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นภายในอาร์เมเจอร์ในขณะที่เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงทำงานเป็นมอเตอร์นี้จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันที่ป้อนเข้ามอเตอร์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้เรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับ (E_b) ทิศทางของกระแสอาร์เมเจอร์ แรงดันที่ป้อนเข้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ แสดงในวงจรสมมูลของมอเตอร์ ในรูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 วงจรสมมูลของมอเตอร์

อย่างไรก็ตาม เครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อทำงานเป็นมอเตอร์แรงดันที่ป้อนเข้าทางอินพุต (V) จะมากกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับ (E_b) เสมอ หรือ สภาวะมอเตอร์ $V > E_b$ และกระแสอาร์เมเจอร์จะไหลเข้า แต่ถ้าเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั่นหมายความว่า แรงดัน $V < E_b$ และกระแสอาร์เมเจอร์จะไหลออกจากอาร์เมเจอร์

จากวงจรสมมูลของมอเตอร์ ในรูปที่ 2.26 เขียนสมการแรงดันได้ว่า

$$V = IaR_a + E_b$$

หรือ $$E_b = V - I_aR_a$$

และ $$E_b = (\phi PZN)/60A$$

แรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต้านกลับ (E_b) นั้น เป็นไปตามสมการด้านบน นั้นแสดงว่าองค์ประกอบที่ทำให้มีผลต่อค่า E_b คือ ความเร็วของมอเตอร์ (N) และเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (ϕ) เมื่อ P, Z และ A มีค่าคงที่ตามแต่ค่าพิกัดของมอเตอร์แต่ละตัว และค่าแรงดัน E_b จะน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าอินพุท (V) เสมอ

2.4.5 สมการความเร็วรอบของมอเตอร์

จากสมการในหัวข้อที่แล้ว จะพบความสัมพันธ์ของค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (N) ได้ดังนี้

จาก $E_b = V - I_aR_a$

จาก $E_b = (\phi PZN)/60A = k\phi N$

เมื่อ $k = PZ/60A$

แทนค่า E_b ได้ว่า $k\phi N = V - I_aR_a$

นั่นคือ $N = (V - I_aR_a)/k\phi$

$N = E_b/k\phi$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยของ N คือ รอบต่อวินาที (rps)

จากสมการจะพบว่าการควบคุมความเร็ว ของมอเตอร์กระแสตรงทำได้โดยวิธีง่าย ๆ 2 วิธี คือ

(1) การควบคุมปริมาณของเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วของมอเตอร์ (ϕ) ซึ่งวิธีนี้ทำได้โดยการควบคุมค่ากระแสป้อนขดลวดสนามแม่เหล็ก

(2) การควบคุมแรงดันที่ป้อนเข้าทางอินพุตของมอเตอร์ (V) ซึ่งวิธีนี้ทำได้โดยการปรับค่าแรงดันแหล่งจ่าย (V) โดยอาจใช้วงจรเรียกกระแสที่ควบคุมได้ เป็นต้น

2.2.6 การคุมค่าความเร็ว หรือความเร็วรีกูเลชัน (Regulation Speed)

หมายถึง อัตราส่วนระหว่างผลต่างของค่าความเร็วมอเตอร์ในสภาวะไม่มีโหลดกับในสภาวะโหลดเต็มพิกัด หรืออาจกล่าวว่าความเร็วรีกูเลชั่น คือผลต่างของความเร็วของมอเตอร์ในสภาวะมีโหลด และไม่มีโหลด ซึ่งจะบอกค่าเป็นร้อยละ (%) ดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{ Speed Reg} = [\,(N_{NO} - N_{Full})/\,N_{Full}\,]100$$

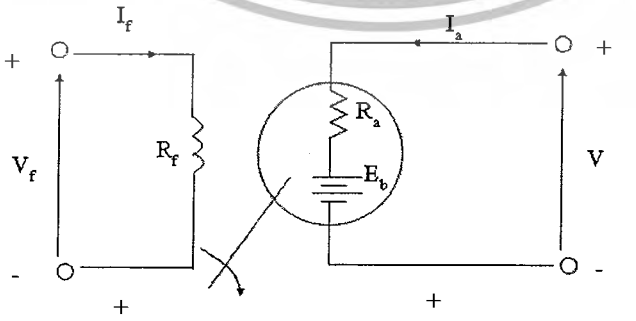
เมื่อ N_{NO} = ความเร็วในสภาวะ ไม่มีโหลด (rpm)

N_{Full} = ความเร็วของมอเตอร์ในสภาวะมีโหลดเต็มพิกัด (rpm)

2.4.6 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

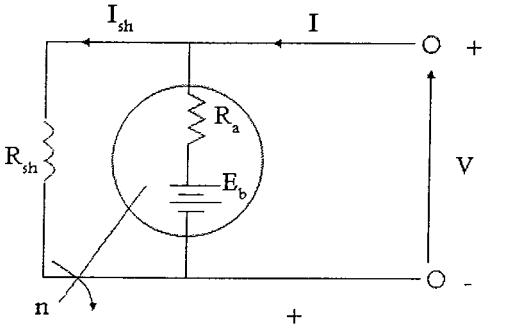
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อแบ่งชนิดตามการต่อขดลวดสนามแม่เหล็ก จะแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกกระตุ้น, มอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน, มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม, มอเตอร์กระแสตรงแบบผสม

ลักษณะของวงจรมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงทั้ง 4 ชนิดแสดงในรูปที่ 2.27 -2.31

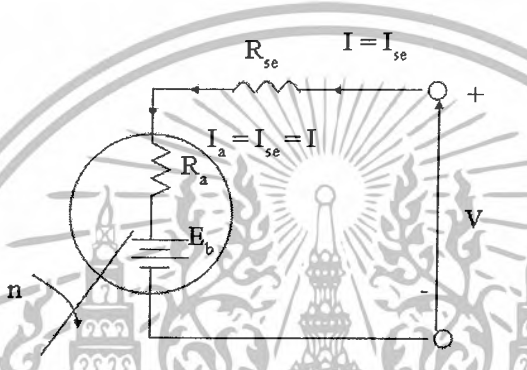


รูปที่ 2.27 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกกระตุ้น

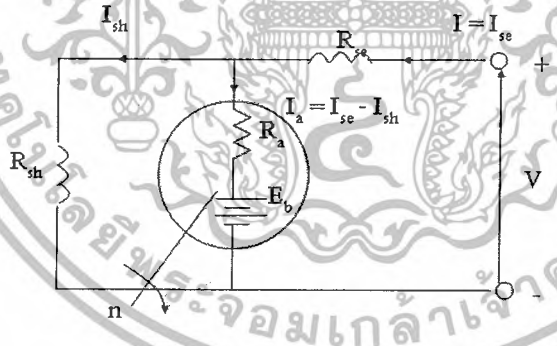
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



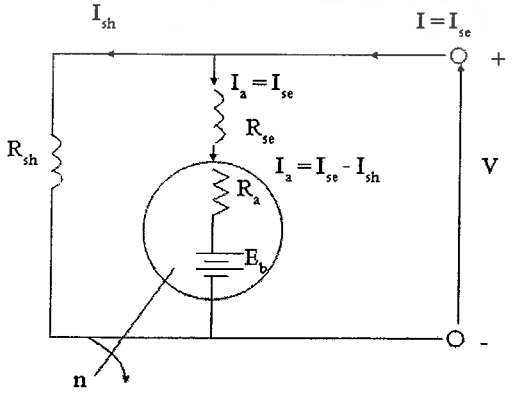
รูปที่ 2.28 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน



รูปที่ 2.29 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม



รูปที่ 2.30 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบผสมต่อแบบขนานสั้น

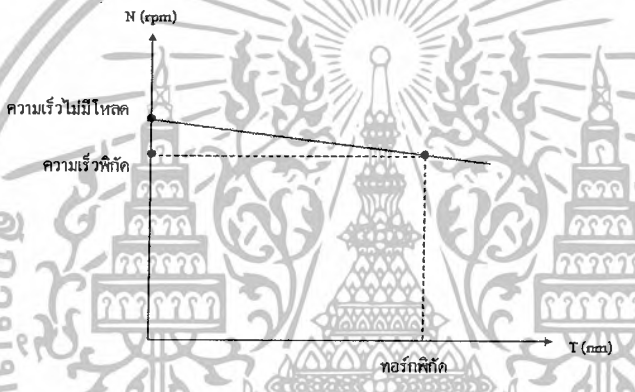


รูปที่ 2.31 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบผสมต่อแบบขนานยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น

คุณลักษณะที่สำคัญของมอเตอร์ไฟฟ้ากระตรงแบบแยกกระตุ้น คือ คุณลักษณะของทอร์กและความเร็ว (Torque – Speed Characteristic) ซึ่งจะบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้น เมื่อทอร์กของโหลดมีค่าเปลี่ยนแปลงไป คุณลักษณะของทอร์กและความเร็วนี้อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Terminal Characteristic เมื่อพิจารณาจากกราฟคุณลักษณะของทอร์กและความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแยกกระตุ้นที่แสดงในรูปที่ 2.32 แสดงให้เห็นว่าในสภาวะมอเตอร์ไม่มีโหลดความเร็วของมอเตอร์จะสูงกว่าความเร็วพิกัด(Rated Speed) เล็กน้อย และเมื่อมอเตอร์ขับโหลดที่ค่าทอร์กพิกัด (Rated Torque) ความเร็วของมอเตอร์จะลดลงด้วยและเท่ากับความเร็วพิกัดพอดี



รูปที่ 2.32 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กและความเร็ว

จากวงจรของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแตรงแบบแยกกระตุ้น ในรูป 2.27 เขียนสมการแรงดันในวงจรอาร์เมเจอร์ได้ว่า

$$V = E_b + I_a R_a$$

และ

$$E_b = k\phi N$$

ดังนั้น

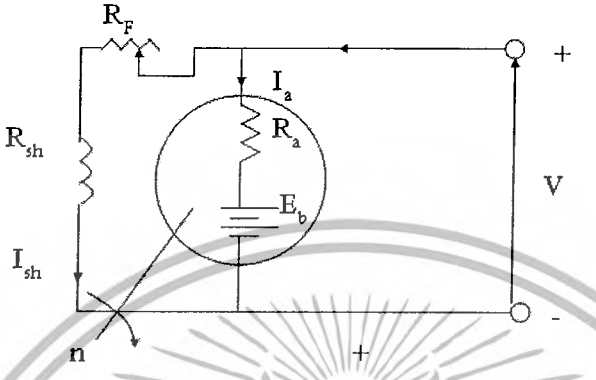
$$N = E_b / k\phi = (V - I_a R_a)/k\phi$$

จากสมการจะเห็นว่า สมการความเร็วของมอเตอร์กระแสแบบแยกกระตุ้นนั้นค่าของความเร็ว (N) จะแปรผันตรงกับค่าแรงดันอินพุต (V) ของมอเตอร์ คือ ถ้าแรงดันอินพุตมากความเร็วจะสูงขึ้น และถ้าแรงดันอินพุต ลดลงความเร็วจะต่ำลง และความเร็ว (N) จะแปรผันกับค่าความหนาแน่นของสนามแม่เหล็กต่อขั้ว (ϕ) หรือแปรผันกลับกับค่ากระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก (I_f) นั่นเอง เพราะ I_f แปรผันตรงกับ ϕ

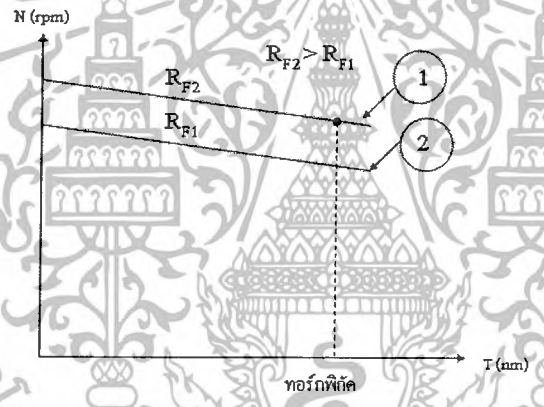
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.8 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานเป็นแบบกระตุ้นตัวเอง มีวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.28 ในทางปฏิบัติต่อ รีโอสแตต เพื่อควบคุมกระแสขดลวดสนามแม่เหล็กขนาน ดังแสดงในรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน



รูปที่ 2.34 กราฟคุณลักษณะของทอร์กและความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนาน

จะเห็นว่าเมื่อปรับค่า R_F ให้ $R_F = R_{F2}$ กราฟคุณลักษณะของทอร์กและความเร็วของมอเตอร์จะอยู่ในเส้นกราฟเส้นที่ 1 ในรูปที่ 2.34 จะเห็นว่าคุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนานจะเหมือนกับมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกกระตุ้น (ในรูปที่ 2.32) แต่ถ้าปรับ R_F ให้ลดลงนั่นคือ $R_F = R_{F1}$ กระแส I_{sh} จะมีค่ามากขึ้น ความเร็วมอเตอร์จะลดลงตามกราฟคุณลักษณะเส้นที่ 2 ในรูป 2.34 หมายความว่า ถ้ากระแสขดลวดสนามแม่เหล็กขนาน (I_{sh}) ลดลง ความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบขนานจะสูงขึ้นและสูงกว่าค่าความเร็วพิกัดของมอเตอร์

ถ้าไม่ควบคุมกระแส I_{sh} นั่นคือ ไม่มี R_F หรือมี R_F แต่ปรับค่าให้คงที่เพื่อให้กระแส I_{sh} คงที่เท่าค่ากระแสพิกัดที่กำหนดไว้บน Name Plate ของมอเตอร์ กราฟคุณลักษณะ กราฟคุณลักษณะของทอร์กและความเร็วจะเหมือนกับมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกกระตุ้น นั่นคือ ถ้ากระแส I_{sh} คงที่ ความเร็วของมันจะค่อนข้างคงที่แม้จะมีทอร์กโหลดเพิ่มขึ้น แต่ค่าความเร็วของมอเตอร์จะตกลงเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์แบบขนานนั้นทอร์กเริ่มเดิน (Starting Torque) จะมีค่าต่ำ ดังนั้นไม่อาจใช้ฉุดโหลดหนักๆ ที่ความเร็วรอบต่ำๆ ได้ (รวมทั้งมอเตอร์แบบแยกกระตุ้นจะมีคุณลักษณะเหมือนกับมอเตอร์ขนาน เนื่องจากมีข้อดีที่ความเร็วค่อนข้างคงที่ จึงนิยมนำมอเตอร์ขนานไปใช้งานขับเครื่องจักรเครื่องกลที่ต้องการความเร็วคงที่ เช่น เครื่องจักรกลงานไม้ เครื่องกลึง เป็นต้น จากรูป 2.33 สมการแรงดันของมอเตอร์ขนานในที่นี้ คือ

$$V = E_b + I_a R_a$$

สมการกระแสคือ $I = I_a + I_{sh}$

ดังนั้น $I_a = I - I_{sh}$

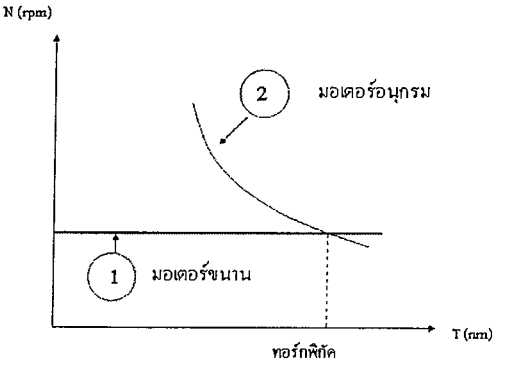
และสมการความเร็วคือ $N = E_b / k\phi = (V - I_a R_a)/k\phi$

เช่นเดียวกับสมการความเร็วของมอเตอร์แบบแยกกระตุ้น นั่นหมายความว่า ความเร็วของมอเตอร์แบบขนานควบคุมได้โดยการปรับค่าแรงอินพุต (V) และหรือปรับค่ากระแส I_{sh} (กระแสตุ้นขดลวดสนามแม่เหล็กขนาน เพื่อปรับค่า ϕ เช่นเดียวกัน)

2.4.9 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมนั้น ขดลวดสนามแม่เหล็กจะต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.29 ดังนั้น เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าตรงเข้าอินพุต (V) จะเกิดกระแสไหลผ่านอาร์เมเจอร์และขดลวดอนุกรมคือ กระแส $I_a = I - I_{se}$ เนื่องจากกระแสอาร์เมเจอร์และกระแสขดลวดอนุกรมคือกระแสจำนวนเดียวกัน ดังนั้น เมื่อมอเตอร์อนุกรมมีโหลดกระแส I_a จะสูงมาก นั่นคือ I_{se} จะสูงมากตามไปด้วยผลคือ ให้ทอร์กที่เพลาสูงมาก เนื่องจากกระแส I_{se} แปรผันตรงกับทอร์กกระแสยิ่งมากทอร์กจะยิ่งมาก จากข้อดีนี้มอเตอร์อนุกรมจึงนิยมนำไปใช้ในการฉุดลากโหลดหนักๆ เช่น เครนยกของ ปั้นจั่น รถไฟฟ้าขนาดเล็ก รถกอล์ฟ รถจักรยานไฟฟ้า เก้าอี้เลื่อนไฟฟ้าสำหรับคนพิการ เป็นต้น แต่มีข้อเสียเช่นกันคือ ต้องไปเริ่มเดินมอเตอร์อนุกรมในขณะที่ไม่มีโหลดต่ออยู่ที่เพลาของมอเตอร์ เพราะว่ากระแส I_{se} จะต่ำมากเป็นผลให้ความเร็วของมอเตอร์สูงกว่าพิกัดอย่างรวดเร็วจนอาจเป็นอันตรายต่อมอเตอร์ได้ เพราะว่าแบริ่งที่รองรับเพลาของมอเตอร์อาจทนแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่ความเร็วสูงมากไม่ได้ เนื่องจากคุณลักษณะเฉพาะของแบริ่งนั้นๆ สำหรับเส้นกราฟแสดงคุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม แสดงในรูปที่ 2.35 คือเส้นที่ 2 เปรียบเทียบกับกราฟเส้นที่ 1 เป็นของมอเตอร์แบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 เส้นกราฟแสดงคุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม

จากรูปที่ 2.35 จะเห็นว่าเมื่อมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมมีความเร็วต่ำ ทอร์กจะสูงมากแต่ที่ความเร็วสูง ทอร์กจะต่ำมาก หรืออาจสรุปได้ว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อความเร็วสูงมอเตอร์จะให้ทอร์กต่ำ แต่ที่ความเร็วต่ำมอเตอร์กลับให้ทอร์กที่สูงมาก จากวงจรมอเตอร์อนุกรมในรูป 2.29 เขียนสมการแรงดันได้ว่า

$$V = E_b + I_a R_a + I_{se} R_{se}$$

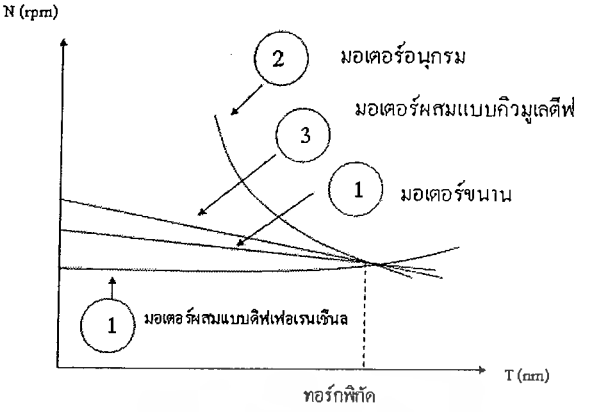
หรือ $$V = E_b + I_a (R_a + R_{se})$$

เมื่อ $$I_a = I_{se}$$

2.4.10 คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม

มอเตอร์แบบผสมไม่ว่าจะต่อแบบขนานสั้น หรือแบบขนานยาว ดังรูป 2.30 และ 2.31 จะมีการต่อขดลวดได้ 2 แบบ คือการต่อให้ขดลวดอนุกรมสร้างเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นเสริมกับสนามแม่เหล็กของขดลวดขนานวิธีนี้ เรียกว่า การต่อผสมแบบคิวมูเลตีฟ (Cumulative compound) อีกแบบหนึ่งคือการต่อผสม เพื่อให้ขดลวดอนุกรมสร้างเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างกันกับเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดขนาน วิธีเรียกว่า การต่อผสมแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differntial compound) เมื่อต่อผสมแบบคิวมูเลตีฟมอเตอร์แบบผสมนี้จึงรวมเอาคุณสมบัติเด่นของมอเตอร์ขนาน คือมีความเร็วระบบคงที่ และมีคุณสมบัติเด่นเพิ่มขึ้นอีกตามลักษณะของมอเตอร์อนุกรม คือ มีทอร์กสูงขึ้นกว่ามอเตอร์ขนานแบบปกติ เพราะฉะนั้นในสภาวะไม่มีโหลดที่เพลามอเตอร์ ความเร็วของมันจะสูงกว่า มอเตอร์ขนานเล็กน้อย เนื่องจากผลของขดลวดอนุกรม กราฟคุณลักษณะของทอร์กและความเร็วของมอเตอร์ผสมแบบคิวมูเลตีฟ แสดงในรูปที่ 2.36 ในกราฟเส้นที่ 3 เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์แบบขนาน (ในกราฟเส้นที่ 1) และเปรียบเทียบกับมอเตอร์แบบอนุกรม (ในกราฟเส้นที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.36 กราฟคุณลักษณะของทอร์กและความเร็ว

สำหรับกราฟคุณลักษณะของทอร์กและความเร็วในเส้นที่ 4 คือ กราฟคุณลักษณะของมอเตอร์ผสมแบบ ดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งหมายถึงมอเตอร์ที่ผสมให้ขดลวดอนุกรมมีสนามแม่เหล็กหักล้างกับสนามแม่เหล็กของขดลวดขนาน สังเกตได้จากความเร็วของมันเมื่อไม่มีโหลดจะต่ำกว่ามอเตอร์แบบขนาน แต่ความเร็วค่อนข้างคงที่แม้ว่าจะมีโหลดต่ออยู่ที่เพลาของมอเตอร์ก็ตาม แต่เมื่อโหลดทอร์กเพิ่มขึ้นความเร็วของมอเตอร์จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น และถ้าโหลดของมอเตอร์เกินพิกัดความเร็วจะสูงมากขึ้นจนอาจเป็นอันตรายต่อมอเตอร์ได้ ในการเริ่มเดินมอเตอร์ผสมแบบ ดิฟเฟอเรนเชียลนั้นต้องมีการลัดวงจรขดลวดอนุกรมก่อน เพราะจะทำให้มอเตอร์กินกระแสไฟสูงมาก และอาจเป็นผลให้สนามแม่เหล็กของขดลวดอนุกรมมีค่ามากกว่าสนามแม่เหล็กของขดลวดขนาน ซึ่งจะทำให้มอเตอร์หมุนผิดทางได้ จึงต้องระวังกรณีเป็นพิเศษเมื่อเปรียบเทียบกับคุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแต่ละชนิดและลักษณะการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมด้านต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังแสดงในตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.1 คุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแต่ละชนิด และลักษณะการนำไปใช้

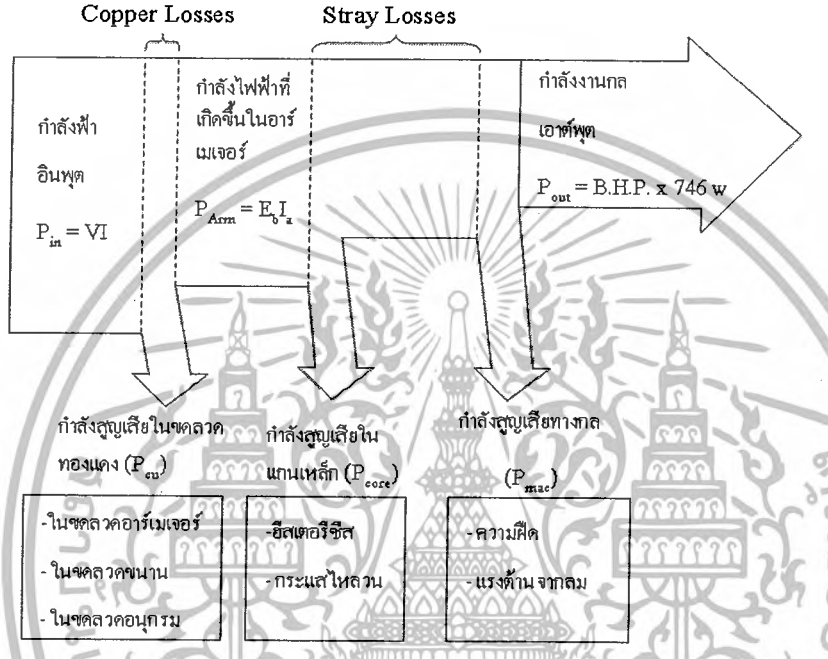
มอเตอร์กระแสตรง	คุณลักษณะ	การนำไปใช้งาน
มอเตอร์ขนานและมอเตอร์แบบแยกกระตุ้น	1. ความเร็วค่อนข้างคงที่ 2. ปรับความเร็วได้โดยการปรับ V และ I_{sh} หรือ V และ I_f 3. ทอร์กเริ่มเดินปานกลาง	1. ขับโหลดที่ต้องการความเร็วในการขับเคลื่อนคงที่ 2. เครื่องกลึง (Latch) 3. ปั๊มแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง 4. พัดลม (Fan) และพัดลมเป่า (Blower) 5. เครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบ
มอเตอร์กระแสตรง	**คุณลักษณะ**	**การนำไปใช้งาน**
มอเตอร์อนุกรม	1. ความเร็วไม่คงที่แปรไปตามโหลด 2. ปรับความเร็วได้โดยการปรับ V และ I_a 3. ทอร์กเริ่มเดินสูง	1. เหมาะกับโหลดที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์ 2. รถไฟฟ้า(Electric Vehicles) 3. จักรยานไฟฟ้า 4. รถราง (Trolley Cars) 5. เครน และตัวยกของ (Cranes and Hoists) 6. สายพานลำเลียง
มอเตอร์ผสมแบบคิวมูเลตีฟ	1. ความเร็วไม่คงที่เปลี่ยนแปลงบ้างแต่ไม่มากเท่าแบบอนุกรม 2. ปรับความเร็วได้โดยการปรับค่า V และ I_{sh} 3. ทอร์กเริ่มเดินค่อนข้างสูง	1. เหมาะกับโหลดแรงบิดสูงชั่วขณะไม่ต่อเนื่องตลอดเวลา 2.เครื่องไส (Shears Machines) 3.เครื่องกัด (Milling Machines) 4.บันไดเลื่อน 5.ลิฟต์ (Elevator) 6.เครื่องม้วนรีด

2.4.11 กำลังไฟฟ้าสูญเสียและประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

กำลังไฟฟ้าสูญเสียในเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง ไม่ว่าจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงหรือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น เป็นกำลังสูญเสียชนิดเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็นการสูญเสียในแกนเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียในความฝืดและแรงต้านจากลม การสูญเสียในขดลวดทองแดง เป็นต้น แต่ไดอะแกรมการไหลของพลังงานสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง กล่าวคือ กำลังอินพุตของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือ พลังงานไฟฟ้าแต่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกำลังเอาท์พุตของมอเตอร์ไฟฟ้า คือ พลังงานกลแต่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ พลังงานไฟฟ้านั่นเอง ให้พิจารณาผังของการไหลของกำลังไฟฟ้า กำลังสูญเสีย และกำลังเอาท์พุตของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังรูป 2.37



รูปที่ 2.37 ผังของการไหลของกำลังไฟฟ้า

(1) สมการกำลังสูญเสียในมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

กำลังสูญเสียในขดลวดทองแดง (P_{cu})

$$P_{cu} = P_a + P_f$$

เมื่อ $P_a = I_a^2 R_a$ = กำลังสูญเสียในขดลวดอาร์เมเจอร์ (W)

และ $P_f = P_{sh} + P_{se}$ = กำลังสูญเสียในขดลวดสนามแม่เหล็ก (W)

แต่ $P_{sh} = I_{sh}^2 R_{sh}$ = กำลังสูญเสียในขดลวดขนาน (W)

และ $P_{se} = I_{sh}^2 R_{se}$ = กำลังสูญเสียในขดลวดอนุกรม (W)

กำลังสูญเสียทางกล (P_{mac})

$$P_{mac} = P_{fr} + P_w = P_{fw}$$

เมื่อ P_{fr} = กำลังสูญเสียจากความฝืด

P_w = กำลังสูญเสียจากแรงต้านลม

P_{fw} = กำลังสูญเสียจากความฝืด และแรงต้านจากลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก (P_{core})

$$P_{core} = P_h + P_e$$

เมื่อ P_h = กำลังสูญเสียจากฮีสเตอร์ซีส

P_e = กำลังสูญเสียจากกระแสไหลวน

Stray Losses (P_{stray})

$$P_{stray} = P_{mac} + P_{core}$$

(2) ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ประสิทธิภาพรวมของระบบ คือ

$$\eta_c = (P_{out}/P_{in}) \times 100\%$$

หรือ $$\eta_c = [P_{out}/(P_{out} + P_{losses})] \times 100\%$$

โดย $$P_{losses} = P_{stray} + P_{cu} = P_{mac} + P_{core} + P_{cu}$$

และ $$P_{out} = \text{B.H.P} \times 746 \text{ (วัตต์)}$$

B.H.P = Break Horse Power

2.4.12 การกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไม่ว่าจะเป็นมอเตอร์แบบขนาน มอเตอร์แบบอนุกรม และมอเตอร์แบบผสมทำได้โดยใช้หลักการพื้นฐาน 2 วิธีคือ เปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสอาร์เมเจอร์ และ เปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสขดลวดสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ ซึ่งอาจเรียกว่า วิธีการกลับขดลวดสนามแม่เหล็ก(Field Reversing) และวิธีการกลับอาร์เมเจอร์ (Armature Reversing)จากทั้งสองวิธีการดังกล่าวสามารถทำได้โดยใช้สวิตช์ 2 ขั้ว 2 ทาง (DPDT) ควบคุมการกลับทิศทางของกระแสทั้งสองชนิด คือ วงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยการกลับขดลวดสนามแม่เหล็กเพื่อให้กระแสที่ไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กกลับทิศทาง ผลคือ ขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์จะกลับขั้วจากทิศทางเดิม ดังนั้นมอเตอร์จึงกลับทางหมุนได้ และ วงจรการกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยการกลับอาร์เมเจอร์ เพื่อให้กระแสอาร์เมเจอร์ไหลกลับทาง ผลคือ มอเตอร์จะกลับทางหมุนได้เช่นกัน ทั้งสองวิธีนี้ใช้การสับสวิตช์ DPDT ไปทางใดทางหนึ่ง

สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม สามารถกลับทางหมุนได้เช่นเดียวกัน โดยใช้ทั้งสองวิธีดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เป็นวงจรกลับขดลวดอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์แบบผสม และ เป็นวงจรกลับขดลวดสนามแม่เหล็ก จะเห็นว่า การกลับขดลวดสนามแม่เหล็กนั้นจะต้องกลับพร้อมๆ กันทั้ง 2 ขด คือ ทั้งขดลวดขนานและขดลวดอนุกรมเพื่อให้กระแส I_{sh} และกระแส I_{se} กลับทิศทางพร้อมๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการควบคุมมอเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงนั้นจะใช้แมกเนติกคอนแทคเตอร์ ในการควบคุมแทนการใช้สวิตช์ควบคุมด้วยมือ

2.5 ชุดควบคุมมอเตอร์ – การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อพิจารณาสมการความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จากสมการ $N = E_b / k\phi = (V - I_a R_a)/k\phi$ จะพบว่าความเร็วรอบ (N) แปรผันตรงกับแรงดันที่ป้อนเข้า (V) ค่าความต้านทาน R_a และกระแส I_a แต่ความเร็ว (N) จะแปรผันต่อเส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้ว (ϕ) ดังนั้นหากต้องการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถทำได้ 3 วิธีคือ

