

รถยนต์ไฮบริด

HYBRID CAR



โดย

นาย ปรีชญา ประทุมมา

นาย พรทวี วิไลงาม

นาย มิตี ชำนิจ



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

.b.....

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 45982

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังให้การใช้ในเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยประการใด
วัน, เดือน, ปี 12 7 ก.พ. 2546

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
b11285196

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถยนต์ไฮบริด

HYBRID CAR

ผู้จัดทำ

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1. นาย ปรัชญา ประทุมมา | รหัสประจำตัว 41014671 |
| 2. นาย พรทวี วิไลงาม | รหัสประจำตัว 41014689 |
| 3. นาย มิตี ชำนิจ | รหัสประจำตัว 41014719 |



(Handwritten signature)

(ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

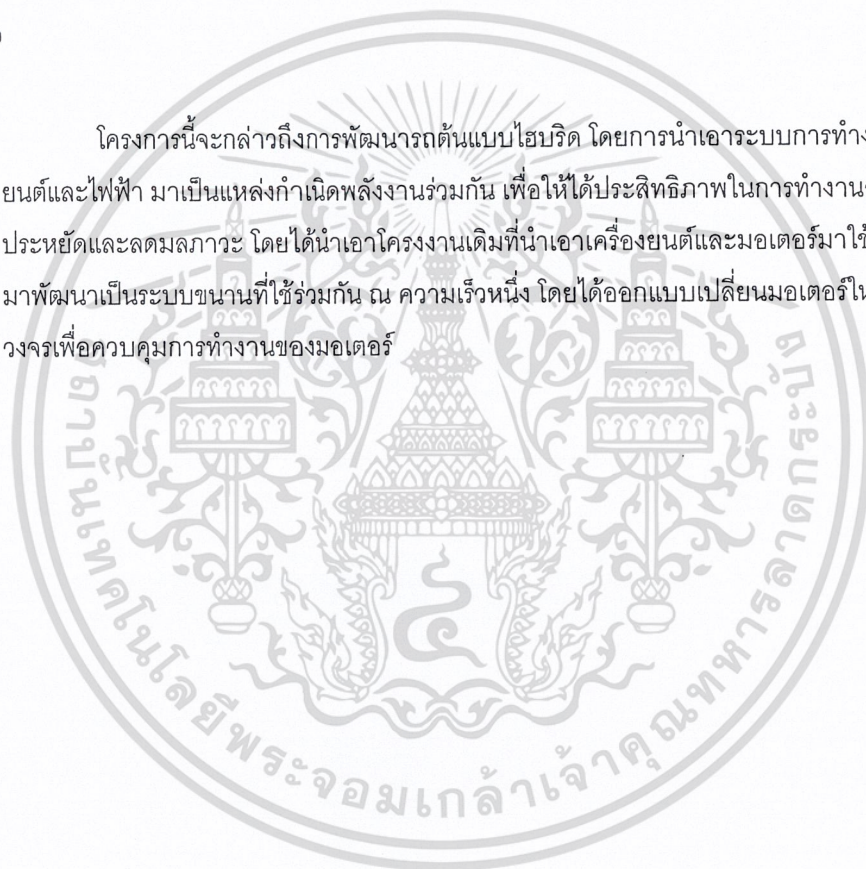
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถยนต์ไฮบริด

นาย ปรัชญา ประทุมมา รหัสประจำตัว 41014671
 นาย พรทวี วิไลงาม รหัสประจำตัว 41014689
 นาย มิตติ ชำนิจ รหัสประจำตัว 41014719
 ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
 ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

โครงการนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาเริ่มต้นแบบไฮบริด โดยการนำเอาระบบการทำงานของเครื่องยนต์และไฟฟ้า มาเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานร่วมกัน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด ทั้งยังประหยัดและลดมลภาวะ โดยได้นำเอาโครงการเดิมที่นำเอาเครื่องยนต์และมอเตอร์มาใช้แบบแยกกัน มาพัฒนาเป็นระบบขนานที่ใช้ร่วมกัน ณ ความเร็วหนึ่ง โดยได้ออกแบบเปลี่ยนมอเตอร์ใหม่ และสร้างวงจรเพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์



HYBRID CAR

Prachya Prathumma

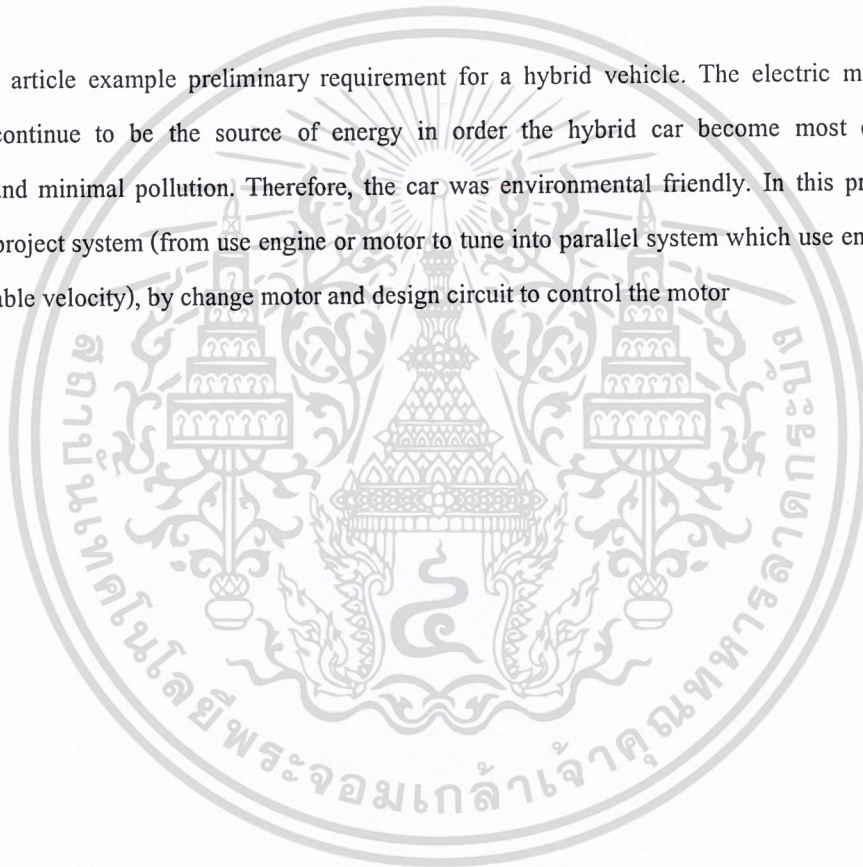
Phorntavee Wilaingam

Miti Chumnich

Chinda Charoenphonphanich Advisor

ABSTRACT

This article example preliminary requirement for a hybrid vehicle. The electric motor and battery are continue to be the source of energy in order the hybrid car become most efficient, economical and minimal pollution. Therefore, the car was environmental friendly. In this project, to develop last project system (from use engine or motor to tune into parallel system which use engine and motor at suitable velocity), by change motor and design circuit to control the motor



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ปริญญาบัตรนี้เสร็จลงได้ก็คือ ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตร ที่ได้ให้ความเอาใจใส่ คอยแนะนำ ตักเตือน และช่วยเหลือเสมอมา และอาจารย์ พงษ์ศักดิ์ คำมูล ที่ได้คำปรึกษา และคำแนะนำด้านเครื่องยนต์ ซึ่งต้องขอขอบพระคุณอย่างมาก

ทั้งนี้ยังต้องขอบคุณ น้ามณฑา พี่โก้ ที่ได้คำแนะนำทางด้านเทคนิค ตู้ก ภาคเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่คอยให้คำแนะนำทางด้านระบบส่งกำลังต่างๆ ของเครื่องยนต์ ต้น ภาคเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ข้อมูลเพิ่มเติม และดีมี ภาคเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่คอยควบคุมและแนะนำการเขียนวงจรไฟฟ้าของระบบควบคุมมอเตอร์

สุดท้ายต้องขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้มอบความรู้ต่างๆ จนกระทั่งสามารถนำความรู้นั้นมาใช้ในการดำเนินงานในโครงการรถไฟฟ้าไฮบริดจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งอาจารย์และเพื่อนๆ ที่ภาควิชาเครื่องกลทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลืออื่นๆ และเป็นกำลังใจในการดำเนินงานโครงการนี้ ขอขอบคุณจริงๆ ครับ

นาย ปรัชญา ประทุมมา

นาย พรทวี วิไลงาม

นาย มิตี ชำนิจ

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	V
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
สารบัญกราฟ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์การดำเนินงาน	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 วิธีการดำเนินการ	2
บทที่ 2 หลักการทำงานและส่วนประกอบของรถยนต์	3
2.1 เครื่องยนต์	3
2.1.1 การจุดระเบิดในเครื่องยนต์	4
2.1.2 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์	4
2.2 สารมลพิษในไอเสีย (Pollutants in the Exhaust)	5
2.2.1 สารที่พบในไอเสียของรถยนต์เบนซิน	5
2.2.2 การควบคุมพิษจากไอเสีย (Exhaust Emission Control Measures)	6
2.3 มอเตอร์กระแสตรง	8
2.3.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	8
2.3.2 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	12
2.3.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ	14
2.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับและกระแส	14
2.3.5 แรงบิด	16
2.3.6 สมการของแรงบิด	16
2.3.7 ประสิทธิภาพ	18
2.4 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)	18
2.4.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Construction)	18
2.4.2 แกนของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Core)	19
2.4.3 เครื่องหมายขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า (Polarity Marking)	20

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
2.4.4 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ (Ideal Transformer)	21
2.4.5 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ที่ใช้งานจริง (Practical Single-Phase Transformer)	22
2.5 แบตเตอรี่ (Battery)	23
บทที่ 3 การออกแบบรถไฮบริด	29
3.1 ระบบของรถไฟฟ้าไฮบริด	29
3.1.1 ระบบอนุกรม	29
3.1.2 ระบบขนาน	29
3.2 การออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของรถไฟฟ้าไฮบริด	30
3.2.1 การส่งกำลังโดยใช้โซ่	30
3.2.2 การออกแบบโซ่	30
3.3 การออกแบบเครื่องยนต์	31
3.3.1 กำลังขับเคลื่อนของรถยนต์	31
3.3.2 การสูญเสียในการส่งกำลัง	32
3.3.3 แรงต้านการหมุนของล้อ	33
3.3.4 แรงต้านอากาศ	34
3.3.5 แรงต้านทางขึ้น	39
3.3.6 แรงขับเคลื่อน	40
3.3.7 อัตราเร็วรถยนต์	42
3.3.8 กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์	42
3.3.9 การเลือกขนาดของเครื่องยนต์และมอเตอร์	43
3.4 วงจรควบคุมการทำงานในรถยนต์ไฮบริด	45
3.4.1 ชุดวงจรควบคุม	45
3.4.2 หลักการทำงานของวงจรควบคุม	46
3.4.3 ชุดหม้อแปลงชาร์ตแบตเตอรี่	47
3.4.4 ระบบติดต่อการทำงานของวงจรควบคุม	48
3.4.5 โปรแกรมควบคุมการทำงาน	48
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบของรถไฟฟ้าไฮบริด	55
4.1 วัตถุประสงค์	55
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	55
4.3 วิธีการทดสอบ	55
4.3.1 การทดสอบเครื่องยนต์	55
4.3.2 การทดสอบการใช้น้ำมัน	56

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
4.3.3 การทดสอบมอเตอร์	56
4.4 ผลการทดสอบระบบเครื่องยนต์ (โดยใช้เครื่องทดสอบ Chassis Dynamometer)	56
4.4.1 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะ (SFC, gm/kW-hr)	56
4.4.2 กำลังของรถยนต์ (km/hr)	57
4.4.3 ผลการทดสอบระบบเครื่องยนต์ (วิ่งบนถนนระยะทาง 1 กิโลเมตร)	58
4.5 ผลการทดสอบระบบไฮบริด (โดยใช้เครื่องทดสอบ CHASSIS DYNAMOMETER)	59
4.5.1 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะ (SFC, gm/kW-hr)	59
4.5.2 กำลังของเครื่องยนต์ (kW)	60
4.5.3 ผลการทดสอบระบบไฮบริด (วิ่งบนถนนระยะทาง 1 กิโลเมตร)	61
4.6 ผลการทดสอบมอเตอร์	61
4.7 ผลการทดสอบไอเสีย	62
4.8 ข้อมูลของรถยนต์ไฮบริด	64
4.9 ข้อมูลของมอเตอร์ไฟฟ้า	64
4.10 การคำนวณหาจุดคุ้มทุนระหว่างรถยนต์ MODE ธรรมดา และMODE ไฮบริด]	64
4.10.1 ข้อมูลเบื้องต้นและสูตรที่ใช้ในการคำนวณ	64
4.10.2 ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นสำหรับ MODE ไฮบริด	65
4.10.3 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการหาจุดคุ้มทุน	65
4.10.4 การคำนวณ	65
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	67
5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง	67
5.2 สรุปผลการทดลอง	67
5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดสอบ	68
5.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข	68
บรรณานุกรม	73

สารบัญแสดงรูปภาพ

	หน้าที่
บทที่ 2 หลักการทำงานและส่วนประกอบของรถยนต์	
รูปที่ 2.1 เครื่องยนต์ซึ่งทำให้เห็นการติดตั้งชิ้นส่วนประกอบภายในต่างๆ	3
รูปที่ 2.2 ลักษณะการเผาไหม้ภายนอกและภายในเครื่องยนต์	4
รูปที่ 2.3 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ	5
รูปที่ 2.4 อุปกรณ์กำจัดก๊าซพิษแบบ 3 ทาง	7
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างหม้อปรับสภาพแก๊สไอเสีย	7

สารบัญแสดงรูปภาพ(ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 2.6 ระบบการวนกลับก๊าซไอเสีย	8
รูปที่ 2.7 แสดงเปลือกหรือโครง (Frame or Yoke)ของมอเตอร์	8
รูปที่ 2.8 แสดงขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes)	9
รูปที่ 2.9 แสดงขดลวดสนามแม่เหล็ก	9
รูปที่ 2.10 แสดงแปรงถ่านและช่องถ่าน	10
รูปที่ 2.11 แสดงแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core)	10
รูปที่ 2.12 แสดงขดลวดอาร์เมเจอร์	11
รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของคอมมิวเตเตอร์	11
รูปที่ 2.14 แสดงรูปตัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	12
รูปที่ 2.15 แสดงส่วนต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้า	12
รูปที่ 2.16 แสดงกฎมือซ้ายของเฟลมมิง	13
รูปที่ 2.17 แสดงปฏิกริยาระหว่างสนามแม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กที่ขดลวดตัวนำ	13
รูปที่ 2.18 วงจรเทียบเคียงของแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ	14
รูปที่ 2.19 โมเมนต์ซึ่งลวดตัวนำอาร์เมเจอร์กระทำรอบจุดศูนย์กลาง	16
รูปที่ 2.20 แสดงให้เห็นส่วนประกอบพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า	19
รูปที่ 2.21 แสดงการพันขดลวดแบบคอร์	20
รูปที่ 2.22 แสดงการพันขดลวดแบบเชลล์	20
รูปที่ 2.23 เครื่องหมายแสดงขั้วของขดลวดหม้อแปลง	20
รูปที่ 2.24 ภาพแสดงหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบ Core type ชนิด 3 เฟส	21
รูปที่ 2.25 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ	21
รูปที่ 2.26 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริง	22
รูปที่ 2.27 แสดงองค์ประกอบของแบตเตอรี่	23
รูปที่ 2.28 แสดงการเกิดปฏิกิริยาเคมีในแบตเตอรี่	24
รูปที่ 2.29 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงตามเวลา เมื่อจ่ายไฟ 20 ชั่วโมง	25
รูปที่ 2.30 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ได้เมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน	26
รูปที่ 2.31 แสดงการใช้งานไฮโดรมิเตอร์	26
บทที่ 3 การออกแบบรถไฮบริด	
รูปที่ 3.1 แรงขับเคลื่อนและแรงต้าน	32
รูปที่ 3.2 ระบบส่งกำลังของรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลัง	33
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านการหมุนของล้อกับอัตราเร็วรถยนต์	34
รูปที่ 3.4 การเคลื่อนไหวของอากาศผ่านรถยนต์ทรงต่างๆ	35
รูปที่ 3.5 การเคลื่อนที่ของอากาศผ่านรูปทรงต่างๆ ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญแสดงรูปภาพ(ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 3.6 สัดส่วนที่เหมาะสมของวัตถุทรงหยดน้ำ	36
รูปที่ 3.7 การทดลองหาแรงต้านอากาศโดยใช้หุ่นจำลองและอุโมงค์ลม	37
รูปที่ 3.8 ความกว้างและความสูงของรถยนต์	38
รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านอากาศกับอัตราเร็วรถยนต์	38
รูปที่ 3.10 แรงต้านทางชั้น	39
รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทางชั้นกับอัตราเร็วรถยนต์	40
รูป 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทั้งหมดกับอัตราเร็วรถยนต์	40
รูปที่ 3.13 วงจรควบคุมการทำงานในรถยนต์ไฮบริด	45
รูปที่ 3.14 ชุดหม้อแปลงชาร์ตแบตเตอรี่	47
รูปที่ 3.15 วงจรประจุไฟเข้าแบตเตอรี่	47
รูปที่ 3.16 ระบบติดต่อการทำงานของวงจรควบคุม	48
รูปที่ 3.17 แสดงส่วนประกอบของ mcs-51	49
รูปที่ 3.18 แสดงลักษณะรูปแบบชุดข้อมูลของรีจิสเตอร์ PCON	50

สารบัญแสดงตาราง

	หน้าที่
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบของรถไฟฟ้าไฮบริด	55
ตารางที่ 4-1 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะที่สภาวะต่างๆ	56
ตารางที่ 4-2 แสดงค่ากำลัง(kW)ของรถยนต์ที่สภาวะต่างๆ	57
ตารางที่ 4-3 แสดงผลการทดสอบของระบบเครื่องยนต์	58
ตารางที่ 4-4 แสดงค่า sfc ของโหมดเครื่องยนต์และโหมดไฮบริด	59
ตารางที่ 4-5 แสดงกำลังของเครื่องยนต์ในโหมดเครื่องยนต์และโหมดไฮบริด	60
ตารางที่ 4-6 แสดงผลการทดสอบของระบบไฮบริด	61
ตารางที่ 4-7 แสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า	61
ตารางที่ 4-8 แสดง %gas O ₂ , CO ₂ ที่วัดได้ที่มีความเร็วรอบต่างๆ	62
ตารางที่ 4-9 แสดงปริมาณก๊าซ CO เทียบกับค่า Standards	63
ตารางที่ 4-10 แสดงค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นสำหรับ MODE ไฮบริด	65