2.5.1 การควบคุมความเร็วโดยการปรับค่าแรงดันอินพุต

การควบคุมหรือการปรับค่าแรงดันอินพุต (Voltage Control Method) สำหรับการควบคุมความเร็วมอเตอร์ยุคเก่า (หมายถึง ยุคก่อนที่จะมีการพัฒนาเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำสำหรับอุปกรณ์ที่เรียกว่า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง) การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยการปรับแรงดันอินพุตจะใช้ 2 วิธี คือ การควบคุมแรงดันหลายระดับ (Multiple Voltage Control) วิธีนี้จะต่อขดลวดสนามแม่เหล็กไว้กับแหล่งจ่ายแรงกันไฟตรงค่าคงที่ และจะป้อนแรงดันอินพุตเข้ามาหลายๆ ระดับ ซึ่งควบคุมโดยสวิตช์ทางกลหรือแมกเนติกคอนแทคเตอร์ โดยการต่อตัวแบ่งแรงดันอาจจะเป็นตัวต้านทานขนาดใหญ่ วิธีนี้ควบคุมความเร็วได้แต่มีประสิทธิภาพต่ำมากเพราะมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในรูปของความร้อนที่ตัวต้านทานแบ่งแรงดันเป็นจำนวนมาก และอีกวิธีคือการควบคุมด้วยวิธีวาร์ด – ลีโอนาร์ด (Ward – Leonard System) วิธีนี้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ต้องการควบคุมความเร็วจะต่อวงจรอาร์เมเจอร์รับไฟจากเครื่องกำเนิดกระแสตรงเครื่องหนึ่ง เครื่องกำเนิดเครื่องนี้จะถูกขับโดยมอเตอร์กระแสสลับ 3 เฟส ที่มีความเร็วคงที่มอเตอร์กระแสสลับ 3 เฟส จะต่อไปขับตัวกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Exciter ที่ทำหน้าที่ผลิตแรงดันไฟตรงค่าคงที่เพื่อจ่ายให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง การติดตั้งเครื่องกลไฟฟ้าในระบบวาร์ด – ลีโอนาร์ด ระบบนี้จะควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์กระแสตรง โดยการควบคุมแรงดันเอาต์พุตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้มอเตอร์ แรงดันของเครื่องกำเนิดควบคุมได้โดยการปรับความต้านทานที่ต่ออยู่กับขดลวดสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดดังนั้นวิธีวาร์ด – ลีโอนาร์ด จะปรับความเร็วได้อย่างนุ่มนวลตั้งแต่ความเร็วต่ำสุด (0 rpm) จนถึงความเร็วพิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกควบคุม และนอกจากนั้นหากกลับขั้วขดลวดสนามแม่เหล็กของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ยังสามารถควบคุมความเร็วและกลับทางหมุนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้อีกด้วย

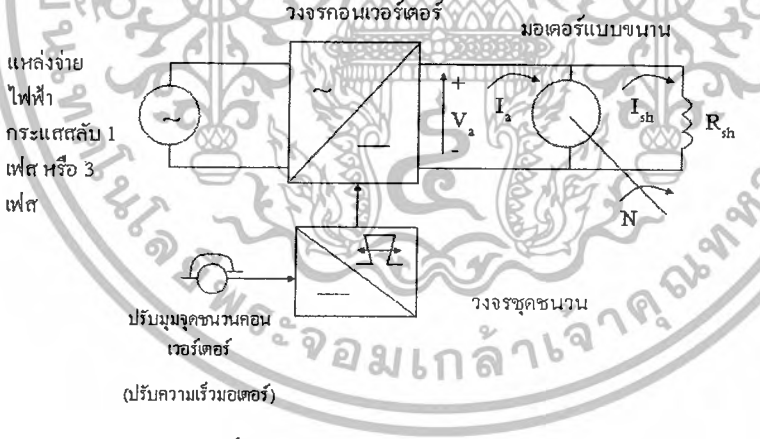
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตาม ระบบควบคุมของวาร์ด – ลีโอนาร์ดเป็นระบบที่มีขนาดใหญ่และยุ่งยากมาก แต่ในปัจจุบันไม่มีการใช้ระบบนี้แล้ว

การควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยวิธีการควบคุมหรือปรับค่าแรงดันป้อนเข้าด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronic System) ซึ่งสำหรับการควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้น ทำได้ 2 วิธี คือ

(1) การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงด้วยวงจรคอนเวอร์เตอร์

วงจรคอนเวอร์เตอร์ (Converter) เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังชนิดหนึ่งซึ่งทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันคงที่และความถี่คงที่ ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้ดังนั้น เมื่อนำแรงดันไฟตรงที่ปรับค่าได้ไปจ่ายให้กับวงจรอาร์เมเจอร์ เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ด้วยวิธีนี้สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ได้โดยการควบคุมแรงดันอินพุต ดังแสดงในรูปที่ 2.38 วงจรคอนเวอร์เตอร์ภายในประกอบไปด้วย เอส.ซี.อาร์ และไดโอดกำลังจำนวนหนึ่งและแหล่งจ่ายอินพุตอาจเป็นไฟสลับ 1 เฟส หรือ 3 เฟส โดยวงจรควบคุมคอนเวอร์เตอร์ เรียกว่า วงจรจุดชนวน (Trigger Circuits) วงจรนี้จะทำหน้าที่ควบคุมมุมนำกระแสของ เอส.ซี.อาร์ที่อยู่ภายในคอนเวอร์เตอร์ ผลของการนำกระแสที่มุมนำกระแตกต่างกันจะทำให้แรงดันไฟตรงเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ปรับค่าได้ ดังนั้นจะเห็นว่า เมื่อปรับวงจรจุดชนวนจะสามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงได้



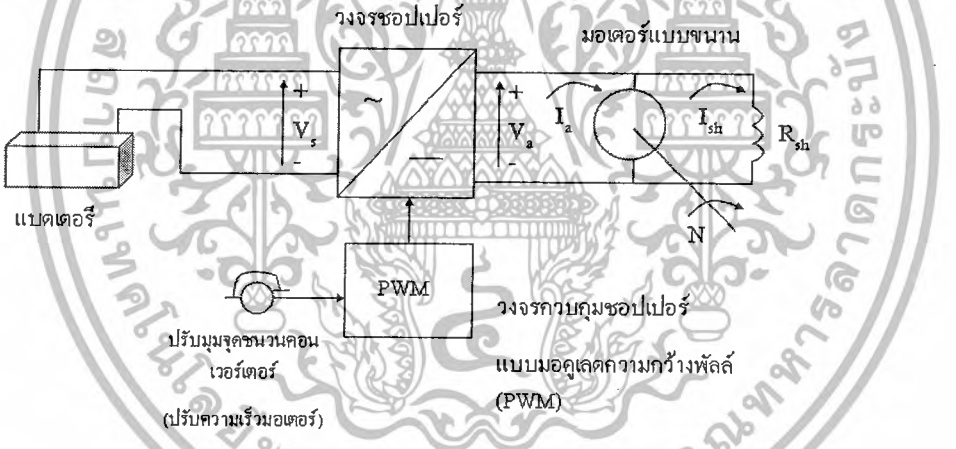
รูปที่ 2.38 วงจรคอนเวอร์เตอร์

สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมและแบบผสมสามารถควบคุมความเร็วได้ด้วยวงจรคอนเวอร์เตอร์เช่นกัน ข้อดีของการใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ควบคุมแรงดันอินพุตของมอเตอร์กระแสตรงเพื่อควบคุมความเร็วนั้น คือกำลังสูญเสียภายในวงจรคอนเวอร์เตอร์ต่ำมากเมื่อเทียบกับการใช้ตัวต้านทานในการแบ่งแรงดัน และทำให้ประสิทธิภาพของระบบควบคุมนี้มีค่าค่อนข้างสูง คือประมาณ 70-80% ในสภาวะที่มอเตอร์ขับโหลดเต็มพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) การควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงด้วยวงจรชอปเปอร์

วงจรชอปเปอร์ (Chopper) เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังวงจรหนึ่งที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าคงที่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับค่าได้ แรงดันไฟตกค่าคงที่ออกมาจากแบตเตอรี่ หรือจากวงจรเรียงกระแส วงจรชอปเปอร์ใช้กันมากในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในรถไฟฟ้าขนาดเล็ก เช่น รถจักรยานไฟฟ้า รถสกูเตอร์ไฟฟ้า รถสนามกอล์ฟ เป็นต้น การต่อวงจรชอปเปอร์เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แสดงในแผนภาพกรอบรูปที่ 2.39 วงจรชอปเปอร์จะรับแรงดันไฟฟ้าตรงค่าคงที่จากแบตเตอรี่ และจ่ายแรงดันไฟตรงปรับค่าได้ให้กับวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน วงจรชอปเปอร์นั้นจะต้องมีวงจรควบคุมการสวิตช์เรียกว่า วงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation) เพื่อทำหน้าที่ควบคุมช่วงการสวิตช์ของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่อยู่ในวงจรชอปเปอร์ ผลของการควบคุมเวลาการสวิตช์นี้ จะทำให้แรงดันอาร์เมเจอร์เปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 0% ของแรงดันแหล่งจ่ายอินพุตจนถึง 100% ของแรงดันอินพุต ชอปเปอร์เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ประสิทธิภาพสูงมากกว่า 90% ดังนั้น การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วย วงจรชอปเปอร์จึงมีประสิทธิภาพสูงตามไปด้วย



รูปที่ 2.39 วงจรชอปเปอร์

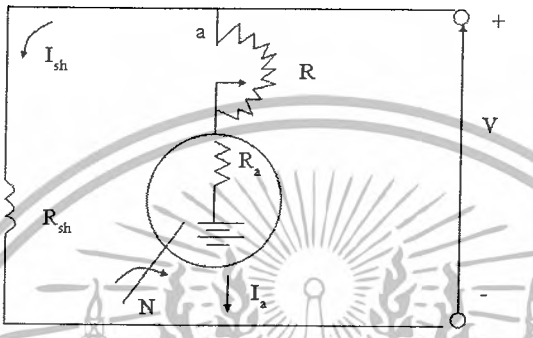
สำหรับลักษณะภายนอกของวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและลักษณะภายนอกของวงจรชอปเปอร์ที่ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้อุตสาหกรรม

2.5.2 การควบคุมความเร็วโดยการควบคุมค่าความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์

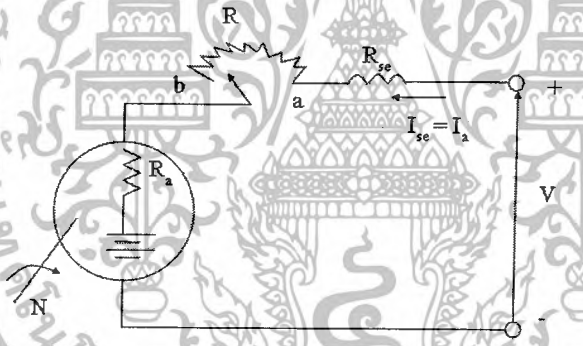
เมื่อพิจารณาสมการความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะพบว่า ถ้าเพิ่มความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์จะเป็นผลให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลง นั้นคือ สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยการควบคุมค่า ความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการใช้ความต้านทาน ปรับค่าได้ต่ออนุกรมกับวงจรอาร์เมเจอร์เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์ในการปรับความเร็ว กล่าวคือ เมื่อเลื่อนความต้านทาน (R) ภายนอกไปยังตำแหน่ง “b” มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วต่ำเพราะว่า $R + R_a$ มีค่ามากขึ้น แต่ถ้าเลื่อนความต้านทานมาใกล้ตำแหน่ง “a” ความเร็วของมอเตอร์จะค่อยๆเพิ่มขึ้น จะมีความเร็วสูงสุดเท่ากับค่าความเร็วพิกัดเมื่อความต้านทานเลื่อนมาที่ตำแหน่ง “a” ในขณะนี้ ความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์เท่ากับ R_a เท่านั้น



ก. มอเตอร์แบบขนาน



ข. มอเตอร์แบบอนุกรม

รูปที่ 2.40 วงจรอาร์เมเจอร์

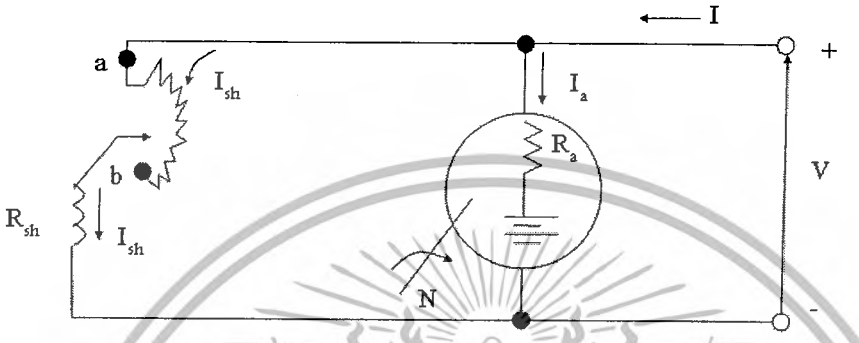
สำหรับมอเตอร์อนุกรม ก็ใช้ความต้านทาน (R) เพื่อปรับความเร็วได้เช่นกัน โดยต่อวงจรได้ดังรูป 2.40(ข) แต่ต้องระวังอย่าให้ความต้านทานมีค่าสูงกว่า R_{se} มากเกินไป เพราะอาจจะทำให้ความเร็วของมอเตอร์อนุกรมสูงมากเกินไปซึ่งจะเป็นผลเสียต่อแบริ่งและเพลามอเตอร์ได้

2.5.3 การควบคุมความเร็วโดยการปรับค่ากระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก

ความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถทำได้อีกวิธีหนึ่งโดยการปรับค่ากระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก เพราะถ้าลดค่าความเข้มขดลวดสนามแม่เหล็กต่อขั้วลงได้ความเร็วของมอเตอร์เพิ่มขึ้น และความเข้มของสนามแม่เหล็ก (ϕ) แปรผันตรงกับค่ากระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก (I_{sh}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ I_{se}) วิธีการง่ายๆ คือใช้รีโอสแตนต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก เพื่อลดค่ากระแสขดลวดสนามแม่เหล็ก (หรือลดค่า ϕ นั่นเอง) วิธีการนี้สำหรับมอเตอร์แบบขนานจะมีกำลังสูญเสียต่ำ อย่างไรก็ตาม การควบคุมความเร็วด้วยวิธีนี้ไม่สามารถปรับความเร็วได้ในย่านความเร็วที่สูงกว่าค่าความเร็วพิกัดเท่านั้น สำหรับวงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบขนานโดยการปรับค่ากระแสขดลวดแม่เหล็ก แสดงในรูปที่ 2.41



รูปที่ 2.41 วงจรควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบขนาน

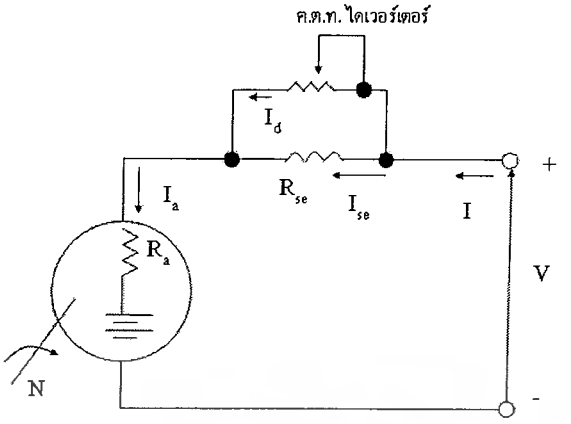
สำหรับกรณีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมนั้นสามารถต่อต้านทานภายนอกเพื่อควบคุมกระแสขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรมได้ 2 วิธี คือ (1) วิธีไดเวอร์เตอร์ขดลวดสนามอนุกรมและ (2) วิธีไดเวอร์เตอร์ขดลวดอาร์เมเจอร์ ทั้งสองวิธีนี้ให้ผลของการควบคุมความเร็วมอเตอร์อนุกรมที่แตกต่างกัน ดังนี้

(1) วิธีไดเวอร์เตอร์ขดลวดสนามอนุกรม

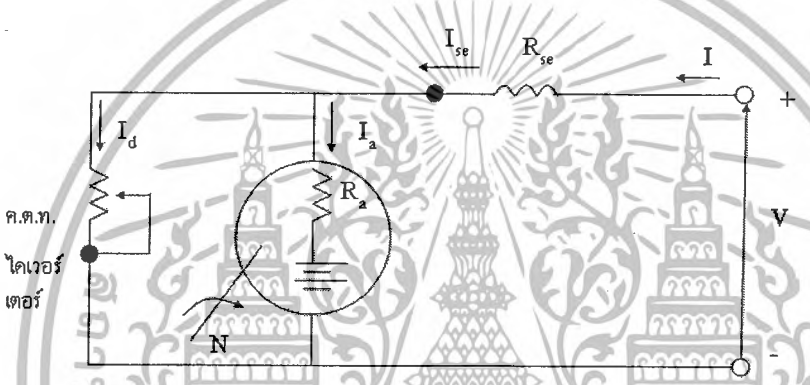
หรือวิธี Series Field Diverters วิธีนี้จะใช้ในการควบคุมให้ความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมสูงกว่าค่าความเร็วพิกัด โดยการต่อตัวต้านทานปรับค่าได้ขนานกับขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรม ดังแสดงในรูป2.42 ดังนั้น

ถ้าลดค่าความต้านทานของตัวไดเวอร์เตอร์ กระแสจะไหลผ่านขดลวดอนุกรมน้อยลง ผลคือ ϕ ลดลงทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมเพิ่มขึ้นได้ ดังนั้น การใช้ความต้านทานที่เรียกว่า ไดเวอร์เตอร์ขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรม มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความเร็วของมอเตอร์อนุกรม แต่ต้องระวังอย่าให้ความต้านทานไดเวอร์ลดต่ำลง จนกระทั่งลัดวงจรขดลวดสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.42 ไดเวอร์เตอร์ขดลวดสนามแม่เหล็กอนุกรม



2.43 ไดเวอร์เตอร์ขดลวดอาร์เมเจอร์

(2) วิธีไดเวอร์เตอร์ขดลวดอาร์เมเจอร์

วิธีนี้ใช้ความต้านทานปรับค่าได้ที่เรียกว่า ไดเวอร์เตอร์ต่อขนานกับขดลวดอาร์เมเจอร์อนุกรม เพื่อลดค่าความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมได้ เพราะว่าค่ากระแสอาร์เมเจอร์ (I_a) จะลดลงเมื่อปรับค่าความต้านทานไดเวอร์เตอร์ เพราะกระแส I จะแบ่งออกเป็น $I_d + I_a$ ดังนั้น หากค่า I_d มาก I_a จะลดลงแต่กระแสขดลวดสนามแม่เหล็กจะสูงขึ้น ผลคือ ϕ เพิ่มขึ้นด้วย ความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงจะลดลง วงจรของการควบคุมไดเวอร์เตอร์ขดลวดอาร์เมเจอร์ แสดงในรูปที่ 2.43

2.6 ระบบกันสะเทือน (SUSPENSION SYSTEM)

Suspensions คือ "การลดอาการสั่นสะเทือนอันเกิดจากการกลิ้งของล้อสัมผัสกับพื้นผิวถนน" ให้หลงเหลือส่งถ่ายไปยังห้องโดยสารน้อยที่สุด แต่ระบบกันสะเทือนก็ยังมีหน้าที่แฝงอีกหลายข้อ ได้แก่ ช่วยให้การบังคับควบคุมรถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ, รักษาระดับตัวรถ ให้พื้นรถห่างจากผิวถนนคงที่, ควบคุมล้อให้ตั้งฉากกับพื้นถนนตลอดเวลาเพื่อให้หน้ายางสัมผัสกับพื้นถนนมากที่สุด แม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะเข้าโค้ง, ลดอาการกระดก และโยนตัว สมดุลให้รถอยู่ในสภาพปกติ ขณะเคลื่อนที่ผ่านผิวถนนที่ไม่ราบเรียบ

2. 6. 1 ส่วนประกอบของระบบกันสะเทือน

(1) สปริง (Spring)

หน้าที่และชนิดของสปริง สปริงจะยุบและยืดตัวเมื่อล้อวิ่งผ่านผิวถนนที่ขรุขระ ส่งผลให้ล้อเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้เกือบอิสระในแนวดิ่งจากโครงรถ ทำให้สามารถ "ดูดกลืน" (Absorb) แรงเต้นของล้อลงได้ แรงจากการเคลื่อนที่ของล้อจึงถูกส่งถ่ายไปยังตัวถังน้อยกว่าที่ล้อเต้นจริง ผลก็คือผู้โดยสารและน้ำหนักบรรทุกจะได้รับแรงสะเทือนจากล้อลดลง สปริงที่ใช้กับรถยนต์มีดังนี้

(1.1) แหนบแผ่น (Leaf spring)

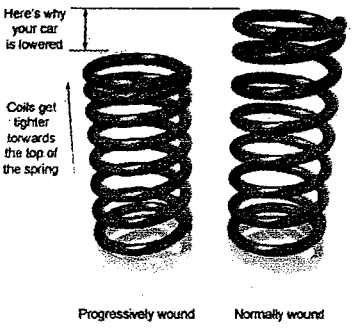
รูปที่ 2.44 แหนบแผ่น

แหนบแผ่นใช้กับรถยนต์ทั่วไปที่มีคานหน้า และเสื้อเพลาชนิดคานแข็ง แหนบแผ่นทำด้วยเหล็กกล้าเป็นแผ่นแบนหลายแผ่นวางซ้อนกันเป็นตับ ความยาวของแต่ละแผ่นไม่เท่ากัน แผ่นบนสุดเรียกว่าแหนบหู (Main leaf)จะยาวที่สุด แผ่นต่อไปมีความยาวลดหลั่นกันลงไป มีเข็มขัดรัดแหนบ (Clip) รัดไว้เป็นช่วงๆเพื่อให้แผ่นแหนบเรียงซ้อนกัน ที่ปลายทั้งสองของแหนบตัวบนจะม้วนเป็นรูกลมสำหรับใส่บู๊ช เรียกว่า หูแหนบ ที่หูแหนบจะมีสลักร้อยให้ติดกับโครงรถด้วยสลักหูแหนบ ส่วนด้านหลังยึดติดกับโครงรถด้วยโตงเตงแหนบ (Spring shackle)

(1.2) สปริงขด (Coil spring)

สปริงขดทำด้วยเส้นเหล็กกล้า สปริงมีความยืดหยุ่นสูง อัตรารับน้ำหนักของสปริงขดขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเส้นเหล็กกล้าที่ใช้ทำสปริง เนื่องจากสปริงขดเป็นชิ้นเดียว จึงไม่มีความฝืดเหมือนกับแหนบ ดังนั้นการยุบและการยืดตัวของสปริงขด จะรับเอาพลังงานของการสั่นสะเทือนจากพื้นถนน จึงทำให้มีความนุ่มนวลสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.45 สปริงขด

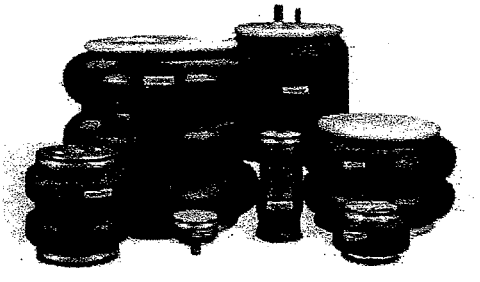
(1.3) ทอชั่นบาร์ (Torsion bar)

ทอชั่นบาร์ทำด้วยเหล็กกล้า หลักการทำงานอาศัยการบิดตัว และการคืนตัวกลับในตำแหน่งปกติทอชั่นบาร์ จะไม่บิดตัว เมื่อล้อรถเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง ทำให้ทอชั่นบาร์ บิดตัวไปจากตำแหน่งเดิม การติดตั้งทอชั่นบาร์จะใช้กับล้อหน้า โดยทอชั่นบาร์ติดตั้งตามความยาวของโครงรถ ข้างละท่อน ที่ปลายด้านหน้ายึดติดกับปีกนกล่าง ปลายด้านหลังยึดติดกับเหล็กปรับแต่งได้ โดยมีแท่นติดตั้ง เชื่อมติดกับด้านหลังของโครงรถ เพื่อรองรับอีกทีหนึ่ง

รูปที่ 2.46 ทอชั่นบาร์

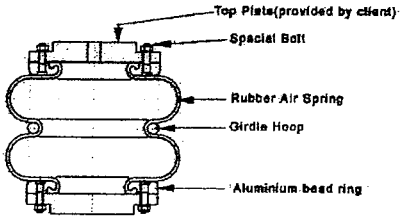
(1.4) สปริงถุงลม (Air spring) หรือถุงลม (Air bags)

สปริงชุดประกอบของสปริงลมแต่ละชุดเป็นถุงที่ยืดหยุ่นได้บรรจุอยู่ในห้องลมทำด้วยโลหะถุงบรรจุลมอัด ซึ่งทำหน้าที่รับน้ำหนักของรถ เมื่อล้อปะทะกับสิ่งกีดขวางหรือหลุมบนท้องถนนอากาศจะอัดตัวมากยิ่งขึ้นและรับเอาอาการสั่นสะเทือนจากถนนไว้



รูปที่ 2.47สปริงถุงลม(1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.47สปริงถุงลม(2)

(2) โช๊คอัพ (Shock absorber)

โช๊คอัพถูกติดตั้งควบคู่กับอุปกรณ์ที่ต้องรับน้ำหนักและสร้างความยืดหยุ่น (สปริง) โดยโช๊คอัพจะทำหน้าที่ควบคุมการยืดหยุ่น ไม่ให้มีต่อเนื่อง นานเกินไป และช่วยสร้างประสิทธิภาพการทรงตัวรถยนต์ให้มีความยืดหยุ่นในการยุบ และคืนตัว

รูปที่2.48 โช๊คอัพ

โช๊คอัพที่ใช้เป็นแบบไฮโดรลิก (Hydraulic type) หรือแบบแก๊ส (Gas type) ซึ่งบรรจุของเหลวไว้ภายใน และใช้แรงดันดันผ่านรูเล็กๆ ความต้านทานต่อการเลื่อนที่ของของเหลวผ่านรูเล็กๆจะหน่วงการเคลื่อนที่ของสปริง ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่กลับไปมาของสปริงหมดไปเร็วขึ้น โช๊คอัพแบ่งออกเป็น

(2.1) โช๊คอัพแบบทำงานทางเดียว (Single acting) จะมีวาล์วยืด (Rebound valve) ดังนั้นในจังหวะสปริงยุบตัว จะไม่มีความต้านทาน แต่จะมีความต้านทานเมื่อสปริงยืดตัว

(2.2) โช๊คอัพแบบทำงานสองทาง (Double acting) จะหน่วงการเคลื่อนที่ของสปริงทั้งจังหวะยุบตัว (Compression stroke) และจังหวะยืดตัว (Rebound stroke)

(3) เหล็กกันโคลง (Stabilizer bar)

เหล็กกันโครงมีหน้าที่ป้องกันรถเซขณะเลี้ยว ติดตั้งกับปีกนกตัวล่าง การทำงานของเหล็กกันโคลง เมื่อรถเลี้ยว สปริงของล้อด้านนอกจะยุบตัว สปริงของล้อด้านในจะยืดตัว เหล็กกันโคลงจะบิดตัวต้านทานกับสปริงโดยปลายด้านหนึ่งจะบิดตัวขึ้นและปลายอีกด้านหนึ่งจะบิดตัวลง ทำให้การทรงตัวของรถในขณะเลี้ยวอยู่ในสถานะเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.49 เหล็กกันโคลง

(4) หนวดกุ้ง (Strut bar)

หนวดกุ้งมีหน้าที่รักษาระยะห่างระหว่างล้อหน้า และล้อหลังให้คงที่เมื่อแล่นไปบนพื้นถนนที่มีสภาพผิดปกติหรือห้ามล้อ

รูปที่ 2.50 หนวดกุ้ง

(5) ยางกันกระแทก

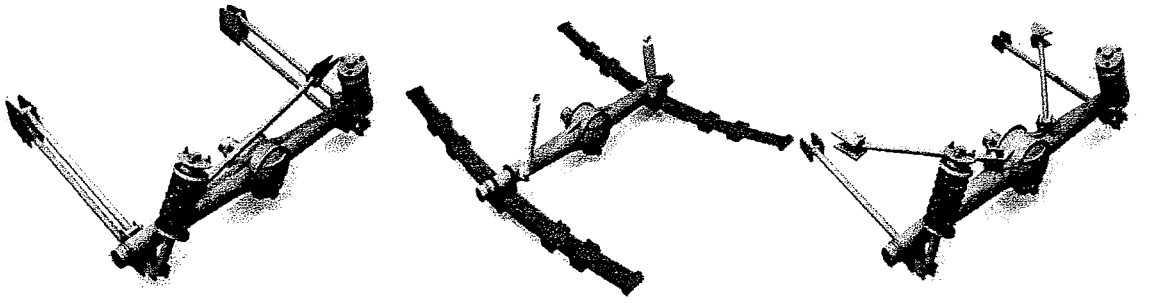
ยางกันกระแทก มีหน้าที่ช่วยลดความสูญเสียจากแรงกระแทกที่ส่งไปยังชิ้นส่วนต่างๆที่รองรับ

2.6.2 ชนิดของระบบกันสะเทือน

(1) ระบบกันสะเทือนแบบคานแข็ง (Solid axle suspension)

ล้อด้านซ้ายและล้อด้านขวาอยู่บนเพลาเดียวกัน เป็นแบบดั้งเดิมที่ใช้กันมาซึ่งพบในรถที่ใช้เพื่อการบรรทุก ข้อดีคือ แข็งแรง ทนทาน ค่าสร้างถูก ข้อเสียคือ คานรับน้ำหนักจะเกิดการแกว่งถ้าล้อใดล้อหนึ่งได้รับแรงกระแทกมีน้ำหนักใต้สปริงมาก เมื่อล้อใดล้อหนึ่งเอียงไป ล้อที่อยู่บนคานเดียวกันจะเอียงตามไปด้วย ทำให้การควบคุมรถไม่นิ่มนวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.51 ระบบกันสะเทือนแบบคานแข็ง

(2) ระบบกันสะเทือนแบบอิสระ (Independent suspension)

คือระบบกันสะเทือนที่ได้รับการพัฒนาให้แยกหน้าที่ รองรับน้ำหนัก และแรงสะเทือนระหว่างล้อซ้าย และล้อขวาออกจากกัน เมื่อล้อใดล้อหนึ่งตกหลุมหรือกระแทกสิ่งกีดขวาง แรงสะเทือนที่เกิดขึ้น ก็จะกระทำต่อล้อนั้นเสียส่วนใหญ่ และจะส่งแรงสะเทือนนี้ไปสู่ตัวรถ และอุปกรณ์ต่อเนื่องกันให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดความนุ่มนวลในห้องโดยสารมากที่สุด