สารบัญแสดงกราฟ

	หน้าที่
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบของรถไฟฟ้าไฮบริด	55
กราฟที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะที่สภาวะต่างๆ	57
กราฟที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบกำลัง(kW)ของรถยนต์ที่สภาวะต่างๆ	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญแสดงกราฟ(ต่อ)

	หน้าที่
กราฟที่ 4-3 เปรียบเทียบค่า sfc ระหว่างโหมคเครื่องยนต์และโหมคไฮบริด(เครื่องยนต์+มอเตอร์)59	59
กราฟที่ 4-4 เปรียบเทียบค่ากำลังของรถยนต์ใน โหมคเครื่องยนต์และโหมคไฮบริด(เครื่องยนต์+มอเตอร์)	60
กราฟที่ 4-5 แสดง%gas O ₂ , CO ₂ ที่วัดได้ที่มีความเร็วรอบต่างๆ	62
กราฟที่ 4-6 แสดงปริมาณก๊าซ CO เทียบกับค่า Standards	63



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันโลกกำลังประสบปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะต้องทำการแก้ไขโดยเฉพาะปัญหาสภาวะเรือนกระจกเป็นปัญหาสำคัญและเป็นต้นเหตุทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น สาเหตุของสภาวะเรือนกระจกเกิดได้จากหลายสาเหตุ ส่วนหนึ่งมาจากสารและแก๊สพิษ ก๊าซพิษส่วนใหญ่นั้นมาจากการสันดาปของเครื่องยนต์ที่เป็นหัวใจสำคัญในการขับเคลื่อนยานพาหนะต่างๆ ในเครื่องยนต์เบนซิน ก๊าซไอเสียส่วนใหญ่จะประกอบด้วยคาร์บอนมอนอกไซด์(CO), ไฮโดรคาร์บอน(HC),และไนโตรเจนออกไซด์(NO_x)

จากปัญหาดังกล่าว ทำให้รัฐบาลแต่ละประเทศ มีการเพิ่มมาตรการควบคุมมลภาวะให้มีปริมาณน้อยลงไปเรื่อยๆ และบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ได้ทำการผลิตพาหนะออกมาหลายประเภท พาหนะประเภทที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ (Zero Emission Vehicle: ZEV) โดยมากใช้พลังงานไฟฟ้ามาขับเคลื่อน แต่เมื่อได้มีการทดลองใช้งานแล้ว ปรากฏว่าไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากมีสาเหตุหลายๆอย่าง เช่น ราคาของรถไฟฟ้าสูงกว่ารถยนต์ทั่วไปที่ใช้งานในลักษณะเดียวกันและมีข้อจำกัด โดยเฉพาะเรื่องของแหล่งเก็บพลังงานที่ยังมีน้ำหนักมากและราคาแพง หากต้องการเก็บกระแสไฟไว้มากๆ การใช้งานเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางต่อน้ำหนักที่ต้องแบกแบตเตอรี่ไว้มากๆ จะมีน้ำหนักมากกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงหลายเท่า ทำให้รถไฟฟ้ามีการใช้งานได้ในช่วงเวลาที่จำกัด เพราะหากบรรทุกแบตเตอรี่มากเกินไปจะทำให้รถมีน้ำหนักมาก อัตราเร่งทำได้ไม่ดี จึงเกิดการพัฒนายานพาหนะที่เรียกว่ารถยนต์ไฮบริด (Hybrid car)

ค่ายรถยนต์แต่ละค่ายได้มีการพัฒนารถยนต์ไฮบริดกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแต่ละค่ายก็มีการเรียกชื่อของรถยนต์ไฮบริดของตัวเองแตกต่างกันแต่ก็มีหลักการทำงานที่เหมือนกันคือนำพลังงานไฟฟ้าและพลังงานจากเครื่องยนต์มาใช้ร่วมกัน เช่น

โตโยต้า	เรียก	พรีอุส (Prius)
ฮอนด้า	เรียก	อินไซต์ (Insight)

คณะผู้จัดทำโครงการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการทำโครงการชิ้นนี้จะเป็นแนวทางการศึกษารถไฮบริดแก่ผู้ทำวิจัยและเป็นแหล่งความรู้ที่มีค่าแก่เยาวชนไทยอย่างสูงสุด เพื่อเป็นความเจริญก้าวหน้าของประเทศไทยในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์การดำเนินงาน

1.2.1 ศึกษาการทำงานของระบบต่างๆในรถยนต์ไฮบริดซึ่งประกอบด้วย

- Engine Mode
- Electric Mode
- Hybrid Mode
- Charge Mode
- Regenerative Breaking

1.2.2 ค้นคว้าหาแนวทางในการพัฒนารถยนต์ไฮบริดต้นแบบและออกแบบระบบของรถยนต์ไฮบริดโดยมีจุดมุ่งหมายที่จะนำพลังงานจากเครื่องยนต์และ มอเตอร์ไฟฟ้ามาขับเคลื่อนรถยนต์ร่วมกัน เพื่อเพิ่มกำลังของรถยนต์และประหยัดเชื้อเพลิง

1.2.3 ทดสอบและบันทึกค่าต่างๆของรถยนต์ไฮบริด

1.3 ขอบเขตของโครงการ

ในการศึกษาและจัดทำรถยนต์ไฮบริดในครั้งนี้ เป็นการนำรถยนต์ไฮบริดต้นแบบซึ่งมีระบบการทำงานเพียงสองระบบคือระบบเครื่องยนต์และระบบมอเตอร์ไฟฟ้าเท่านั้น มาพัฒนาโดยการออกแบบระบบส่งกำลังใหม่ให้สามารถใช้งานแบบไฮบริดได้ซึ่งก็คือการนำพลังงานจากเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้ามาขับเคลื่อนรถยนต์ร่วมกันนั่นเอง และจัดทำระบบการประจุไฟฟ้าเพิ่มเติมเข้าไปอีกด้วย

1.4 วิธีการดำเนินการ

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับรถยนต์ไฮบริดจากแหล่งข้อมูลต่างๆ
2. ศึกษาระบบต่างๆที่มีอยู่ในรถยนต์ไฮบริดต้นแบบ
3. ออกแบบและคำนวณระบบส่งกำลังที่จะนำมาใช้ในรถยนต์ไฮบริด
4. จัดทำระบบต่างๆซึ่งประกอบอยู่ในรถยนต์ไฮบริด
5. จัดทำชุดควบคุมที่ใช้ควบคุมระบบต่างๆในรถยนต์ไฮบริด
6. จัดทำชุดชาร์ตแบตเตอรี่ที่สามารถเสียบชาร์ตเข้ากับบ้านได้
7. ทำการทดสอบและเก็บบันทึกค่าของระบบต่างๆในรถยนต์ไฮบริด
8. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดสอบเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

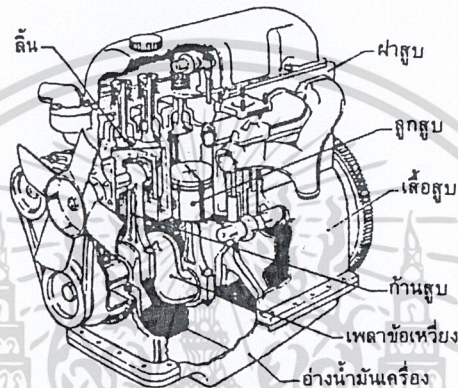
บทที่ 2

หลักการทํางานและส่วนประกอบของรถยนต์

ส่วนประกอบของรถยนต์ไฮบริด

2.1 เครื่องยนต์

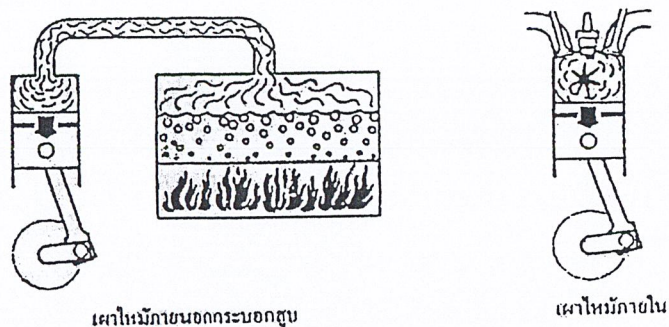
เครื่องยนต์ (Engine) นิยมใช้เครื่องยนต์ลูกสูบสันดาปภายใน (reciprocating piston internal combustion engine) เป็นตัวผลิตกำลังและทอร์คขับเคลื่อนล้อให้รถแล่นไปได้



รูปที่ 2.1 เครื่องยนต์ซึ่งแสดงให้เห็นการติดตั้งชิ้นส่วนประกอบภายในต่างๆ

เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) หมายถึง เครื่องยนต์ที่เกิดการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงขึ้นภายในตัวเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ทั่วไป เป็นเครื่องยนต์ลูกสูบแล่นกลับไปกลับมา (Reciprocation Piston Engine) ลูกสูบส่งแรงผ่านเพลาค้อเหวี่ยงออกไปใช้งาน

หลักการพื้นฐานของเครื่องยนต์แบบนี้คือ การนำเอาเชื้อเพลิง อากาศ และความร้อนบรรจุเข้าภายในเครื่องยนต์ เมื่อส่วนประกอบการสันดาปทั้ง 3 เข้าไปอยู่ในเครื่องยนต์พร้อมกันแล้ว ก็เกิดการจุดระเบิด (Ignition) เกิดการเผาไหม้ขึ้น ส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศหรือไอดี (Air-fuel Mixture) ที่เกิดการติดไฟลุกไหม้อย่างรวดเร็วและรุนแรงนี้จะเกิดการขยายตัวแล้วพยายามดันออกมาภายนอก ความดันนี้จะส่งแรงไปดันชิ้นส่วนเครื่องยนต์ และส่งต่อออกไปหมุนขั้วงานต่างๆ ตามต้องการ แรงขับเคลื่อนนี้เรียกว่า แรงบิดเครื่องยนต์ (Engine Torque)



รูปที่ 2.2 ลักษณะการเผาไหม้ภายนอกและภายในเครื่องยนต์

2.1.1 การจุดระเบิดในเครื่องยนต์

จากลักษณะการจุดระเบิด หรือการให้ความร้อนเพื่อเกิดการสันดาปขึ้นในห้องสูบมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. การจุดระเบิดด้วยประกายไฟ (Sparking Ignition)

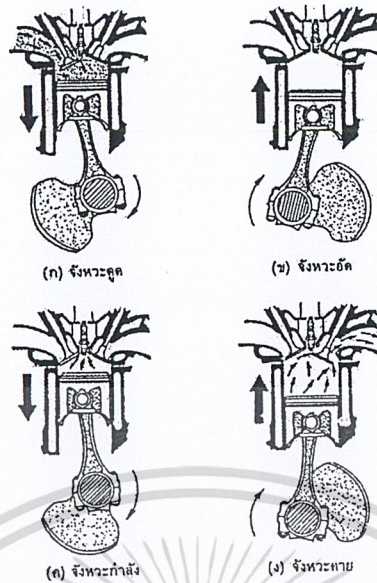
เครื่องยนต์แบบนี้จะใช้หัวเทียน (Sparking Ignition) เป็นตัวจุดประกายไฟในห้องเผา เพื่อให้เกิดการจุดระเบิดเชื้อผสมขึ้น เรียกเครื่องยนต์แบบนี้ว่า เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (Sparking Ignition) หรือเรียกว่า เครื่องยนต์ออตโต (Otto Engine)

2. การจุดระเบิดด้วยการอัดอากาศ (Compression Ignition)

ก่อนที่จะนำเชื้อเพลิงเข้าไปจะทำการอัดอากาศให้ร้อนเต็มที่จนถึงอุณหภูมิที่เป็นจุดวาบไฟ (Flash Point) ของเชื้อเพลิง แล้วใช้หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปเกิดการจุดลุกติดไฟเป็นการเผาไหม้ขึ้น เรียกเครื่องยนต์แบบนี้ว่า เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดอากาศ (Compression Ignition Engine) นิยมเรียกว่า เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine)

2.1.2 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์

การทำงานของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบ่งออกเป็น 4 จังหวะ ซึ่งได้แก่ จังหวะดูด จังหวะอัด และจังหวะคาย เครื่องยนต์จะต้องหมุน 2 รอบจึงจะครบวัฏจักร (Cycle) ที่ทำงานของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ทำงาน 4 จังหวะดังกล่าวเรียกว่า เครื่องยนต์วัฏจักร 4 จังหวะ (Four Stroke-Cycle Engine) หรือเรียกสั้นๆ ว่า เครื่องยนต์ 4 จังหวะ



รูปที่ 2.3 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

1. **จังหวะดูด (Intake Stroke)** ในช่วงจังหวะดูด ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลงวาล์วไอดีเปิดออก และไอดีถูกดูดให้ไหลเข้ากระบอกสูบ ทั้งนี้เพราะว่าในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงจะเกิดสุญญากาศในกระบอกสูบ ทำให้เกิดแรงดูดไอดีเข้ากระบอกสูบ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงจุดต่ำสุด วาล์วไอดีจะปิด
 2. **จังหวะอัด (Compression Stroke)** หลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ถึงจุดต่ำสุดแล้วก็จะเคลื่อนที่ขึ้น วาล์วไอดีและวาล์วไอเสียปิด ไอดีภายในกระบอกสูบจะถูกอัดให้มีปริมาตรเล็กลงจึงเรียกว่า จังหวะอัด
 3. **จังหวะกำลัง (Power Stroke)** ในระหว่างจังหวะกำลัง วาล์วไอดีและวาล์วไอเสียยังคงปิดอยู่ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ใกล้ศูนย์ตายบนในจังหวะอัด จะเกิดประกายไฟที่หัวเทียน และเริ่มการจุดระเบิดเผาไหม้ไอดี ในขณะที่เดียวกันลูกสูบจะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งศูนย์ตายบนและเริ่มเคลื่อนที่ลง ในระหว่างการเผาไหม้ จะเกิดความดันสูงกระทำต่อลูกสูบให้เคลื่อนที่ลงและถ่ายทอดผ่านก้านสูบไปสู่เพลาช้อเหวี่ยง
 4. **จังหวะคาย (Exhaust Stroke)** เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ใกล้ถึงศูนย์ตายล่าง วาล์วไอเสียจะเปิดออก หลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ผ่านศูนย์ตายล่างแล้วก็จะเคลื่อนที่ขึ้น และไล่ไอเสียออกจากกระบอกสูบทางวาล์วไอเสีย จึงเรียกว่า จังหวะคาย
- เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ผ่านศูนย์ตายบนแล้วก็จะเริ่มเคลื่อนที่ลง วาล์วไอเสียปิด และวาล์วไอดีจะเปิดออก เพื่อเริ่มต้นจังหวะดูดอีกครั้งหนึ่ง

2.2 สารมลพิษในไอเสีย (Pollutants in the Exhaust)

2.2.1 สารที่พบในไอเสียของรถยนต์เบนซิน

1. แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งเป็นแก๊สที่มีพิษมากและเป็นแก๊สที่มีสัดส่วนค่อนข้างมาก

เอกสารในแก๊สไอเสีย จึงเป็นแก๊สที่มีอันตรายมากเป็นพิเศษศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ (Unburnt Hydrocarbon) ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ หรือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลายๆอย่างที่แตกต่างกัน ส่วนประกอบเหล่านี้เป็นตัวสนับสนุนให้เกิดระเบิดได้ และมีกลิ่นเหม็น

3. แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO₂ Gas) แก๊สไนโตรเจนออกไซด์มีสีน้ำตาลแดงและมีพิษอย่างรุนแรงด้วยในที่มีความเข้มข้นมากกว่า 150 ส่วนในล้านส่วน (150 ppm) จะทำให้เกิดการระคายเคืองอย่างแรงต่ออวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ

นอกจากนี้ยังมีสารมลพิษอื่นๆ ในไอเสียของเครื่องยนต์ เช่น ออกไซด์ของกำมะถัน กรดคาร์บอนแอมโมเนีย เกิดขึ้นในระดับความเข้มข้นต่ำซึ่งไม่เป็นพิษอย่างรุนแรงหรืออันตรายต่อสุขภาพ

2.2.2 การควบคุมพิษจากไอเสีย (Exhaust Emission Control Measures)

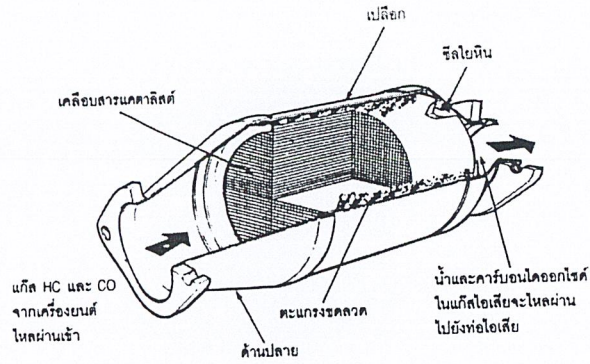
การลดระดับสารพิษในไอเสีย เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอนและออกไซด์ของไนโตรเจน มีกระบวนการที่ได้มีการพัฒนาและนำมาใช้ดังลำดับต่อไปนี้

1. การใช้คาร์บูเรเตอร์ควบคุมมลพิษ (Pollution-control Carburetors) ซึ่งเป็นคาร์บูเรเตอร์ที่ติดตั้งระบบเครื่องยนต์เดินเบา (Idling Systems) และระบบเครื่องยนต์เดินเร็วเกิน (Overrun Systems) เช่น ขณะรถแล่นลงจากเขาซึ่งจะต้องตัดการจ่ายน้ำมันเบนซินเป็นการรักษาความถูกต้องและความคงที่ของอัตราผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเบนซิน