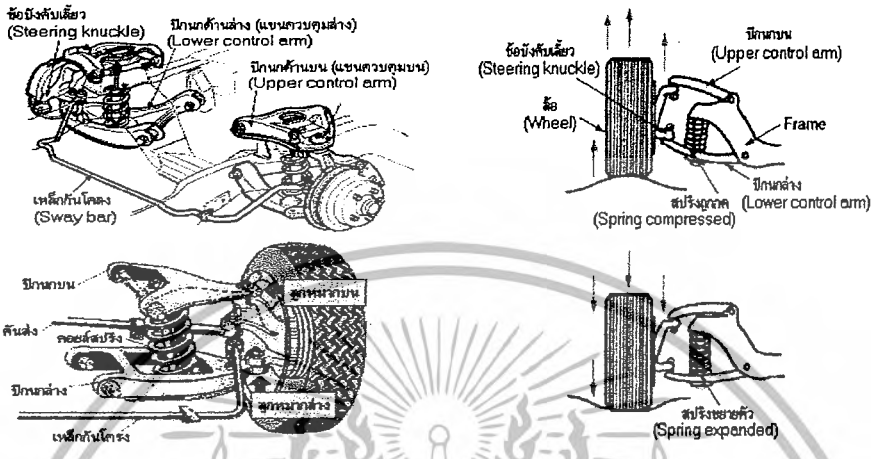
รูปที่ 2.52 ระบบกันสะเทือนแบบอิสระ

รถที่ขับเคลื่อนล้อหน้า หรือขับเคลื่อนล้อหลัง ที่ใช้ระบบกันสะเทือนแบบอิสระ จะมีข้อต่ออ่อน(Universal Joint) อยู่ระหว่างเพลาขับไปจนถึงล้อ เพื่อที่ว่า เวลาล้อเคลื่อนที่ไปตามสภาพถนนแล้ว เกิดตกหลุม หรือข้ามสิ่งกีดขวางใดๆ จุดศูนย์กลางของล้อจะ ไม่ตรงกับแกนเพลาหมุน ข้อต่ออ่อนก็ยังคงส่งแรงหมุนนี้ไปตามเพลาหมุน ไปจนถึงล้อ ได้ แม้ว่าสภาพถนนจะเป็นอย่างไรก็ตาม โดยล้อทั้ง 4 ของระบบกันสะเทือนรูปแบบนี้จะเต้นเป็นอิสระต่อกัน ไม่ส่งผลไปยังล้อที่อยู่ตรงกันข้าม หรือถ้ามีบ้างก็น้อยมาก น้ำหนักใต้สปริงของระบบรองรับแบบนี้มีน้อย แรงเฉื่อยจากการเต้นของล้อจึงมีน้อยกว่า อาการเต้นของล้อจึงกลับสู่สภาวะปกติได้อย่างรวดเร็ว น้ำหนักใต้สปริงของระบบกันสะเทือนแบบอิสระน้อยมากยิ่งขึ้นไปอีกในปัจจุบัน เพราะผู้ผลิตหลายรายหันมาใช้อะลูมิเนียมที่มีน้ำหนักเบา เป็นส่วนประกอบหลักของระบบกันสะเทือนแทนเหล็ก ซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าแทบทั้งชุด การควบคุมรถจึงทำได้อย่างมีเสถียรภาพมากกว่า และยังนุ่มนวลกว่า ซึ่งระบบรองรับแบบอิสระจะแบ่งออกไปอีกหลายประเภท เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.1)ระบบกันสะเทือนแบบปีกนกคู่ (Double Wishbone)

ระบบกันสะเทือนแบบนี้ มีส่วนประกอบที่มองดูคล้ายกับปีกนกอยู่ 2 ชิ้น ติดตั้งอยู่ด้านบน และด้านล่างอย่างละ 1 ชิ้น ด้านหนึ่งยึดติดกับโครงรถ อีกด้านหนึ่ง ยึดติดกับข้อบังคับเลี้ยวที่ติดอยู่กับดุมล้อ



รูปที่ 2.53ระบบกันสะเทือนแบบปีกนกคู่

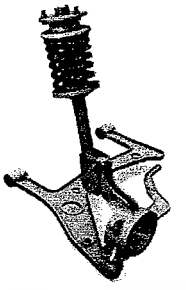
การติดตั้ง ปีกนกด้านบน (Upper Control Arm) ด้านหนึ่งเกาะติดกับโครงรถด้วยแกนยึดกับโครงรถ อีกด้านหนึ่ง ยึดติดกับข้อบังคับเลี้ยวด้วยลูกหมาก (Ball Joint) และปีกนกด้านล่าง (Lower Control Arm) ก็จะยึดติดด้วยวิธีเดียวกัน ขณะเดียวกัน แกนบังคับเลี้ยวจากพวงมาลัย จะมายึดเกาะติดกับข้อบังคับเลี้ยว ตราบใดที่มีการหมุนพวงมาลัยเพื่อเลี้ยวซ้ายหรือขวา แกนบังคับเลี้ยวนี้จะดึง-ดันข้อบังคับเลี้ยว ให้เปลี่ยนทิศทาง เมื่อข้อบังคับเลี้ยวเปลี่ยนทิศทาง ดุมล้อที่ยึดเกาะกับแกนบังคับเลี้ยว ก็จะเปลี่ยนทิศทางด้วย ทำให้ล้อเปลี่ยนทิศทางไปเช่นกัน (เพราะล้อยึดติดกับดุมล้อ)

รูปที่ 2.54 ปีกนกด้านบน

ระบบปีกนกคู่ ถูกดัดแปลงไปใช้กับรถยนต์แต่ละรุ่นแตกต่างกันไป บางผู้ผลิตออกแบบระบบปีกนกเพื่อเพิ่ม ความนุ่มนวลในการขับขี่มากขึ้น บางผู้ผลิตออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ด้านการทรงตัว ของรถขณะขับขี่หรือเข้าโค้ง การออกแบบของแต่ละบริษัท ก็จะส่งผลให้มีการผลิต ชิ้นส่วนของแขนปีกนกบน และล่าง ในรูปร่างแตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.2)แม็คเฟอร์สันสตรัท (Macpherson Strut)

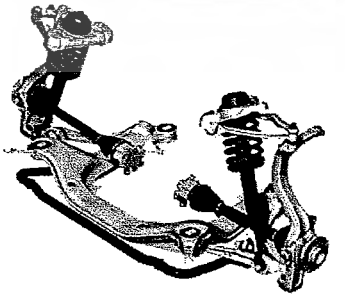


รูปที่ 2.55 แม็คเฟอร์สันสตรัท

การออกแบบถูกพัฒนาให้ง่ายขึ้นกว่าระบบปีกนกคู่ คือจะใช้แกนปีกนกด้านล่าง 1 แกน ส่วนด้านบนจะใช้เป็นชุดสตรัท (Strut) เพื่อรับแรงกระแทกบนพื้นถนน คล้ายกับระบบปีกนกธรรมดา แต่ไม่มีปีกนกบน โช๊คอัพและคอยล์สปริงจะรวมอยู่บนแกนเดียวกัน ทำให้ประหยัดเนื้อที่และลดชิ้นส่วนต่างๆ ลงได้มาก ตัวถังบริเวณที่รองรับชุดแม็คเฟอร์สันสตรัท ต้องแข็งแรงเป็นพิเศษ ข้อเสียของระบบกันสะเทือนชนิดนี้ คือ ไม่สามารถทำให้รถต่ำลงเท่าระบบกันสะเทือนแบบปีกนก ในระบบนี้ประกอบไปด้วยสปริงแบบเหล็กค้ำ (Strut) และ Shock absorber คู่กัน โดยที่ Strut จะทำหน้าที่ค้ำหรือพยุงส่วนหน้าของรถ ซึ่งด้านล่างจะติดกับ Ball joint และด้านบนจะติดกับ Roller bearing สามารถควบคุมการหมุนของล้อได้ โดยชุดขับเคลื่อนเกียร์จะเชื่อมต่อกับ Shock absorber ส่วนล่าง เมื่อเราบังคับเลี้ยว ชุดเกียร์จะหมุนสปริงและ Shock absorber จะส่งผลทำให้ล้อหมุน

(2.3) มัลติลิงค์ (Multi – link)

คำว่า มัลติลิงค์ จะค่อนข้างครอบคลุม สำหรับระบบกันสะเทือนที่ใช้แขนยึด (Link) แบบหลายจุด เช่นโฟร์บาร์ลิงค์เกจ, ไฟว์ลิงค์ หรือแขนยึดแบบ 5 จุด ที่ออกแบบให้ใช้แขนยึดหลายจุดเพื่อต้องการควบคุมมุมล้อ และรักษาหน้ายางให้ตั้งฉากกับพื้นถนน ปัจจุบันนิยมใช้กับล้อคู่หลังเพื่อความนุ่มนวล ทั้งยังให้สมรรถนะในการยึดเกาะถนนที่ดี



รูปที่ 2.56 มัลติลิงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Multi-link เป็นระบบที่ใหม่ล่าสุด เป็นที่นิยมมากในปัจจุบันส่วนประกอบและวิธีทำงานคล้ายกับแบบ Double Wishbone แต่จะต่างกันตรงที่แบบ Double Wishbone แขน A – arm ด้านบนและล่างจะเป็นอิสระจากกัน แต่ Multi – link จะมี Joint เชื่อมติดระหว่างแขนทั้งด้านบนและด้านล่าง ทำให้มีความนุ่มนวลมากขึ้นและสามารถเกาะถนนได้ดีขึ้น เพราะมีลิงค์หลายตัวช่วยรับแรง ซึ่งรูปแบบนี้ไม่มีรูปแบบที่ตายตัว สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเหมาะสม ขึ้นอยู่กับจำนวน arm, joint หรือตำแหน่งของส่วนต่างๆ ในปัจจุบันระบบการรองรับแบบ Multi-link ได้ถูกพัฒนาขึ้นใหม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบรองรับหลังดังนี้

- ให้ทรงตัวและยึดเกาะถนนที่ดี เนื่องจากระบบ Multi-link จะใช้คานเหล็ก (Torsion Beam) ที่แข็งแรงและมีน้ำหนักเบา เพื่อช่วยกดหน้าสัมผัสของยาง กับพื้นถนน ให้เป็นแนวตั้งฉากตลอดเวลา โดยมีแขนยึด คานยึด และคานควบคุม ทำให้ตัวถังไม่เกิดอาการ ส่ายไปมา

- ให้ความนุ่มนวลขณะขับขี่ เนื่องจากคานเหล็ก สามารถบิดตัวรับแรงสั่นสะเทือนได้อย่างอิสระ ขณะขับขี่ผ่านทางขรุขระ รวมทั้งการติดตั้งโช๊คอัพในตำแหน่งที่เหมาะสมไม่ให้เกิดแรงสวิงจากด้านนอก ส่งผลให้โช๊คอัพทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

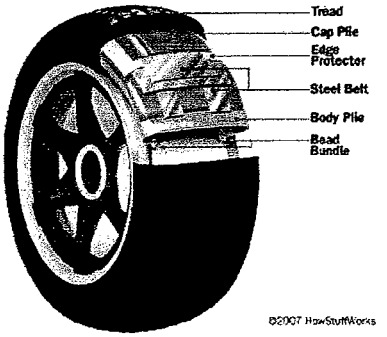
- ปราศจากเสียงรบกวนเข้าสู่ภายในห้องโดยสาร เนื่องจากโช๊คอัพและคอยล์สปริง มีขนาดรูปทรงกะทัดรัด จุดยึดระหว่างระบบกันสะเทือนกับตัวถังด้านหลัง จะอยู่บริเวณ พื้นที่เก็บสัมภาระท้ายรถ และใช้บู๊ชยางเป็นตัวเชื่อม
ต่อคาน (TORSION BEAM) ทำให้เสียงและแรงสั่นสะเทือนไม่ถูกส่งเข้าห้องโดยสาร

2.6.3 ยางรถยนต์ (Pneumatic Tire)

ยางรองรับน้ำหนักทั้งหมดของรถ สัมผัสโดยตรงกับผิวถนน ทำหน้าที่ถ่ายทอดแรงขับเคลื่อนและแรงเบรกของรถยนต์ ดังนั้นยางจึงมีความสำคัญต่อการออกตัวการเร่ง การลดความเร็ว การหยุด การเลี้ยวโค้ง ฯลฯ ทำให้รถเปลี่ยนทิศทางได้ตามประสงค์ ยางยังช่วยลดแรงสั่นสะเทือนในการขับขี่ให้น้อยลง

(1) โครงสร้างของยาง ประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ เนื้อยาง (Tread) โครงผ้าใบ (Carcass) ผ้าใบเสริมหน้ายาง (Belt or Breaker) และขอบลวด (Bead Wire)

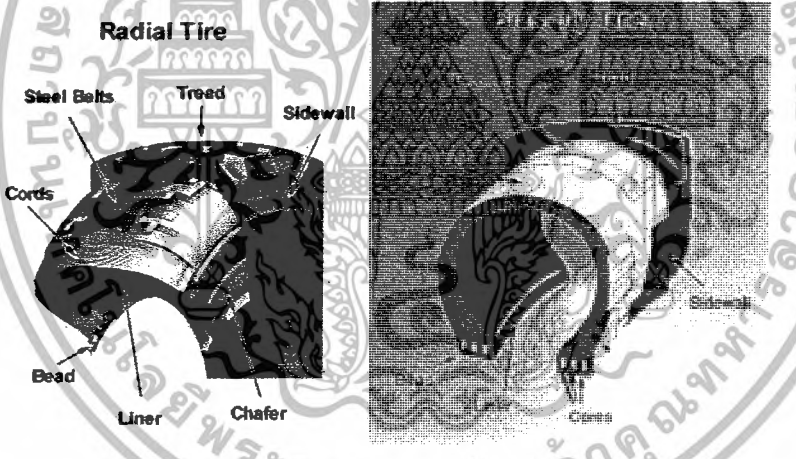
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.57 ยางรถยนต์

(2) ชนิดของยาง ยางแบ่งออกตามลักษณะโครงสร้างของยาง ได้แก่ยางธรรมดาและยางเรเดียล

(2.1) ยางธรรมดา (Bias) ชั้นของยางธรรมดาทำขึ้นด้วยชั้นของเส้นด้ายถักสลับร่วมกันเป็นชั้นๆ และวางเป็นมุม 40-65 องศา สัมพันธ์กับเส้นกึ่งกลางเส้นรอบวงของยาง ดอกของยางธรรมดาจะ "บิดตัว" เมื่อติดกับถนน ขณะที่ดอกของ ยางเรเดียลจะยังคงรูปเดิมอยู่ ยางธรรมดาให้การขับขี่ที่นิ่มกว่า แต่ด้อยกว่ายางเรเดียลในด้านของสมรรถนะการเลี้ยว และการต้านทานการสึกหรอ



รูปที่ 2.58 ยางเรเดียลและยางธรรมดา

(2.2) ยางเรเดียล (Radial) โครงของยางเรเดียล ประกอบด้วย ชั้นเส้นด้ายถักร่วมกันเป็นลักษณะตั้งฉากกับยางดิบเป็นชั้นๆ กับเส้นรอบวงของยาง โครงสร้างแบบนี้ให้การยืดหยุ่นที่แข็งแรงในแนวรัศมีโครงยาง ยางเรเดียล ทำด้วยเส้นด้ายทอที่แข็งแรง หรือเส้นใยเหล็กทอพันรวมกันกับยาง ซึ่งหุ้มโครงยางในส่วนที่คล้ายกับการหุ้มรองถักเป็นวงกลม ซึ่งเปรียบเสมือนการเพิ่มความแข็งแรงให้ดอกยาง ยางเรเดียล มีความแข็งแรงของชั้นผ้าใบสูง ซึ่งหมายถึงมีสมรรถนะการเลี้ยว และสมรรถนะในขณะความเร็วสูงเป็นอย่างดี

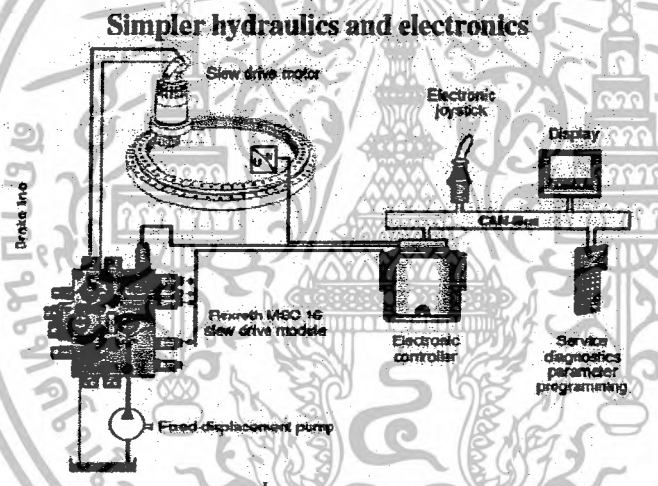
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ระบบเบรก (BREAK SYSTEM)

อุปกรณ์เบรกใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ที่ขับเคลื่อนยานพาหนะเป็นพลังงานความร้อนและควบคุมความเร็ว แบ่งออกเป็นเบรกเท้า (Foot brake) เบรกมือ (Parking brake) และเบรกช่วย (Auxiliary brake) [Engine brake and Exhaust brake]

2.7.1 เบรกมือ (Parking brake)

เบรกมือ คือ เบรกที่ใช้ในช่วงรถจอดสนิท ขณะที่รถขึ้นสะพานหรืออยู่บนทางลาดชันแล้วต้องการหยุดรถ ระบบเบรกมือนี้เป็นระบบกลไกที่จะไปล็อกล้อหลังไม่ให้เคลื่อนที่ เบรกมือจะอยู่บริเวณเกียร์ คือ อยู่ถัดจากเกียร์ลงมาทางด้านหลัง หรืออาจอยู่ที่ตำแหน่งใต้พวงมาลัยก็ได้

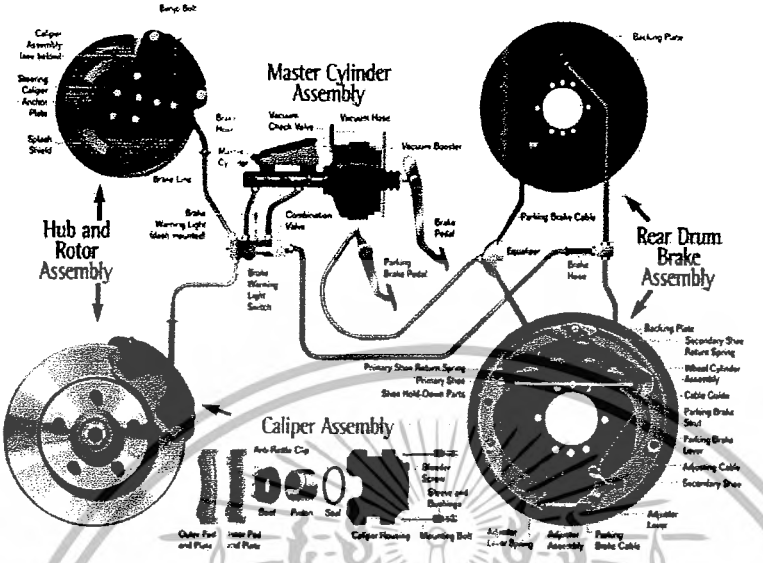


รูปที่ 2.59 เบรกมือ

การใช้เบรกมือที่ตำแหน่งเบรกมืออยู่หลังเกียร์ก็เพียงดึงเบรกมือขึ้นมาจนสุด เวลาปลดก็ให้กดปุ่มที่ปลายของที่จับเบรกมือแล้วกดลงจนสุด การใช้เบรกมือที่มีตำแหน่งอยู่บริเวณใต้พวงมาลัย ให้ดึงด้ามจับเบรกมือขึ้นมาจนสุดแล้วหมุนไปทางขวาจนสุด เวลาปลดก็ให้หมุนมาทางซ้ายแล้วกดเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

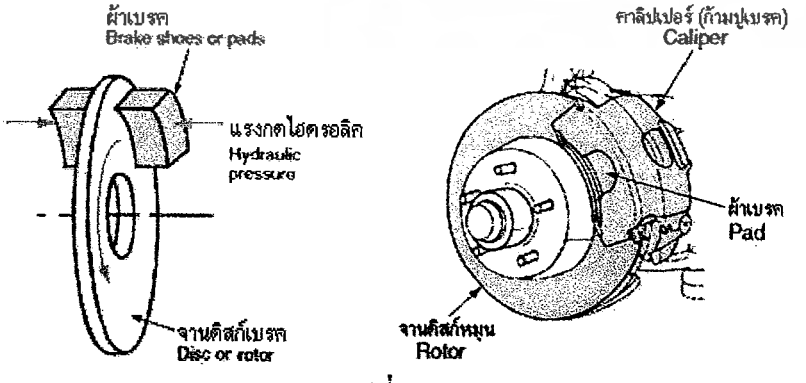
2.7.2 เบรกเท้า (Foot brake)



รูปที่ 2.60 เบรกเท้า

เบรกเท้า ทำหน้าที่ ชะลอความเร็วของรถ หรือทำให้รถหยุด ตามความต้องการของผู้ขับรถ โดยใช้การถ่ายทอดแรงเหยียบ ที่แป้นเบรกไปถึงตัวอุปกรณ์หยุดล้อ ด้วยระบบไฮดรอลิกซ์ (Hydraulic) กล่าวคือ ในขณะที่เราเหยียบเบรกลงที่แป้นเบรก แรงเหยียบนี้ จะถูกส่งไปที่แม่ปั๊มน้ำมันเบรก (Master Cylinder) เพื่อทำหน้าที่อัดแรงดันน้ำมันเบรกออกไปตามท่อน้ำมันเบรก ผ่านวาล์วแยก ส่วนน้ำมันเบรกไปจนถึงตัวเบรก ซึ่งติดตั้งอยู่บริเวณดุมล้อ และที่ตัวเบรก ก็จะมีลูกปั๊มน้ำมันเบรก เมื่อได้รับแรงดันมา ลูกปั๊มน้ำมันเบรกจะดันให้ผ้าเบรกไปเสียดทานกับชุดจานเบรก เมื่อเกิดความฝืดขึ้น ล้อก็เริ่มหมุนช้าลง เมื่อเพิ่มน้ำหนัก เหยียบเบรกเข้าไปอีก แรงดันน้ำมันเบรกจะเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีความฝืดที่ล้อเพิ่มขึ้น รถก็จะชะลอความเร็วลง จนรถหยุดได้ในที่สุด เบรกเท้าอาจทำงานด้วยกลไก โดยใช้สายเบรกเป็นตัวส่งจ่ายกำลังหรือด้วยน้ำมัน โดยใช้แรงดันน้ำมันเป็นตัวส่งถ่ายกำลังก็ได้ แต่โดยทั่วไปแล้ว เบรกกระทะจะทำงานด้วยกลไก เบรกจานจะทำงานด้วยน้ำมัน

(1) เบรกจาน (Disk break)



รูปที่ 2.61 เบรกจาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบรกจาน ประกอบด้วยชิ้นส่วนพื้นฐานคือ ก้ามเบรกหรือคาลิปเปอร์ (Caliper) จานเบรกหรือโรเตอร์ (Break disk or Rotor) ลูกสูบ (Piston) และผ้าเบรก (Break pad)

(1.1) ลูกสูบ (Piston)

- แบบลูกสูบตรงกันข้าม แบบนี้มีลูกสูบ 2 ลูกอยู่ตรงกันข้าม แผ่นผ้าเบรกทั้งคู่ถูกกดด้วยลูกสูบ

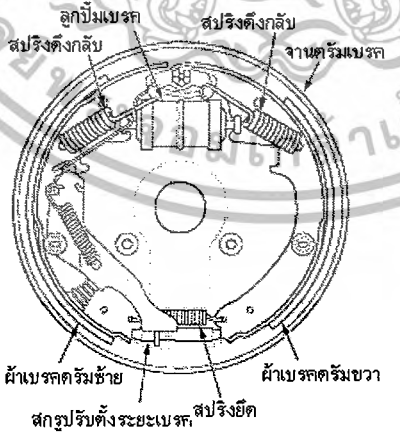
- แบบลูกสูบลูกเดียว แบบนี้มีลูกสูบลูกเดียว เมื่อแผ่นผ้าเบรกด้านลูกสูบถูกกดให้สัมผัสกับจานเบรก แผ่นผ้าเบรกอีกด้านหนึ่งก็จะเคลื่อนตัวมาสัมผัสกับจานเบรก ด้วยแรงปฏิกิริยา

(1.2) ก้ามเบรกหรือคาลิปเปอร์ (Caliper) จะติดตั้งโดย ครอบลงไปบนจานดิสก์ (ไม่หมุนไปพร้อมล้อ) ภายในคาลิปเปอร์ มีการติดตั้งผ้าเบรคประกอบอยู่ทางด้านซ้าย และขวาของจานดิสก์ และจะมีลูกปั๊มน้ำมันเบรคติดตั้งอยู่ด้วย ซึ่งท่อน้ำมันเบรก ก็จะติดตั้งเชื่อมต่อกับลูกปั๊มเบรกนี้ เมื่อใดที่มีการเหยียบเบรก ลูกปั๊มเบรก ก็จะดันให้ผ้าเบรค
เลื่อนเข้าไปเสียดทานกับแผ่นจานดิสก์

- ก้ามเบรกหรือคาลิปเปอร์ชนิดอยู่กับที่ (แบบลูกสูบอยู่ตรงกันข้าม) ก้ามเบรกหรือคาลิปเปอร์ถูกตรึงหรือยึดอยู่กับที่และมีลูกสูบอยู่ในก้ามเบรกหรือคาลิปเปอร์ด้านละหนึ่งลูกตรงข้ามกัน โดยแรงดันน้ำมันเบรกจากแม่ปั๊มเบรก จะดันลูกสูบทั้งสองเลื่อนออกดันผ้าเบรกไปสัมผัสจานเบรกหรือโรเตอร์ ทำให้เกิดการเบรก

- ก้ามเบรกหรือคาลิปเปอร์ลอย (แบบลูกสูบเดี่ยว) ก้ามเบรกหรือคาลิปเปอร์ถูกเหนี่ยวรั้งให้ลอยตัวอยู่และมีลูกสูบเดี่ยวอยู่ทางด้านหนึ่งภายในก้ามเบรกหรือคาลิปเปอร์ โดยแรงดันน้ำมันเบรกจากแม่ปั๊มเบรก ดันลูกสูบเลื่อนออกดันผ้าเบรกไปสัมผัสจานเบรกหรือ โรเตอร์พร้อมทั้งทำให้ก้ามเบรกหรือคาลิปเปอร์เคลื่อนที่ไปจนกระทั่งผ้าเบรกอีกแผ่นหนึ่งสัมผัสกับจานเบรกหรือโรเตอร์และเกิดการเบรก

(2) เบรกระทะ (Drum break)



รูปที่ 2.62 เบรกระทะ

เบรกกระทะประกอบด้วยชิ้นส่วนพื้นฐานคือ แผ่นหลัง (Break torque) ก้ามเบรก (Break shoe) และกระบอกเบรก (Wheel cylinder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2.1)แผ่นหลัง (Break torque) ทำหน้าที่รับแรงบิดของเบรก

(2.2) ก้ามเบรก (Break shoe) ประกอบด้วยชิ้นโลหะครึ่งวงกลมผนึกกาว หรือย้ำด้วยหมุดย้ำ ติดอยู่กับผ้าเบรก (Break lining) ปลายข้างหนึ่งของก้ามเบรกติดตั้งอยู่ทางด้านกระบอกเบรก และปลายอีกข้างหนึ่งสวมอยู่กับสลักก้ามเบรก (Anchor pin) หรืออาจลอยตัวอยู่ ก้ามเบรก แบ่งออกเป็น

- แบบก้านนำ-ก้ามตาม (Leading-trailing type)

เบรกแบบนี้จะมีก้านนำ (Leading shoe) และก้านตาม (Trailing shoe) อย่างน้อยหนึ่งก้าม พร้อมกระบอกเบรกหนึ่งกระบอก ให้แรงเบรกปานกลาง มีเสถียรภาพ และประสิทธิภาพของเบรกเท่ากันขณะเบรก ตอนเดินหน้าและถอยหลัง

- แบบทู - ลีดดิ้ง (Two-leading)

เบรกแบบนี้มีก้านนำ 2 ก้าม และกระบอกเบรก 2 กระบอก การใช้ก้ามนำ 2 ก้ามช่วยกันทำงาน ทำให้ได้แรงเบรกมากตอนเดินหน้า แต่แรงเบรกจะลดลงมามากขณะถอยหลัง เนื่องจากผลของการเป็นก้ามตาม อนึ่งการใช้ก้ามนำ 2 ก้าม

ซึ่งให้แรงเบรกเกือบเท่ากัน ยังสามารถป้องกันการกระจายภาระ (load) ไม่เท่ากันบนลูกปืนล้อขณะเบรก อีกด้วย

(2.3) กระบอกเบรก (Wheel cylinder) คือ กระบอกสูบเบรกที่ล้อแต่ละล้อเพื่อเปลี่ยนแรงดันน้ำมันเบรก ให้เป็นพลังงานกลไปกระทำให้เกิดการเบรก

2.7.3 ผ้าเบรก (Brake linings)

ผ้าเบรก ที่ติดตั้งในระบบเบรก (Brake system) จะติดตั้งเป็นคู่ เช่น ในก้ามปูเบรก (Caliper) จะติดตั้งผ้าเบรก ประกบซ้ายและขวาของจานดิสเบรก ส่วนดรัมเบรก (Drum brake) จะติดตั้งผ้าเบรกที่มีลักษณะโค้ง รับกับความโค้งของจานดรัมเบรกอยู่ในตำแหน่งซ้ายและขวา โดยมีลูกปั๊มเบรก (Brake wheel cylinder) อยู่ตรงกลาง คอยดันผ้าเบรกให้

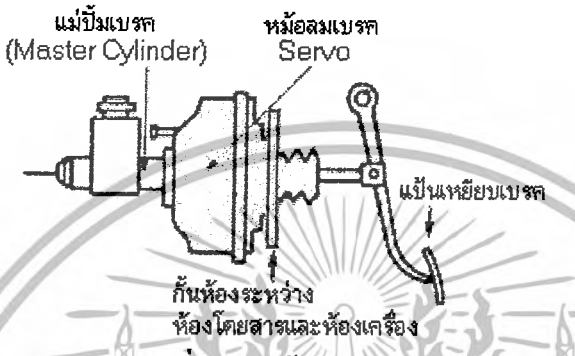
ถ่างออก ไปเสียดทานกับจานดรัมเบรก

รูปที่ 2.63 ผ้าเบรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 หม้อลมเบรก (Servo)

หม้อลมเบรก เป็นอุปกรณ์ช่วยแรง ในระบบเบรก (Brake system) ให้มีความนุ่มนวลขึ้น หม้อลมเบรก ทำงานด้วยระบบสุญญากาศ โดยจะต่อท่ออากาศจากหม้อลมเบรก ไปที่บริเวณท่อร่วมไอดี เมื่อผู้ขับขี่เหยียบเบรก หม้อลมเบรกจะช่วยเพิ่มแรงกดไปกระทำต่อแม่ปั๊มเบรก (Master cylinder) เพื่อให้น้ำมันเบรก (Brake fluid) ไหลไปตามท่อส่งน้ำมันเบรก (Brake lines) ต่อไป



รูปที่ 2.64 หม้อลมเบรก

เบรกลมเป็นเบรกที่วาล์วเบรกจะทำงานโดยการเหยียบเบรก เพื่อส่งลมที่เก็บในหม้อเก็บลม ไปยังลูกเบี้ยว (Brake chamber) แล้วลูกเบี้ยวจะกดฝักเบรกเข้ากับดรัมเบรก เพื่อให้เกิดการเบรก ลมที่ถูกอัดนี้เก็บในหม้อลมตลอดเวลา โดยรับลมมาจากคอมเพรสเซอร์ลมที่ขับโดยเครื่องยนต์ โดยทั่วไปมักนิยมใช้ระบบนี้กับรถขนาดใหญ่ เช่นรถบรรทุก รถโดยสารต่างๆ

2.7.5 แม่ปั๊มเบรก (Master Cylinder)

รูปที่ 2.65 แม่ปั๊มเบรก

เมื่อบีบคันเบรกหรือกดคันเหยียบเบรก ลูกสูบจะเคลื่อนที่ไปเนื่องจากชนะความแข็งของสปริง เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ต่อไป ซีลยาง จะปิดรูน้ำมันไหลกลับ แรงดันในปั๊มจะสูงขึ้น ไหลไปตามท่อไปยังชุดคาลิปเปอร์ เพื่อดันลูกสูบให้กดแผ่นผ้าเบรกเมื่อปล่อยคันเบรกหรือคันเหยียบเบรก ลูกสูบจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

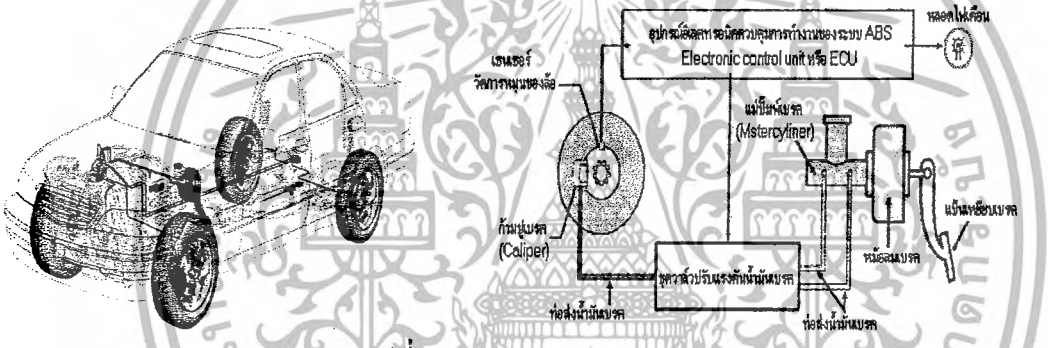
เคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเดิมเนื่องจากสปริงดันกลับน้ำมันเบรกไหลกลับคืนสู่ถ้วยใส่น้ำมันโดยไหลผ่านรูน้ำมันไหลกลับ

2.7.6 น้ำมันเบรก

น้ำมันเบรก ทำให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ ทำหน้าที่ได้อย่างถูกต้อง น้ำมันเบรก คือน้ำมันไฮดรอลิกชนิดหนึ่ง ที่ทำหน้าที่ถ่ายทอดแรงกดเมื่อเราห้ามล้อ โดยใช้เท้ากดแป้นเบรกเท่ากับเรา ส่งแรงกดนั้น ผ่านน้ำมันเบรกไปยังชิ้นส่วนที่ปลายท่ออีกด้านหนึ่ง เพื่อควบคุมให้รถหยุด

2.7.7 เบรกช่วย

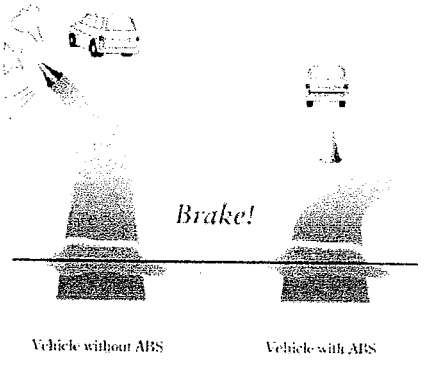
(1) ระบบเบรก ABS



รูปที่ 2.66 ระบบเบรก ABS

ระบบเบรก ABS ย่อมาจาก Anti-Lock Brake System หรือระบบเบรกป้องกันล้อล็อก ที่เรียกเช่นนี้เพราะว่า สามารถป้องกันการ ล็อกตัวของล้อในขณะเบรกได้ ในขณะที่รถเคลื่อนที่ จะเกิดแรงที่ส่งให้รถ เคลื่อนที่ไปข้างหน้าเราเรียกแรงนี้ว่า "แรงเฉื่อย" ปริมาณของแรงเฉื่อยจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับน้ำหนักรวมและความเร็วของรถในขณะนั้น ถ้าในระหว่างที่ขับ มีเหตุให้ต้องหยุดรถกะทันหัน จะต้องหาแรงมาต้านในปริมาณที่เท่ากับแรงเฉื่อยที่ว่า รถจึงจะหยุดได้ แรงต้านที่ปลอดภัยที่สุดก็คือแรงที่ได้มาจากการเบรก

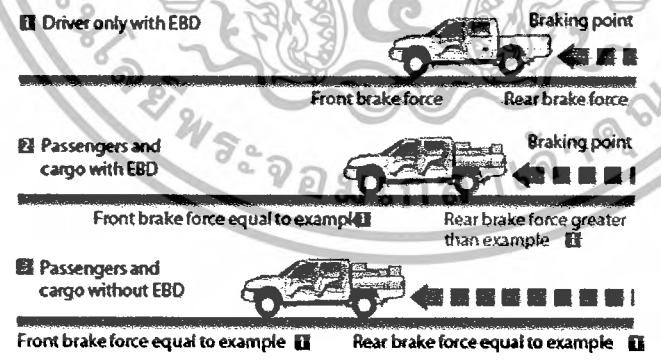
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.67 ระบบเบรก ABS (2)

ระบบเบรกป้องกันล้อล็อก ABS เกิดมาจากแนวคิดในการแก้ปัญหาการลื่นไถลในขณะเบรก เนื่องจากความฝืดของระบบเบรกมีมากกว่าความฝืดของยางกับพื้นรถ เราทราบกันดีว่า ในขณะเบรกไม่ต้องการให้ล้อล็อกตายเพราะจะทำให้ควบคุมรถไม่ได้และการที่ล้อล็อกตายก็เพราะมีแรงจากการเบรกกดอยู่ การทำให้ไม่ให้ล้อล็อก ต้องปลดแรงจากการเบรกออก แต่พอปลดแรงเบรกออก รถก็ไม่หยุด เป็นเงื่อนไขกลับไปกลับมาอยู่อย่างนั้น จึงแก้ปัญหานี้โดยการออกแบบให้ระบบเบรกทำงานแบบจับ-ปล่อยในจังหวะที่เร็วประมาณ 50 ครั้ง/วินาที เพราะพบว่าถ้าทำได้เร็วมาก ๆ จะทำให้ได้ผลอย่างที่ต้องการทั้งสองทางคือ การที่ล้อไม่ล็อกทำให้ยังสามารถที่จะควบคุมทิศทางของรถได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถทำให้รถหยุดได้ด้วย แต่การที่จะให้ระบบเบรกทำงานอย่างนั้นได้ต้องมีอุปกรณ์ที่ค่อนข้างซับซ้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ต้องมีตัวตรวจจับการหมุนของล้อ, มีหน่วยประมวลผล เป็นต้น

(2) ระบบ EBD

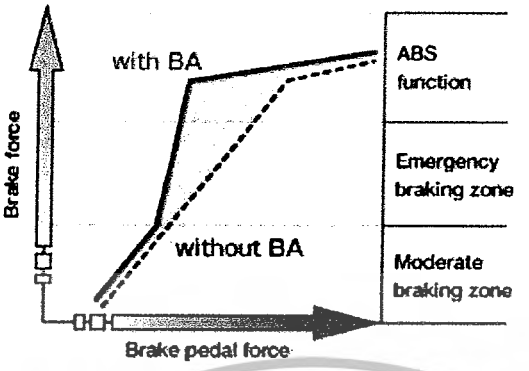


รูปที่ 2.68 ระบบ EBD

หลักการทำงาน EBD (Electronic Braking Distribution) จะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนหลัก คือ เซ็นเซอร์วัดความความเร็วที่ล้อขับเคลื่อนคู่หน้า-หลัง ชุดวาล์วควบคุมแรงดันระบบไฮดรอลิก และกล่องสมองกลคอมพิวเตอร์หรือ EBD ซึ่งจะใช้กล่องสมองกลนี้ร่วมกับระบบ ABS ทั้งระบบ แต่ละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบใส่โปรแกรมพิเศษเพื่อสร้างสมดุลของการกระจายแรงเบรก โดยแยกการทำงานของระบบเบรกในแต่ละล้อให้สามารถทำงานได้โดยอิสระ สอดคล้องกับสภาวะการขับขี่และการเบรก



รูปที่ 2.69 การกระจายแรงเบรก

(2.1) การกระจายแรงเบรกที่ล้อหน้าและล้อหลัง

การทำงานของระบบ EBD จะเป็นไปโดยอัตโนมัติทันทีที่ผู้ขับกดแป้นเบรก โดยกล่องสมองกลจะนำค่าความต่างของความเร็วในการที่ล้อหน้าคู่หน้าและหลัง ที่เกิดขึ้นในขณะที่ผู้ขับขี่กดแป้นเบรกใช้ในการคำนวณเพื่อหาปริมาณแรงกันน้ำมันเบรกสูงสุดที่ระบบจะสามารถส่งให้เบรกทำงานได้ โดยไม่ก่อให้เกิดอาการเบรกล็อกที่ล้อหลัง จนเกิดอาการท้ายปัด โดยเฉพาะในกรณีรถที่มีการบรรทุก น้ำหนักส่วนใหญ่จะกดลงที่ล้อหลัง ทำให้เบรกหลังต้องรับภาระมากกว่าปกติ

(2.2)การกระจายแรงเบรกของล้อด้านซ้ายและขวา (ขณะเข้าโค้ง)

เมื่อขับขี่เข้าโค้ง น้ำหนักของรถที่จ่ายไปยังด้านในจะลดลง ถ้าผู้ขับขี่ต้องเหยียบเบรกเพื่อลดความเร็ว ระบบ EBD จะเริ่มแปรผันแรงดันน้ำมันเบรกที่ถูกส่งไปยังล้อด้านในขณะนั้นได้อย่างเหมาะสม ระบบ EBD ช่วยเสริมการทำงานจะช่วยให้ผู้ขับขี่ควบคุมรถได้ดีแม้จะเบรกในขณะเข้าโค้ง

2.8 ระบบบังคับเลี้ยว (ALINGIMENT SYSTEM)

หน้าที่ของระบบบังคับเลี้ยว คือ เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของรถยนต์ โดยการหมุนของพวงมาลัย ซึ่งได้รับแรงหมุนมาจากผู้ขับภายในห้องโดยสาร เพื่อให้ล้อคู่หน้า หันไปข้างใดข้างหนึ่งพร้อมๆ กัน อีกทั้งยังช่วยผ่อนแรงได้ระดับหนึ่ง เพราะมีกลไกเฟืองทดแรง ในจุดเชื่อมต่อระหว่างแกนพวงมาลัย กับแขนส่งกำลัง ที่เรียกว่า "กระปุกพวงมาลัย" เมื่อผู้ขับขี่หมุนพวงมาลัย ก็จะส่งแรงหมุนผ่านแกน มายังกระปุกพวงมาลัย ภายในกระปุกพวงมาลัย ก็จะมีฟันเฟืองทดกำลัง และถ่ายทอดแรงออกไปที่แกนยึดติดกับล้อ ก็สามารถที่จะเปลี่ยนทิศทางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 โครงสร้างระบบบังคับเลี้ยว

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบบังคับเลี้ยว ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก 3 ส่วน

(1) แกนพวงมาลัย

แกนพวงมาลัยประกอบด้วย เพลาหลักของพวงมาลัยซึ่งถ่ายทอดการหมุนพวงมาลัยไปยังกระปุกเกียร์พวงมาลัย ปลอกแกนพวงมาลัยซึ่งเป็นที่อยู่ของเพลาหลักพวงมาลัยด้านบนของเพลาหลักพวงมาลัยทำเป็นเรียว และเป็นซี่โดยที่ตัวพวงมาลัยติดอยู่ที่จุดนี้ด้วยนอต แกนพวงมาลัยจะมีส่วนประกอบของกลไกดูดซับเพลางานอยู่ด้วย ซึ่งจะดูดซับแรงที่กระทำอันเนื่องมาจากการชนกันต่อผู้ขับรถ แกนพวงมาลัยจะติดอยู่ที่ตัวถังพร้อมด้วยที่ยึดแกนแบบแตกแยกออก ซึ่งแกนพวงมาลัยสามารถแยกตัวออกเมื่อมีการชนเกิดขึ้น

(2) กระปุกเกียร์พวงมาลัย

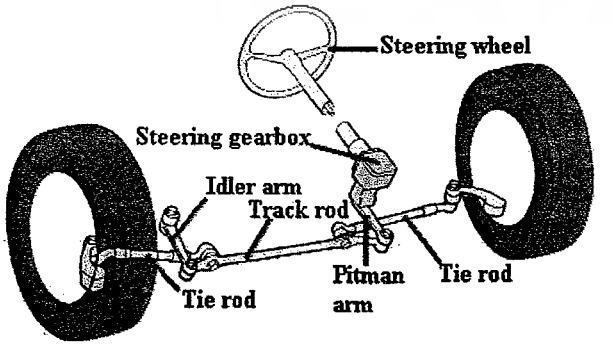
เฟืองที่อยู่ในชุดกระปุกเกียร์พวงมาลัยไม่ใช่ทำหน้าที่หมุนล้อหน้าเพียงอย่างเดียว แต่ในเวลาเดียวกันมันยังกระทำการผ่อนแรงที่ใช้ในการหมุนพวงมาลัย ด้วยเฟืองทดซึ่งตามปกติจะอยู่ระหว่าง 18:1 และ 20: 1 อัตราทดที่มากจะช่วยลดความพยายามบังคับเลี้ยว

(3) ก้านต่อพวงมาลัย

ก้านต่อพวงมาลัยประกอบด้วยก้านและแขนต่างๆ ซึ่งถ่ายทอดกำลังการเคลื่อนที่ของกระปุกเกียร์พวงมาลัยไปยังล้อหน้าซึ่งจะต้องทำหน้าที่ในการถ่ายทอดกำลัง ให้การหมุนล้อมีความถูกต้องแน่นอนตลอดเวลา ขณะรถเคลื่อนที่ไปบนถนน

2.8.2 ชนิดของระบบบังคับเลี้ยว

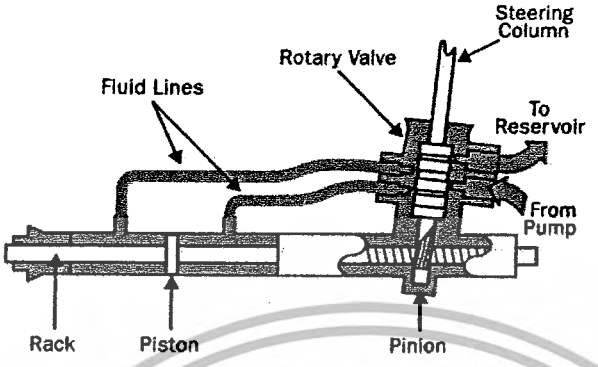
(1) ระบบพวงมาลัยแบบ Steering Linkage ระบบพวงมาลัยแบบนี้ ใช้วิธีส่งกำลังผ่านคันชักคันส่ง โดยผ่านจุดเชื่อมต่อ และจะใช้แขนพิทแมน ซึ่งได้รับแรงบิด เปลี่ยนทิศทางมาจากกระปุกเกียร์ มาบังคับแขนพิทแมน



รูปที่ 2.70 ระบบบังคับเลี้ยว

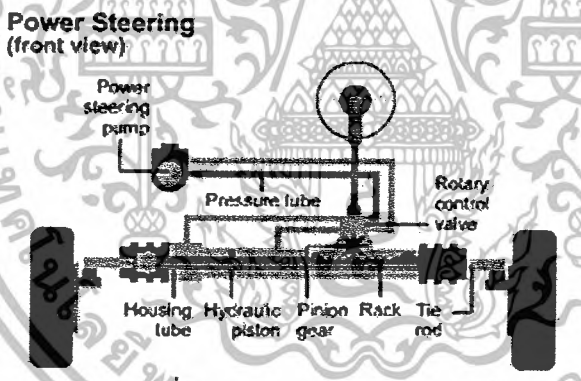
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ระบบพวงมาลัยแบบ Rack and Pinion ระบบพวงมาลัยแบบนี้ จะใช้วิธีผ่านกำลังการหมุนพวงมาลัยในรูปแบบเฟืองขับ และเฟืองสะพาน



รูปที่ 2.71 Rack and Pinion

(3)ระบบพวงมาลัยเพาเวอร์ (Power steering system)



รูปที่ 2.72 พวงมาลัยเพาเวอร์

ระบบพวงมาลัยเพาเวอร์ คือระบบที่เข้ามาช่วยทดกำลังการหมุนพวงมาลัย ไปตามทิศทางต่างๆ ให้มีความรู้สึกที่เบาขึ้น ซึ่งไม่ต้องใช้แรงมาก โดยเฉพาะการหักมุมเลี้ยวในพื้นที่แคบๆ เช่น การถอยเข้า-ออกในที่จอดรถ เป็นต้น ระบบพวงมาลัยเพาเวอร์ ใช้วิธีทดแรง โดยจะมีลูกสูบกำลังไปหมุนกระปุกเฟืองบังคับเลี้ยว (Steering gear) ลูกสูบกำลังทำงานด้วยแรงดันจากน้ำมันไฮดรอลิค ที่ต่อท่อน้ำมันมาจากปั๊มน้ำมัน พวงมาลัยเพาเวอร์ ซึ่งตัวปั๊มน้ำมันนี้ จะทำงานได้ต่อเมื่อได้รับแรงฉุดหมุนผ่านมาทางสายพาน ซึ่งคล้องไว้กับพูลเล่ย์เพลาข้อเหวี่ยง ดังนั้นหากเครื่องยนต์ไม่ได้ทำงาน ปั๊มน้ำมันพวงมาลัยเพาเวอร์ไม่ได้ทำงาน พวงมาลัยจะหมุนได้ลำบาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 ศูนย์ล้อ (Wheel alignment)

(1) คำจำกัดความของศูนย์ล้อ

- การยึดเหนี่ยวล้อไว้ในตำแหน่งที่แน่นอนต่างๆ โดยสัมพันธ์กับรถและสัมพันธ์กับล้อใน ทุกสภาพการขับขี่

- ตำแหน่งของล้อต่างๆและตำแหน่งของกลไกบังคับเลี้ยวที่เกื้อกูลต่อการเลี้ยวได้ง่าย ลดการสึกหรอของยางลงสู่ระดับต่ำสุด และรักษาแนวทางเดินของรถ

- ความสัมพันธ์เชิงมุมระหว่างล้อหน้า ชิ้นส่วนที่ยึดเหนี่ยวล้อ และโครงรถหรือโครงแชสซีส์

(2) องค์ประกอบของศูนย์ล้อประกอบด้วยค่าจำเพาะต่างๆดังนี้

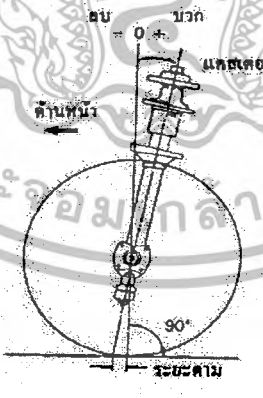
(2.1) มุมแคสเตอร์ (CASTER ANGLE)

- มุมระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางสลักคอม้า หรือลูกหมากปีกนกกับแนวดิ่ง เมื่อมองจากด้านข้างของรถ

- มุมเอียงไปข้างหน้าหรือข้างหลังของปลายด้านบนของสลักคอม้า หรือลูกหมากปีกนก เมื่อมองจากด้านข้างของรถ

จุดประสงค์ของมุมแคสเตอร์

- เพื่อควบคุมแนวเดินหน้าตรงหรือควบคุมทิศทางของรถ
- เพื่อให้ล้อหน้าและพวงมาลัยหันกลับ(ตีกลับ)มาสู่แนวเดินหน้าตรงโดยอัตโนมัติ
- เพื่อชดเชยความเอียงหรือความลาดเทของถนน



รูปที่ 2.73 มุมแคสเตอร์

มุมแคสเตอร์บวก คือมุมเอียงไปด้านหลังของปลายด้านบนของสลักคอม้า หรือลูกหมากปีกนกบน เมื่อมองจากด้านข้างของรถ

จุดประสงค์ของมุมแคสเตอร์บวก

- เพื่อควบคุมแนวเดินหน้าตรงหรือควบคุมทิศทางของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เพื่อให้ล้อหน้าและพวงมาลัยหันกลับ(ตีกลับ)มาสู่แนวเดินหน้าตรงโดยอัตโนมัติ

มุมแคสเตอร์ลบ คือมุมเอียงไปด้านหน้าของปลายด้านบนของสลักคอม้า หรือลูกหมากปีกนกบน เมื่อมองจากด้านข้างของรถ

จุดประสงค์ของมุมแคสเตอร์ลบ

- เพื่อให้หันเลี้ยวง่าย (พวงมาลัยเบา) ในขณะรถวิ่งด้วยความเร็วต่ำ
- เพื่อให้จอดรถและออกรถได้ง่ายในบริเวณแคบ
- เพื่อชดเชยความเอียงหรือความลาดเทของถนน

ปัญหาหรือผลเสียของมุมแคสเตอร์ไม่ถูกต้อง

มุมแคสเตอร์บวกมากเกินไป

- พวงมาลัยหนักหรือเลี้ยวยาก
- แรงกระแทกจากถนนมาก
- ล้อหน้าเต้นขณะรถวิ่งด้วยความเร็วต่ำ (วิ่งช้า)

มุมแคสเตอร์บวกไม่เท่ากัน

- ล้อและพวงมาลัยถูกดึง(รถวิ่งกินทาง) ไปทางด้านที่มีค่าน้อยกว่า
- การเบรกของล้อหน้าไม่เท่ากัน

มุมแคสเตอร์ลบมากเกินไป

- ต้องประคองพวงมาลัยขณะรถวิ่งด้วยความเร็วสูง
- รถวิ่งส่ายไปมา
- แรงกระแทกจากถนนมาก

มุมแคสเตอร์ลบไม่เท่ากัน

- ล้อและพวงมาลัยถูกดึง(รถวิ่งกินทาง) ไปทางด้านที่มีค่ามากกว่า
- การเบรกของล้อหน้าไม่เท่ากัน

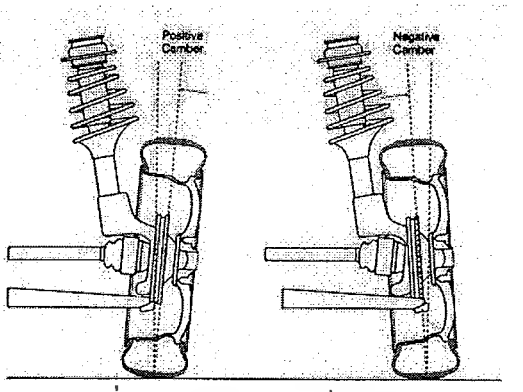
(2.2) มุมแคมเบอร์ (CAMBER ANGLE)

- มุมที่ส่วนบนของล้อหน้าเอียงออกจากกันหรือเอียงเข้าหากัน เมื่อมองจากด้านหน้าของรถ
- มุมที่ส่วนบนของล้อหน้าเอียงทำมุมกับแนวดิ่งเมื่อมองจากด้านหน้าของรถ

จุดประสงค์ของมุมแคมเบอร์

- เพื่อให้จุดน้ำหนักตกอยู่ใต้จุดสัมผัสของยางกับรถ
- เพื่อให้รถเลี้ยวง่ายหรือพวงมาลัยเบา
- ป้องกันยางหน้าสึกเร็วหรือสึกผิดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.74 มุมแคมเบอร์

มุมแคมเบอร์บวก คือ มุมที่ส่วนบนของล้อหน้าเอียงออกจากข้างนอกหรือเอียงออกจากกัน เมื่อมองจากด้านหน้าของรถ

จุดประสงค์ของมุมแคมเบอร์บวก

ป้องกันล้อหน้าเกิดมุมแคมเบอร์ลบ เนื่องจาก

- ลูกปืนหรือบุ๊ชสลักคอม้า หลวมหรือสึกหรอมาก
- คานหน้าโก่งลงมากเนื่องจากรับน้ำหนักบรรทุกมาก
- ลูกหมากปีกนก บุ๊ช และแกนปีกนกหลวมหรือสึกหรอมาก
- ปีกนกเคลื่อนที่มากเนื่องจากรับน้ำหนักบรรทุกมาก
- เพื่อให้จุดน้ำหนักตกอยู่ใต้จุดสัมผัสของยางกับรถ
- เพื่อให้รถเลี้ยวง่ายหรือพวงมาลัยเบา
- ป้องกันยางหน้าสึกเร็วหรือสึกผิดปกติ

ปัญหาหรือผลเสียของมุมแคมเบอร์ไม่ถูกต้อง

มุมแคมเบอร์บวกมากเกินไป

- หน้ายาง (บ่ายาง) ด้านนอกสึกเร็ว
- ลูกปืนหรือบุ๊ชสลักคอม้า สึกเร็ว
- ลูกปืนล้อหน้าและลูกหมากปีกนกสึกเร็ว
- มุมแคมเบอร์บวกไม่เท่ากัน
- ล้อและพวงมาลัยถูกดึง(รถวิ่งกินทาง) ไปทางด้านที่มีค่ามุมมากกว่า
- พวงมาลัยหนักหรือเลี้ยวยาก

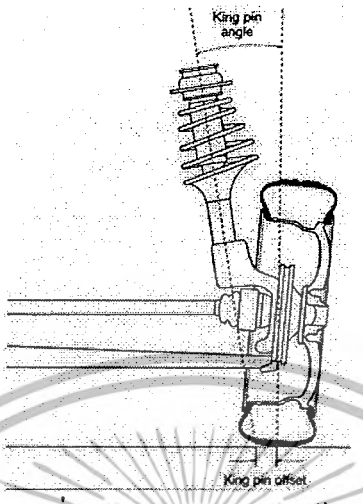
มุมแคมเบอร์ลบ คือ มุมที่ส่วนบนของล้อหน้าเอียงเข้าข้างในหรือเอียงเข้าหากัน เมื่อมองจากด้านหน้าของรถ

(2.3) มุมเอียงสลักคอม้า (KINGPIN INCLINATION ANGLE)

- มุมระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางสลักคอม้าหรือลูกหมากปีกนกกับแนวดิ่ง เมื่อมองจากด้านหน้าของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มุมเอียงเข้าข้างในหรือเอียงเข้าหากัน ของปลายด้านบนของสลักคอม้า หรือลูกหมากปีกนกบนเมื่อมองจากด้านหน้าของรถ



รูปที่ 2.75 มุมเอียงสลักคอม้า

จุดประสงค์ของมุมเอียงสลักคอม้า

- เพื่อลดความจำเป็นที่ต้องมีมุมแคมเบอร์บวกมากขึ้น
- เพื่อให้จุดน้ำหนักตกอยู่ใต้จุดสัมผัสของยางกับถนน
- เพื่อให้รถเลี้ยวง่ายหรือพวงมาลัยเบา ในขณะวิ่งด้วยความเร็วต่ำ
- เพื่อให้ควบคุมแนวเดินหน้าตรงหรือควบคุมทิศทางของรถ หรือเพื่อให้เสถียรภาพ (ความคงตัว)ของพวงมาลัยดี

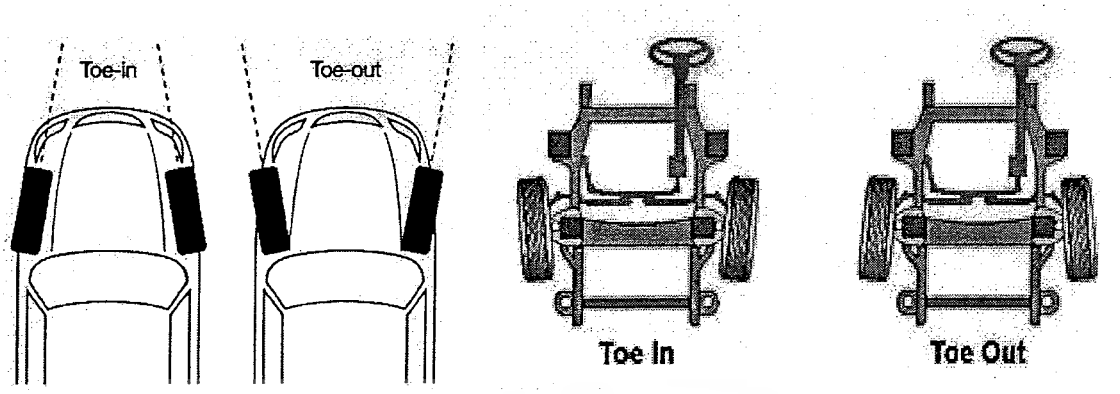
ปัญหาหรือผลเสียของมุมเอียงสลักคอม้า หรือลูกหมากปีกนกไม่ถูกต้อง

- มุมเอียงสลักคอม้ามากเกินไป
- ทำให้มุมแคมเบอร์บวกมากเกินไป
- ลูกปืนล้อหน้า สึกและเสียหายเร็ว
- แกนล้อหน้าคด
- มุมเอียงสลักคอม้า ไม่เท่ากัน
- ล้อและพวงมาลัยถูกดึง (รถวิ่งกินทาง)ด้านหนึ่ง
- รถวิ่งส่ายไปมา
- พวงมาลัยหนักหรือเลี้ยวยาก

(2.4) มุมโท (TOE ANGLE)

ค่า TOE เป็นความแตกต่างของระยะระหว่างขอบหน้าและขอบหลังของล้อทั้งสองข้าง และวัดออกมาเป็นมุม (หรือบางแห่งวัดเป็นนิ้ว) โดยทั่วไปค่า TOE จะเป็นศูนย์ นั่นคือล้อซ้ายและขวาขนานกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.76 มุมโท

มุมโท-อิน (TOE-IN)

- มุมเอียงเข้าข้างในหรือเอียงเข้าหากันของด้านหน้าของล้อหน้า เมื่อมองจากด้านบนของล้อ
- ระยะห่างด้านหน้าระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางล้อหน้าน้อยกว่าระยะห่างด้านหลัง ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางล้อหน้า เมื่อมองจากด้านบนของล้อ

จุดประสงค์ของมุมโท-อิน

- เพื่อรักษาล้อหน้าให้อยู่ในแนวเดินตรงขณะรถกำลังเดินหน้าหรือวิ่งทางตรง
- เพื่อชดเชยความหลวมหรือการสึกหรอของลูกหมากต่างๆในระบบบังคับเลี้ยว

ปัญหาหรือผลเสียของมุมโท-อิน ไม่ถูกต้อง

มุมโท-อิน มากเกินไป

- ยางหน้าสึกเร็ว
- หน้ายาง(บ่ายาง)ด้านนอกของล้อหน้าสึกผิดปกติ

มุมโท-อิน ไม่เท่ากัน

- ตำแหน่งพวงมาลัยไม่อยู่ตรงกลาง

มุมโท-เอาท์ ขณะเลี้ยว (TOE-OUT ON TURNS) หรือมุมเลี้ยว (TURNING OR STEERINGANGLE)

- มุมเอียงออกจากกันของด้านหน้าของล้อในขณะเลี้ยว เมื่อมองจากด้านบนของล้อ
- ระยะห่างด้านหน้าระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางล้อหน้ามากกว่าระยะห่างด้านหลัง ระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลางล้อหน้าในขณะเลี้ยว เมื่อมองจากด้านบนของล้อ
- มุมเลี้ยวของล้อหน้าด้านใน(วงใน) มีค่ามากกว่าหรือหันเลี้ยวได้มากกว่ามุมเลี้ยวของล้อหน้าด้านนอก (วงนอก)ในขณะเลี้ยว เมื่อมองจากด้านบนของล้อ

จุดประสงค์ของมุมโท-เอาท์ ขณะเลี้ยว หรือมุมเลี้ยว

- เพื่อให้ยางลื่นไถล (ลากถู,ครูด) กับถนนน้อยที่สุดขณะเลี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาหรือผลเสียของมุมโท-เอาท์ ไม่ถูกต้อง

มุมโท-เอาท์ มากเกินไป

- ยางมีเสียงดังขณะเลี้ยว
- ยางสึกหรอ

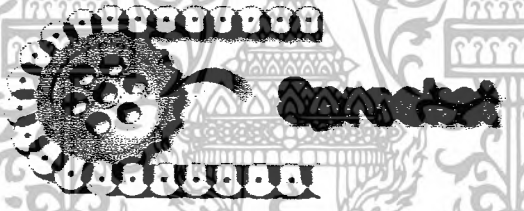
มุมโท-เอาท์ ไม่เท่ากัน

- ยางสึกแบบฟันเลื่อย(หรือแบบขนนก) ถ้ามีค่าไม่เท่ากันมากกว่า 11/2-2 องศา

2.9 ระบบส่งกำลัง

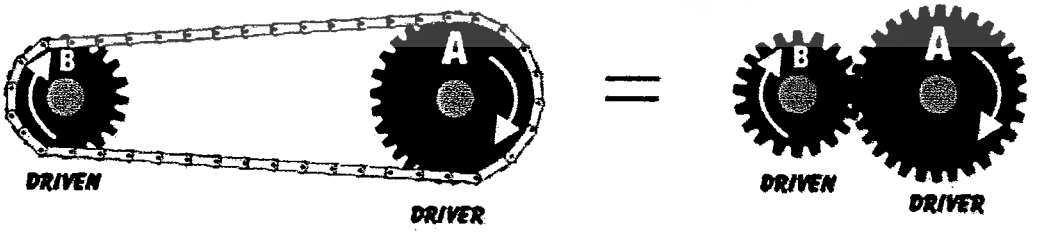
2.9.1 การส่งกำลังด้วยโซ่ (Chain & Sprocket)

การส่งกำลังด้วยโซ่มีข้อดีคือสะดวกในการบำรุงรักษา วิธีนี้ออกแบบให้เฟืองแบบ Sprocket รับการขับเคลื่อนมาจากต้นกำลัง (จึงถือว่าเป็นเฟืองขับ) มาขับเคลื่อนโซ่และจะมีเฟืองชนิดเดียวกันเป็นเฟืองตามอยู่ที่ปลายอีกด้านหนึ่ง