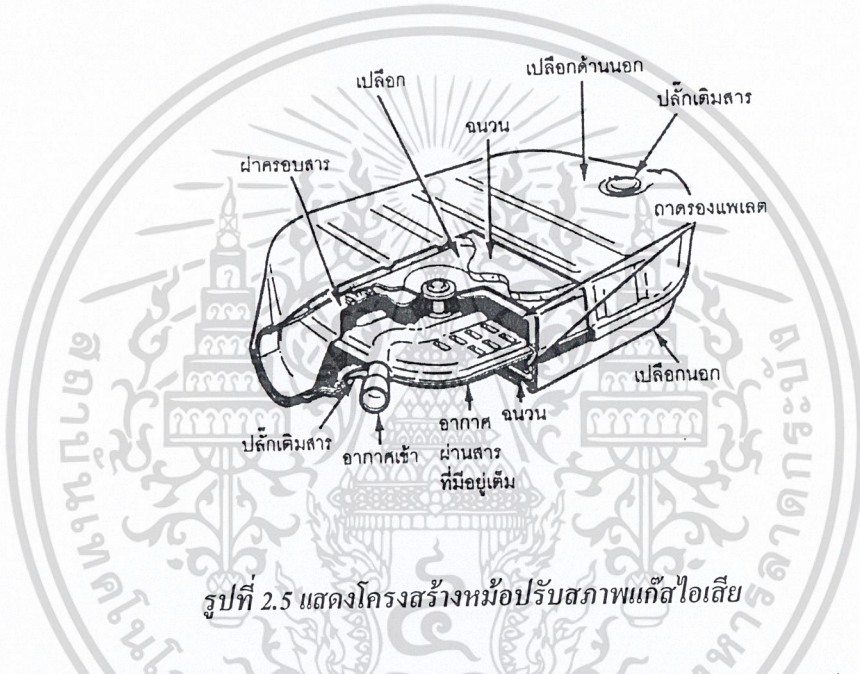
2. การใช้ระบบหัวฉีดน้ำมันเบนซิน (Fuel Injection Systems) ซึ่งเป็นระบบที่ทำการส่งน้ำมันเบนซินเข้าผสมกับอากาศเป็นเชื้อระเบิดเข้าห้องสูบโดยการฉีด ทำให้อัตราผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเบนซินสามารถที่จะควบคุมให้เกิดขึ้นอยู่ในสภาพที่เหมาะสมทุกสภาวะของการทำงานของเครื่องยนต์ และความต้องการการลดมลพิษไอเสีย

3. ปรับปรุงการหมุนวนของส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเบนซิน ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีขึ้น โดยการออกแบบอย่างรอบคอบในการสร้างท่อไอดีและห้องเผาไหม้ ทำให้การควบคุมองศาจุดระเบิด (Ignition Timing) เป็นไปอย่างเที่ยงตรงดีที่สุดในได้

4. การใช้อุปกรณ์กำจัดก๊าซพิษ (Catalytic Converter) ซึ่งเป็นตัวลดมลพิษในไอเสียไปเป็นสารที่ไม่มีพิษ อย่างไรก็ตามชิ้นส่วนชุดนี้มีราคาค่อนข้างแพงและเป็นการเสี่ยงต่อสิ่งสกปรกที่เกิดขึ้นหรือเกิดสิ่งมีพิษขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีตะกั่วอยู่ในน้ำมันเบนซิน เพราะสารตะกั่วจะเคลือบบนเม็ดสารประกอบในอุปกรณ์ ทำให้อุปกรณ์ไม่สามารถทำงานได้



รูปที่ 2.4 อุปกรณ์กำจัดก๊าซพิษแบบ 3 ทาง

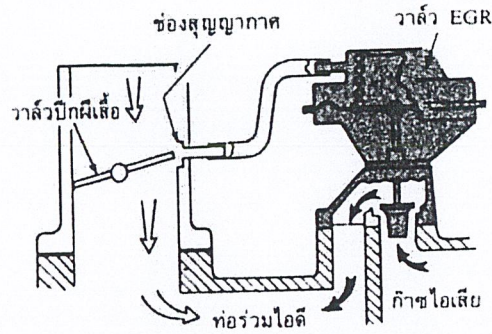


รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างหม้อปรับสภาพแก๊สไอเสีย

5. การให้ความร้อนการเผาไหม้ (Thermal Afterburning) หรือ การเผาไหม้ซ้ำ (Recombustion) ทำการเป่าลมจากปั๊มลมที่ขับหมุนจากเครื่องยนต์เข้าไปในก๊าซไอเสียทันทีที่ออกจากกระบอกสูบ ด้วยวิธีการนี้จะเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เป็นพิษให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นพิษและเกิดการเผาผลาญไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ที่หลงเหลืออยู่ให้หมดสิ้นไปได้มากขึ้น

6. การวนกลับก๊าซไอเสีย (Exhaust Gas Recirculation : EGR) โดยการให้ไอเสียส่วนหนึ่งไหลวนกลับเข้าไปในท่อร่วมไอดีของเครื่องยนต์ จะทำให้เกิดการลดออกไซด์ของไนโตรเจนลง แต่ก็ทำให้เกิดการลดกำลังของเครื่องยนต์ลงด้วย

7. การลดกำลังเครื่องยนต์จำเพาะต่อลิตรลง (Reducing the Specific Output Power per Litre) ลดอัตราส่วนกำลังเครื่องยนต์ต่อความจุลงแล้วเครื่องยนต์จะผลิตออกไซด์ของไนโตรเจนน้อยลง และทำให้มีความต้องการตะกั่วที่เป็นตัวดำเนินการน้อยกว่าในน้ำมันเบนซินลดลงด้วย



รูปที่ 2.6 ระบบการวนกลับก๊าซไอเสีย

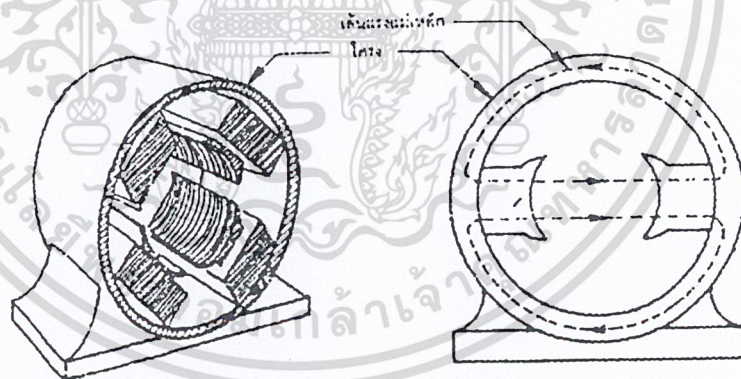
2.3 มอเตอร์กระแสตรง

2.3.1 โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มีโครงสร้างประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

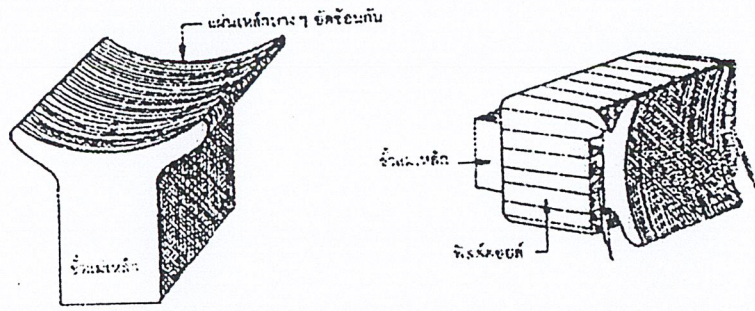
1. ส่วนอยู่กับที่ (Stator Part) ประกอบด้วย

1. เปลือกหรือ โครง (Frame or Yoke) ทำมาจากเหล็กหล่อ หรือสารแม่เหล็ก ทำหน้าที่คือ
 - ยึดขั้วแม่เหล็กและส่วนประกอบทั้งหมด
 - เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic Circuit)



รูปที่ 2.7 แสดงเปลือกหรือโครง (Frame or Yoke) ของมอเตอร์

2. ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) ทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆ (Laminate Sheet Steel) อัดซ้อนเข้าด้วยกัน โดยแต่ละแผ่นจะเคลือบไว้ด้วยฉนวน ขั้วแม่เหล็กนี้จะยื่นออกมาจากโครง โดยขั้วแม่เหล็กนี้จะถูกยึดเข้ากับโครงด้วยสกรู ลักษณะของขั้วแม่เหล็กแสดงได้ดังรูป



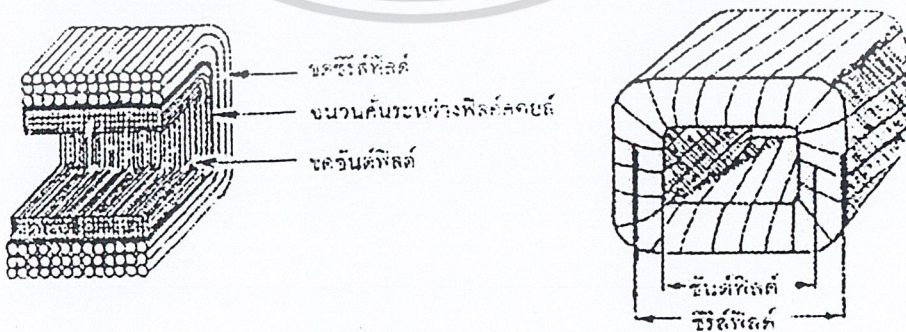
รูปที่ 2.8 แสดงขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes)

3. ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil or Field Winding) หรือเรียกว่าขดลวดฟิลด์คอยล์ เป็นขดลวดตัวนำที่พันไว้รอบขั้วแม่เหล็ก ขดลวดสนามแม่เหล็กจะพันจากแบบภายนอก แล้วสวมเข้าขั้วแม่เหล็ก ซึ่งขั้วแม่เหล็กสามารถถอดออกได้ และจะทำให้ปิดฝาครอบหัวท้ายไม่ได้อีกด้วย ขดลวดสนามแม่เหล็กทำหน้าที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ขดลวดฟิลด์คอยล์มี 2 ชนิดคือ

-ขดลวดชั้นต์ฟิลด์ (Shunt Field or Shunt Winding) ขดลวดนี้จะพันด้วยเส้นลวดเส้นเล็ก ดังนั้นความต้านทานจะสูง

-ขดลวดซีรีส์ฟิลด์ (Series Field or Series Winding) ขดลวดนี้จะพันด้วยเส้นลวดเส้นใหญ่ ดังนั้นความต้านทานจะต่ำ

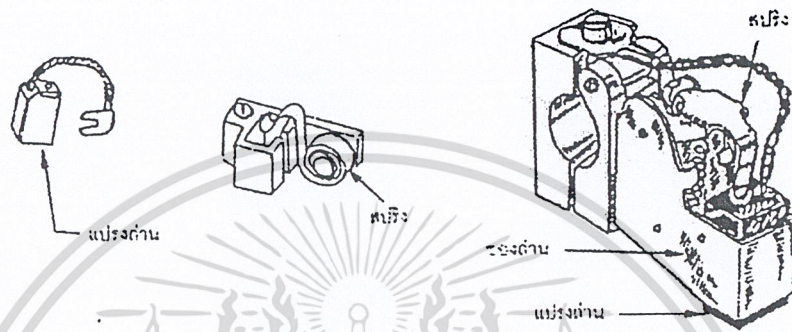
ขดลวดทั้งสองชนิดนี้พันอยู่บนแกนลวดแม่เหล็กอันเดียวกัน โดยขดลวดชั้นต์ฟิลด์จะพันอยู่ด้านในสุดส่วนซีรีส์ฟิลด์จะพันไว้ด้านนอกสุดและมีรอบเพียงเล็กน้อย จะต้องมีความชันระหว่างขดลวดซีรีส์ฟิลด์กับขดลวดชั้นต์ฟิลด์ดังแสดงในรูป ขดลวดทั้งสองรูปจะต้องพันในทิศทางเดียวกัน และขดลวดในแต่ละชนิดนั้นจะต้องต่ออนุกรมเข้าด้วยกันระหว่างแม่เหล็กให้ถูกต้องด้วยเพราะจะทำให้ขั้วแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือและขั้วใต้สลับกันไป ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.9 แสดงขดลวดสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 แปรงถ่านและแปรง (Brushes or Bearing) แปรงถ่านทำหน้าที่เป็นสะพานไฟจากคอมมิวเตเตอร์ไปยังวงจรถายนอก แปรงถ่านทำมาจากคาร์บอนอัดแน่นจะมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าบรรจุอยู่ในช่องถ่าน โดยที่แปรงถ่านนี้จะมีขดลวดทองแดงถักติดอยู่ด้วยเพื่อต่อไฟออกไปใช้งาน และถูกกดด้วยสปริงให้สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ตลอดเวลา และช่องถ่านจะถูกยึดติดกับฝาครอบ ส่วนแปรงหรือลูกปืนนั้นจะเป็นตัวรับน้ำหนักทั้งหมดที่ได้รับจากตัวหมุน และช่วยลดแรงเสียดทานของเพลลา

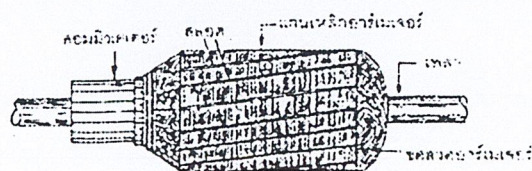
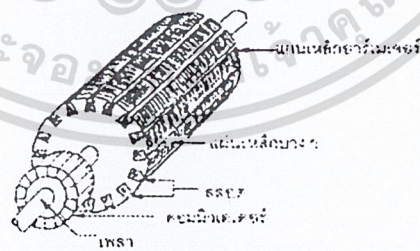


รูปที่ 2.10 แสดงแปรงถ่านและช่องถ่าน

5 ฝาปิดหัวท้ายหรือฝาครอบ (End Plate) ทำมาจากเหล็กหล่อเช่นเดียวกับโครง ทำหน้าที่รองรับเพลลาของส่วนหมุน และยึดช่องถ่าน

2 ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor Part) ประกอบด้วย

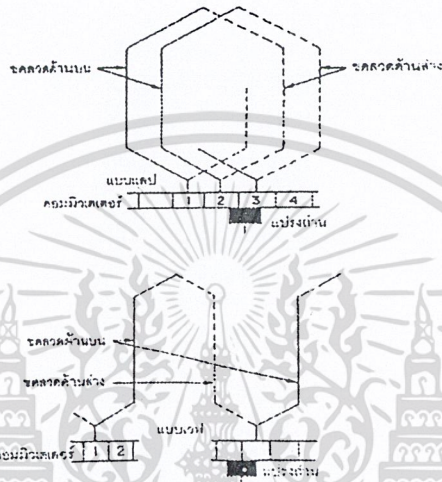
1 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core) ทำมาจากแผ่นเหล็กบาง ๆ ที่ด้านหนึ่งฉาบด้วยฉนวนอัดขึ้นด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอกเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากฮีสเตอร์ซิส และกระแสไหลวนในแกนเหล็กอาร์เมเจอร์นี้ทำเป็นช่องสลอตไว้



รูปที่ 2.11 แสดงแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature Core)

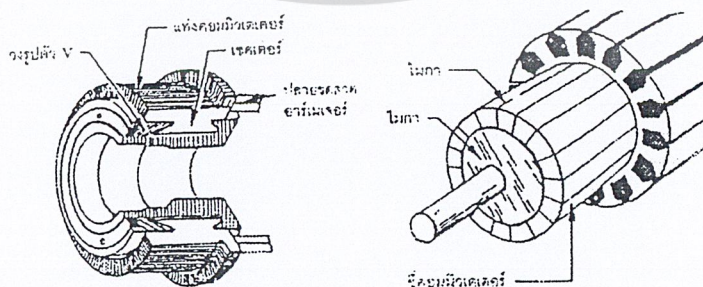
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Coil or Armature Winding) คือขดลวดที่บรรจุลงในช่องสลอตของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ โดยขดลวดนั้นทำมาจากลวดทองแดงอาบฉนวน ขดลวดอาร์เมเจอร์จะนิยมพันจากแบบภายนอกแล้วจึงนำไปบรรจุลงในสลอต เพราะจะทำให้ขดลวดแต่ละขดมีความยาวและมีน้ำหนักสมดุลไม่เกิดการแกว่งขณะหมุน ขดลวดอาร์เมเจอร์มีการพันเป็นแบบแลปหรือแบบเวฟ ปลายของขดลวดจะถูกนำมาต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.21



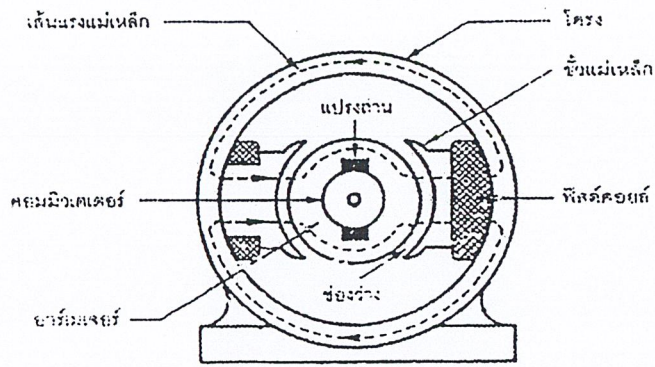
รูปที่ 2.12 แสดงขดลวดอาร์เมเจอร์

3 คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นในขดลวดให้กลายเป็นกระแสตรง คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงที่มีลักษณะคล้ายลิ้ม เพื่อให้สามารถนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก คอมมิวเตเตอร์แต่ละอันนั้นเรียกว่าซี่ และในระหว่างซี่ทองแดงแต่ละซี่จะกันไว้ด้วยฉนวนหนาแข็งแรง และคอมมิวเตเตอร์นี้จะยึดติดไว้บนเพลลาอันเดียวกัน

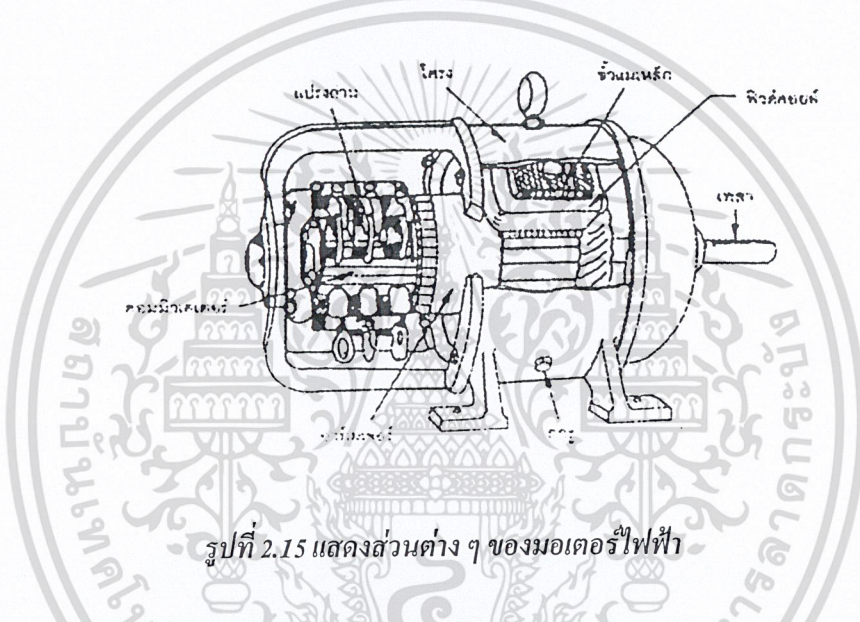


รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะของคอมมิวเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงรูปตัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