รูปที่ 2.77 โซ่

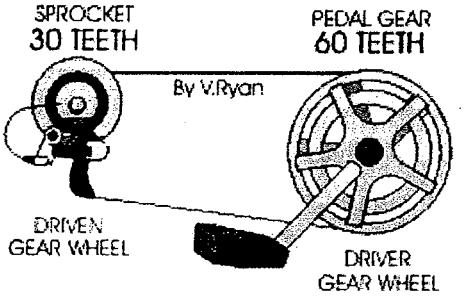
การส่งกำลังด้วยโซ่ เป็นที่นิยม เนื่องจากบำรุงรักษาง่าย อะไหล่ราคาถูก แข็งแรง และน้ำหนักเบาการส่งกำลังลักษณะนี้จะประกอบด้วยเฟืองชนิด Sprocket 2 ตัวคือ ตัวขับและตัวตาม และต้องมีโซ่ (Chain) เป็นตัวส่งถ่ายกำลังขับเคลื่อน ขณะที่มีการขับเคลื่อนทิศทางการหมุนของเฟือง Sprocket ทั้ง 2 เฟือง A เป็นเฟืองขับ (Driver) และเฟือง B เป็นเฟืองถูกขับหรือเฟืองตาม (Driven)



รูปที่ 2.78 (ภาพซ้ายมือ) เฟือง A เป็นเฟืองขับและเฟือง B เป็นเฟืองตาม (ส่งกำลังด้วยโซ่)

รูปที่ 2.79 (ภาพขวามือเฟือง) A เป็นเฟืองขับและเฟือง B เป็นเฟืองตาม (ส่งกำลังด้วยการขบของเฟือง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.80 กลไกการขับเคลื่อนด้วยโซ่

โดย จำนวนฟันของเฟืองหน้า (ที่บันได) = 60 ฟัน / จำนวนฟันของเฟืองที่ล้อหลัง = 30 ฟัน คือ 60/30 ฉะนั้นอัตราทดของกลไกการขับเคลื่อนจักรยานนี้คือ 2 นั่นหมายถึง ต้องหมุนเฟืองหน้าเพียง 1 รอบ จะทำให้เฟืองที่ล้อหลังหมุนได้ถึง 2 รอบ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า อัตราทด 1: 2 (เฟืองหน้า: ที่ล้อหลัง) หรือ อัตราทด 2: 1 (เฟืองหลัง: เฟืองหน้า)

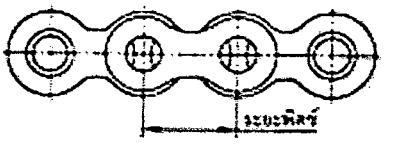
ระบบส่งกำลังเพื่อการขับเคลื่อนมีหลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดี-ข้อจำกัดแตกต่างกัน สามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมกับโครงงาน อย่างไรก็ตามการหาอัตราทดของการส่งกำลัง มีความจำเป็นต่อการออกแบบให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ได้ตามความต้องการ

2.9.2 ชนิดของโซ่

ตามประเภทการใช้งานของโซ่ จะนำโซ่มาใช้ส่งกำลัง, -ลำเลียง,-ใช้ขับ,-ใช้ยกและส่งน้ำหนักลงข้างล่าง ส่งถ่ายแรงและโมเมนต์บิด โซ่จึง แบ่งตามลักษณะรูปร่างได้ดังนี้

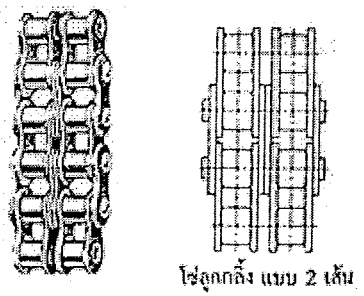
(1) โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บู๊ช

โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บู๊ชจะประกอบด้วยแผ่นปิดข้างโซ่ด้านนอกและด้านในที่ยึดด้วยบู๊ชและโบลต์เข้าด้วยกันดังรูป 2.79 โซ่ลูกกลิ้งที่มีใช้ งานส่วนใหญ่จะมีลูกกลิ้งที่ชุบแข็งร้อย(หมุนได้)อยู่ในบู๊ช ลูกกลิ้งนี้จะช่วยลดความเสียดทานและการสึกหรอของด้านข้างของเฟืองโซ่ในขณะที่ล้อเฟืองขับโซ่ และมีเสียงดังน้อยเมื่อความเร็วโซ่สูง ในการใช้งานให้รับโมเมนต์หมุนมาก ๆ จะใช้โซ่ลูกกลิ้งและโซ่บู๊ชแบบชุดหลายเส้น ดังรูปที่ 2.78 โซ่ลูกกลิ้งตามมาตรฐานจะนำมาใช้งานได้ถึงความเร็ว 30 m/s ในการส่งกำลังในรถยนต์ในเครื่องมือกลและโซ่ลำเลียง โดยปกติโซ่บู๊ชจะทนการสึกหรอมากกว่าโซ่โบลต์ บู๊ชจะหมุนได้ ส่วนโบลต์จะยึดแน่นกับแผ่นปิดนอก แผ่นปิดส่วนใหญ่จะทำจาก St60 ส่วนโบลต์จะทำจากเหล็กกล้าอาบคาร์บอน C15



รูปที่ 2.81 โซ่ลูกกลิ้ง

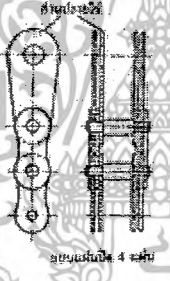
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.82 โซ่บู๊ช

(2) โซ่โบลต์

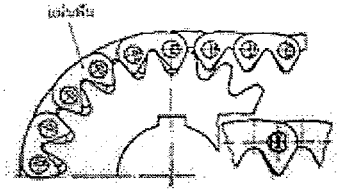
โซ่โบลต์จะมีรูปร่างของแผ่นปิดข้างทั้งโซ่ด้านในและด้านนอกเหมือนกัน โดยร้อยเข้ากับโบลต์ การใช้แผ่นปิดข้างโซ่หลายแผ่นติดกัน ดังรูปที่ 2.81 จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดึงที่โซ่ต้องรับ เมื่อเปรียบเทียบกับโซ่ลูกกลิ้งและโซ่บู๊ชแล้ว โซ่โบลต์จะมีแรงเสียดทานระหว่างโบลต์และแผ่นปิดข้างโซ่มากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงนิยมนำโซ่โบลต์มาใช้กับงานที่มีความเร็วต่ำ



รูปที่ 2.83 โซ่โบลต์

(3) โซ่ฟัน

โซ่ฟันจะมีรูปร่างฟันแต่ละข้อชัดเจน ฟันของโซ่จะจับลงในร่องฟันของล้อโซ่พอดี (รูปที่ 2.82) โซ่ฟันที่ใช้งานรับกำลังงานสูง ๆ แผ่นฟันที่ข้อต่อจะไม่ยึดด้วยโบลต์ แต่จะยึดด้วยข้อต่อลูกกลิ้งที่มีความเสียดทานน้อยและทนต่อการสึกหรอได้ดี โซ่ฟันใช้รับกำลังงานได้สูง และเกือบจะไม่มีเสียงดัง ในขณะมีความเร็วโซ่ถึง 40 m/s



รูปที่ 2.84 โซ่ฟัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับล้อโซ่ที่ใช้กับโซ่ฟันจะต้องมีจำนวนฟันอย่างน้อยที่สุด 17 ฟัน มิฉะนั้นจะเกิดสัดส่วนการจับของโซ่ฟันที่ไม่เหมาะสม ที่ทำให้เกิดแรงเสียดทานมากขึ้นได้ และถ้าใช้งานรับภาระกระแทกแล้วโซ่ฟันจะยืดและมีผลให้เกิดสัดส่วนการจับของโซ่ฟันที่ไม่เหมาะสมอีกเช่นกัน

(4) โซ่ลำเลียง

มีการออกแบบรูปร่างแผ่นปิดด้านข้างให้มีรูปร่างต่าง ๆ กัน เพื่อให้สามารถนำพาผลิตภัณฑ์ตามรูปร่างที่ต้องการได้ โซ่ลำเลียงส่วนใหญ่จะนำมาใช้งานให้รับภาระไม่มากนักและมีความเร็วโซ่ต่ำ

ข้อดี : สามารถออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อโซ่ให้มีขนาดเล็กมาก ๆ และยังเดินได้เงียบอีกด้วย

ข้อเสีย : จะเกิดการยืดตัวยาวออกหากใช้งานรับภาระมากเกินไป ซึ่งจะทำให้โซ่จับฟันล้อโซ่ไม่ถูกต้อง นอกจากนี้ยังสามารถ ให้เบนไปด้านข้างได้น้อย ด้วยเหตุนี้ล้อโซ่จะต้องประกอบให้ได้ตำแหน่งที่เที่ยงตรงกับแนวดิ่งของโซ่ มิฉะนั้นจะเกิดการสึกหรอของโซ่สูง

2.10 การกำหนดขนาดส่วนประกอบต่างๆ

2.10.1 การกำหนดขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การคำนวณพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องผลิตให้แก่ระบบในแต่ละวัน ซึ่งเท่ากับพลังงานที่อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดต้องการรวมกับพลังงานที่สูญเสียในสายไฟ แบตเตอรี่และเครื่องควบคุมการประจุ การประมาณพลังงาน ที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องพิจารณาทั้งขนาดของแผงและสภาพภูมิอากาศของสถานที่ติดตั้งแผง เพราะกำลังสูงสุด (วัตต์$_{สูงสุด}$ หรือ W_p) ที่ผลิตจากแผงไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดของแผงเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับความสว่างของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงด้วย ดังนั้น การวัดพลังงานที่ได้จากแผงขนาดใดๆ ต่อวันต้องนำวัตต์$_{สูงสุด}$ของแผงนั้นๆ คูณด้วยค่าแฟคเตอร์ของพลังงานที่ผลิตจากแผง (Panel generation factor) ซึ่งค่าแฟคเตอร์นี้จะแตกต่างกันไปในแต่ละสภาพภูมิอากาศ โดยทั่วไปจะใช้ค่า 3.43

หมายเหตุ:

- ภูมิอากาศระดับ 1 มีแสงอาทิตย์มากกว่าภูมิอากาศระดับ 2 ค่าแฟคเตอร์เป็น 3.86
- ภูมิอากาศระดับ 2 ภูมิอากาศแบบชายฝั่งเขตร้อน ค่าแฟคเตอร์เป็น 3.43
- ภูมิอากาศระดับ 3 จะมีเมฆ 5-7 วันเสมอและตามด้วยท้องฟ้าโปร่งอีก 3 วัน ค่าแฟคเตอร์เป็น 3
- ภูมิอากาศระดับ 4 จะมีเมฆ 10 วันขึ้นไปเสมอและมีท้องฟ้าโปร่งนานๆ ครั้ง ค่าแฟคเตอร์เป็น 2.57
- สรุปการคำนวณขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

คำนวณพลังงานที่อุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละเครื่องต้องการใช้ใน 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณผลรวมของข้อ 1 จะได้ค่าพลังงานทั้งหมดที่ต้องจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า
ค่าจากข้อ 2 x 1.3 จะได้พลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องผลิต
ค่าจากข้อ 3 หารค่าแฟคเตอร์ของพลังงานที่ผลิตได้จากแผง จะได้วัตต์$_{สูงสุด}$ที่ต้องการ
ค่าจากข้อ 4 หารวัตต์$_{สูงสุด}$ ของแผงที่มีอยู่ ถ้าหารแล้วมีเศษให้ปัดขึ้น จำนวนเต็มที่ได้คือจำนวนแผงที่ต้องการ

2.10.2 การกำหนดขนาดของเครื่องควบคุมการประจุ

เมื่อเริ่มเดินเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ใช้กระแสมากกว่าขณะทำงาน โดยเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้า ดังนั้น เครื่องควบคุมการประจุต้องมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่ากระแสสูงสุดที่จ่ายไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการ รวมถึงกระแสที่เพิ่มขึ้นตอนเริ่มเดินเครื่องด้วย

(1) ระบบที่ไม่มีมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาดเครื่องควบคุมการประจุควรเท่ากับผลรวมของกระแสจากอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดคูณด้วย 1.5

(2) ระบบที่มีมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสที่มอเตอร์ต้องการตอนเริ่มเดินเครื่องควรเป็น 3 เท่าของกระแสที่ใช้ปกติ อาจประมาณขนาดของเครื่องควบคุมการประจุได้โดยการนำวัตต์$_{สูงสุด}$ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เลือกใช้หารด้วย 12 โวลต์

2.10.3 การเลือกชนิดและขนาดสายไฟฟ้า

เนื่องจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำ (DC) การออกแบบระบบจะต้องระมัดระวังในการพิจารณาเลือกชนิดและขนาดสายไฟให้เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ หากเลือกสายไฟที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้เกิดความร้อนสูงและเกิดไฟไหม้จากกระแสที่มากเกินได้ รวมถึงการเลือกใช้ขนาดสายไฟและการต่อเชื่อมที่ถูกต้องจะทำให้ผู้ใช้ไม่ต้องไปดูแลรักษาเป็นเวลานานและปลอดภัยตลอดอายุการใช้งานเลยทีเดียว

การเลือกชนิดและขนาดสายไฟได้ถูกต้อง จะช่วยเพิ่มสมรรถนะและความเชื่อถือของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสายไฟจะต้องมีขนาดเพียงพอที่จะให้ปริมาณไฟฟ้ามากที่สุดไหลไปตามสายไฟได้และเกิดการสูญเสียแรงดันในสายไฟน้อย รวมถึงสายไฟควรมีระยะสั้นเท่าที่จำเป็น เนื่องจากสายไฟมีความต้านทานอยู่ จึงต้องมีแรงดันในการผลักให้กระแสไหลไปตามสายไฟ ถ้าความต้านทานของสายไฟมากขึ้น ยิ่งต้องใช้แรงดันมากขึ้น ปริมาณแรงดันที่ใช้ผลักกระแสนี้เรียกว่า แรงดันตกในสายไฟ

ข้อสังเกต:

- ที่แรงดันเท่ากัน ไฟฟ้าจะไหลไปตามสายไฟขนาดใหญ่มากว่าสายไฟขนาดเล็ก
- สายไฟที่ยาวเกินไป จะทำให้สูญเสียแรงดันมากเกินไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันตกในสายไฟเกิดจากปริมาณไฟฟ้าที่ไหลในสายไฟ ขนาดสายไฟและความยาวสายไฟ โดยคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

- แรงดันที่สูญเสีย=กระแสไฟฟ้า x [0.02 x ความยาว(ม.) / พื้นที่หน้าตัด (มม.^{2})]

(1) ชนิดของสายไฟ

ภายในสายไฟจะประกอบด้วยโลหะที่เป็นตัวนำไฟฟ้า (Conductor) เช่น อลูมิเนียมและทองแดง ฯลฯ โดยทั่วไปจะใช้สายไฟที่ทำจากตัวนำไฟฟ้าทองแดง ซึ่งมีหลายชนิด เช่น สายไฟทำจากทองแดงเส้นใหญ่เส้นเดียวอยู่ภายใน ปลอกฉนวน, สายไฟทำจากทองแดงเส้นเล็กหลายๆ เส้นบิดอัดเป็นเกลียวอยู่ภายในปลอกฉนวน เรียกว่า สายไฟ ตีเกลียว (Stranded wire) จะนิยมใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะมีความยืดหยุ่นสูง ต่างจากสายไฟสายเดี่ยวที่เมื่อบิดงอจะแตกหักได้ง่าย จึงไม่ใช้กัน และสายเคเบิ้ล (Cable) ซึ่งรวมหลายตัวนำไฟฟ้าไว้ในสายไฟเส้นเดียว โดยมีฉนวนชั้นในหุ้มตัวนำไฟฟ้าแต่ละเส้นและฉนวนชั้นนอกหุ้มสายไฟทั้งหมดเข้าไว้ด้วยกัน

การเลือกชนิดสายไฟต้องพิจารณาถึงปริมาณรวมของไฟฟ้าที่ไหลไปตามสายไฟ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง พร้อมกันนี้ควรติดตั้งฟิวส์เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วด้วย

รูป 2.85 ชนิดสายไฟ

(2) การเลือกชนิดและขนาดสายไฟ มีหลักในการพิจารณาดังต่อไปนี้

- อย่าใช้สายไฟที่ยาวเกินความต้องการใช้งานที่แท้จริง
- ค่าสูงสุดของแรงดันตกในสายไฟของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 12 โวลต์ ไม่ควรเกิน 0.5 โวลต์ และระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 24 โวลต์ ไม่ควรเกิน 1 โวลต์
- ใช้ชนิดของสายไฟให้เหมาะสมกับการใช้งาน
- สายไฟที่ใช้งานแบบฝังดิน ต้องมีฉนวนที่ได้รับการออกแบบให้ทนต่อเห็ดราและความชื้นภายใต้ผิวดิน
- สายไฟที่ใช้งานกลางแจ้ง ต้องมีฉนวนที่ได้รับการออกแบบให้สามารถตากแดดตากฝนและทนต่ออุณหภูมิสูง หรือควรติดตั้งในรางสายไฟ
- สายไฟที่ใช้งานภายในบ้านหรืออาคาร ห้ามนำไปใช้งานผิดประเภทเป็นอันขาด เช่น นำไปใช้งานภายนอกหรือฝังดิน ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ:

- สายไฟที่ใช้ในการจ่ายกำลัง (วัตต์) ที่เท่ากัน ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 24 โวลต์ ต้องใช้สายไฟที่มีขนาด 1/4 ของขนาด (มม.^{2}) สายไฟที่ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 12 โวลต์
- การจ่ายกระแสปริมาณที่เท่ากันโดยไม่ให้เกิดแรงดันตกเพิ่มขึ้น ถ้าสายไฟมีความยาวเป็น 2 เท่า ต้องเพิ่มขนาด (มม.2) ให้ใหญ่เป็น 2 เท่าด้วย
- อย่าใช้สายไฟที่เล็กกว่า 2.5 มม.^{2} หรือ 12 AWG* ในการต่อสายไฟของระบบเซลล์แสงอาทิตย์
- อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีมอเตอร์ไฟฟ้า (เช่น ตู้เย็น เครื่องซักผ้าและเครื่องสูบน้ำ ฯลฯ ยกเว้น พัดลม) ต้องใช้สายไฟที่สามารถจ่ายกระแสอย่างน้อยที่สุดเป็น 2 เท่าของกระแสที่ต้องการในภาวะปกติ เพราะมอเตอร์ไฟฟ้าต้องการกระแสเพิ่มขึ้นในตอนเริ่มเดินเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

3.1 ขอบเขตในการออกแบบ

(1) น้ำหนักทั้งหมด (รวมคนขับ) 300 kg
(2) ความเร็วสูงสุดที่ใช้งานได้ 60 km/h
(3) ความเร็วใช้งานปกติ 40 km/h
(4) ความสูงในการไต่ทางชัน5°ที่ความเร็ว 30 km/h
(5) ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวต้นกำลังการขับเคลื่อน
(6) ใช้แบตเตอรี่รถยนต์เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน
(7) ใช้ Solar Cell ในการประจุไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่

3.2 การออกแบบและการคำนวณการใช้กำลังของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ในการออกแบบหรือหากำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อให้ได้ความเร็วที่ตั้งเป้าหมายไว้นั้นมีปัจจัยอยู่ 2 อย่าง คือ

(1) น้ำหนักของตัวรถทั้งหมด
(2) แรงต้านการเคลื่อนที่

จากการพิจารณาปัจจัยข้างต้นจะพบว่าน้ำหนักของตัวรถ เป็นปัจจัยหลักที่มีผลอย่างมากต่อการเคลื่อนที่ ดังนั้นเราจึงต้องพยายามลดน้ำหนักของรถให้ได้มากที่สุด เพื่อให้มีแรงต้านการเคลื่อนที่น้อยลง และลดปริมาณการใช้กระแสไฟให้น้อยลง ส่งผลให้รถสามารถวิ่งได้เร็วขึ้นและนานขึ้น

3.3 น้ำหนักของส่วนประกอบต่างๆของตัวรถ

(1) คนขับ	80	kg
(2) โครงรถ	40	kg
(3) แบตเตอรี่	17×4 = 68	kg
(4) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	30	kg
(5) ล้อรถ	5×3 = 15	kg
(6) เซลล์แสงอาทิตย์	9×4 = 36	kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(7) อื่นๆ (สายไฟ, นอต, ชุดควบคุม ฯลฯ)	30	kg
รวม	300	kg

3.4 ขนาดภายนอกของรถ

กว้าง×ยาว×สูง = 0.95×2.2×1.5

= 3.135 m^3

3.5 การเลือกขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

หลังจากทราบน้ำหนักของรถทั้งหมดแล้ว เราต้องพิจารณาแรงต้านการเคลื่อนที่ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

(1) แรงต้านการหมุนของล้อ (R_r)

(2) แรงต้านอากาศ (R_a)

(3) แรงต้านทางชัน (R_g)

โดยแบ่งเป็นกรณีดังนี้

3.5.1 กรณีที่รถวิ่งบนทางราบที่ความเร็วคงที่ 40 km/h

จากสูตรแรงต้านการหมุนของล้อ

$$R_r = k_r W$$

เมื่อ k_r คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ

W คือ น้ำหนักของรถ มีหน่วยเป็น N

โดย k_r หาได้จากตารางตามชนิดและสภาพถนน ซึ่งพิจารณาที่ถนนลาดยางและถนนคอนกรีตสภาพดีพอใช้ ดังนั้น ค่า $k_r = 0.02$

แทนค่าจะได้ $R_r = k_r W = 0.02 \times 300 \times 9.81$

$= 58.86$ N

จากสูตรแรงต้านอากาศ

$$Ra = (1/2)\rho v^2 ACd$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ, kg/ m^3

V คือ ความเร็ว, m/s

A คือ พื้นที่หน้าตัดของรถ, m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_d คือ สัมประสิทธิ์แรงฉุดของอากาศ

โดยที่ $A = 0.8WH$

เมื่อ W = ความกว้าง $= 0.95$ m

H = ความสูง $= 1.5$ m

ดังนั้น

$A = 0.8 \times 0.95 \times 1.5 = 1.14\ m^2$

$\rho = 1.2\ kg/m^3$

$C_d = 0.4$ และ $V = 40 \times (5/18) = 11.11$ m/s

แทนค่าจะได้ $R_a = (1/2)\rho v^2 A C_d$

$= (1/2) \times 1.2 \times 11.11^2 \times 1.14 \times 0.4$

$= 33.77$ N

แรงต้านทั้งหมด $(R_t) = R_r + R_a$

$= 58.86 + 33.77 = 92.63$ N

จาก $P_e = 100Pw / \eta$

เมื่อ P_e = กำลังเครื่องยนต์

P_w = กำลังขับเคลื่อนที่ล้อ $= FV$

η = ประสิทธิภาพ

โดยแทนค่า $\eta = 90\%$ ที่ $v = 11.11$ m/s

ดังนั้น $P_e = (100 \times 92.63 \times 11.11) / 90 = 1.14$ kW

3.5.2 กรณีที่รถวิ่งบนทางราบที่ความเร็วคงที่ 60 km/h

จาก $R_r = k_r W$ เมื่อ $k_r = 0.02$

$R = 0.2 \times 300 \times 9.81 = 58.86$ N

และจาก $R_a = (1/2)\rho v^2 A C_d$

$= (1/2) \times 1.2 \times 16.67^2 \times 1.14 \times 0.4$

$= 76.03$ N

แรงต้านทั้งหมด $(R_t) = R_r + R_a$

$= 58.86 + 76.03 = 134.89$ N

จาก $P_e = 100FV / \eta$

$= (100 \times 134.89 \times 16.67) / 90$

$= 2.5$ kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจากการหา P_e ที่ความเร็ว 40 km/h และ 60 km/h แล้วเราจึงเลือกมอเตอร์ที่มีกำลัง 3 kw เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) 48 V, 3kw, eff. 90%

มอเตอร์ที่เลือกมาสามารถหาค้นความเร็วสูงสุดได้จากสมการ

$$P_e = (100/\eta) \times [R_r v + R_a v]$$

$$= (100/\eta) \times [k_r W v + (1/2)\rho v^3 A C_d]$$

แทนค่า

$$P_e = (100/90) \times [0.02 \times 300 \times 9.81 \times v + (1/2) \times 1.2 \times 1.14 \times 0.4 \times v^3]$$

$$3000 = 1.11 \times (58.86v + 0.27 v^3)$$

$$V_{max} = 18.21 \text{ m/s}$$

$$= 65.56 \text{ km/h}$$

3.5.3 กรณีที่วิ่งขึ้นทางชัน 5° ด้วยความเร็วคงที่ 30 km/h

จาก $R_r = k_r W$

$$= 0.2 \times 300 \times 9.81$$

$$= 58.86 \text{ N}$$

$R_a = (1/2)\rho v^2 A C_d$

$$= 0.5 \times 1.2 \times 8.33^2 \times 1.14 \times 0.4$$

$$= 18.98 \text{ N}$$

$R_g = W \sin\theta$

$$= 300 \times 9.81 \times \sin 5°$$

$$= 256.49 \text{ N}$$

$R_t = R_r + R_a + R_g$

$$= 58.86 + 18.98 + 256.49$$

$$= 334.3 \text{ N}$$

$P_e = (100/\eta) \times Fv$

$$= (100/90) \times 334.3 \times 8.33$$

$$= 3094 \text{ W}$$

ในการคิดที่ $\eta = 100\%$ จะสามารถขึ้นทางชันสูงสุดที่มุม 5.5°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจากการคำนวณข้างต้นทำให้ทราบว่ารถที่ออกแบบนั้นสามารถวิ่งได้ตามเป้าหมายและทำความเร็วสูงสุดได้ถึง 65 km/hr, ไต่ทางชันสูงสุดได้ 5.5° ที่ความเร็ว 30 km/hr

3.6 การเลือกแบตเตอรี่

ในการเลือกแบตเตอรี่นั้น เราต้องคำนวณกระแสที่มอเตอร์ใช้ก่อน โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$P = IV$$

โดย I = กระแส, V = แรงดันไฟฟ้า

แทนค่าหา $I = P/V = 3000/48 = 62.5$ Ah

ดังนั้นเราจึงเลือกแบตเตอรี่ขนาด 75 A 12 V จำนวน 4 ลูก และนำมาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้า 48 V เพียงพอกับมอเตอร์ โดยมอเตอร์จะกินกระแส 62.54 A (เมื่อทำงานเต็มกำลังที่ความเร็ว 60km/hr) จะสามารถวิ่งได้นานประมาณ 1 ชั่วโมง 12 นาที โดยหาจาก

ระยะเวลาในการใช้ = กระแสที่จ่าย / กระแสที่ใช้

= 75 / 62.5

= 1.2 h

1.2 h เทียบได้เป็น 1 ชั่วโมง 12 นาที

3.7 การเลือกเซลล์แสงอาทิตย์

ในการเลือก Solar Cell นั้นเราใช้หลักการเลือกจากกำลังงานของ Solar Cell โดย Solar Cell นั้นถ้ากำลังมากในการประจุไฟนั้นก็จะเร็วขึ้น โดย Solar Cell ที่เลือกใช้เป็นแบบ 80 W, 17.7 V ขนาด 0.55 m × 1.2 m ซึ่งเป็น Solar Module รุ่น NE-080T1J โดยมีข้อมูลดังนี้

Maximum power per module = 80 watt

Voltage at point maximum power = 17.3 watt

Current at point maximum power = 4.63 A

Efficiency = 13 %

Number of module = 4 units

จากนั้นจึงนำแผง Solar cell ทั้ง 4 แผงมาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้า 48 V ในการประจุไฟ

Rate output voltage = 17.3×4 = 69.2 V

Rate output current = 4.63 A

Power maximum = 80×4 = 360 watt

จาก Effective Power = $P_e = P_{max} \times C_s \times [1 - 0.005*(T_c - 25)]$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Cs = Coefficient related to incidence angle of sunshine

T_c = Temperature of Solar Cell

โดยเราประมาณค่า Cs ตลอดรับไว้ที่ $C_s = 0.75$, $T_c = 40°c$

แทนค่า $P_e = 320 \times 0.75 \times [1 - 0.005(Tc - 25)]$

$= 222$ watt

ค่า P_e ที่หาได้คือกำลังที่ได้จริงจาก Solar Cell ดังนั้นเราจะพบว่าไม่เพียงพอต่อการใช้ต่อการใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ เป็นสาเหตุให้ไม่ออกแบบโดยใช้การจ่ายไฟจาก Solar Cell โดยตรงมาขับมอเตอร์

ระยะเวลาในการชาร์จไฟสามารถหาได้จาก

Time = กระแสไฟที่ใช้ / กระแสไฟที่จ่าย

= 75 / 4.63

= 16.2 ชั่วโมง

3.8 การหาขนาดเพลาหน้า

วัสดุที่ใช้ทำเพลาโดยทั่วไปคือ เหล็กกล้าละมุน (Mild steel) หรือเหล็กประเภท AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น วัสดุที่เราเลือกใช้ทำเพลา คือ AISI 4340 จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$T_{max} = 0.5\ \sigma y = 0.5 \times 680 = 340\ N/mm^2$

ใช้ Safety factor = 2

$T = T_{max}/SF = 340/2 = 170\ N/mm^2$

เราใช้เพลาตันและไม่มีความเค้นอัดจึงใช้สมการต่อไปนี้หา Diameter

$d^3 = 16 \times \{ [C_t \times T] 2 + [C_m \times M] 2 \} 1/2 \ / \pi T$

โดยค่าตัวประกอบความล้า C_m, C_t

หาจากตารางที่ 9.2 ในหนังสือ การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 1 หน้า 234 โดยพิจารณาชนิดของแรงเป็นแบบเพลาหยุดนิ่ง ในกรณีที่แรงสม่ำเสมอเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ

$C_m = 1.0$, $C_t = 1.0$

เมื่อ T คือ โมเมนต์บิด

M คือ โมเมนต์ดัด

โดย $W = 75 \times 9.81$

$W = 735.75$ N

โมเมนต์ดัด = แรง × ระยะจุดหมุน

$M = 735.75 \times 0.06 = 44.15$

โมเมนต์บิดเราถือว่าน้อยมากจนคิดเป็น 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$d^3 = 16\times\{ [1\times0] 2 + [1\times44.15] 2 \}1/2 \ /\pi\times170\times106$

$d^3 = 1.323\times10^{-6}$

$d = 10.97$ mm.

แต่เราใช้เพลาขนาด 20 mm. ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าสามารถใช้ได้จริง

3.9 การหาขนาดเพลาหลัง

พิจารณาเพลาหลัง 12 mm. เนื่องจากจำเป็นต้องใช้ชิ้นส่วนที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดที่สามารถเข้าชุดกับดุมล้อหลังเพื่อลดความยุ่งยากในการทำเพลาและลดขั้นตอนการคว้านดุมล้อดังเช่นล้อด้านหน้า

จาก $T = F/A$

$T = (150\times9.81)/A$

เหล็กที่ใช้เป็นแบบ Stainless steel 304s soft

จากตาราง A-22 ในหนังสือ Machine Design จะได้ค่า Sy = 180 MPa

เมื่อ Sy = Minimum yield strength

จากสมการ $\sigma = 0.5\ Sy$

$= 0.5\times180$ MPa

$\sigma = 90$ MPa

เมื่อให้ n เป็นค่า Safety Factor มีค่าเป็น 10

$\sigma/n = F/A$

$90/10 = (50\times9.81)/A$

$A = (150\times9.81)/9 = 81.75\ mm^2$

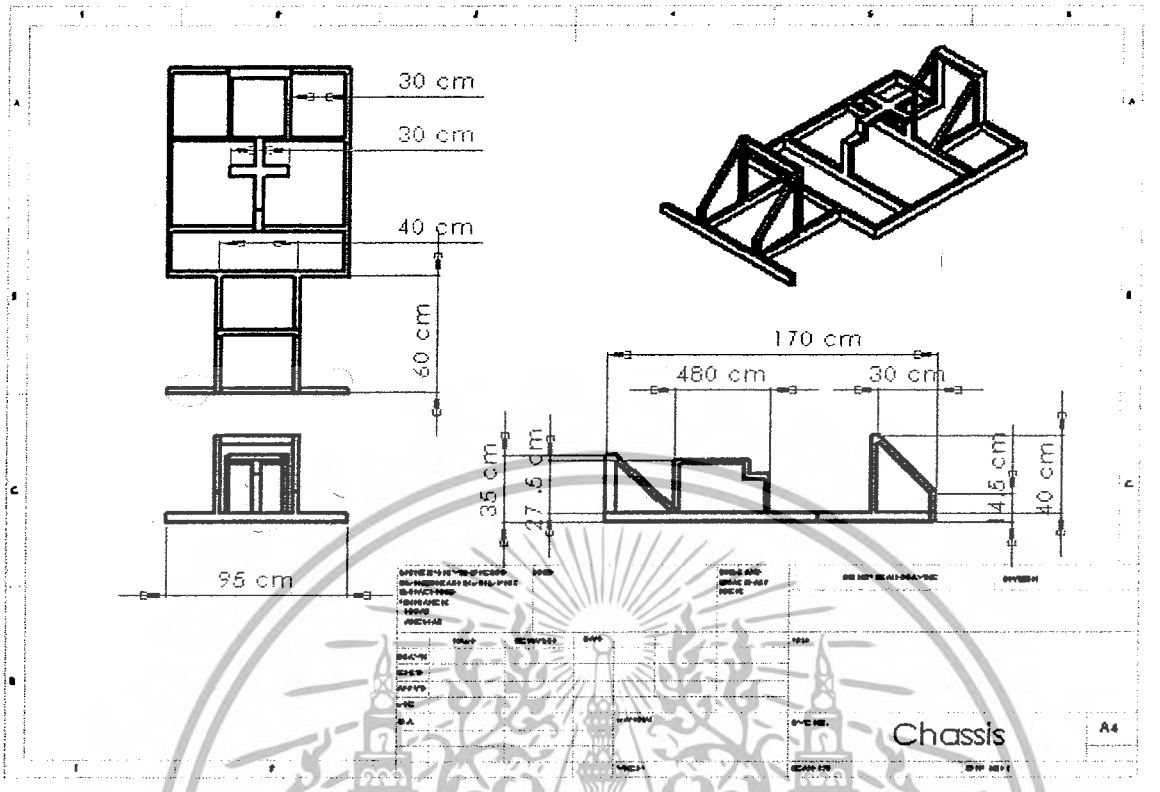
$D = 10.2$ mm

ดังนั้นขนาดเพลาที่เราเลือกใช้นั้นสามารถรับแรงกระทำได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

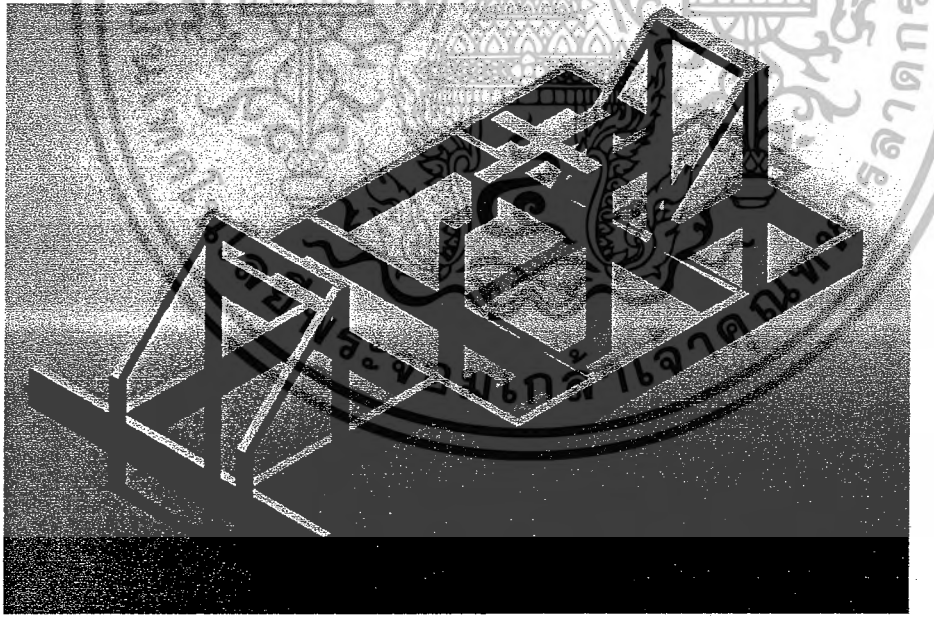
3.10 การออกแบบโครงสร้างของรถไฟฟ้า

เราเริ่มออกแบบโครงรถไฟฟ้าจากการกำหนดเป้าหมายและมิติของรถไฟฟ้าและนำมาเขียนแบบโดยใช้โปรแกรมเขียนแบบ Solidworks 2008 ได้แบบดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



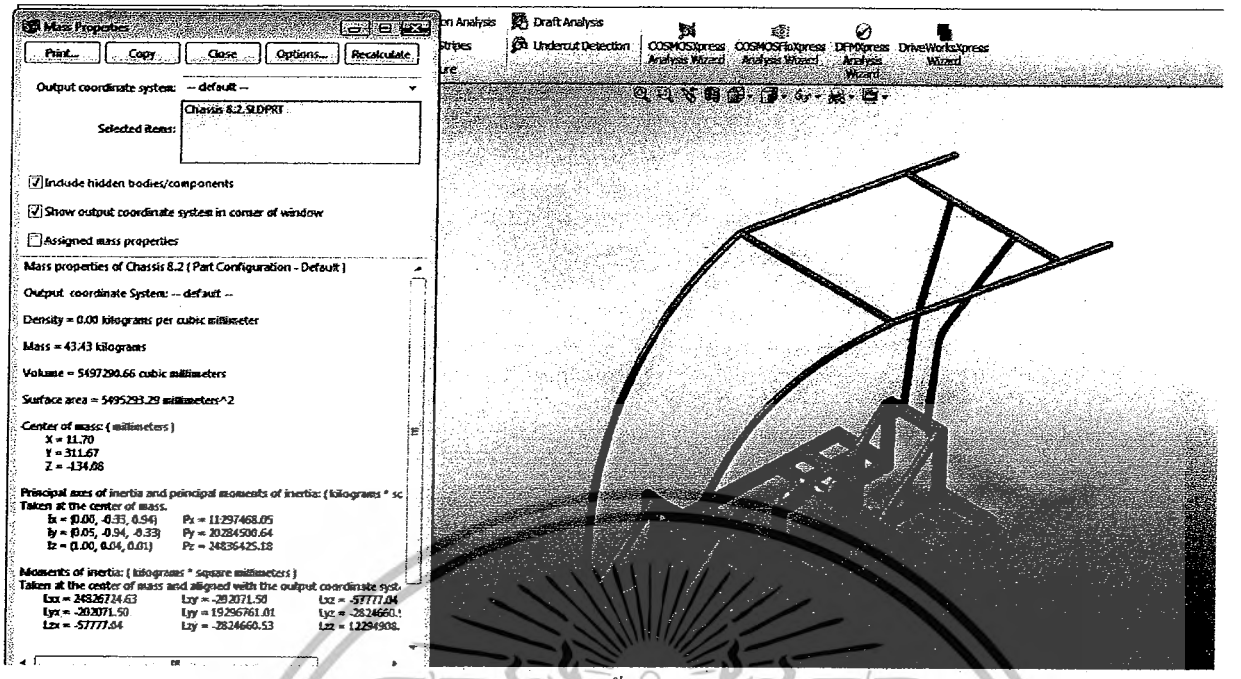
รูป 3.1 โครงสร้างของรถไฟฟ้า



รูป 3.2 โครงสร้างของรถไฟฟ้า

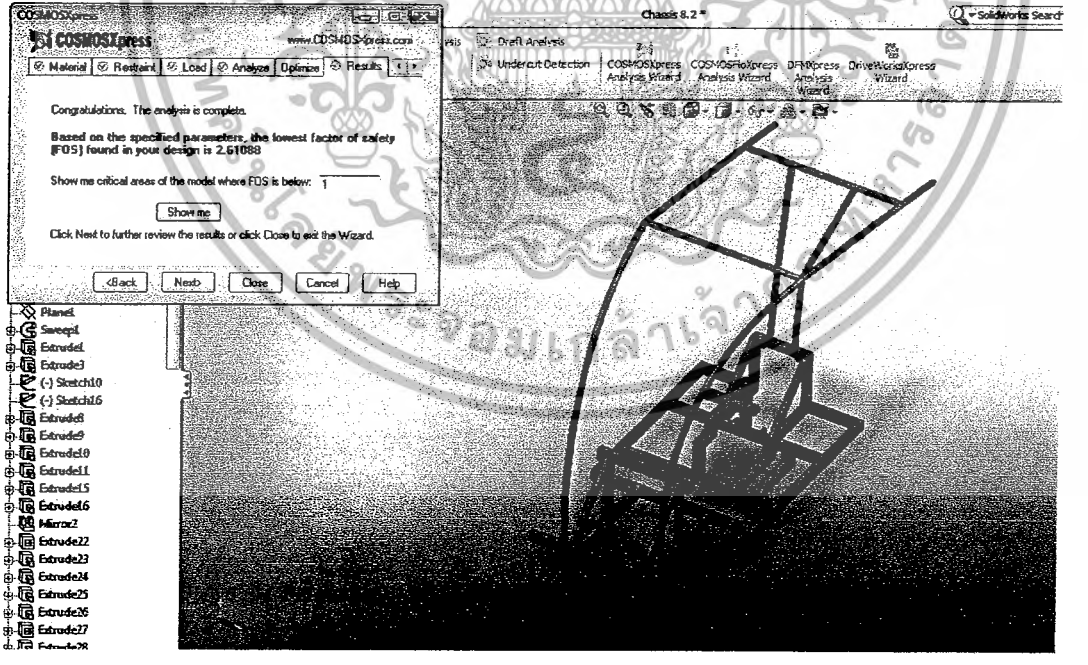
จากนั้นจึงทำการเลือกขนาดของเหล็กและชนิดของเหล็กโดยใช้เหล็กขนาด 2×1 นิ้ว ชนิด AISI 1020 และเราทำการประเมินน้ำหนักของโครงสร้าง (รวมโครงสร้างด้านบน) จากโปรแกรมได้น้ำหนัก 43.43 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.3 การประเมินน้ำหนักของโครงสร้าง

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงโดยใช้โปรแกรม CosmosXpress โดยให้รับแรงกดในแนวดิ่ง 3,500 นิวตัน ได้ผลการวิเคราะห์ดังรูปด้านล่าง



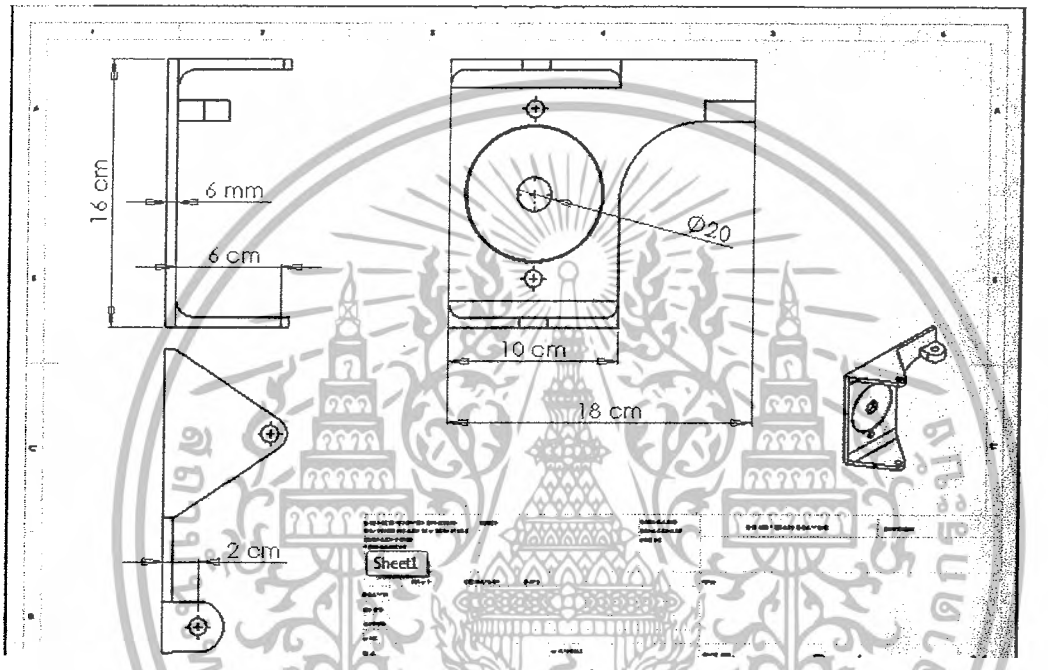
รูป 3.4 การประเมินความแข็งแรงของโครงสร้าง

จากผลที่ได้ทำให้ทราบว่ามีค่า Safety Factor 2.61 ซึ่งมากกว่า 1 หมายความว่าโครงสร้างมีความแข็งแรงทนทานเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 การออกแบบคอม้า

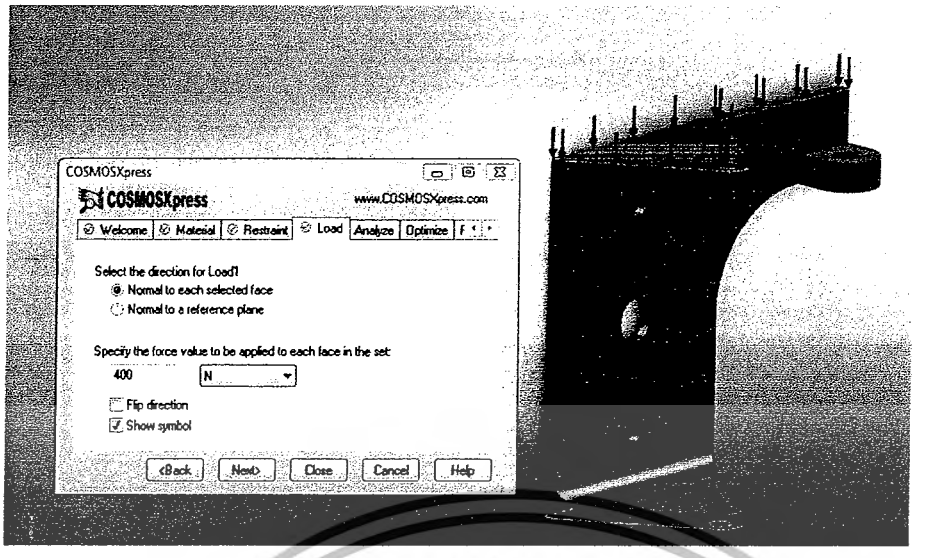
คอม้า คือชิ้นส่วนที่จะเป็นตัวเชื่อมระบบบังคับเลี้ยวและช่วงล่างเข้ากับล้อ เพื่อบังคับทิศทางและส่งผ่านแรง นั่นหมายความว่า เราควรออกแบบให้ชิ้นส่วนนี้มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรับภาระน้ำหนักที่เกิดขึ้น เริ่มจากการออกแบบขนาดและรูปร่าง โดยเลือกใช้เหล็กแผ่นหนา 6 มิลลิเมตรทำชิ้นส่วนนี้ตามแบบในรูปด้านล่าง



รูป 3.5 คอม้าที่ออกแบบ

จากนั้นพิจารณาแรงที่มากระทำที่ล้อหน้าได้ประมาณ 735.75 N แบ่งแรงกระทำที่ครีบทั้งสองเท่ากับ 367.75 N แต่จะแทนค่าเป็น 1,500 N เพื่อคิดถึงกรณีที่มีแรงมากระทำขณะขับเคลื่อนหรือตกหลุม โดยเป็นแรงกดดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.6 การประเมินความแข็งแรงของคอม้า

ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงพบว่าได้ค่า Safety Factor 7.72 ซึ่งมากกว่า 1 ดังนั้นจึงสามารถใช้รับแรงที่ล้อหน้าได้

3.12 การออกแบบระบบส่งกำลัง

ระบบส่งกำลังที่ใช้นั้นเป็นแบบโซ่บู๊ช ซึ่งใช้เพื่อการลดความสูญเสียเนื่องจากการผ่านกำลังเข้าชุดเฟืองท้ายและตัดน้ำหนักของล้อที่สี่เพื่อน้ำหนักที่น้อยลงนั่นรวมไปถึงการประหยัดพลังงานหรือใช้พลังงานได้คุ้มค่ามากขึ้น โดยการหาอัตราทดนั้นจะหาได้จาก

แรงต้านที่ล้อหาได้จาก $F = Kr \times m \times g$

$= 0.02 \times 300 \times 9.81$

$= 58.86$ N

ทอร์กที่ล้อหาได้จาก $Tw = F \times r$ โดย r คือรัศมีของล้อ

$= 58.86 \times 0.25$

$= 14.71$ N.m

ทอร์กของมอเตอร์ $Tc = P/2\pi N$

$= 3000/2\pi(7500/60)$

$= 3.82$ N.m

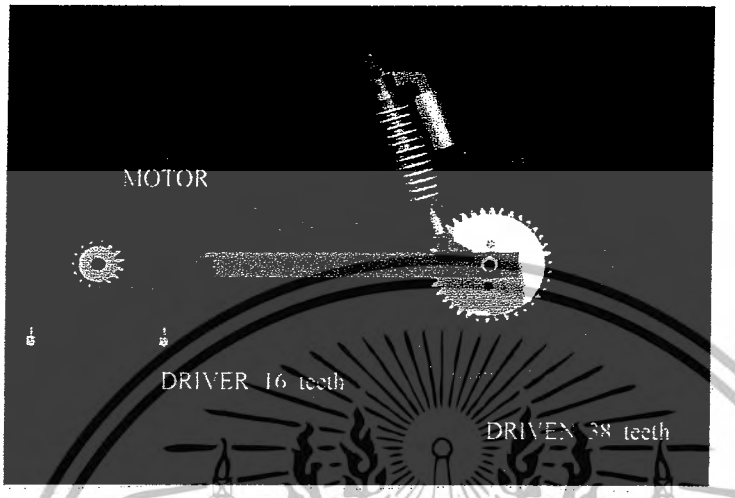
อัตราทด $= Tw/Tc$

$= 14.71/3.82$

$= 3.85:1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณเราจะได้อัตราทดเท่ากับ 3.85:1 แต่เนื่องจากเราไม่ได้ออกแบบดุมล้อหลังเอง และไม่ได้กัดเฟืองส่งกำลังเองจึงไม่สามารถใช้ค่าที่คำนวณได้ จึงเลือกใช้อัตราทดที่ใกล้เคียงที่มีขายในท้องตลาดซึ่งก็คือ 38:16 เท่ากับ 2.37:1 แทนค่าอัตราทดที่คำนวณได้



รูป 3.7 การส่งกำลังด้วยโซ่ที่อัตราทด 38:16

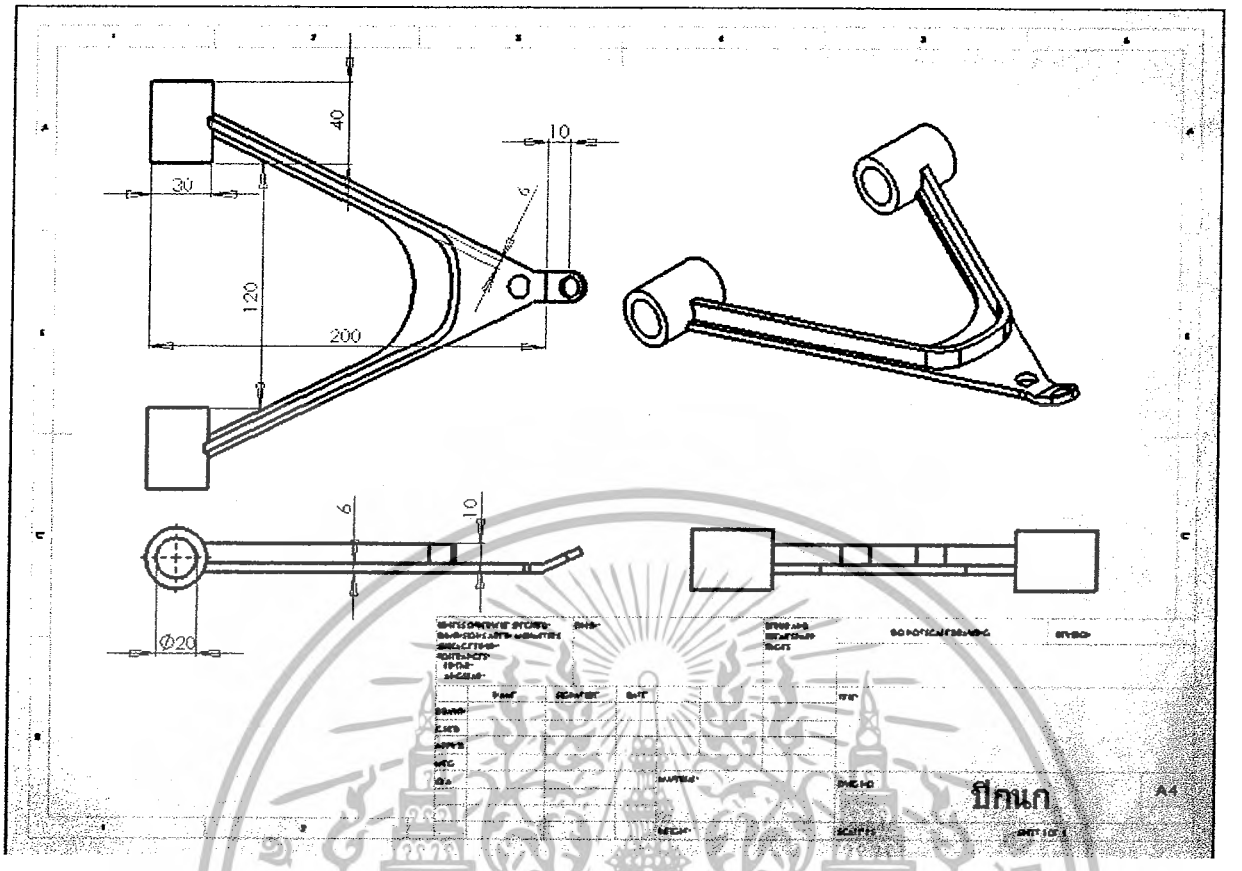
3.13 การออกแบบปีกนกของระบบกันสะเทือนแบบด้านหน้า

ระบบกันสะเทือนแบบด้านหน้าเป็นแบบแม็คเฟอร์สันสตรัทเนื่องรับแรงได้ใกล้เคียงกับแบบปีกนกคู่ แต่ชิ้นส่วนน้อยกว่านั่นหมายความว่าน้ำหนักย่อมน้อยกว่า และง่ายต่อการออกแบบ ปรับปรุงแก้ไข โดยชิ้นส่วนหลักที่เป็น

ตัวส่งแรงคือปีกนกด้านล่างของระบบกันสะเทือนแบบ ซึ่งต้องสามารถรับแรงกระทำที่เกิดจากน้ำหนักของตัวรถไฟฟ้าเองและแรงสั่นสะเทือน

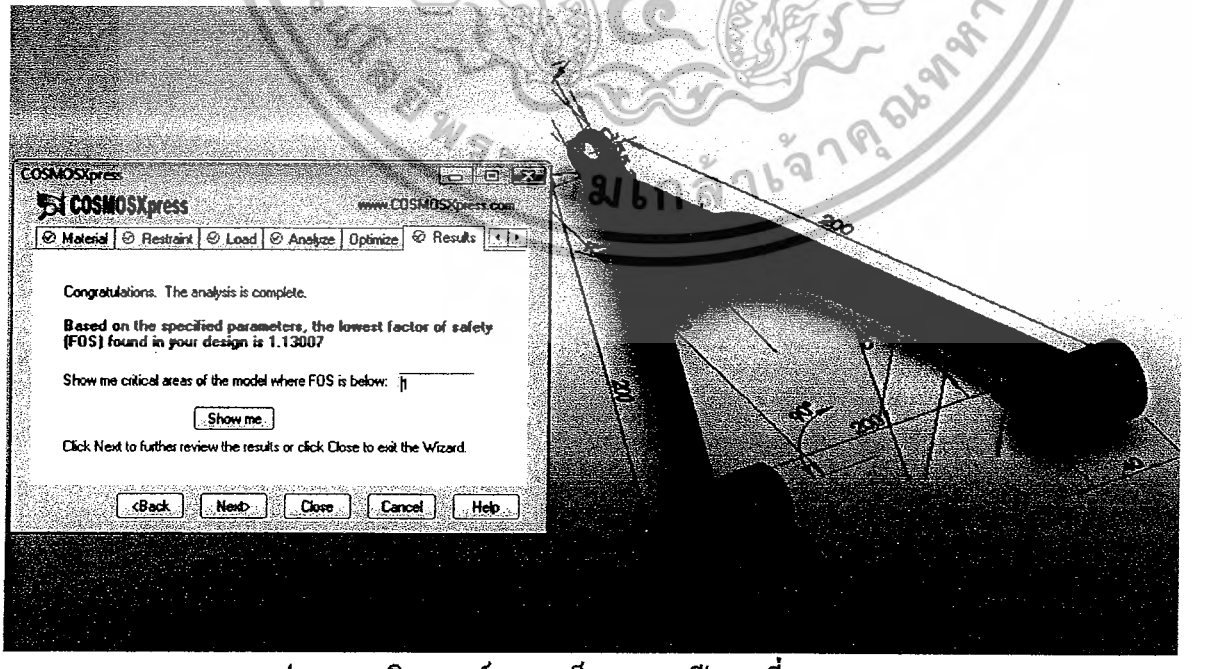
ในการออกแบบชิ้นส่วนนี้นั้นเราเลือกใช้เหล็กแผ่นทั่วไปที่มีความหนา 6 mm. เสริมด้วยเหล็กค้ำเดินตลอด ปีกนกกันการบิดตัว และเชื่อมแบบใช้อาร์กอน เพื่อช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับรอยเชื่อมของชิ้นงาน และใช้โปรแกรมเขียนแบบได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.8 ปีกนก

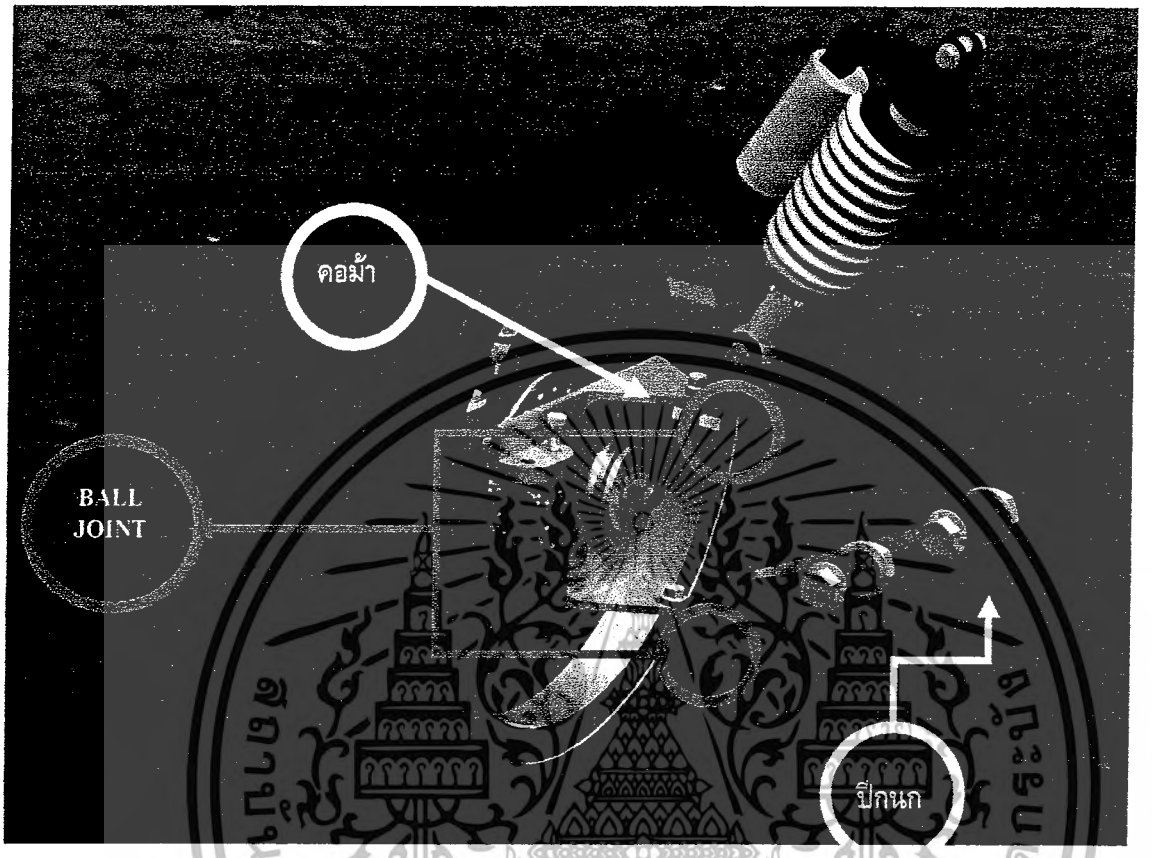
ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยโปรแกรม CosmosXpress โดยให้รับแรงดันในแนวดิ่ง 735.75 N แต่ในการใส่ค่าเพื่อวิเคราะห์นั้นจะใช้ค่าประมาณ 1,000 N ได้ผลการวิเคราะห์ดังรูป 3.9



รูป 3.9 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของปีกนกที่ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ได้คือ Safety Factor 1.13 ซึ่งมากว่า 1 ดังนั้นจึงสามารถใช้รับแรงที่ล้อหน้าได้ หลังจากที่คำนวณค่า Safety Factor นำส่วนที่ออกแบบไว้มาประกอบจะได้ดังรูป

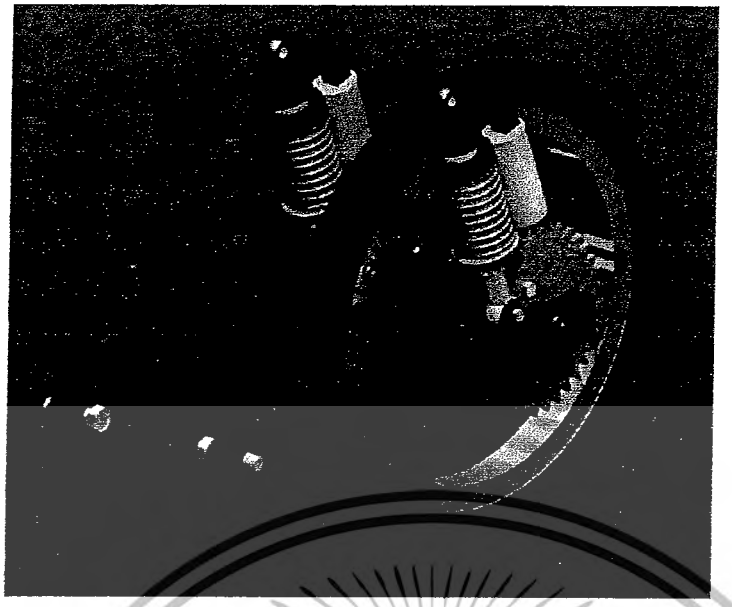


รูป 3.10 ระบบกันสะเทือนแบบด้านหน้าที่ออกแบบ

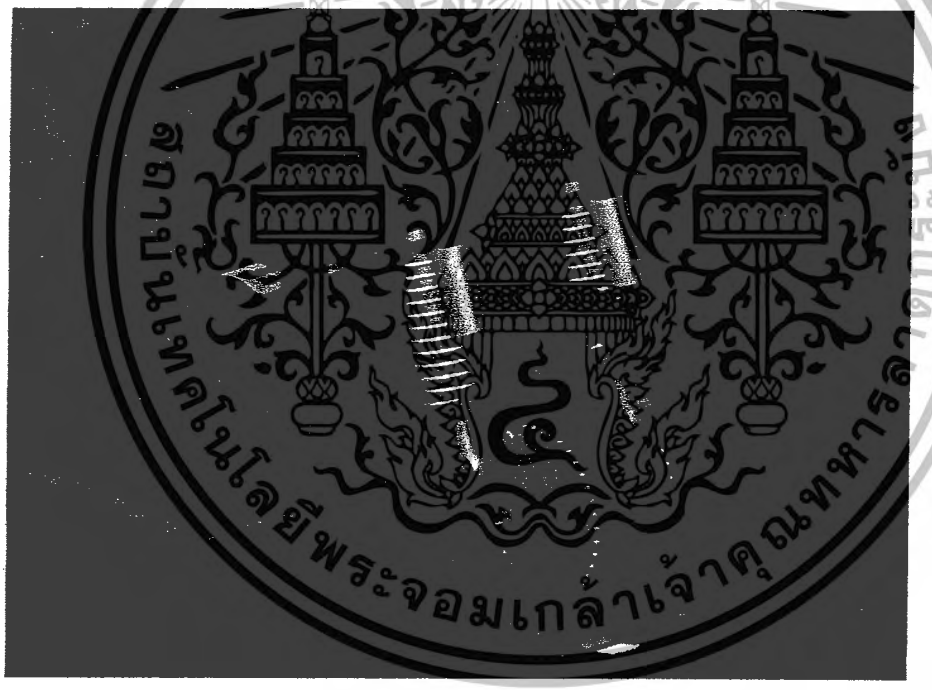
3.14 การออกแบบระบบกันสะเทือนแบบด้านหลัง

เนื่องจากระบบกันสะเทือนแบบด้านหลังนั้นรับแรงมากกว่าด้านหน้าหนึ่งเท่าตัวหรือเท่ากับ 1,471.5 N เป็นอย่างน้อยเราจึงพิจารณาให้ใช้โช้คสองตัวในการรับน้ำหนักและแรงสั่นสะเทือน ประกอบกับด้านหลังขับเคลื่อนเพียงล้อเดียวจึงใช้ระบบกันสะเทือนแบบ Trailing arm หรือ แบบแขนเหวี่ยง ดังที่ออกแบบดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.11 ระบบกันสะเทือนแบบด้านหลังที่ออกแบบ