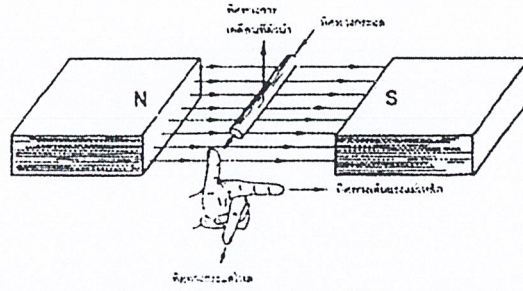


รูปที่ 2.15 แสดงส่วนต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้า

2.3.2 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

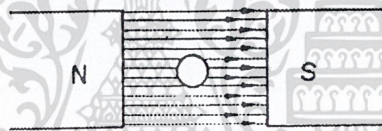
เมื่อมีขดลวดตัวนำหมุนตัดกับสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ขึ้นในขดลวดตัวนำ และทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดตัวนำจะไหลในทิศทางที่ต้านการหมุนของขดลวดตัวนำ ซึ่งกฎในเรื่องทิศทางไหลของกระแสไฟฟ้านี้เรียกว่ากฎของเลนซ์

การพิจารณาการหมุนของมอเตอร์จะหมุนไปทางใดนั้น พบว่าถ้าทราบทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก ทิศทางการไหลของกระแสในตัวนำ จะทำให้ทราบทิศทางการหมุนของขดลวดตัวนำได้ จากความสัมพันธ์ดังกล่าว เรียกว่ากฎของเฟลมมิ่ง สามารถหาได้โดยการใช้มือซ้าย การนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางให้ตั้งฉากกัน ให้นิ้วหัวแม่มือชี้ทิศทางเคลื่อนที่ของตัวนำ นิ้วชี้ชี้ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก และนิ้วกลางชี้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในตัวนำ



รูปที่ 2.16 แสดงกฎมือซ้ายของเฟลมมิง

ถ้าขดลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ลวดตัวนำนั้น ดังนั้น ถ้าขดลวดตัวนำนี้วางอยู่ในสนามแม่เหล็กอื่น สนามแม่เหล็กทั้งสองจะทำปฏิกิริยากันทันที โดยที่เส้นแรงแม่เหล็กนั้นจะไม่ตัดกัน ดังนั้นจึงทำให้เส้นแรงแม่เหล็กนั้นเกิดผลกักกันเป็นเหตุให้ที่ด้านหนึ่งจะมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมาก ส่วนอีกด้านหนึ่งเส้นแรงแม่เหล็กหนีห่างออกไปจากกัน ผลก็คือจะมีสนามแม่เหล็กหนาแน่นมากที่ด้านหนึ่ง และจะมีความหนาแน่นน้อยอีกด้านหนึ่ง



รูปที่ 2.17 แสดงปฏิกิริยาระหว่างสนามแม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กที่ขดลวดตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ

เมื่อมอเตอร์กระแสตรงหมุน ลวดตัวนำแต่ละเส้นซึ่งมีกระแสไหลผ่านจะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กจากแม่เหล็กใหญ่ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นมาจำนวนหนึ่งในทิศทางที่สวนกับทิศทางของกระแสที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ลองพิจารณาทิศทางของการเคลื่อนที่กลับดังรูปที่ 2.27

$$E_b = (p\&)(n/60) (Z/a) \tag{2.1}$$

- เมื่อให้
- & = จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งขั้วแม่เหล็ก
 - Z = จำนวนเส้นลวดตัวนำทั้งหมดบนอาร์เมเจอร์
 - P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก
 - A = จำนวนวงจรรขานระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ
 - n = จำนวนรอบต่อการหมุนต่อนาที



รูปที่ 2.18 วงจรเทียบเคียงของแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ

จากสมการ 2.1 เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับแปรผันโดยตรงกับจำนวนรอบหมุนของมอเตอร์ ดังนั้นในกรณีที่มอเตอร์ยังไม่เริ่มหมุน แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับจะมีค่าเท่ากับ 0 ด้วย กำหนดมอเตอร์ดีซีขนาด 4 kW 200 V ความต้านทานภายในของอาร์เมเจอร์ 0.5 Ω ถ้าป้อนไฟดีซีจากแหล่งจ่าย 200 V ให้กับมอเตอร์ในสภาพหยุดหมุน จะเห็นว่ากระแสไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ทันทีถึง 400 A แต่เนื่องจากกระแสไฟที่ไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ แม้ที่ตำแหน่งโหลดเต็มจะมีขนาดน้อยกว่านี้มากประมาณ 25A เป็นอย่างสูง การที่กระแสซึ่งไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ ขณะที่ยังหยุดด้วยขนาดของกระแสเพียง 25A ได้นั้น เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับที่เกิดขึ้นนี้จะพยายามต้านการจ่ายกระแสจากแหล่งจ่ายไฟดีซี

2.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับและกระแส

เมื่อกำหนดให้ V คือ แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟดีซีระหว่างคู่แปรงถ่าน

E_b คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ

r_a คือ ความต้านทานภายในวงจรของอาร์เมเจอร์

I_a คือ กระแสอาร์เมเจอร์

จากรูปที่ 2.27 จะได้ว่า

$$I_a = (V - E_b) / r_a \quad (2.2)$$

ค่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับนี้จะมีค่าไม่เท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่เกิดขึ้น สามารถเขียนเปรียบเทียบได้เหมือนกับในอาร์เมเจอร์นั้นมีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงซ่อนอยู่ และจ่ายไฟออกมาตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปดังรูป 2.28

จากรูปที่ 2.28 เป็นมอเตอร์กระแสตรงอย่างง่าย ซึ่งประกอบด้วยขดลวดที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กโดยปลายขดลวดทั้งสองต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ด้านละซี่ ซึ่งจะมีแปรงถ่านต่อไว้ และแปรงถ่านทั้งสองต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจากภายนอก ขดลวดตัวนำนั้นจะต้องหมุนอยู่ในสนามแม่เหล็กด้วย

กรณีที่มอเตอร์ทำงานที่โหลดเต็มที่แรงดันตกคร่อม $I_a r_a$ จะมีค่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ของ V ขณะที่มอเตอร์หยุดหมุนเนื่องจาก $E_b = 0$ จะได้

$$I_s = V / r_a \quad (2.4)$$

โดยที่ I_s คือ กระแสตอนเริ่มเดินเครื่องมีหน่วยเป็นแอมแปร์

จากสมการที่ 2.2 และ 2.4 สามารถอธิบายได้ว่า ขณะที่มอเตอร์ยังไม่เริ่มหมุน เมื่อป้อนไฟดีซีจะมีกระแสจำนวนมากในขดลวดอาร์เมเจอร์ มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบสูงในทันที ทำให้ E_b มีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว กระแสในอาร์เมเจอร์จะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนมีค่าคงที่ในที่สุด

สมการเอาต์พุตของอาร์เมเจอร์

จากสมการที่ 2.3 เมื่อคูณด้วย I_a จะได้

$$E_b I_a = V I_a - I_a^2 r_a$$

เมื่อหักการสูญเสียออกจากกำลังอินพุตที่ป้อนแล้วจะได้เป็น $E_b I_a$ ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าส่วนที่เปลี่ยนแปลง

ไปเป็นกำลังกลในอาร์เมเจอร์ กำหนดให้เป็น P_{ar} ดังนั้นจะได้

$$P_{ar} = E_b I_a \quad (2.5)$$

กำลังกลบางส่วนจะสูญเสียไปในรูปแบบของการสูญเสียทางกล และการสูญเสียในแกนเหล็กจึงไม่สามารถปรากฏออกมาให้เห็นได้หมด จากสมการที่ 2.1

$$E_b = (P/a)(n/60)(Z_c) (\&)$$

เนื่องจากมอเตอร์ซึ่งสร้างสำเร็จรูป นอกจาก n และ $\&$ แล้วค่าอื่น ๆ จะมีค่าคงที่ทั้งหมดจึงสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$E_b = Kn \& \quad (2.6)$$

โดยที่ $K = (P/a) (Z_c/60)$

เมื่อคูณ I_a ตลอดจะได้

$$E_b I_a = Kn \& I_a = P_{ar} \quad (2.7)$$

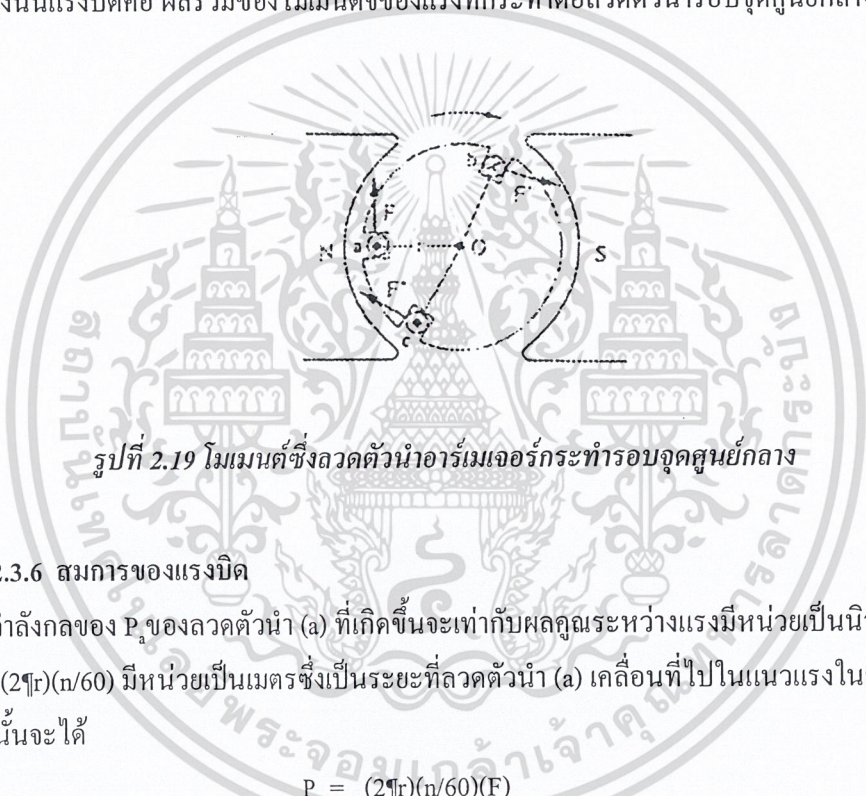
2.3.5 แรงบิด

แรงที่กระทำบนขดลวดตัวนำ ซึ่งห่างจากจุดศูนย์กลางเป็นระยะ r (หน่วยเป็นเมตร) ในทิศทางสัมผัสกับเส้นรอบวงของแกนอาร์เมเจอร์ ที่ตำแหน่งนี้กำหนดให้มีค่าเป็น F นิวตัน ดังนั้นแรงที่กระทำบนขดลวดตัวนำนี้จะมีโมเมนต์เท่ากับ $F \times r$ ซึ่งจะพยายามขับเคลื่อนแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ให้หมุนเคลื่อนไป แต่เนื่องจากในแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ มีสล็อตจำนวนมาก และแต่ละสล็อตก็มีขดลวดตัวนำเป็นจำนวนมากเช่นกัน ดังนั้นแรงที่กระทำบนขดลวดตัวนำทั้งหมด จะมีโมเมนต์ซึ่งพยายามขับเคลื่อนแกนเหล็กให้หมุนไปในทิศทางเดียวกัน จะได้ผลรวมของโมเมนต์ดังนี้

$$T_a = (Fr + F'r + F''r + \dots)$$

โดยที่ T_a คือแรงบิดที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็น N-m

ดังนั้นแรงบิดคือ ผลรวมของโมเมนต์ของแรงที่กระทำต่อขดลวดตัวนำรอบจุดศูนย์กลาง



รูปที่ 2.19 โมเมนต์ซึ่งขดลวดตัวนำอาร์เมเจอร์กระทำรอบจุดศูนย์กลาง

2.3.6 สมการของแรงบิด

กำลังกลของ P_a ของขดลวดตัวนำ (a) ที่เกิดขึ้นจะเท่ากับผลคูณระหว่างแรงมีหน่วยเป็นนิวตันกับระยะทาง $(2\pi r)(n/60)$ มีหน่วยเป็นเมตรซึ่งเป็นระยะที่ขดลวดตัวนำ (a) เคลื่อนที่ไปในแนวแรงในช่วงเวลา 1 วินาที ดังนั้นจะได้

$$P_a = (2\pi r)(n/60)(F) \\ = (2\pi)(n/60)(Fr)$$

แต่เนื่องจาก $2\pi n/60 = \omega$ ซึ่งเป็นความเร็วเชิงมุม (rad/sec) และ Fr คือโมเมนต์ของแรง (F) รอบจุดศูนย์กลาง (O) จะได้

$$P_a = \omega Fr$$

ดังนั้นผลรวมของกำลังกลที่เกิดขึ้น (P_{ar}) ของขดลวดตัวนำทั้งหมดจะมีค่าดังสมการคือ

$$P_{ar} = P_a + P_b + P_c + \dots \\ = (\omega Fr) + (\omega F'r) + (\omega F''r) + \dots \\ = \omega (Fr + F'r + F''r + \dots)$$

ดังนั้น

$$P_{ar} = \omega T_a$$

และจากสมการที่ 2.7 ได้ว่า

$$K_n \& I_a = P_{ar}$$

$$K_n \& I_a = \omega T_a$$

เมื่อแทนค่า K และ ω จะได้

$$(nP/a)(Z_c/60)(\& I_a) = 2\pi (n/60) T_a$$

$$T_a = (1/2\pi)(P/a)(Z_c)(\& I_a)$$

$$= K' \& I_a$$

$$K' = (1/2\pi)(P/a)(Z_c)$$

นั่นคือ ทอล์กของมอเตอร์ดีซีจะแปรผันโดยตรงกับผลคูณระหว่างจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กกับกระแสอาร์เมเจอร์ ไม่เพียงแต่มอเตอร์ดีซีเท่านั้น ความสัมพันธ์นี้ยังสามารถใช้กับมอเตอร์เอซีอีกด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยที่ใช้งานจริงของแรงบิดกับเอาท์พุท หน่วยที่ใช้งานจริงของทอล์กคือ m-kg ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยที่ใช้งานจริงกับหน่วย MKS สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{น้ำหนัก } 1\text{kg} = 9.81 \text{ N}$$

$$1(\text{m}\cdot\text{kg}) = 9.81(\text{N}\cdot\text{m})$$

หรือ

$$1(\text{N}\cdot\text{m}) = (1/9.81)(\text{kg}\cdot\text{m})$$

จากสมการข้างต้นจะได้

$$T_a = [1/(9.81)(2\pi)](P/a)(Z_c)(\& I_a)$$

$$= (0.01623)(P/a)(Z_c)(\& I_a)$$

$$= K'' \& I_a$$

โดยที่

$$K'' = (0.01623)(P/a)(Z_c)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างเอาท์พุททอล์กและความเร็วรอบ สามารถหาได้ดังนี้ กำหนดให้ P คือ กำลังเอาท์พุทของมอเตอร์มีหน่วยเป็น kW

T คือ ทอล์กซึ่งใช้งานได้จริงกับโพลคมีหน่วยเป็น kg-m

n คือ ความเร็วรอบหมุนมีหน่วยเป็น rpm

จาก

$$1(\text{m}\cdot\text{kg}) = 9.81(\text{N}\cdot\text{m})$$

$$1(\text{kg}\cdot\text{m}/\text{sec}) = 9.81(\text{N}\cdot\text{m}/\text{sec})$$

$$(10^3)(P) = \omega (\text{rad}/\text{sec}) T(\text{N}\cdot\text{m})$$

หรือ

$$(10^3)(P) = 2\pi (n/60) T$$

$$T = (60/2\pi)(10^3)(P/n)$$

จากสมการข้างต้นจะได้

$$T = [(60)(10^3)/(2\pi)(9.81)](P/n) = (974)(P/n)$$

จะเห็นได้ว่าแรงบิดแปรผัน โดยตรงกับเอาท์พุทแต่แปรผกผันกับจำนวนรอบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างต้นจะได้

$$E_b = V - I_a r_a$$

และ

$$E_b = K n \Phi$$

$$n = E_b / K \Phi$$

$$n = V / K \Phi$$

$I_a r_a$ ในสมการนี้ประมาณว่ามีค่าน้อยมาก ซึ่งควรใช้เฉพาะกรณีที่มี I_a หรือกระแสไหลลดไม่มากนักเท่านั้น จะเห็นว่าความเร็วรอบจะแปรผันโดยตรงกับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ และแปรผกผันกับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก

2.3.7 ประสิทธิภาพ

ให้ η คือประสิทธิภาพของมอเตอร์ ดังนั้นจะใช้สมการ

$$\eta = \left[\frac{\text{เอาต์พุต}}{\text{อินพุต}} \right] (100\%) = \left\{ \frac{(\text{อินพุต}) - (\text{การสูญเสียขณะมีโหลด}) - (\text{การสูญเสียคงที่})}{\text{อินพุต}} \right\} (100\%) \quad (2.12)$$

เนื่องจากมอเตอร์ เป็นอุปกรณ์เครื่องกลไฟฟ้าซึ่งโดยทั่วไปนั้นการสูญเสียของเครื่องกลไฟฟ้าดีซี ซึ่งมีฟลักซ์คงที่ (การเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์จากขั้วแม่เหล็กอันใหญ่อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดค่าต่ำเช่น มอเตอร์ดีซีแบบซันต์) นั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

- 1 การสูญเสียคงที่ซึ่งในทางปฏิบัติถือว่าคงที่ไม่ขึ้นกับขนาดของโหลด
- 2 การสูญเสียขณะมีโหลดซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามกระแสโหลดยกกำลังสองโดยประมาณ

ประสิทธิภาพของมอเตอร์ดีซีที่ค่ากระแส I ใด ๆ ภายใต้แรงดันระหว่างขั้วพิกัด V ที่คงที่สามารถแสดงให้เห็นได้ดังนี้

$$\text{การสูญเสียในลวดตัวนำของขดลวดซีรีส์และขดอาร์เมเจอร์} = I_a^2 (r_a + r_s)$$

การสูญเสียคงที่ (P_k) = การสูญเสียของขดลวดตัวนำในวงจรขดลวดสนามแบบซันต์ + การสูญเสียในแกนเหล็ก + การสูญเสียทางกล