รูป 3.12 ระบบกันสะเทือนแบบด้านหลังเมื่อประกอบเข้ากับโครงสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.15 ความสามารถในการเข้าทางโค้งที่ความเร็วต่างๆ

3.15.1 ความเร็วในการเข้าโค้งที่รถเริ่มพลิกคว่ำ

จากสมการ $M_{พลิกคว่ำ} = M_{ทรงตัว}$

$F_c h = W(t/2)$

$(mv^2)/r = mg(t/2)$

$r = (2h\ v^2)/gt$

เมื่อ v = อัตราเร็วของรถ, m/s

r = รัศมีความโค้ง, m

t = ระยะห่างระหว่างล้อซ้ายกับล้อขวา, m

h = ความสูงของจุดศูนย์กลางมวล G จากพื้นถนน, m

โดยที่ t มีค่าเท่ากับ 1.10 m

H มีค่าเท่ากับ 0.5 m

สามารถหารัศมีความโค้งของพื้นถนนที่รถเริ่มพลิกคว่ำที่ความเร็วต่างๆได้ดังนี้

ตารางที่3.1 แสดงรัศมีความโค้งของพื้นถนนที่รถเริ่มพลิกคว่ำที่ความเร็วต่างๆ

ความเร็ว (km/h)	ความเร็ว (m/s)	รัศมีความโค้งของพื้นถนน (m)
10	2.78	0.72
15	4.17	1.61
20	5.56	2.86
25	6.94	4.46
30	8.33	6.43
35	9.72	8.76
40	11.11	11.44
45	12.5	14.48
50	13.89	17.88
55	15.28	21.64
60	16.67	25.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.15.2 ความเร็วในการเข้าโค้งที่รถเริ่มลื่นไถล

จากสมการ $F_c = \mu W$

$(mv2)/r = \mu mg$

$r = (v^2)/\mu m$

เมื่อ v = อัตราเร็วของรถ, m/s

μ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับถนน

r = รัศมีความโค้ง, m

โดยที่ μ มีค่าเท่ากับ 0.6

สามารถหารัศมีความโค้งของพื้นถนนที่รถเริ่มลื่นไถลที่ความเร็วต่างๆได้ดังนี้

ตารางที่3.2 แสดงรัศมีความโค้งของพื้นถนนที่รถเริ่มลื่นไถลที่ความเร็วต่างๆ

ความเร็ว (km/h)	ความเร็ว (m/s)	รัศมีความโค้งของพื้นถนน (m)
10	2.78	1.31
15	4.17	2.95
20	5.56	5.25
25	6.94	8.18
30	8.33	11.79
35	9.72	16.05
40	11.11	20.97
45	12.5	26.54
50	13.89	32.78
55	15.28	39.67
60	16.67	47.27

3.16 การหาระยะทางช่วงการใช้เบรกที่ความเร็วต่างๆ

ในขณะที่ขับรถมาด้วยความเร็วต่างๆ หากผู้ขับเหยียบเบรกอย่างทันทีบนถนนระดับ จนกระทั่งล้อล็อกตาย และค่า μ, สัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับถนน มีค่าเท่ากับ 0.6 แรงหน่วงเนื่องจากการเบรกสามารถหาได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$a = \mu g$

แทนค่า $a = 0.6(9.81)$

$= 5.89\ m/s^2$

ระยะทางช่วงการใช้เบรกสามารถหาได้จากสมการ

$S = (u^2 - v^2)/2a$

เมื่อ u = ความเร็วขณะที่ขับขี่ก่อนเหยียบเบรก, m/s

v = ความเร็วสุดท้าย มีค่าเท่ากับ 0, m/s

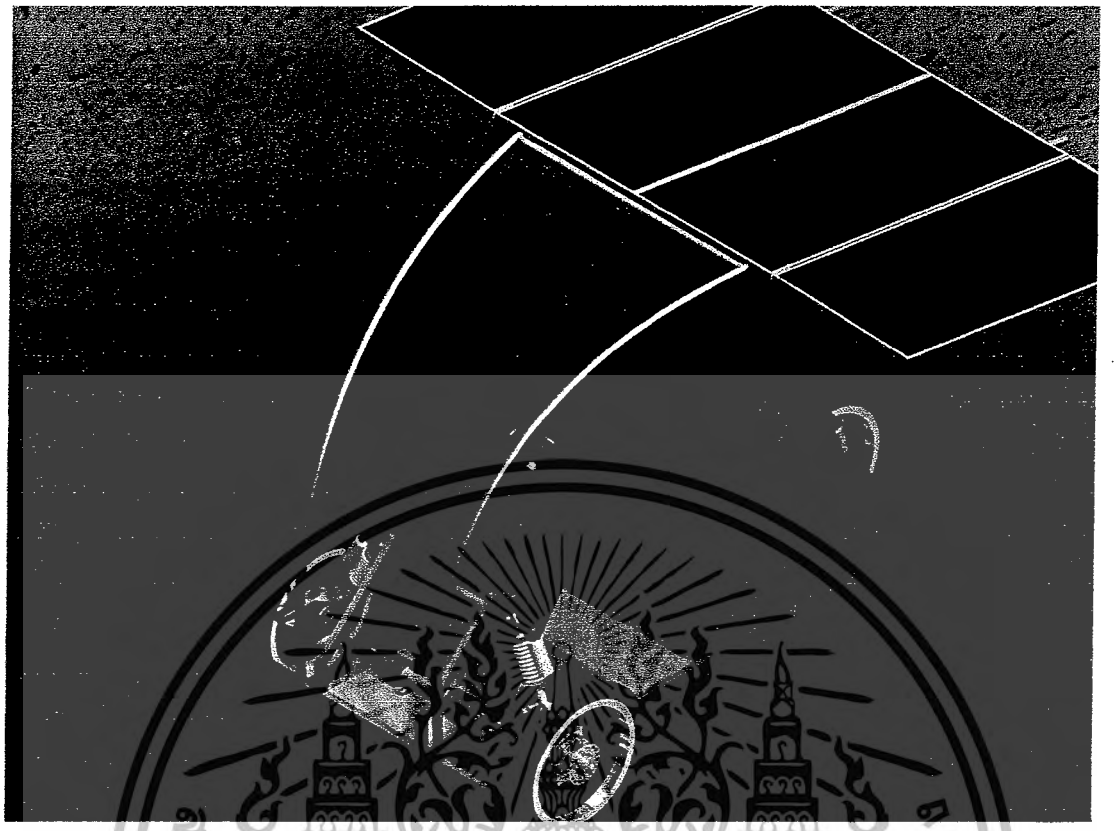
a = แรงหน่วงเนื่องจากการเบรก, m/s^2

สามารถหาระยะทางในช่วงการใช้เบรกที่ความเร็วต่างๆ ได้ดังนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงระยะทางในช่วงการใช้เบรกที่ความเร็วต่างๆ

ความเร็ว (km/h)	ความเร็ว (m/s)	ระยะเบรก (m)
10	2.78	0.66
15	4.17	1.48
20	5.56	2.62
25	6.94	4.09
30	8.33	5.89
35	9.72	8.02
40	11.11	10.48
45	12.5	13.26
50	13.89	16.38
55	15.28	19.82
60	16.67	23.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.13 รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ขั้นตอนการทำงานในการสร้างรถพลังงานแสงอาทิตย์

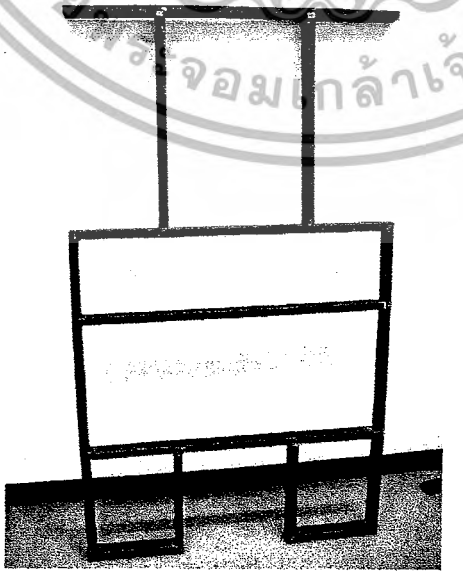
ในบทนี้นั้นเราจะกล่าวถึงขั้นตอนและกระบวนการทั้งหมดในการสร้างรถพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆดังนี้

4.1 การศึกษา วางแผน และการคำนวณออกแบบ

ในขั้นตอนแรกนั้นเราเน้นไปในเรื่องการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับรถยนต์ทั่วไป รถไฟฟ้า รวมไปถึงรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เคยมีการสร้างไว้ตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน เพื่อเสริมสร้างความรู้และช่วยในการกำหนดเป้าหมายการวางแผน และออกแบบรถรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์คันนี้

4.2 การทำโครงสร้างของรถ

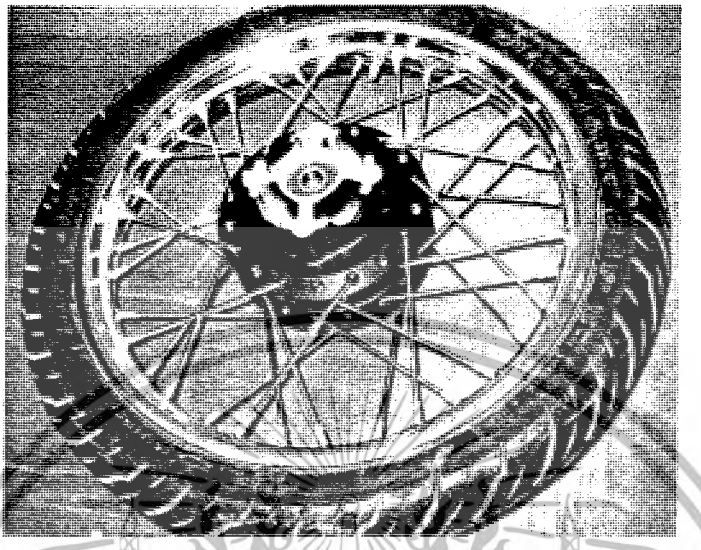
หลังจากที่แบบผ่านการคำนวณโครงสร้างว่าสามารถรับน้ำหนักได้จริงและปลอดภัยแล้วเราจึงทำการนำแบบที่เขียนไว้นั้นมาดำเนินการสร้าง โดยเริ่มจากการวัดความยาวทั้งหมดที่ต้องการใช้ และสั่งซื้อเพื่อเป็นวัสดุทำโครงสร้างของรถ จึงทำการตัดเหล็กตามขนาดและทำการประกอบตามแบบที่วางไว้ด้วยการเชื่อมไฟฟ้าแบบจุดไว้ก่อน เพื่อทำการตั้งแกนและระนาบของรถให้เที่ยงตรงและมุมที่ต้องการ จากนั้นจึงทำการเดินแนวเชื่อมให้เรียบร้อยเพื่อวามแข็งแรง



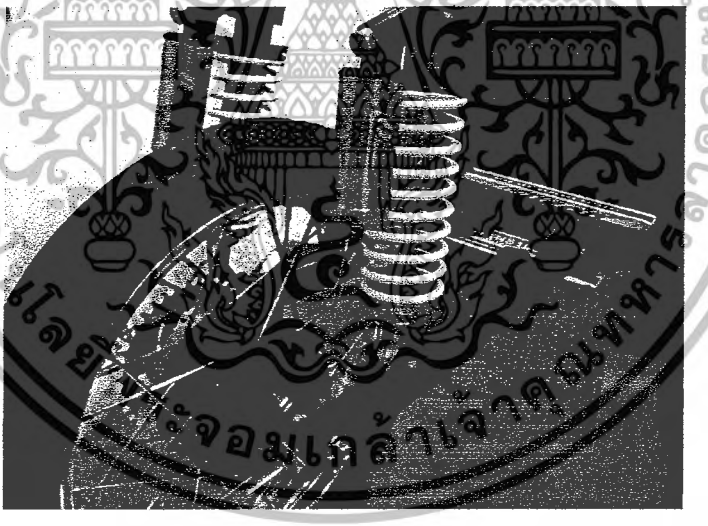
รูป 4.1 โครงสร้างฐานของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากเราสร้างฐานของโครงสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้วก็ดำเนินการเชื่อมส่วนต่างๆที่เหลือ พร้อมกันนั้นเราได้ทำการประกอบล้อหลังเข้ากับดุมล้อและแขนเหวี่ยงพร้อมประกอบกับโครงสร้างและระบบกันสะเทือนด้านหลัง



รูป 4.2 ชุดดุมล้อหลังที่ประกอบแล้ว



รูป 4.3 ชุดล้อและระบบกันสะเทือนด้านหลัง

4.3 การทำคอม้าและปีนกของระบบกันสะเทือนด้านหน้า

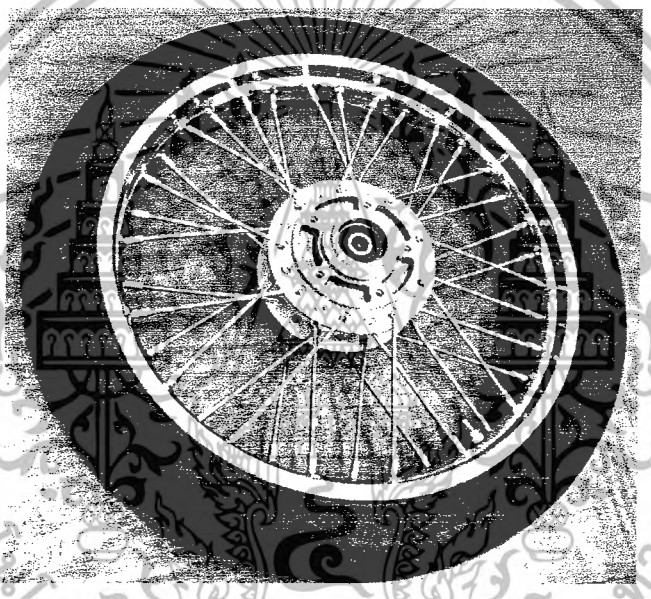
ในส่วนนี้นั้นเราต้องนำแบบที่เขียนไว้นั้นไปวาดลงบนกระดาษแข็งเพื่อเป็นแบบใช้ในการตัดเหล็กแผ่น จากนั้นนำเหล็กที่ตัดเสร็จแล้วมาทำการเชื่อมอาร์กอน ตามแบบที่เขียนไว้ จากนั้นเราก็นำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกหมากที่ซื้อมาประกอบเข้ากับปีกนกที่เราทำเสร็จแล้ว โดยลูกหมากที่ใช้นั้นเป็นแบบปรับความยาวสั้นได้โดยการขันเกลียว และทำตัวส่งกำลังจากปีกนกเข้าแกนโช๊คเพื่อให้โช๊คสามารถรับแรงได้เต็มที่

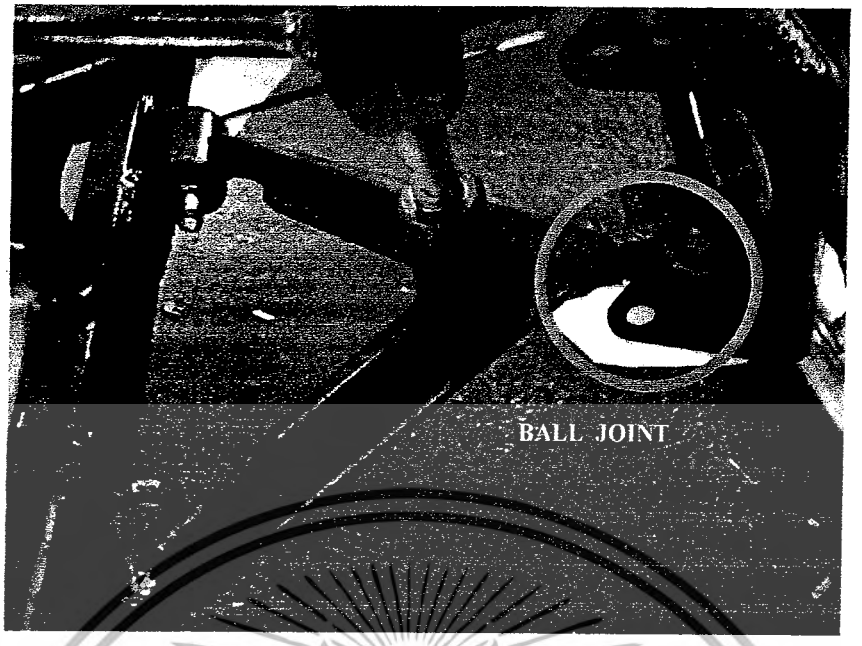
4.4 ทำการปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดุมล้อหน้า

เราต้องทำการปรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดุมล้อหน้าเนื่องจากขนาดเพลาหน้า ขนาดเดิมมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดการเสียหายขณะมีการรับแรงกระทำ จึงทำการนำดุมล้อไปทำการคว้านขยายเส้นผ่านศูนย์กลางโดยใช้เครื่อง CNC เพื่อที่จะใช้เพลาหน้าตามขนาดที่ได้คำนวณไว้ และทำการกลึงบุชรองลูกปืนที่ดุมล้อหน้าตามขนาดที่ออกแบบ จากนั้นทำการประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดของล้อหน้าเข้าด้วยกัน



รูป 4.4 ชุดล้อและดุมล้อหน้าที่นำไปคว้านเปลี่ยนขนาดเพลาและลูกปืน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



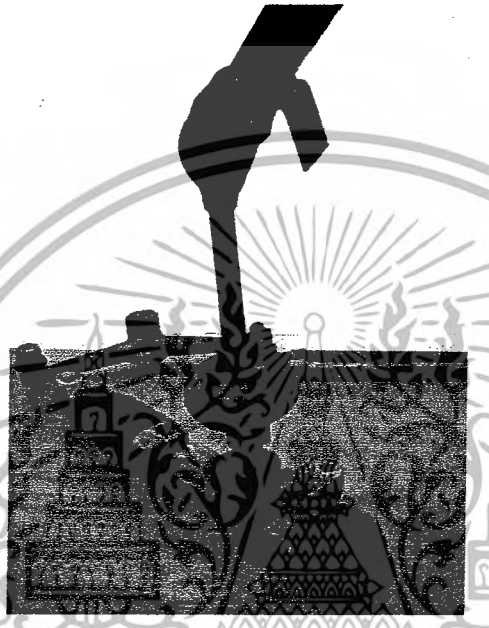
รูป 4.5 ปีกนกที่ทำการประกอบกับลูกหมาก

รูป 4.6 ปีกนกที่ทำการประกอบกับตัวส่งแรงเข้าโช๊ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ประกอบชุดบังคับเลี้ยวเข้ากับโครงรถ

ในขั้นตอนนี้นั้นจะเกิดปัญหาเนื่องจากการหมุนซ้ายและขวาของชุดบังคับเลี้ยวที่ซื้อมามีระยะชักไม่เท่ากันดังนั้นเราจึงต้องประกอบในส่วนของชุดเฟืองก่อนเพื่อใช้ในการหาความยาวของแท่งที่เชื่อมชุดเฟืองกับคอม้าในขั้นตอนต่อไป



รูป 4.7 ระบบบังคับเลี้ยวก่อนการดัดแปลง

4.6 ประกอบชุดล้อทั้งหมดเข้ากับโครงรถ

หลังจากประกอบชุดล้อทั้งหมดเรียบร้อยแล้วเราต้องทำการวัดระยะความห่างกันของจุดเชื่อมต่อของชุดเฟืองบังคับเลี้ยวกับจุดต่อลูกหมากของแท่งหนวดกุ้งเพื่อหาว่าต้องใช้หนวดกุ้งยาวเท่าไร หลังจากหาได้แล้วจะพบว่าไม่เท่ากัน ดังนั้นเราจึงทำการดัดแปลงแท่งหนวดกุ้งให้มีความยาวที่พอดีกับที่เราต้องการ และทำการขันลูกหมากให้แน่นโดยการขันอัด จากนั้นทำการตั้งมุมต่างๆของล้อเพื่อให้ได้การทำงานของระบบบังคับเลี้ยวเป็นไปอย่างราบรื่น โดยการปรับตั้งระยะจากลูกหมาก

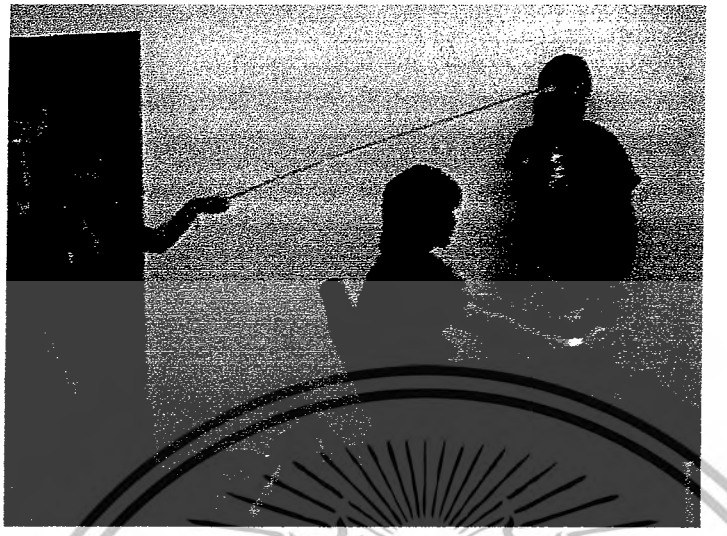
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.8 รถที่ประกอบและตั้งมุมล้อเสร็จสิ้น

รูป 4.9 รถที่ประกอบและตั้งมุมล้อเสร็จสิ้น (มุมมองด้านหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ทำการวัดโครงสร้างด้านบนของรถเทียบกับขนาดจริง



รูป 4.10 การเทียบขนาดแบบกับขนาดจริง

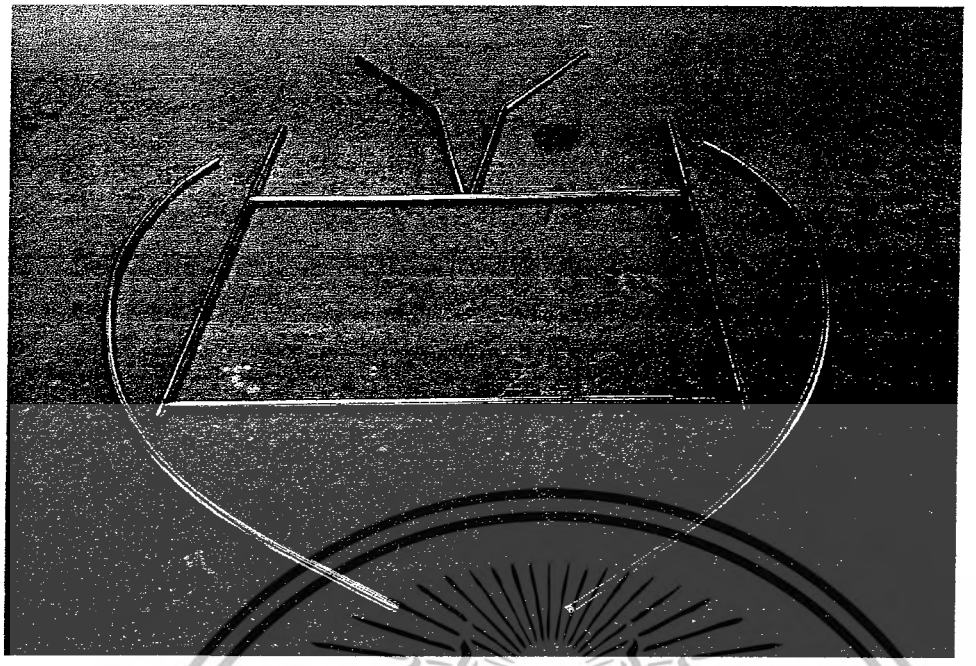
รูป 4.11 การเทียบขนาดแบบกับขนาดจริงที่เสร็จสิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 นำแบบที่เทียบขนาดจริงแล้วไปทำโครงสร้างด้านบนและติดตั้งเบาะนั่ง

รูป 4.12 และ 4.13 การดัดขึ้นโครงสร้างด้านบนของรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.14 เหล็กทั้งหมดที่ใช้การดัดขึ้นโครงสร้างด้านบนของรถ

รูป 4.15 รถที่ผ่านการดัดขึ้นโครงสร้างด้านบนแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

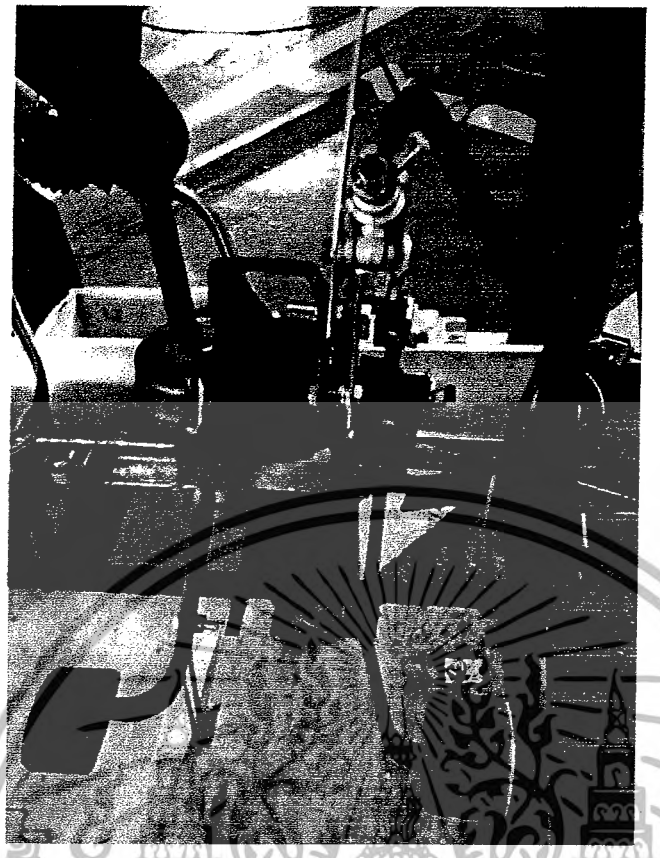
4.9 ทำการวางมอเตอร์ขับเคลื่อนและตั้งระยะโซ่ส่งกำลัง

รูป 4.16 ติดตั้งมอเตอร์พร้อมกับการตั้งความตึงของโซ่

4.10 ติดตั้งระบบเบรกและแท่นเหยียบและคันเร่งพร้อมเดินสายเบรก

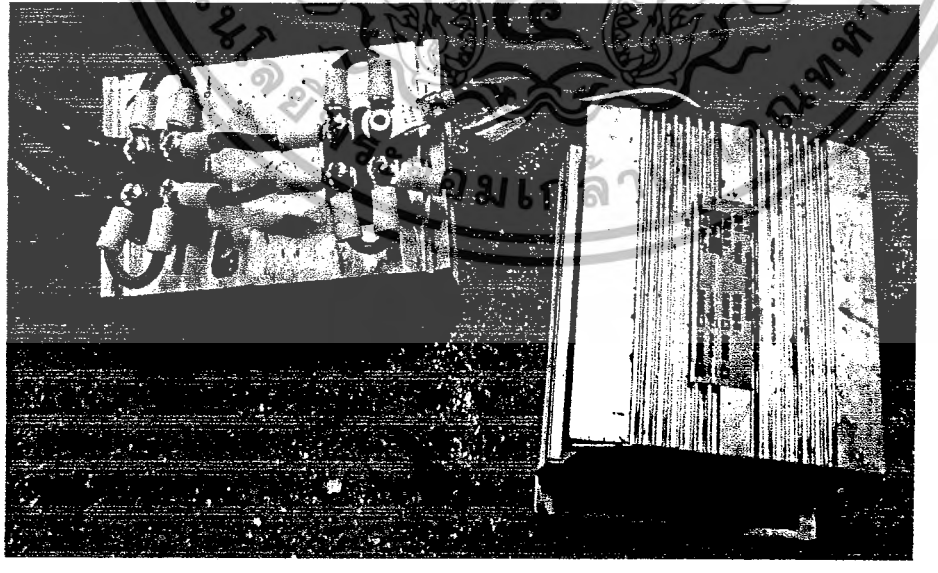
รูป 4.17 ติดตั้งระบบเบรกพร้อมเดินสายเบรกและไล่ลมเบรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



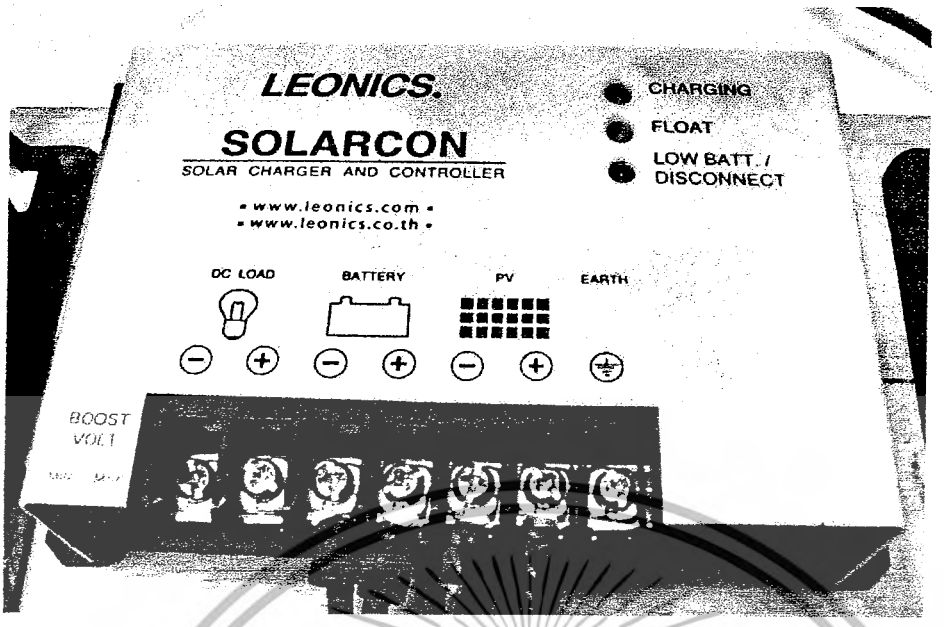
รูป 4.18 ติดตั้งแท่นเหยียบเบรกและคันเร่ง

4.11 ทำการวางแบตเตอรี่ ติดตั้งชุดควบคุมมอเตอร์ โซล่าเซลล์ และชุดอัดประจุไฟ

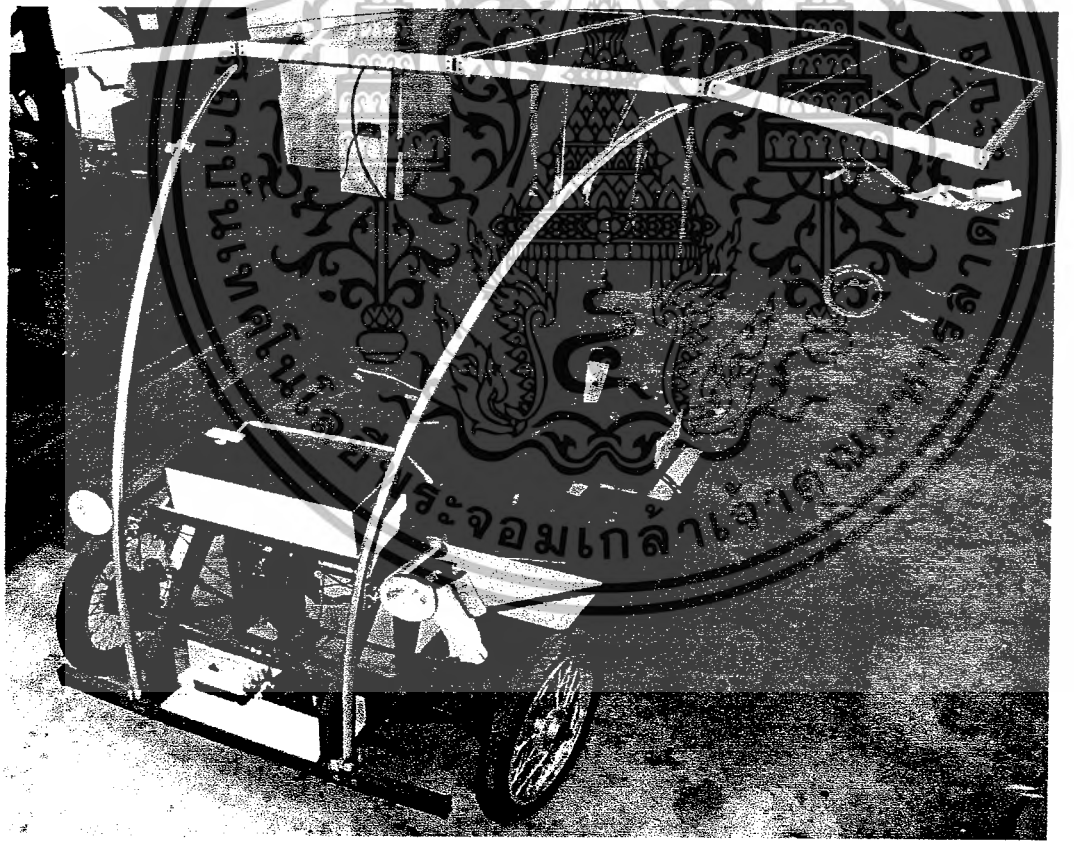


รูป 4.19 ชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

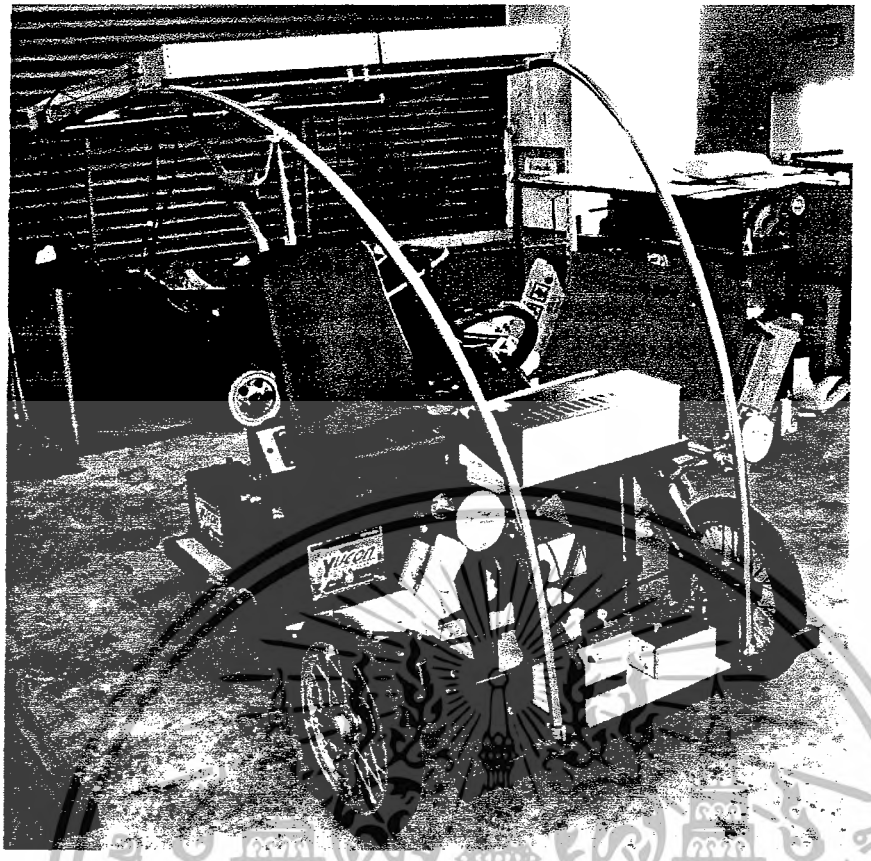


รูป 4.20 เครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์



รูป 4.21 รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4.22 รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทำงานและการทดสอบ

5.1 สรุปการผลทำงาน

น้ำหนักจริงของส่วนประกอบต่างๆของรถ

(1) คนขับ	80	kg
(2) โครงรถ	43	kg
(3) แบตเตอรี่	17×4 = 68	kg
(4) มอเตอร์	33	kg
(5) ล้อ	5×3 = 15	kg
(6) แผงเซลล์แสงอาทิตย์	9×4 = 36	kg
(7) อื่นๆ	47	kg
รวม	322	kg

จากการทดสอบความเร็วโดยการใช้เครื่องไดโนความเร็วสูงสุดที่ทำได้จริง คือ 60 km/h

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ที่ได้จากการทดลองหาจาก

ประสิทธิภาพ = (ค่าจริง × 90) /ค่าที่ได้จากการคำนวณ

(ในการคำนวณเราใช้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ 90%) = (60× 90) / 65

= 83 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่5.1 ผลการทดสอบการอัดประจุไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ครั้งที่	ชั่วโมง/นาที	ชั่วโมง
1	16/32	16.53
2	17/5	17.08
3	16/49	16.82
4	16/44	16.73
5	17/15	17.25
6	16/58	16.96
7	16/45	16.75
8	16/55	16.91
9	16/30	16.5
10	17/12	17.2
เวลาเฉลี่ย	16.87 ชั่วโมง	

ระยะเวลาอัดประจุไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 16 ชั่วโมง 52 นาที

5.3 การทดลองหาเวลาที่ใช้เร่งถึงความเร็วต่างๆ เป็นจำนวน 10 ครั้ง

ตารางที่5.2 ผลการทดลองหาเวลาที่ใช้เร่งถึงความเร็วต่างๆ

ครั้งที่/ความเร็ว	0-20 (km/h)	0-30 (km/h)	0-40 (km/h)
1 (s)	5.86	8.33	13.27
2 (s)	5.15	7.45	10.63
3 (s)	4.87	7.75	10.84
4 (s)	6.33	8.68	11.83
5 (s)	4.99	7.59	10.62
6 (s)	4.55	6.92	10.6
7 (s)	5.23	7.8	11.17
8 (s)	4.45	6.61	10.48
9 (s)	5.1	7.44	10.96
10 (s)	5.25	7.82	9.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเครื่องทดสอบมีความคาดเคลื่อนประมาน 30 % เราจึงเพิ่มเวลาเข้าไปจึงได้เป็นดังตาราง 5.3

ตารางที่5.3 ผลการทดลองหาเวลาที่ใช้เร่งถึงความเร็วต่างๆเพิ่มความคลาดเคลื่อน 30 %

ครั้งที่/ความเร็ว	0-20 (km/h)	0-30 (km/h)	0-40 (km/h)
1 (s)	6.86	10.83	17.25
2 (s)	6.7	9.96	13.86
3 (s)	6.33	10.08	14.1
4 (s)	8.23	11.28	15.38
5 (s)	6.49	9.87	13.81
6 (s)	5.92	8.9	13.78
7 (s)	6.8	10.14	14.52
8 (s)	5.79	8.6	13.62
9 (s)	6.63	9.67	13.6
10 (s)	6.83	10.17	12.62
เวลาเฉลี่ย (s)	6.66	9.93	14.31

จากผลการทดลองเราจะสามารถหาอัตราเร่ง ณ ความเร็ว 20 km/h, 30 km/h, 40 km/h ได้ดังนี้

อัตราเร่งจาก 0-20 km/h = 20/6.66 = 3 m/s^2

อัตราเร่งจาก 0-30 km/h = 30/9.93 = 3.02 m/s^2

อัตราเร่งจาก 0-40 km/h = 40/14.31 = 2.79 m/s^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การทดลองหาเวลาที่ใช้ในการวิ่งความเร็วคงที่ต่างๆ จนกระทั่งแบตเตอรี่หมด

ตารางที่5.4 ผลการทดลองหาเวลาที่ใช้ในการวิ่งความเร็วคงที่ต่างๆจนกะทั่งแบตเตอรี่หมด

ครั้งที่	ความเร็ว				
	20 (km/hr)	30 (km/hr)	40 (km/hr)	50 (km/hr)	60 (km/hr)
1 (hr)	3.67	2.62	1.72	1.28	0.88
2 (hr)	3.71	2.59	1.76	1.23	0.94
3 (hr)	3.65	2.64	1.71	1.19	0.91
4 (hr)	3.67	2.69	1.77	1.23	0.93
5 (hr)	3.65	2.66	1.74	1.22	0.89
เวลาเฉลี่ย (hr)	3.67	2.64	1.74	1.23	0.91

จากผลการทดลองเราจะสามารถหาระยะทาง ณ ความเร็ว 20 km/h, 30 km/h, 40 km/h, 50 km/h, 60 km/h ได้ดังนี้

ระยะทางที่วิ่งได้ที่ความเร็วคงที่ 20 km/hr = 20*3.67 = 73.4 km

ระยะทางที่วิ่งได้ที่ความเร็วคงที่ 30 km/hr = 30* 2.64 = 79.2 km

ระยะทางที่วิ่งได้ที่ความเร็วคงที่ 40 km/hr = 40*1.74 = 69.6 km

ระยะทางที่วิ่งได้ที่ความเร็วคงที่ 50 km/hr = 50*1.23 = 61.5 km

ระยะทางที่วิ่งได้ที่ความเร็วคงที่ 60 km/hr = 60*0.91 = 54.6 km

5.5 การคิดอัตราค่าไฟฟ้า

5.5.1 ข้อมูลที่ต้องทราบ

(1) การใช้ไฟฟ้า 1 หน่วยหรือ 1 ยูนิต คือเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาด 1000 วัตต์ ที่ใช้งานในหนึ่งชั่วโมง

(2) จำนวนยูนิต = กำลังไฟฟ้า (วัตต์) ของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการคำนวณ x จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการคำนวณ 1,000 x จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานในหนึ่งวัน

(3) ค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บ และปรากฏในใบแจ้งหนี้/ใบเสร็จรับเงินค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน ประกอบด้วย

ค่าไฟฟ้าฐาน + ค่าไฟฟ้าผันแปร (ค่าเอฟที) + ค่าบริการ + ภาษีมูลค่าเพิ่ม

(4) เครื่องประจุไฟแบตเตอรี่ ขนาด 75A×48V= 3600 วัตต์ จำนวน 1 เครื่อง เปิดใช้งาน 6 ชั่วโมง เสียค่าไฟ วันละ 3600*1*1000*6 = 21.6 หน่วย หรือประมาณเดือนละ (30×21.6) = 648 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5.2 ราคาต่อการประจุไฟแบตเตอรี่จนเต็มพิกัดต่อครั้ง

(1) ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

5 หน่วยแรก (หน่วยที่ 1-5) หน่วยละ 0.00 บาท เป็นเงิน 0.00 บาท

10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 6-15) หน่วยละ 1.3576 บาท เป็นเงิน 13.576 บาท (10×1.3576)

10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่16-21.6) หน่วยละ 1.5445 บาท เป็นเงิน 10.194 บาท (6.6×1.5445)

รวมเป็นเงิน 13.576 + 10.194 = 23.77 บาท

5.5.3 ราคาต่อการประจุไฟแบตเตอรี่จนเต็มพิกัดต่อ 30 ครั้ง (ประจุทุกวัน วันละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 1 เดือน)

(1) ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน

150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 1-150) หน่วยละ 1.8047 บาท เป็นเงิน 270.71 บาท

250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151-400) หน่วยละ 2.7781 บาท เป็นเงิน 694.53 บาท

เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป) หน่วยละ 2.9780 บาท เป็นเงิน 738.54 บาท (248×738.54)

รวมเป็นเงิน 270.71 + 694.53 + 738.54 = 1,703.54 บาท

เฉลี่ยค่าการประจุต่อวัน (วันละ 1 ครั้ง) เป็นเงิน 56.8 บาท (1,703/30)

5.6 อัตราค่าใช้ไฟฟ้าในการขับเคลื่อน

ในการประจุไฟเข้าในแบตเตอรี่จนเต็มพิกัด 1 ครั้ง คิดค่าไฟเฉลี่ย (ในอัตราสูงสุด) เป็นเงิน 56.8 บาท

(1) รถไฟฟ้าสามารถวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ย 20 km/hr ได้เป็นเวลา 3.67 hr. รวมระยะทาง 73.4 km เฉลี่ยอัตราค่าไฟที่ใช้ 0.77 Baht/km

(2) รถไฟฟ้าสามารถวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ย 30 km/hr ได้เป็นเวลา 2.64 hr. รวมระยะทาง 79.2 km เฉลี่ยอัตราค่าไฟที่ใช้ 0.72 Baht/km

(3) รถไฟฟ้าสามารถวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ย 40 km/hr ได้เป็นเวลา 1.74 hr. รวมระยะทาง 69.6 km เฉลี่ยอัตราค่าไฟที่ใช้ 0.82 Baht/km

(4) รถไฟฟ้าสามารถวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ย 50 km/hr ได้เป็นเวลา 1.23 hr. รวมระยะทาง 61.5 km เฉลี่ยอัตราค่าไฟที่ใช้ 0.92 Baht/km

(5) รถไฟฟ้าสามารถวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ย 60 km/hr ได้เป็นเวลา 0.91 hr. รวมระยะทาง 54.6 km เฉลี่ยอัตราค่าไฟที่ใช้ 1.04 Baht/km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.7 อัตราค่าไฟฟ้าชดเชยที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

ความสามารถในการประจุไฟเข้าในแบตเตอรี่ของเซลล์แสงอาทิตย์ จนเต็มพิกัด 1 ครั้ง ใช้เวลา 16 ชั่วโมง (เวลาที่รับแสงแดดต่อวัน วันละ 8 ชั่วโมง รวม 2 วัน)

กำหนดระยะเวลาในการรับแสงแดดวันละ 8 ชั่วโมง สามารถเคลื่อนที่เป็นระยะทาง และคำนวณอัตรา ค่าไฟชดเชย ได้ดังนี้

(1) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ย 20 km/hr ได้เป็นเวลา 1.835 hr. รวมระยะทาง 36.7 km อัตราค่าไฟชดเชยที่ได้ 0.77×36.7 =28.26 Baht

(2) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ย 30 km/hr ได้เป็นเวลา 1.32 hr. รวมระยะทาง 39.6 km อัตราค่าไฟฟ้าชดเชยที่ได้ 0.72×39.6 = 28.51 Baht

(3) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ย 40 km/hr ได้เป็นเวลา 0.87 hr. รวมระยะทาง 34.8 km อัตราค่าไฟฟ้าชดเชยที่ได้ 0.82×34.8 = 28.54 Baht

(4) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ย 50 km/hr ได้เป็นเวลา 0.615 hr. รวมระยะทาง 30.75 km อัตราค่าไฟฟ้าชดเชยที่ได้ 0.92×30.75 = 28.29 Baht

(5) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ย 60 km/hr ได้เป็นเวลา 0.455 hr. รวมระยะทาง 27.3 km อัตราค่าไฟฟ้าชดเชยที่ได้ 1.04×27.3 = 28.39 Baht

5.8 การหาจุดคุ้มทุนในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์

ราคาของเซลล์แสงอาทิตย์ และ ชุดอุปกรณ์การแปลงกระแส รวมทั้งสิน 80,000 บาท มีการใช้งานรถไฟฟ้าเป็นประจำทุกวัน โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์รับแสงแดดวันละ 8 ชั่วโมง (ระยะทางที่ต้องการวิ่งนอกเหนือจากความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ใช้พลังงานจากไฟบ้าน)

(1) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ยต่อวัน 20 km/hr อัตราค่าไฟชดเชยที่ได้ต่อเดือน 28.26×30 = 847.8 Baht ระยะเวลาที่จุดคุ้มทุน 7.86 ปี

(2) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ยต่อวัน 30 km/hr อัตราค่าไฟชดเชยที่ได้ต่อเดือน 28.51×30 = 855.3 Baht ระยะเวลาที่จุดคุ้มทุน 7.79 ปี

(3) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ยต่อวัน 40 km/hr อัตราค่าไฟชดเชยที่ได้ต่อเดือน 28.54×30 = 856.2 Baht ระยะเวลาที่จุดคุ้มทุน 7.79 ปี

(4) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ยต่อวัน 50 km/hr อัตราค่าไฟชดเชยที่ได้ต่อเดือน 28.29×30 = 848.7 Baht ระยะเวลาที่จุดคุ้มทุน 7.86 ปี

(5) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ยต่อวัน 60 km/hr อัตราค่าไฟชดเชยที่ได้ต่อเดือน 28.39×30 = 851.7 Baht ระยะเวลาที่จุดคุ้มทุน 7.83 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.9 แนวโน้มของจุดคุ้มทุนเมื่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองอยู่ที่ 13 เปอร์เซ็นต์ กำหนดเมื่อระยะเวลาผ่านไป ราคาและขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นค่าคงที่ ในขณะที่ประสิทธิภาพมีค่าสูงขึ้น

ตารางที่5.5 แสดงแนวโน้มจุดคุ้มทุนเมื่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น

ประสิทธิภาพ / ความเร็วเฉลี่ย	13%	19%	26%
20 km/hr	7.86	5.945	3.930
30 km/hr	7.79	5.843	3.895
40 km/hr	7.79	5.843	3.895
50 km/hr	7.86	5.945	3.930
60 km/hr	7.83	5.873	3.915

5.10 ความคุ้มค่าในการเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ตลอดอายุการใช้งาน

อายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์มีระยะเวลาประมาณ 15 – 20 ปี แต่ชิ้นส่วน กลไก อื่นๆ มีระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ยอยู่ที่ 10 ปี ดังนั้นค่าความคุ้มทุนในการเลือกในการเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์มาเป็นแหล่งพลังงานจึงอยู่ที่ระยะเวลา 10 ปี

(1) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ยต่อวัน 20 km/hr

ระยะเวลาที่จุดคุ้มทุน 7.86 ปี ค่าความคุ้มทุน 2.14 ปี

อัตราค่าไฟชดเชยที่ได้จากค่าความคุ้มทุน 847.8×25.68=21,771.5 Baht

(2) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ยต่อวัน 30 km/hr

ระยะเวลาที่จุดคุ้มทุน 7.79 ปี ค่าความคุ้มทุน 2.21 ปี

อัตราค่าไฟชดเชยที่ได้จากค่าความคุ้มทุน 855.3×26.52=22,682.4 Baht

(3) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ยต่อวัน 40 km/hr

ระยะเวลาที่จุดคุ้มทุน 7.79 ปี ค่าความคุ้มทุน 2.21 ปี

อัตราค่าไฟชดเชยที่ได้จากค่าความคุ้มทุน 856.2×26.52 =22,706.4 Baht

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ยต่อวัน 50 km/hr

ระยะเวลาที่จุดคุ้มทุน 7.86 ปี ค่าความคุ้มทุน 2.14 ปี

อัตราค่าไฟชดเชยที่ได้จากค่าความคุ้มทุน 848.7×25.68 =21,794.6 Baht

(5) รถไฟฟ้าวิ่งที่ความเร็วเฉลี่ยต่อวัน 60 km/hr

ระยะเวลาที่จุดคุ้มทุน 7.83 ปี ค่าความคุ้มทุน 2.17 ปี

อัตราค่าไฟชดเชยที่ได้จากค่าความคุ้มทุน 851.7× 26.04=22,178.3 Baht

ตารางที่5.6 แสดงความคุ้มค่าในการเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ตลอดการใช้งาน

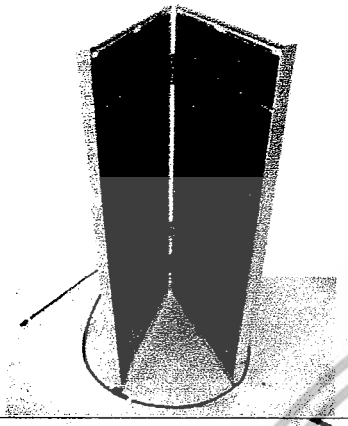
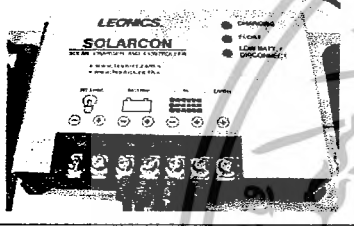
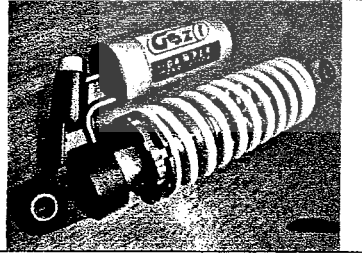
ความเร็วเฉลี่ย	ระยะเวลาที่คุ้มทุน	อายุการใช้งานหลังจากผ่านพ้นระยะเวลาที่คุ้มทุน	ค่าความคุ้มทุน
20 km/hr	7.86	2.14	21,771.5
30 km/hr	7.79	2.21	22,682.4
40 km/hr	7.79	2.21	22,706.4
50 km/hr	7.86	2.14	21,794.6
60 km/hr	7.83	2.17	22,178.3

5.11 สรุปผลการทดสอบสมรรถนะของรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

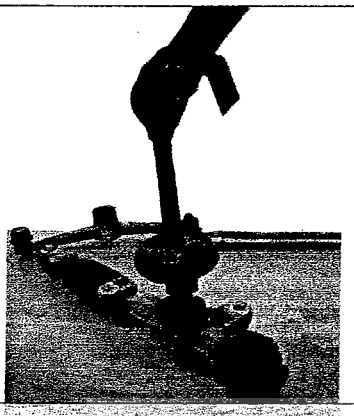
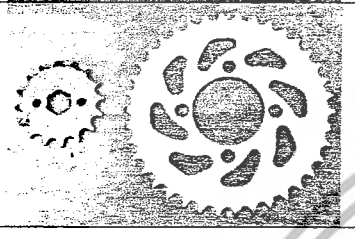
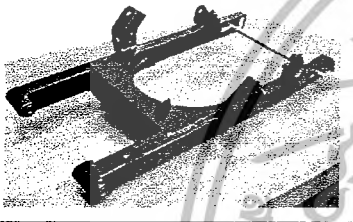
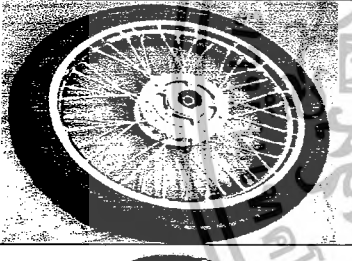
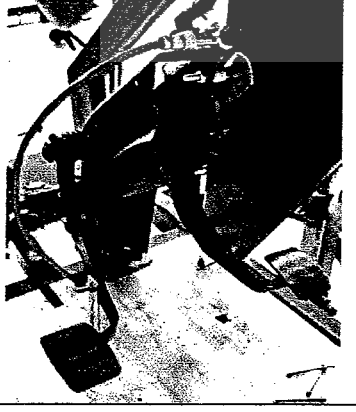
รถรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถทำความเร็วสูงสุดได้ที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงและสามรถวิ่งได้เป็นระยะเวลาประมาณ 1- 3 ชั่วโมงโดยใช้ระยะเวลาอัดประจุไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 16 ชั่วโมง 52 นาที และสามารถประหยัดค่าไฟฟ้าไปได้ประมาณ 29 บาทต่อวัน (ในกรณีที่ใช้รถทุกวัน) และระยะเวลาที่คุ้มทุนกับการใช้เซลล์แสงอาทิตย์นั้นประมาณ 8 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

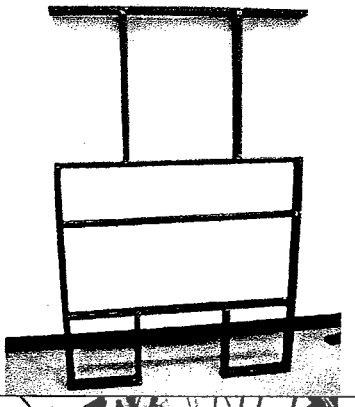
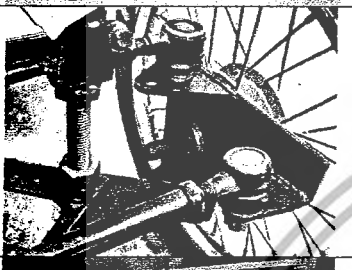
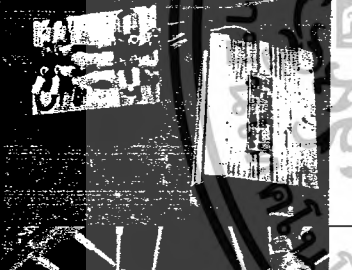
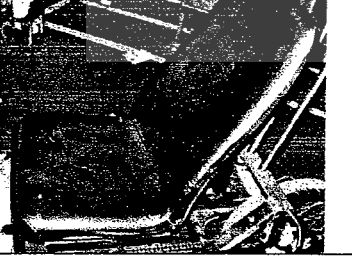
ภาคผนวก

รูปภาพ	ส่วนประกอบ	ขนาด	ราคา
	เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module) ยี่ห้อ SHARP จำนวน 4 โมดุล	ขนาด 80 watt, 17 volt, 4.7 A ประสิทธิภาพ 13 %	โมดุลละ 19,000 บาท รวม 76,000 บาท
	เครื่องควบคุมการ ประจุ (Charge Controller)	Series charge controller ,48V	4,400 บาท
	แบตเตอรี่ ยี่ห้อ YUASA จำนวน 4 ลูก	ขนาด 75A , 12 volt	ลูกละ 2,000 บาท รวม 8,000 บาท
	มอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรง (DC motor)	ขนาด 3,000 W (4hp) 48V	4,500 บาท
	โช๊คอัพ (Shock up) ยี่ห้อ Gazi จำนวน 2 คู่		คู่ละ 1,200 บาท รวม 2,400 บาท

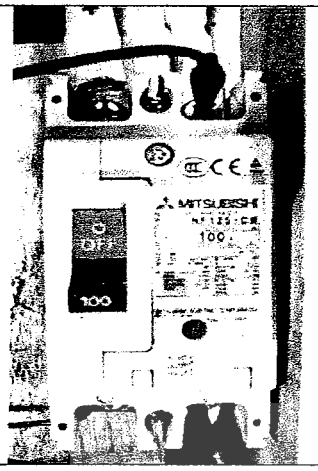
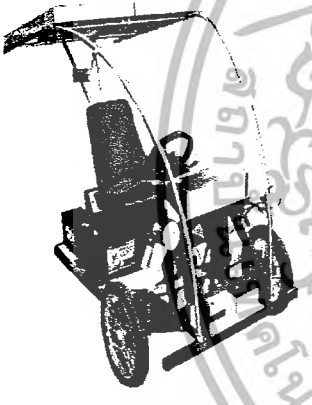
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	แกนพวงมาลัยและก้านต่อพวงมาลัย	Rack and pinion	1,000 บาท
	เฟืองขับ , เฟืองตามและโซ่	เฟืองขับ 16 ฟัน เฟืองตาม 38 ฟัน	รวม 250 บาท
	ตะเกียบหลัง, เพลาท้าย แหวนรอง		รวม 600 บาท
	ล้อจักรยานยนต์ , ดุมล้อ จำนวน 3 ล้อ	รัศมีวงล้อ 14 นิ้ว	รวม 2,200 บาท
	พวงมาลัยและคอ		900 บาท
	แท่นเหยียบคันเร่งและเบรก		1,000 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	โครงรถ ,ชิ้นส่วนเหล็กที่รองรับแบตเตอรี่ เบาะนั่งและมอเตอร์,โครงหลังคา	เหล็กกล่อง 2*1 นิ้ว จำนวน 3 เส้น, เหล็กฉาก 1 นิ้ว 1 เส้น, ท่อสแตนเลส 1นิ้ว 2 เส้น	รวม 2,800 บาท
	ลูกหมาก และคอม้า		รวม 2,400 บาท
	ชุดควบคุมมอเตอร์ (1)		
	ชุดควบคุมมอเตอร์ (2)	ชุดควบคุมความเร็วโดยการปรับค่าแรงดันอินพุต	4,500 บาท
	ระบบเบรก		รวม 2,000 บาท
	เบาะนั่ง		เฉพาะค่าหุ้มเบาะ 200 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	BREAKER ยี่ห้อ MITSUBISHI	ขนาด 220V ,200A	1,200 บาท
	อุปกรณ์ไฟฟ้า, นอต-สกรู,แผ่นไม้,สี และอื่นๆ		3,500 บาท
	รถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์		รวมทั้งสิ้น 117,850 บาท ราคาหลังหักค่าชิ้นส่วนที่ได้รับการสนับสนุน 31,450 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงมิอาจเกิดขึ้นได้ หากปราศจากความอนุเคราะห์ การเสนอแนะ จากบุคคลผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่านคณะผู้จัดทำจึงขอขอบคุณบุคคลทั้งหลายดังนี้

ผศ. พงษ์ศักดิ์	คำมูล	ผู้ให้คำปรึกษาและชี้แนะ ปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน
ผศ. มิ่ง	โลกิจแสงทอง	ผู้ให้คำปรึกษาในการคำนวณโครงสร้าง
รศ. ดร. จำลอง	ปราบแก้ว	ผู้ให้คำปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์
ผศ. ดร. จินดา	เจริญพรพาณิชย์	ผู้ชี้แนะในการทำการแก้ไขชิ้นงาน
อ. มณฑา	เทียมเมือง	ผู้อนุเคราะห์ในการให้ยืมอุปกรณ์การทำงาน
พ่อแม่ของนักศึกษาทุกท่าน		ผู้สนับสนุนเงินทุนส่วนเกิน
พี่โจ		ผู้ให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องมือเครื่องจักร
พี่เป้า		ผู้สนับสนุนโครงงานอย่างไม่เป็นทางการ
พี่เบิร์ด		ผู้แนะนำและชี้แนะเรื่องช่วงล่าง
สมาคมแม่บ้าน (แฟนของนักศึกษา)		ผู้ที่เข้าใจและเป็นห่วงเสมอมา
เพื่อน ๆ ภาคเครื่องกลทุกคน		ผู้ติชม ทดสอบ และให้กำลังใจ
ขอขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับครอบครัวซุ้มโค้ก		ผู้อำนวยความสะดวกด้านอาหารและเครื่องดื่ม

นาย คมกริช เถื่อนสุวรรณ
นาย จิตรภาณุ ล้ำเลิศธรรม
นาย จิรพัฒน์ ประไพ
นาย บรรหาร อร่ามศิริวัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] อ.มนตรี พิรุณเกษตร Vibration Engineering ระบบการสั่นสะเทือน

[2] ศ.ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และรศ.ชาญ ถนัดงาน Machine Design

[3] อ.พรจิต ประทุมวรรณ พื้นฐานการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า

[4] รศ.ธีระยุทธ์ สุวรรณประทีป วิศวกรรมยานยนต์

[5] Robert L. Norton, Machine Design An Integrated Approach, Pearson Education, 2006

[6] Jack Erjavec, Automotive Technology a systems approach, Thomson Delmar Learning, 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้