ทั้งนี้ P_k เป็นการสูญเสียคงที่ที่ที่แรงดันพิกัดและความเร็วรอบพิกัดกรณีมอเตอร์ดีซีแบบซีรีส์ $i = 0$ ดังนั้นการสูญเสียของขดลวดตัวนำในวงจรขดลวดสนามแบบซันต์ = 0

2.4 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

2.4.1 โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Construction)

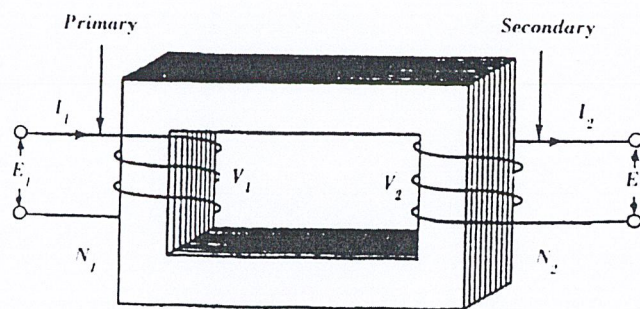
ส่วนประกอบที่สำคัญของหม้อแปลงไฟฟ้ามีดังนี้

- 1 ขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer winding)

ทำหน้าที่เหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและสร้างฟลักแม่เหล็กในแกนตัวนำแม่เหล็ก แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

- 1 ขดลวดปฐมภูมิ (Primary winding) เป็นขดลวดรับแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้าทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและสร้างฟลักแม่เหล็กในแกนตัวนำแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การคัดลอกหรือการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย



รูปที่ 2.20 แสดงให้เห็นส่วนประกอบพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้า

ส่วนประกอบพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้าได้แก่

E_1	=	แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ขดลวดปฐมภูมิ
I_1	=	กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ
N_1	=	จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ
E_2	=	แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิจ่ายออกไปสู่ภายนอก
I_2	=	กระแสไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ
N_2	=	จำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิ
V_1	=	แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ
V_2	=	แรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ

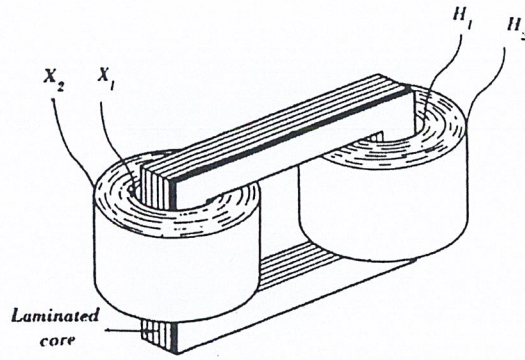
หม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิ มากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิเรียกว่าหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าให้ลดลง

ส่วนหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมีแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดทุติยภูมิ มากกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดปฐมภูมิเรียกว่าหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแปลงแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น

2.4.2 แกนของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer Core)

แกนของหม้อแปลงไฟฟ้ามักทำจากแผ่นลามิเนตบาง ๆ (เพื่อลดความสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy Current)) ทำหน้าที่เป็นตัวนำหรือทางเดินของฟลักแม่เหล็ก ที่นิยมใช้กันมี 2 ประเภท คือ

- 1 แบบคอร์ (Core Type) การพันขดลวดบนแกนชนิดนี้มักพันขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิแยกกันดังรูป แกนของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบคอร์นิยมใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ เพราะการพันขดลวดแบบนี้ทำให้เกิดการรั่วไหลของฟลักแม่เหล็ก (Flux Leakage) ได้น้อย



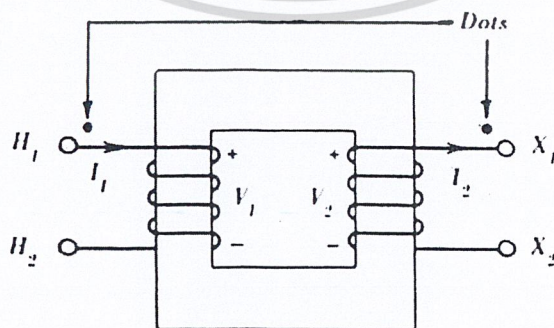
รูปที่ 2.21 แสดงการพันขดลวดแบบคอร์

- 2 แบบเชลล์ (Shell type) การพันขดลวดบนแกนชนิดนี้มีทั้งขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิที่แกนเดียวกัน คือ แกนอันกลางตั้งรูป



รูปที่ 2.22 แสดงการพันขดลวดแบบเชลล์

2.4.3 เครื่องหมายขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า (Polarity Marking)

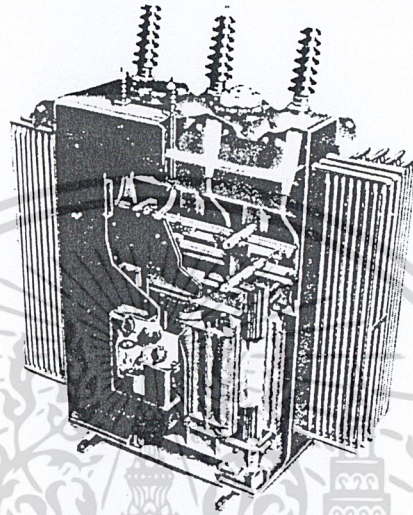


รูปที่ 2.23 เครื่องหมายแสดงขั้วของขดลวดหม้อแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องหมายแสดงขั้วของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้ามีหลายแบบแต่ที่นิยมใช้ คือ

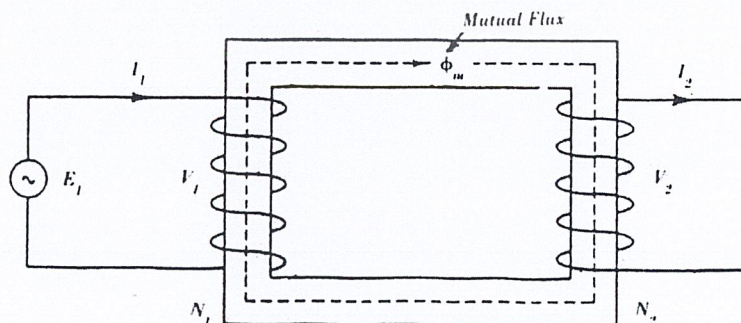
- 1 ใช้เครื่องหมายจุด แสดงตำแหน่งขั้วบวก ส่วนด้านที่ไม่มีจุดให้เป็นขั้วลบ
- 2 ใช้ตัวอักษรแสดงตำแหน่งขั้วโดยกำหนดให้ H_1 และ H_2 เป็นเครื่องหมายขั้วด้านแรงดันไฟฟ้าสูง ส่วน X_1 และ X_2 เป็นเครื่องหมายขั้วด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ นอกจากนั้น H_1 และ X_1 แสดงขั้วบวกของขดลวดแต่ละด้าน ส่วน X_2 และ H_2 แสดงขั้วลบของแต่ละด้าน



รูปที่ 2.24 ภาพแสดงหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังแบบ Core type ชนิด 3 เฟส

2.4.4 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ (Ideal Transformer)

แม้ว่าหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้กับงานจริงมีประสิทธิภาพสูงถึง 95% - 99% แต่ยังคงมีความสูญเสียอยู่ การอธิบายหลักการงานขั้นพื้นฐานของหม้อแปลงไฟฟ้าจึงเป็นไปได้ยาก เพราะต้องกล่าวถึงความสูญเสียที่เกิดในหม้อแปลงไฟฟ้าด้วย ดังนั้น จึงสมมุติหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่ไม่มีความสูญเสียเลย หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดนี้เรียกว่าหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ

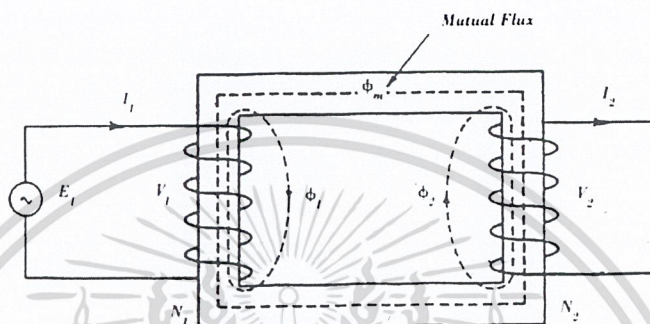


รูปที่ 2.25 หม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 หม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส ที่ใช้งานจริง (Practical Single-Phase Transformer)

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงแตกต่างจากหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติ เพราะในหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงนั้นย่อมมีค่าความต้านทานของขดลวดอยู่เสมอ (แม้ว่าจะไม่มีโหลด) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดความสูญเสียในขดลวดทองแดง และที่บริเวณขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิยังเกิดความสูญเสียในรูปของฟลักแม่เหล็กรั่วไหล นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของฟลักแม่เหล็กในแกนตัวนำแม่เหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้ายังทำให้เกิดความสูญเสียในรูปของ Hysteresis และ Eddy Current ด้วย



รูปที่ 2.26 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริง

เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ให้หม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริง (รูปที่ 2-18) ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ และแรงดันแม่เหล็ก (MMF) ขึ้นที่ขดลวดปฐมภูมิ MMF นี้จะสร้างฟลักแม่เหล็กในแกนตัวนำแม่เหล็กและขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า

ฟลักแม่เหล็กรั่วไหลจะเกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานจริงเท่านั้น ส่วนหม้อแปลงไฟฟ้าในอุดมคติไม่มีความสูญเสียใดๆ

อัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าและอัตราส่วนกระแสไฟฟ้า

อัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าและอัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าในหม้อแปลงมีค่าตรงกันข้าม กล่าวคือ ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 10 เท่า ค่ากระแสไฟฟ้าจะลดลง 10 เท่า

ถ้ากำหนดให้ a เป็นอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของหม้อแปลงไฟฟ้า จะได้

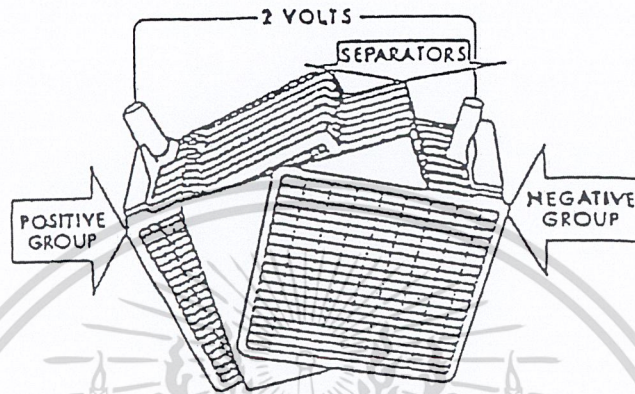
$$a = V_1/V_2 = I_2/I_1$$

สมการนี้ใช้ได้กับหม้อแปลงไฟฟ้าที่กำลังจ่ายโหลดเท่านั้น แต่เมื่อนำอัตราส่วนของจำนวนรอบมาพิจารณาร่วมกับสมการอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าและอัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าจะทำให้ได้สมการใหม่ดังนี้

$$a = V_1/V_2 = I_2/I_1 = N_1/N_2$$

2.5 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า หลักการทำงานคือเปลี่ยนพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้า แบตเตอรี่ที่ใช้อยู่ในไฮบริดคาร์ เป็นแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด เป็นแบตเตอรี่ที่สามารถนำไปประจุพลังงานได้ใหม่เมื่อใช้หมดแล้ว ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 2.27 แสดงองค์ประกอบของแบตเตอรี่

เซลล์ (cells) คือ ส่วนที่บรรจุน้ำกรดเจือจางและแผ่นตะกั่วทำจากยางแข็งหรือพลาสติก เป็นที่ที่น้ำกรดทำปฏิกิริยาเคมีกับตะกั่ว แบตเตอรี่แต่ละลูกจะมีอยู่หลายเซลล์ต่อกันอยู่ภายใน เพื่อให้มีแรงดันไฟฟ้าตามที่ต้องการจะนำไปใช้งานแบตเตอรี่ที่มีประจุไฟฟ้าเต็มแต่เซลล์จะมีแรงดันไฟฟ้า 2.1 โวลต์ ดังนั้นถ้าแบตเตอรี่ลูกหนึ่งมี 3 เซลล์ก็จะมีแรงดันไฟฟ้ารวมเป็น 6.3 โวลต์ และถ้ามี 6 เซลล์ก็จะมีไฟฟ้ารวมเป็น 12.6 โวลต์ในแต่ละเซลล์ซึ่งกันเป็นช่องๆ นี้จะมีช่องสำหรับเติมน้ำกลั่นหรือน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ และมีฝาปิดอยู่แต่ละช่องฝานี้จะต้องมีรูระบาย เพื่อจะระบายแก๊สซึ่งเกิดขึ้นมาจากปฏิกิริยาทางเคมีภายในให้ออกไปสู่บรรยากาศภายนอกได้ ทั้งนี้เพื่อป้องกันแบตเตอรี่ระเบิด

แผ่นตะกั่ว (Plates) มีอยู่ 2 ชนิด แผ่นบวกและแผ่นลบทำเป็นแผ่นซึ่ง ตารางแผ่นบวกทำจากตะกั่วเปอร์ออกไซด์แผ่นลบทำจากตะกั่วธรรมดา แผ่นตะกั่วนี้จะถูกเคลือบไว้ด้วยสารที่มีคุณสมบัติเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าไว้ได้ ในแต่ละเซลล์จะมีแผ่นบวกและแผ่นลบเรียงสลับกัน อยู่เป็นจำนวนหลายแผ่นแต่จะมีแผ่นลบมากกว่าแผ่นบวกหนึ่งแผ่น ดังนั้นในแต่ละเซลล์จะมีแผ่นลบปิดประกบหัวท้ายเสมอ สารที่เคลือบอยู่ที่แผ่นบวกมีคุณสมบัติยึดเกาะได้น้อยจึงหลุดร่วงได้ง่ายเพื่อป้องกันการหลุดร่วงนี้จึงต้องมีแผ่นไฟเบอร์กลาสกั้นไว้ทั้งสองหน้า

แผ่นกั้น (Separators) เพื่อป้องกันการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าอันเนื่องมาจากแผ่นบวก และแผ่นลบ ลัดวงจรจึงมีแผ่นกั้นสอดอยู่ระหว่างแผ่นบวกและแผ่นลบเพื่อไม่ให้แผ่นตะกั่วทั้งสองมาแตะกันได้ แผ่นกั้นนั้นทำจากไม้อย่างแข็ง หรือไฟเบอร์กลาส ทำเป็นแผ่นมีร่องเล็กๆแคบๆ และเป็นรูพรุน เพื่อให้ น้ำยาอิเล็กโทรไลต์สามารถไหลผ่านไปได้

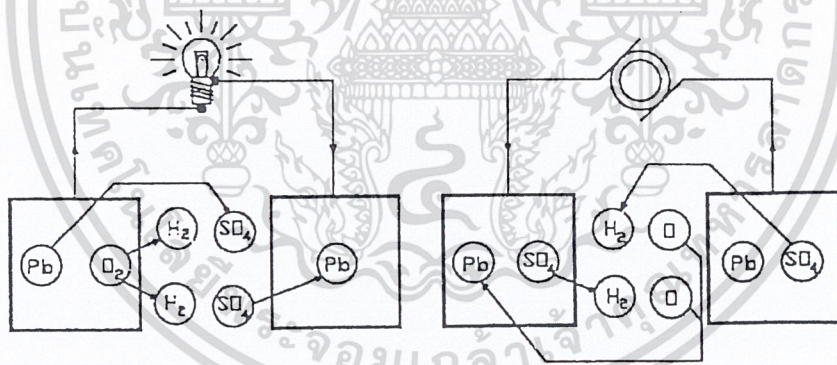
งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยาอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สารละลายที่บรรจุอยู่ในแบตเตอรี่สำหรับรถยนต์เป็นส่วนผสมของน้ำกลั่น 60.8% และกรดกำมะถัน 39.2% โดยมวล เมื่อผสมกันแล้วจะได้น้ำกรดเจือจางที่มีความถ่วงจำเพาะ 1.26 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (ค่าความถ่วงจำเพาะของกรดกำมะถัน=1.3835) พลังงานไฟฟ้าจะเกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารที่เคลือบตะกั่วและน้ำยาอิเล็กโทรไลต์นี้

ปฏิกิริยาเคมี ในแบตเตอรี่จะมีแผ่นบวกทำด้วยตะกั่วเปอร์ออกไซด์(PbO2) มีสีน้ำตาล แผ่นลบทำจากตะกั่วพูน(Pb) มีสีเทา น้ำยาเคมีที่ใช้ทำเป็นกรดกำมะถัน(H2SO4) ขณะที่จ่ายไฟจะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นดังนี้

-ออกซิเจน(O) จากตะกั่วเปอร์ออกไซด์(PbO2) จะรวมตัวกับไฮโดรเจน(H) จากกรดกำมะถัน(H2SO4) กลายเป็นน้ำ(H2O)

-ตะกั่ว(Pb) จากตะกั่วเปอร์ออกไซด์(PbO2) จะรวมตัวกับอนุมูลซัลเฟต(SO4) กลายเป็นตะกั่วซัลเฟต(PbSO4) ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นทั้งที่แผ่นบวกและแผ่นลบ เมื่อเกิดปฏิกิริยา แล้วจะทำให้เกิดตะกั่วซัลเฟต(PbSO4) ทั้งสองแผ่นและน้ำ(H2O) ที่เกิดขึ้นจะไปเจือจางกรดกำมะถัน ฉะนั้นเมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีไปนานๆ กระแสไฟฟ้าที่ได้จะลดลงเรื่อยๆ ขณะที่ประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่จะเกิดปฏิกิริยาตรงกันข้ามกับตอนจ่ายไฟ คือ ตะกั่วซัลเฟต(PbSO4) จะ แยกตัวเป็นตะกั่วกับอนุมูลซัลเฟต(SO4) ที่แผ่นทั้งสอง น้ำจะแยกตัวเป็นไฮโดรเจน(H) กับออกซิเจน(O) โดยที่ไฮโดรเจน(H) จะจับตัวกับอนุมูลซัลเฟต(SO4) เป็นกรดกำมะถัน(H2SO4) และออกซิเจน(O) จะจับตัวกับตะกั่ว(Pb) เป็นตะกั่วเปอร์ออกไซด์(PbO2)

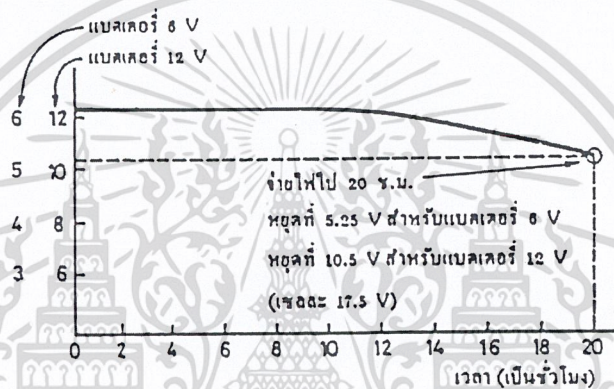


รูปที่ 2.28 แสดงการเกิดปฏิกิริยาเคมีในแบตเตอรี่

ความเข้มข้นของน้ำกรดจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นตอนจ่ายไฟดังที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่ามีน้ำเกิดขึ้นซึ่งมีผลทำให้ความเข้มข้นของกรดกำมะถันลดลง ด้วยสาเหตุนี้ความเข้มข้นของกรดกำมะถันจึงสามารถใช้เป็นตัวชี้สภาพของแบตเตอรี่ว่าจ่ายไฟไปมากน้อยเพื่อใด การวัดความเข้มข้นของกรดกำมะถันวัดจากความถ่วงจำเพาะเพราะความถ่วงจำเพาะของกรดกำมะถันมากกว่าน้ำ เครื่องมือที่ใช้ในการวัด ถ.พ ของน้ำเกลือคือ ไฮโดรมิเตอร์(Hydrometer) มีวิธีการใช่ง่ายมากโดยดูคน้ำกรดเข้าไปในหลอดแก้วแล้วอ่านค่า ถ.พ จากสเกล บนตัวลูกลอยจะได้ค่า ถ.พ ที่ต้องการทราบได้ทันที ข้อสำคัญอย่าวัด ถ.พ หลังจกเติมน้ำกลั่นลงในแบตเตอรี่ใหม่ๆ เพราะน้ำกับน้ำกรดจะยังไม่เข้ากันดี และทำให้ค่าที่วัดได้ผิดจากความจริง

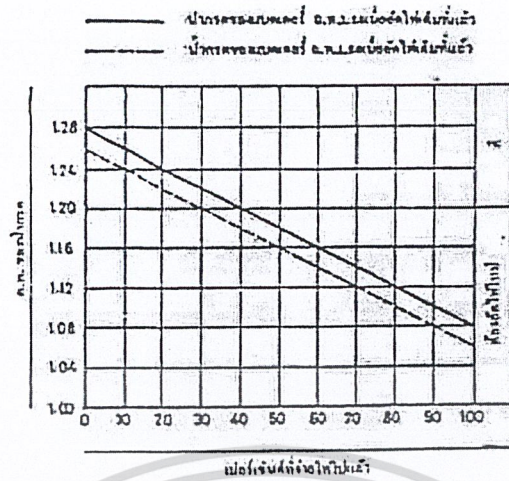
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยในโครงการวิจัยด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดความจุ (Capacity) ขนาดของแรงดันในแต่ละเซลล์ในแบตเตอรี่เมื่อวงจรเปิดและอัตราไฟเต็มที 2.1 โวลต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนแผ่นบวกและลบที่มีอยู่ในเซลล์นั้น ส่วนขนาดของกระแสไฟฟ้าที่จะได้ขึ้นอยู่กับจำนวนแผ่นบวกและลบ รวมทั้งปริมาณของกรดกำมะถันด้วย โดยปริมาณและความจุของแบตเตอรี่ (วัดเป็นแอมแปร์-ชั่วโมง) จะแปรตามพื้นที่ของแผ่นบวกและลบ ถ้าพื้นที่มากก็มีความจุได้มาก ดังนั้นแบตเตอรี่ที่ผลิตขึ้นจึงพยายามทำให้ แผ่นเหล่านั้นบางๆ เพื่อทำให้พื้นที่ที่มาก ๆ วิธีการวัดความจุได้มีการตั้งมาตรฐานโดย Association of American Battery Manufactures วัดอัตราการจ่ายไฟต่อ 20 ชั่วโมงซึ่งวัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจากแบตเตอรี่ที่อัด ไฟเต็มทีแล้วเป็นเวลา 20 ชั่วโมง จนแรงดันที่ปลายขั้วลดลงเป็น 5.25 สำหรับแบตเตอรี่ 6 V และ 10.5 V สำหรับแบตเตอรี่ 12 V



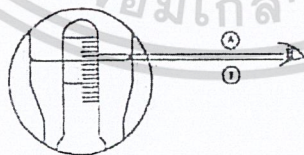
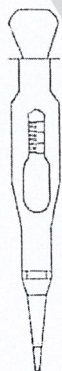
รูปที่ 2.29 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงตามเวลา เมื่อจ่ายไฟ 20 ชั่วโมง

ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย เมื่ออุณหภูมิต่ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นช้าทำให้พลังงานที่ได้ลดลง จากการทดสอบแบตเตอรี่ที่อุณหภูมิที่ต่างกันจะได้ว่า ที่ 80 องศาฟาเรนไฮต์ แบตเตอรี่จะมีพลังงาน 100% ที่ 32 องศาฟาเรนไฮต์ พลังงานจะลดลงเหลือ 65% ที่ 0 องศาฟาเรนไฮต์ ลดลงเหลือ 40%



รูปที่ 2.30 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ได้เมื่ออุณหภูมิต่างๆกัน

แบตเตอรี่ที่ใช้ในประเทศร้อนควรจะปรับความถี่จําเพาะลดลงคือ แทนที่จะใช้ ถ.พ สูงถึง 1.290 เมื่อแบตเตอรี่เต็มเราจะใช้ 1.225 ก็พอเมื่อแบตเตอรี่ไฟเต็ม(ใช้กรดเพียง 31% โดยน้ำหนัก) ซึ่งทำได้โดยประจุไฟให้แบตเตอรี่จนเต็มแล้วดูน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ก็ออกบางส่วน แล้วเติมน้ำกลั่นลงไป ถ.พ จะลดลงเหลือ 1.225 พอดี การลด ถ.พ นี้จะช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ และช่วยการลดการเสียบประจุไฟไปเองด้วยแบตเตอรี่มีไฟครึ่งหนึ่งจะมี ถ.พ 1.135 เมื่อแบตเตอรี่ไม่มีไฟจะมี ถ.พ 1.045 ก่อนที่แบตเตอรี่จะหมดไฟ ซึ่งจะทำให้เกิดความปลอดภัยในประเทศร้อน



ระดับ A เป็นระดับที่อ่านค่าได้ถูกต้อง

รูปที่ 2.31 แสดงการใช้งานไฮโดรมิเตอร์

ค่าการวัด ถ.พ (ในประเทศร้อน)

ความจุ	สภาพของแบตเตอรี่
ต่ำกว่า 1.200	ควรรนำแบตเตอรี่ประจุไฟใหม่
1.200-1.220	ปริมาณไฟในแบตเตอรี่มีน้อยแต่ยังใช้งานได้อยู่
1.220-1.240	แบตเตอรี่มีไฟเต็ม
1.240-1.260	แบตเตอรี่มีไฟเต็มสภาพสมบูรณ์
เกินกว่า 1.260	ความจุของแบตเตอรี่มีมากเกินไป

ความถ่วงจำเพาะของน้ำกรดในน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามเปอร์เซ็นต์ของน้ำกรดเพียง

อย่างเดียว แต่เปลี่ยนตามอุณหภูมิด้วย เมื่อของเหลวได้รับความร้อนย่อมขยายตัวมีเนื้อที่บางลง ถ.พ ก็ลดลง และเมื่อของเหลวเย็นลงก็ย่อมหดตัวมีเนื้อที่แน่นขึ้นฉะนั้นในการวัด ถ.พ ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิด้วย

ไฮโดรมิเตอร์บางแบบจะมีเทอร์โมมิเตอร์ไว้สำหรับแก้ ถ.พ ด้วยการแก้ต้องแก้ไขหาอุณหภูมิ 26.7 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิมาตรฐานกำหนดโดยสมาคมผู้ผลิตแบตเตอรี่อเมริกัน AABM ความถ่วงจำเพาะของน้ำยาอิเล็กโทรไลต์จะเปลี่ยนไปประมาณ 0.004 ทุกๆ 5.6 C ซึ่งสูงขึ้นไปจาก 26.7 C จะต้องบวกด้วย 0.004 ต่อทุก 5.6 C ในทางตรงกันข้ามถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 26.7 C จะต้องลบด้วย 0.004 C ต่อทุกๆ 5.6 C ที่ต่ำลงจาก 26.7 C เพื่อแก้ไขเป็น ถ.พ ที่ 26.7 C เช่นที่ -6.6 C ต่ำกว่ามาตรฐาน 33.3 C ค่าที่แท้จริงคือ $1.250 - (33.3/5.6)(0.004) = 1.226$ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับตารางก็ได้ค่าที่แท้จริง

เมื่อเรานำเอาแบตเตอรี่ที่มีขนาดแรงดันไฟฟ้าและความจุขนาดเท่ากันมาต่อขนานกัน แรงดันไฟฟ้าที่ได้รับจากแบตเตอรี่แต่ละลูกจะได้รับเพียงครึ่งเดียว ซึ่งก็เปรียบเสมือนว่ามีแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพียงลูกเดียวแต่กระแสไฟจะไหลออกมาจากแบตเตอรี่ทั้งสองลูกพร้อมกัน ทำให้มีความสามารถในการจ่ายกำลังเพิ่มเป็นสองเท่า แต่ในการต่อแบบอนุกรมความจุของแบตเตอรี่ ก็จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะเพิ่มเป็นสองเท่า การใช้งานของแบตเตอรี่ก็จะได้เท่ากับแบตเตอรี่ลูกเดียว การต่อแบตเตอรี่ทั้งสองแบบนี้ก็จะมีจุดประสงค์ในการใช้งานที่ต่างกัน

ข้อควรระวังในการใช้งานและการบำรุงรักษาแบตเตอรี่

1. การประจุไฟมากเกินไปทำให้แบตเตอรี่เสียเร็วขึ้น ทำให้เกิดผล
 - ทำให้น้ำในน้ำยาอิเล็กโทรไลต์ แยกตัวเป็นออกซิเจนและไฮโดรเจนมากเกินไปแก๊สที่เกิดขึ้นจะไปเกาะบนแผ่นบวกและแผ่นลบ ทำให้น้ำธาตุบนผิวหลุด
 - เกิดความร้อนภายในสูง ซึ่งเป็นผลเสียทั้งแผ่นบวกและแผ่นลบ
 - แผ่นบวกหรือแผ่นลบบิด,คด ไปทางแผ่นกันระหว่างเซลล์อาจทำให้เกิดการลัดวงจร
2. การประจุไฟน้อยเกินไปจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้นลงผลที่เกิดมีดังนี้
 - เกิดซัลเฟตเกิดที่แผ่นธาตุมากมาย ซึ่งไม่สามารถทำให้ปฏิกิริยากลับคือได้เมื่อประจุไฟเพิ่ม ผลอันนี้ทำให้แผ่นธาตุองทำให้เกิดการลัดวงจรได้เช่นกัน
 - อิเล็กโทรไลต์(กรดกำมะถัน) อาจแข็งตัวเมื่ออากาศมาก ทำให้แบตเตอรี่ไม่สามารถให้

พลังงานได้เต็มที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเติมน้ำกลั่นในการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ให้ถูกต้อง จะต้องคอยตรวจระดับของน้ำกรดอยู่เสมอ ประมาณสัปดาห์ละครั้ง เพราะว่าเมื่อใช้งานจะเกิดปฏิกิริยาเคมีกลับไปกลับมาทำให้น้ำระเหยออกไปเรื่อยๆ จึงต้องมีการเติมน้ำกลั่นจะใช้น้ำกรองหรือน้ำปะปาไม่ได้เพราะ มีสิ่งเจือปนอยู่มากมาย สิ่งเจือปนเหล่านี้จะทำให้เกิดกระแสไหลครบวงจรภายในแบตเตอรี่ และยังทำให้อายุการใช้งานสั้นลงอีกด้วย แบตเตอรี่บางชนิดมีขีดบอกระดับที่ถูกต้องไว้ด้วย ถ้าไม่มีขีดบอกระดับก็เติมน้ำกลั่นระดับประมาณ 1 ซม.เหนือแผ่นบวกและแผ่นลบ

4. ระวังรักษาขั้วแบตเตอรี่ให้สะอาดและแน่นอยู่เสมอ หากมีเกลือกำมะถันเกาะอยู่ที่ขั้วให้ใช้น้ำร้อนล้างทำความสะอาด และเคลือบขั้วแบตเตอรี่ด้วยจารบีซิลิโคน หรือวาสลีนเพื่อป้องกันการสึกกร่อน

5. การประจุไฟแบตเตอรี่ ก่อนจะประจุไฟจะต้องตรวจดูให้แน่ใจว่าระดับน้ำกรดถูกต้องแล้วหรือยัง ฝาปิดแต่ละเซลล์ไม่ต้องเปิดออก แต่ต้องตรวจดูที่ฝาอากาศออกที่ฝาจุดไม่อุดตันเพราะถ้าอุดตัน แก๊สจะไม่มีทางออก ต่อขั้วบวกของเครื่องประจุไฟเข้ากับขั้วของแบตเตอรี่ และขั้วลบของทั้งสองเข้าด้วยกัน เสร็จแล้วเปิดสวิทช์ให้ประจุไฟจนกระทั่ง ถ.พ ของน้ำกรดของแต่ละเซลล์ที่วัดได้จากไฮโดรมิเตอร์ 1.260 ซึ่งนับได้ว่าประจุไฟเต็มที่แล้ว เมื่อประจุไฟเสร็จต้องดึงขั้วที่ต่อกับเครื่องประจุไฟออก เพราะถ้าปล่อยทิ้งไว้จะมีกระแสไหลเล็กน้อยจากแบตเตอรี่เข้าเครื่องประจุไฟ แต่บางเครื่องจะมีตัวป้องกันการไหลกลับไว้

6. แบตเตอรี่ใหม่ ที่ยังไม่มีการเติมน้ำอิเล็กโทรไลต์มา เมื่อจะทำการประจุไฟให้เติมน้ำอิเล็กโทรไลต์แล้วทิ้งไว้ประมาณ 3 ถึง 5 ชั่วโมงเพื่อให้แผ่นตะกั่วได้อาบน้ำยาจนอิ่มตัวแล้วจึงทำการประจุไฟด้วยกระแสประมาณ 3 ถึง 5 แอมแปร์ (หรือ 1 ใน 10 ของความจุ) เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง

7. อย่าทำให้เกิดประกายไฟ หรือนำเปลวไฟเข้าใกล้แบตเตอรี่ในขณะที่ทำการประจุไฟเนื่องจากในขณะที่ทำการประจุจะมีแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้น แก๊สไฮโดรเจนนี้เป็นสารไวไฟ หากมีประกายไฟหรือเปลวไฟอยู่ใกล้จะทำให้เกิดการระเบิดขึ้นได้

8. ระยะเวลาที่ใช้ในการประจุไฟขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องประจุไฟ การเร่งประจุไฟให้เสร็จเร็วๆ มีข้อควรระวังอย่าให้อุณหภูมิของน้ำกรดสูงเกิน 48.9 องศาเซลเซียส

บทที่ 3

การออกแบบรถไฮบริด

รถยนต์ไฮบริดเป็นรถยนต์ที่ใช้พลังงานจากเครื่องยนต์และไฟฟ้าในการขับเคลื่อน เมื่อเปรียบเทียบกับรถไฟฟ้าแล้ว รถยนต์ไฮบริดจะมีมลภาวะมากกว่าแต่มีข้อดีกว่ารถไฟฟ้าคือไม่ต้องเสียเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ เพราะไฟฟ้าที่ใช้เกิดจากการปั่นไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ ทั้งยังมีกำลังและสมรรถนะใกล้เคียงกับรถที่ใช้เครื่องยนต์ โดยที่จะประหยัดน้ำมันและมีมลภาวะต่ำกว่ารถที่ใช้เครื่องยนต์เพียงอย่างเดียวมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพรถติดมากๆ อย่างเช่นในกรุงเทพมหานคร เพราะรถยนต์ไฮบริดสามารถออกตัวด้วยมอเตอร์จึงไม่ต้องติดเครื่องยนต์ไว้ตลอดเวลาที่รถติดอยู่กับที่ ทำให้สามารถประหยัดน้ำมันและลดมลพิษได้มาก สำหรับรายละเอียดและการทำงานของรถยนต์ไฮบริดจะอธิบายดังต่อไปนี้

3.1 ระบบของรถไฟฟ้าไฮบริด

ระบบของรถไฮบริดในปัจจุบันที่มีสองระบบ คือ

3.1.1 ระบบอนุกรม (series system) ระบบนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ (2 Mode)

- (1) Electric Mode ระบบนี้เครื่องยนต์จะไม่ทำงาน พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนจะมาจากแบตเตอรี่ แบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ แล้วมอเตอร์จะเป็นตัวขับเคลื่อน
- (2) Hybrid Mode ระบบนี้เครื่องยนต์จะเป็นตัวขับ Generator เพื่อให้ Generator ผลิตพลังงานไฟฟ้าขึ้นมา พลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปขับมอเตอร์ มอเตอร์จะทำหน้าที่ขับเคลื่อนรถยนต์ พลังงานไฟฟ้าส่วนที่เหลือจะถูกส่งไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่

3.1.2 ระบบขนาน (parallel system) ระบบนี้สามารถแบ่งได้เป็น 5 ระบบ (5 Mode)

- (1) Engine Mode ใช้กำลังจากเครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนอย่างเดียว โดยเฉพาะในการขับขึ้นที่ระยะทางไกลและความเร็วคงที่อย่างเช่น การขับบนถนนนอกเมือง
- (2) Electric Mode ใช้กำลังจากมอเตอร์ในการขับเคลื่อน โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ จะใช้ในช่วงการออกตัว หรือการขับในเมืองที่มีการจราจรติดขัด เพื่อเป็นการลดมลพิษ และเป็นการประหยัดน้ำมัน
- (3) Hybrid Mode ใช้กำลังทั้งจากเครื่องยนต์และมอเตอร์ในการขับเคลื่อน เป็นการช่วยเพิ่มกำลังให้กับรถยนต์ จะใช้ในช่วงที่รถยนต์ต้องการกำลังสูงๆ เช่น การขึ้นเขา การเร่งแซง
- (4) Charge Mode เป็นการนำเอากำลังจากเครื่องยนต์ไปปั่นเจนเนอเรเตอร์ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าแล้วนำไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่
- (5) Regenerative Breaking การนำเอาพลังงานกลที่เกิดขึ้นระหว่างการเบรคไปปั่นเจนเนอเรเตอร์เพื่อให้เกิดพลังงานไฟฟ้าเข้าไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่

3.2 การออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของรถไฟฟ้าไฮบริด

3.2.1 การส่งกำลังโดยใช้โซ่

การขับเคลื่อนโซ่มีโซ่อยู่มากทางด้านงานเครื่องจักรกล เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับการขับเคลื่อนด้วยสายพาน โซ่จะต้องคล้องอยู่กับล้อโซ่หรือเฟืองโซ่ (sprocket) ซึ่งติดอยู่บนเพลาคับและเพลาคตาม อัตราทดของการขับเคลื่อนขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองโซ่ทั้งสอง และการขับเคลื่อนโซ่นี้จะไม่มีการสลิปเกิดขึ้นระหว่างล้อกับเฟืองโซ่

การขับเคลื่อนโซ่มีข้อดีอยู่ระหว่างการขับเคลื่อนด้วยสายพานและการขับเคลื่อนด้วยเฟือง ทางด้านราคาสมรรถนะในการส่งกำลังและการบำรุงรักษา โซ่สามารถขับได้ในระยะทางที่ไกลกว่าสายพาน และขับได้พร้อมกันหลายๆ เลา ซึ่งมีทิศทางหมุนตามกันหรือสวนทางกันก็ได้

ข้อดีของการขับเคลื่อนด้วยเฟืองโซ่

1. ในการติดตั้งไม่ต้องการความเที่ยงตรงเท่ากับเฟือง
2. ไม่จำเป็นต้องมีแรงดึงขึ้นต้นในโซ่ด้านดึงเหมือนกับสายพาน ทำให้อายุการใช้งานของเบร้งที่รองรับเพลามากขึ้น
3. ไม่มีการสลิปในขณะที่ส่งกำลังเหมือนสายพาน ทำให้ได้อัตราทดที่แน่นอน
4. มีขนาดกะทัดรัดกว่าสายพาน เมื่อใช้งานด้วยอัตราทดเท่ากัน เฟืองโซ่จะมีขนาดเล็กกว่าล้อสายพานและถ้าต้องการส่งกำลังเท่ากัน ความกว้างของโซ่จะน้อยกว่าสายพาน
5. ติดตั้งง่ายกว่าสายพาน เพราะเพียงแต่คล้องเข้ากับเฟืองโซ่แล้วสอดสลักเข้าไปเท่านั้น
6. ใช้งานได้ดีกับอุณหภูมิสูง บริเวณที่มีความชื้นและฝุ่นละออง

ข้อเสียของการขับเคลื่อนด้วยเฟืองโซ่

1. มีเสียงดัง
2. เนื่องจากความเร็วรอบสูงจะมีอันตรายเมื่อโซ่ขาด
3. ไม่มีการอ่อนตัวในการส่งกำลัง เลาจะต้องขนานกัน
4. ส่งกำลังแบบครอสไดรว์ไม่ได้
5. มีราคาแพงกว่าการขับเคลื่อนด้วยสายพาน
6. ต้องมีการหล่อลื่น

3.2.2 การออกแบบโซ่

1. ทำการเลือก จำนวนฟันบน pinion(ตัวขับ) $Z=16$ ฟัน และอัตราทด=1.8

$$\text{ดังนั้นจำนวนฟันบนเฟืองโซ่ } Z = 16 * 1.8 = 28.8 \text{ เลือก } 29 \text{ ฟัน} \quad (3.1)$$

2. หากำลังที่ใช้เลือกโซ่ (P)

$$P = W_p * N_s \quad (3.2)$$

โดยที่ W_p = กำลังที่ต้องการส่ง(กำลังของมอเตอร์เท่ากับ 3.7285 kW)

N_s = ตัวประกอบใช้งาน(การถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์แรงกระทำมีการกระตุกมาก $N_s=2.68$)

$$\text{ดังนั้นกำลังที่ใช้เลือกโซ่ } P = 3.7285 * 2.68$$

$$= 10 \text{ kW}$$

3. เลือกใช้โซ่ 1 ชั้นมีระยะพิตซ์ $p=15.875 \text{ mm}$ ให้ชื่อมาตรฐานว่า โซ่ โรลเลอร์ ISO/R606 10B-1

ซึ่งมีแรงแตกหัก $F_b=22.27 \text{ KN}$ (ตาราง 11.1ก)

4. ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงของโซ่
ความเร็วโซ่ $v = pZn$ (3.3)

โดย n = ความเร็วรอบของเพลารอบสูง (ที่มาจากเครื่องยนต์)

$$= 0.015875 * 16 * (5000 / 60)$$

$$= 21.17 \text{ m/s}$$

แรงในแนวเส้นสัมผัส $F_t = Wp/v$ (3.4)

$$= 3.7285 / 21.17$$

$$= 0.176 \text{ KN}$$

แรงย่อยในแนวข้อต่อโซ่ $F_{ct} = (w/g) v^2$ (3.5)

จากตาราง 11.1ข $w/g = 0.85 \text{ kg/m}$

$$F_{ct} = (0.85 / 1000) * 21.17^2$$

$$= 0.381 \text{ KN}$$

แรงดึงในโซ่ $F = F_t + F_{ct}$ (3.6)

$$= 0.176 + 0.381$$

$$= 0.557 \text{ KN}$$

แรงดึงขั้นต่ำ (แรงที่เหลืออยู่ในด้านโซ่หย่อน) มีค่าน้อยมากละทิ้งได้

ค่าความปลอดภัย $N_b = F_b / F$ (3.7)

$$= 22.27 / 0.557 = 16 \text{ ใช้งานได้}$$

ตาราง 11.7 โซ่ระยะพิตซ์ 12.70 mm ควรใช้ระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง (C) 600 mm

จากจำนวนข้อโซ่ $X = (2C/p) + (Z+z/2) + (Z-z/2)^2 (p/C)$ (3.8)

$$= 123.1 \text{ ข้อ}$$

ดังนั้นเลือกใช้โซ่โรลเลอร์ ISO/ R606 10B-1 จำนวน 124 ข้อ

3.3 การออกแบบเครื่องยนต์

3.3.1 กำลังขับเคลื่อนของรถยนต์

รถยนต์เคลื่อนที่ได้ต้องอาศัยกำลังจากเครื่องยนต์ซึ่งส่งผ่านระบบส่งกำลังมาที่ล้อขับเคลื่อนและอาศัยความฝืดระหว่างยางและผิวถนนทำให้เกิดแรงขับเคลื่อน รถยนต์จึงเคลื่อนที่ได้

ในขณะที่รถยนต์กำลังเคลื่อนที่อยู่นั้น จะมีแรงต้านการเคลื่อนที่และมีทิศทางสวนกับแรงขับเคลื่อน ถ้ารถยนต์เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ เช่น 60 km/h และอาศัยกฎข้อที่ 1 ของนิวตัน จะได้ว่า

$$\text{แรงขับเคลื่อน} = \text{แรงต้านทั้งหมด}$$

แต่ถ้าแรงขับเคลื่อนมากกว่าแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น รถยนต์จะมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้น เช่นเหยียบคันเร่งเพิ่มน้ำมันเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์จะทำให้แรงขับเคลื่อนที่ล่อมมากขึ้น และมากกว่าแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น จึงทำให้อัตราเร็วของรถเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราเร็วของรถยนต์เพิ่มขึ้นนั้นแรงต้านทั้งหมดก็จะเพิ่มตามไปด้วย จนในที่สุดแรงขับเคลื่อนเท่ากับแรงต้านทั้งหมดอีกครั้งหนึ่ง รถยนต์จึงวิ่งด้วยอัตราเร็วคงที่อีกครั้งหนึ่ง เช่น เดิมมีอัตราเร็ว 60 km/h เพิ่มเป็น 80 km/h

แต่ถ้าแรงขับเคลื่อนน้อยกว่าแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น รถยนต์จะมีอัตราเร็วลดลง ในขณะที่อัตราเร็วลดลงนั้น แรงต้านทั้งหมดจะลดลงด้วย จนในที่สุดแรงขับเคลื่อนเท่ากับแรงต้านทั้งหมด รถยนต์จึงวิ่งด้วยอัตราเร็วคงที่ต่อไป เช่น เดิมมีอัตราเร็ว 90 km/h เมื่อถอนคันเร่งลดลง ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่เข้าเครื่องยนต์ แรงขับเคลื่อนจะลดลง รถยนต์จะวิ่งด้วยความหน่วง จนมีอัตราเร็ว 50 km/h



รูปที่ 3.1 แรงขับเคลื่อนและแรงต้าน

กำลังจากเครื่องยนต์ที่ส่งไปยังล้อขับเคลื่อนจะใช้ประโยชน์ไม่เต็มที่เพราะว่ามีบางส่วน สูญเสียไปในระบบส่งกำลัง เรียกว่า การสูญเสียในการส่งกำลัง (Transmission Losses) กำลังส่วนที่เหลือที่ล้อขับเคลื่อนจะใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านต่างๆ เพื่อให้รถยนต์เคลื่อนที่ได้ แรงต้านเหล่านั้นได้แก่

1. แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance)
2. แรงต้านอากาศ (Air Resistance)
3. แรงต้านทางชัน (Gradient Resistance)

นอกจากนี้ในขณะที่เครื่องยนต์ กำลังบางส่วนต้องสูญเสียไปเพื่อเอาชนะความเฉื่อยของรถยนต์ เรียกว่า แรงต้านความเฉื่อย (Inertia Resistance)

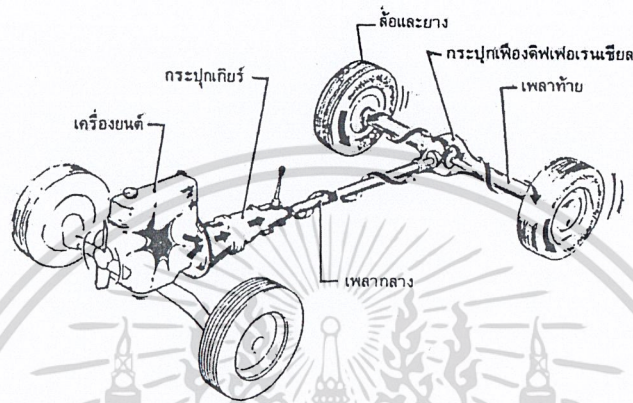
3.3.2 การสูญเสียในการส่งกำลัง

กำลังจากเครื่องยนต์ส่งผ่าน คลัตช์ ห้องส่งกำลัง ข้อต่ออ่อน เพลากลาง เพืองท้าย ดิฟเฟอเรนเชียล และเพลาหลัง จนถึงขับเคลื่อนล้อ กำลังที่ล้อขับเคลื่อนจะน้อยกว่ากำลังของเครื่องยนต์ เนื่องจากมีกำลังบางส่วนสูญเสียไปในระบบส่งกำลังดังกล่าว สาเหตุของการสูญเสียกำลังเนื่องมาจาก

1. ความฝืดของส่วนต่างๆ ที่หมุน เช่น ที่เบรคและที่ฟันเฟือง
2. ความหนืดของน้ำมันในห้องส่งกำลังและเพืองท้าย

3. แรงต้านอากาศในขณะที่ขึ้นส่วนต่างๆกำลังหมุน

การสูญเสียในการส่งกำลังโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 15-20% ที่เกียร์ต่ำ และประมาณ 10% ที่เกียร์สูงสุดหรืออาจกล่าวได้ว่า ประสิทธิภาพการส่งกำลัง (Transmission Efficiency) ประมาณ 90% ที่เกียร์สูงสุด



รูปที่ 3.2 ระบบส่งกำลังของรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลัง

3.3.3 แรงต้านการหมุนของล้อ

กำลังจากเครื่องยนต์ที่ล้อขับเคลื่อนจะถูกใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านทานการหมุนของล้อ การหาแรงต้านทานการหมุนของล้ออาจทำได้ดังนี้ ออกแรงดันรถยนต์ให้เคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร็วคงที่ค่าหนึ่งโดยใส่เกียร์ว่าง แรงที่ใช้ในการดันรถยนต์จะมีค่าเท่ากับแรงต้านการหมุนของล้อจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

1. สภาพของผิวถนน เช่น ผิวถนนเรียบหรือขรุขระ แรงต้านการหมุนของล้อจะน้อยถ้าผิวถนนเรียบและจะมากถ้าผิวถนนขรุขระเป็นหลุมเป็นบ่อหรือมีสิ่งกีดขวางบนถนน
2. สภาพของยางและความดันลมในยาง ตลอดจนรูปทรงของยาง ยางที่มีดอกละเอียดหรือดอกยางลึกจนเรียบจะมีแรงต้านการหมุนของล้อน้อยกว่าดอกยางหยาบ แรงต้านของล้อจะเพิ่มขึ้นถ้าความดันลมในยางต่ำกว่าที่กำหนด และยางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตจะมีแรงต้านการหมุนล้อน้อยกว่ายางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก
3. น้ำหนักของรถยนต์ โดยทั่วไปแรงต้านการหมุนของล้อจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักของรถยนต์เพิ่มขึ้น
4. อัตราเร็วของรถยนต์ แรงต้านการหมุนของล้อจะเพิ่มขึ้นถ้าอัตราเร็วของรถยนต์เพิ่มขึ้น

แรงต้านการหมุนของล้อสามารถหาได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$R_r = K_r W \tag{3.9}$$

- เมื่อ R_r = แรงต้านการหมุนของล้อ, N
- K_r = สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ
- W = น้ำหนักของรถยนต์, N

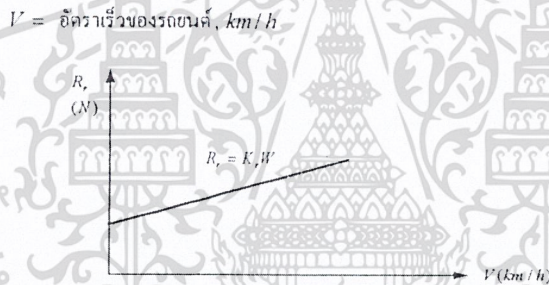
ค่าของ K_r มีค่าต่าง ๆ กันตามสภาพของถนนดังนี้

- $K_r = 0.0095$ สำหรับถนนที่เรียบดีมาก
- $K_r = 0.18$ สำหรับถนนที่เป็นทราย
- $K_r = 0.015$ สำหรับค่าเฉลี่ยที่ใช้กันโดยทั่วไป

ทั้งนี้เนื่องจากอัตราเร็วของรถยนต์มีผลต่อแรงต้านการหมุนของล้อ จึงมักนิยมใช้สูตรต่อไปนี้สำหรับหาค่า K_r

$$K_r = 0.015 + 0.00016V \tag{3.10}$$

เมื่อ V = อัตราเร็วของรถยนต์, km/h



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านการหมุนของล้อกับอัตราเร็วรถยนต์

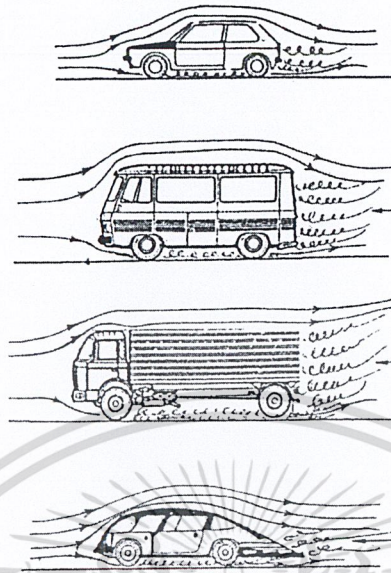
3.3.4 แรงต้านอากาศ

กำลังจากเครื่องยนต์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนส่วนมากใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราเร็วสูง ๆ แรงต้านอากาศจะเกิดขึ้นเมื่อรถยนต์มีการเคลื่อนที่และจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับรูปทรง อัตราเร็ว และพื้นที่หน้าตัดของรถยนต์

รถยนต์ปัจจุบันมักออกแบบให้ลู่ลมตามหลักอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) เพื่อลดแรงต้านอากาศและทำให้อัตราเร็วสูงสุดของรถยนต์เพิ่มขึ้น ตลอดจนช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

ในบางครั้งต้องออกแบบให้รถยนต์ให้ใช้งานได้สะดวกสบายซึ่งมีความจำเป็นมากกว่าการลดแรงต้านอากาศ รถยนต์พวกนี้จะมีรูปทรงด้านลมจึงทำให้แรงต้านอากาศสูงมาก รถยนต์เหล่านี้ได้แก่ รถเมล์ รถตู้ และรถบรรทุก

แรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นในขณะที่รถยนต์กำลังเคลื่อนที่นั้นมาจากความแตกต่างระหว่างความดันด้านหน้ากับด้านหลังรถยนต์และแรงดูดที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสของรถยนต์กับอากาศ



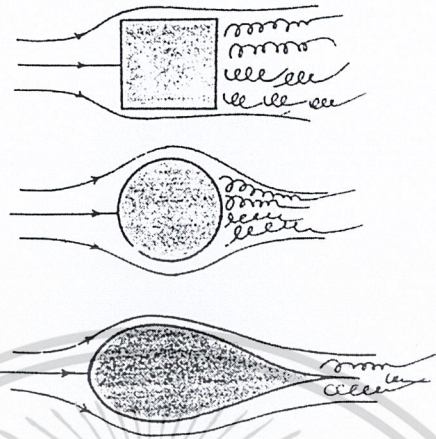
รูปที่ 3.4 การเคลื่อนไหวของอากาศผ่านรถยนต์ทรงต่างๆ

การเคลื่อนไหวของอากาศผ่านรถยนต์ในขณะรถยนต์เคลื่อนที่นั้นแสดงให้เห็นในรูป (1), (2) และ (3) บริเวณท้ายรถยนต์จะมีอากาศหมุนซึ่งมีความเร็วสูงกว่าอากาศบริเวณหน้ารถยนต์ ดังนั้นความดันอากาศบริเวณท้ายรถยนต์จึงต่ำกว่าอากาศบริเวณหน้ารถยนต์ จึงเกิดความแตกต่างของความดันซึ่งทำให้เกิดแรงต้านอากาศขึ้น

รูป (1) แสดงลักษณะของรถยนต์ทั่วไป อากาศหมุนท้ายรถยนต์มีจำนวนปานกลาง รูป (2) แสดงลักษณะของรถตู้ อากาศหมุนท้ายรถตู้มีจำนวนมาก รูป (3) แสดงลักษณะของรถบรรทุกซึ่งมีอากาศหมุนจำนวนมากกว่ารถตู้ รูป (4) แสดงอากาศหมุนจำนวนน้อยของรถยนต์ในอุดมคติ

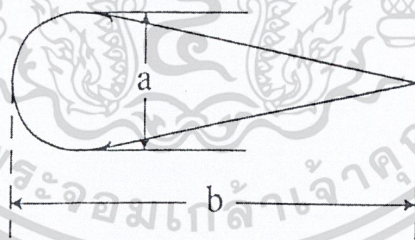
ดังนั้นในการออกแบบรูปทรงของรถยนต์ เพื่อลดแรงต้านอากาศจะต้องพยายามลดอากาศหมุนบริเวณท้ายรถยนต์ให้เหลือน้อยที่สุด

จากการทดสอบวัตถุรูปทรงต่าง ๆ เพื่อหาแรงต้านอากาศ พบว่า วัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันแต่รูปทรงต่าง ๆ กันจะมีแรงต้านอากาศไม่เท่ากัน เช่น แท่งทรงกระบอก ทรงกลม ทรงหยดน้ำ



รูปที่ 3.5 การเคลื่อนที่ของอากาศผ่านรูปทรงต่างๆ ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน

วัตถุทรงหยดน้ำที่ยาวเกินไปถึงแม้จะลดอากาศหมุนจนเหลือน้อยมากก็ตามแต่จะเพิ่มแรงดูดที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสของทรงหยดน้ำกับอากาศ ทำให้แรงต้านอากาศรวมเพิ่มขึ้น แต่วัตถุทรงหยดน้ำที่สั้นเกินไปจะมีอากาศหมุนบริเวณส่วนท้ายมาก ถึงแม้ว่าแรงดูดที่บริเวณผิวสัมผัสจะน้อยก็ตาม แต่แรงต้านอากาศรวมจะเพิ่มขึ้น ค่าที่เหมาะสมสำหรับวัตถุทรงหยดน้ำที่ให้แรงต้านอากาศน้อยที่สุด คือ $a/b = 1/2.5$



รูปที่ 3.6 สัดส่วนที่เหมาะสมของวัตถุทรงหยดน้ำ

สูตรที่ใช้คำนวณเพื่อหาแรงต้านอากาศ คือ

$$R_a = K_a AV^2 \quad (3.11)$$

- เมื่อ R_a = แรงต้านอากาศ, N
 K_a = สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ
 A = พื้นที่หน้าตัดของรถยนต์, m^2
 V = อัตราเร็วรถยนต์, km/h

จากการทดลองพบว่าค่า K_a ขึ้นอยู่กับรูปทรงของรถยนต์ที่ออกแบบ ถ้าออกแบบได้ลู่ลม ค่า K_a ก็จะน้อย แต่ถ้าด้านลมค่า K_a ก็จะมาก ค่า K_a ที่นิยมใช้กันมีดังนี้

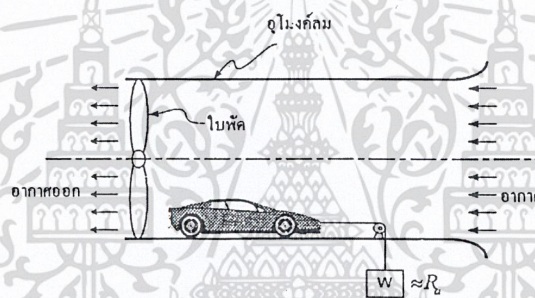
$$K_a = 0.023 \text{ สำหรับรถยนต์ที่ออกแบบแบบดีมาก}$$

$$K_a = 0.031 \text{ สำหรับรถยนต์ทั่วไป}$$

$$K_a = 0.045 \text{ สำหรับรถบรรทุกและรถเมล์}$$

การหาค่า K_a หรือแรงต้านอากาศอาจทำได้โดยการสร้างหุ่นจำลองรถยนต์ขนาดเล็กแล้ววางในอุโมงค์ลม ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณการไหลของอากาศภายในได้ หรือถ้ามีอุโมงค์ลมขนาดใหญ่ก็อาจใช้รถยนต์จริงในการทดสอบก็ได้

รูปที่ 3.7 แสดงการทดสอบเพื่อหาแรงต้านอากาศของรถยนต์โดยใช้หุ่นจำลองซึ่งวางไว้ในอุโมงค์ลม ด้านหน้าของหุ่นจำลองมีเชือกผูกไว้โดยคล้องกับรอกและห้อยตุ้มน้ำหนัก น้ำหนัก W ที่ใช้ในการวิ่งไม่ให้หุ่นจำลองเคลื่อนที่ถอยหลัง จะมีค่าใกล้เคียงกับแรงต้านอากาศ R_a



รูปที่ 3.7 การทดลองหาแรงต้านอากาศโดยใช้หุ่นจำลองและอุโมงค์ลม

เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของรถยนต์นั้นไม่เป็นสี่เหลี่ยม คือ มีส่วนเว้าส่วนโค้งตามความสวยงามของการออกแบบ จึงทำให้ไม่สามารถหาพื้นที่หน้าตัดของรถยนต์ได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงหาได้โดยวิธีประมาณดังนี้

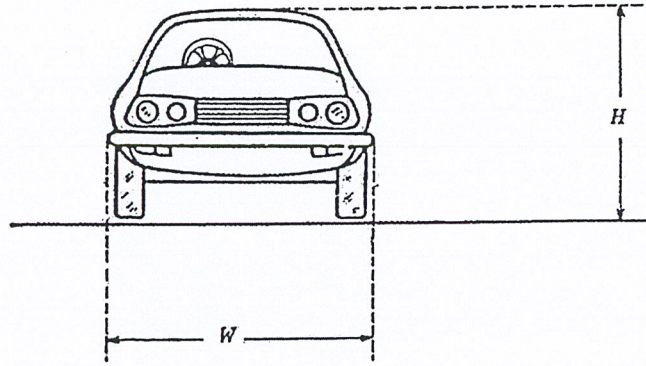
$$A = 0.8 WH \quad (3.12)$$

เมื่อ $A =$ พื้นที่หน้าตัดของรถยนต์, m^2

$W =$ ความกว้างของรถยนต์, m

$H =$ ความสูงของรถยนต์, m

ความกว้างของรถยนต์วัดจากขอบตัวถังถึงด้านซ้ายไปยังของตัวถังถึงด้านขวา ความสูงของรถยนต์วัดจากพื้นถนนถึงจุดสูงสุดของหลังคาหลังการยกตัว ตามรูปที่ 3.8

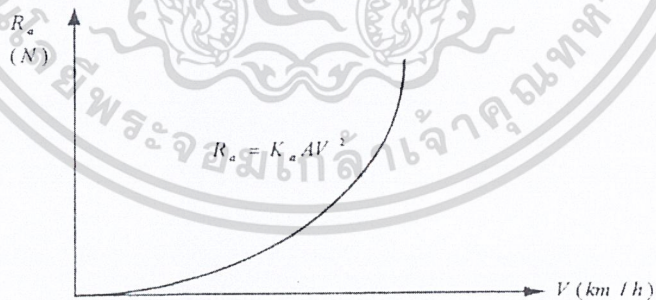


รูปที่ 3.8 ความกว้างและความสูงของรถยนต์

สำหรับอัตราเร็วรถยนต์ที่ใช้ในสูตรสำหรับการหา R_a นั้น ถ้ามีอัตราเร็วลมเข้ามาเกี่ยวข้องกับ เช่น วกทวนลม วกตามลม จะต้องนำอัตราเร็วลมมาคิดในสูตรด้วย ดังนี้

- รถยนต์วกทวนลม, ใช้ $V = \text{อัตราเร็วรถยนต์} + \text{อัตราเร็วลม}$
- รถยนต์วกตามลม, ใช้ $V = \text{อัตราเร็วรถยนต์} - \text{อัตราเร็วลม}$
- รถยนต์วกในลมสงบ, ใช้ $V = \text{อัตราเร็วรถยนต์}$

เมื่อนำค่า R_a และ V มาเขียนกราฟ จะได้กราฟลักษณะดังนี้



รูปที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านอากาศกับอัตราเร็วรถยนต์

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านอากาศกับอัตราเร็วรถยนต์ จะเห็นว่าแรงต้านอากาศจะเพิ่มขึ้นอย่างมากที่อัตราเร็วสูง ๆ แรงต้านอากาศจึงเป็นตัวการสำคัญอย่างยิ่งในการจำกัดอัตราเร็ว

สูงสุดของรถยนต์ ดังนั้นเพื่อลดแรงต้านอากาศให้น้อยลงจึงต้องพยายามลดค่า K_a ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดเท่ากัน ค่า K_a จะลดลงก็ต่อเมื่อรูปทรงของรถยนต์ต้องลู่ลมตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

3.3.5 แรงต้านทางชัน

ในขณะที่รถยนต์วิ่งขึ้นทางชัน กำลังจากเครื่องยนต์บางส่วนต้องถูกใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านทางชัน ทำให้เครื่องยนต์ต้องทำงานหนักมากขึ้นกว่าวิ่งบนถนนระดับแต่ในทางกลับกันรถยนต์วิ่งลงทางลาด เครื่องยนต์จะทำงานเบาขึ้นเพราะมีแรงเสริม เนื่องจากน้ำหนักรถยนต์ทำให้รถยนต์เคลื่อนที่ใช้เอง

แรงต้านทางชันเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1. น้ำหนักรถยนต์
2. ความชันของถนน

น้ำหนัก W ของรถยนต์ (ดูรูปที่ 2.24) สามารถแตกออกเป็นสองแนวตามรูป ได้แก่ $W \sin \theta$ และ $W \cos \theta$ แรงต้านทางชันเกิดจากค่า $W \sin \theta$

$$\therefore R_g = W \sin \theta$$

ในกรณีที่ θ มีค่าน้อย (น้อยกว่า 20°) จะได้ว่า $\tan \theta \approx \sin \theta$

และให้ $G = \% \text{ ความชัน} = \tan \theta \times 100$

ดังนั้น

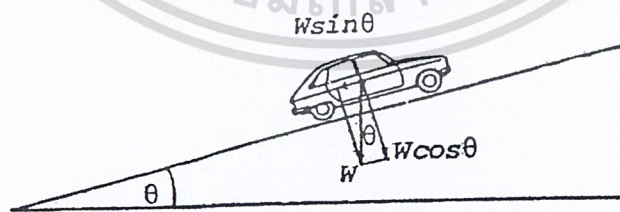
$$R_g = \frac{WG}{100}$$

(3.13)

เมื่อ $R_g =$ แรงต้านทางชัน, N

$W =$ น้ำหนักรถยนต์, N

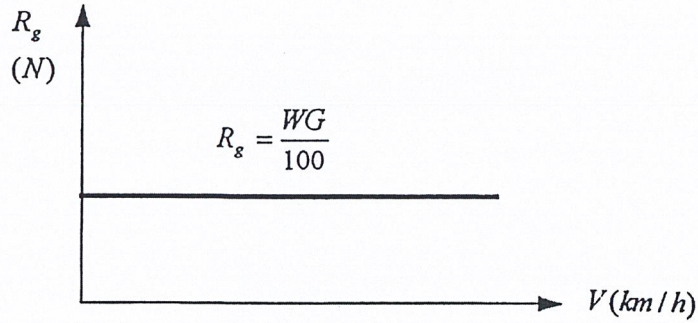
$G =$ ความชัน, %



รูปที่ 3.10 แรงต้านทางชัน

จะเห็นได้ว่า แรงต้านทางชันมีค่าคงที่ต่ำเสมอตรงเท่ากับน้ำหนักรถยนต์และความชันของถนน ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเขียนกราฟระหว่างแรงต้านทางชันกับอัตราเร็วรถยนต์จะได้กราฟเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



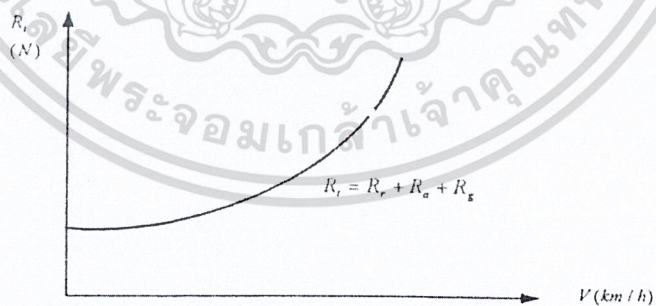
รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทางชันกับอัตราเร็วรถยนต์

เมื่อรวมแรงต้านการหมุนของล้อ แรงต้านอากาศ และแรงต้านทางชัน จะได้แรงต้านทั้งหมดของรถยนต์ในขณะที่กำลังวิ่งขึ้นทางชัน (ถ้ารถยนต์วิ่งบนถนนระดับ แรงต้านทั้งหมดจะมีเพียงแรงต้านการหมุนของล้อและแรงต้านอากาศ) ดังนั้นจะได้

$$R_t = R_r + R_a + R_g \tag{3.14}$$

- เมื่อ $R_t =$ แรงต้านทั้งหมด, N
- $R_r =$ แรงต้านการหมุนของล้อ, N
- $R_a =$ แรงต้านอากาศ, N
- $R_g =$ แรงต้านทางชัน, N

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่าแรงต้านทั้งหมดกับอัตราเร็วรถยนต์ จะได้กราฟซึ่งมีลักษณะดังนี้



รูป 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทั้งหมดกับอัตราเร็วรถยนต์

3.3.6 แรงขับเคลื่อน

ในขณะที่รถยนต์กำลังวิ่งด้วยอัตราเร็วใด ๆ เครื่องยนต์จะต้องส่งกำลังขับเคลื่อนไปยังล้อขับเคลื่อน แรงขับเคลื่อนที่ล้อจะต้องเท่ากับแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น เพื่อรักษาอัตราเร็วรถยนต์ให้คงที่แรงค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างยางกับถนน ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับถนนต้องสูงมากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการลื่นไถลบริเวณผิวสัมผัส

แรงขับเคลื่อนที่ล้อสามารถหาได้จากกำลังเครื่องยนต์ หรือในทางกลับกันก็สามารถหาลำกำลังเครื่องยนต์ได้จากแรงขับเคลื่อนที่ล้อ โดยใช้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเครื่องยนต์กับแรงบิดใช้สูตร

$$P_e = 2\pi NT_c \quad (3.15)$$

เมื่อ P_e = กำลังเครื่องยนต์, W

π = 3.1416

N = อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์, rps

T_c = แรงบิดเครื่องยนต์, N·m

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่ล้อขับเคลื่อนกับแรงบิดเครื่องยนต์ใช้สูตร

$$T_w = \frac{\eta_i i_g i_r T_c}{100} \quad (3.16)$$

เมื่อ T_w = แรงบิดที่ล้อ, N·m

η_i = ประสิทธิภาพการส่งกำลัง, %

i_g = อัตราทดเฟืองเกียร์

i_r = อัตราทดเฟืองท้าย

T_c = แรงบิดเครื่องยนต์, N·m

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับเคลื่อนและแรงบิดที่ล้อใช้สูตร

$$F = \frac{T_w}{r} \quad (3.17)$$

เมื่อ F = แรงขับเคลื่อน, N

T_w = แรงบิดที่ล้อ, N·m

r = รัศมีของยางที่ล้อขับเคลื่อน, m

จากสมการที่ (2.8) และ (2.9) จะได้แรงขับเคลื่อนที่ดังนี้

$$F = \frac{\eta_i i_g i_r T_c}{100r} \quad (3.18)$$

$$\text{หรือ } F = \frac{\eta_{i_0} T_c}{100r} \quad (3.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สเมื่อได้สำหรับใช้เป็นการอ้างอิงเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.7 อัตราเร็วรถยนต์

ในขณะขับที่รถยนต์ อัตราเร็วรถยนต์จะมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ โดยขึ้นอยู่กับอัตราทดเฟืองทั้งหมดขณะนั้น

การหาอัตราเร็วรถยนต์ทำได้ดังนี้

$$\text{ให้อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์} = N \text{ rps}$$

$$\text{ดังนั้น อัตราเร็วรอบล้อขับเคลื่อน} = \frac{N}{i_0} \text{ rps}$$

$$\text{เส้นรอบวงของยางรถยนต์} = 2\pi r \text{ m}$$

$$\text{ดังนั้น อัตราเร็วรถยนต์} = \frac{(2\pi r) N}{i_0} \text{ m/s}$$

$$\text{หรือ} \quad V = \frac{3.6(2\pi r) N}{i_0} \quad (3.20)$$

เมื่อ

$$V = \text{อัตราเร็วรถยนต์, km/h}$$

$$r = \text{รัศมียางรถยนต์, m}$$

$$N = \text{อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์, rps}$$

$$i_0 = \text{อัตราทดเฟืองทั้งหมด}$$

3.3.8 กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์

เมื่อคำนวณแรงต้านทั้งหมดของรถยนต์ได้แล้ว แรงขับเคลื่อนจะต้องมีค่าเท่ากับแรงต้านทั้งหมด เพื่อรักษาอัตราเร็วรถยนต์ให้คงที่

ดังนั้นกำลังขับเคลื่อนที่ล้อในขณะที่มีอัตราเร็ว = V หาได้จากสูตร

$$P_w = \frac{FV}{3.6}$$

และกำลังเครื่องยนต์ในขณะนั้นคำนวณได้จาก

$$P_e = \frac{100P_w}{\eta_t} = \frac{1000FV}{3.6\eta_t}$$

เมื่อ $P_w =$ กำลังขับเคลื่อนที่ล้อ, W

$F =$ แรงขับเคลื่อน, N

$V =$ อัตราเร็วรถยนต์, km/h

$P_e =$ กำลังเครื่องยนต์, W

$\eta_t =$ ประสิทธิภาพการส่งกำลัง, %

3.3.9 การเลือกขนาดของเครื่องยนต์และมอเตอร์

ข้อมูลการออกแบบ

● น้ำหนักจรรวม	730.5 กก.
- ตัวรถ	500 กก.
- คนขับ	65 กก.
- มอเตอร์	15 กก.
- แบตเตอรี่ 9 ก้อนๆละ 6 กิโลกรัม รวม	144 กก.
- เครื่องชาร์จไฟ	5 กก.
- ชุดควบคุม	1.5 กก.

● ความเร็วรถที่ออกแบบ	20 กก./ชม.
● รัศมีที่ล้อขับเคลื่อน	0.48 ม.
● ความกว้างของรถ	1.37 ม.
● ความสูงของรถ	1.78 ม.
● อัตราทดรวม	
- ระบบเครื่องยนต์	13.24 : 1
- ระบบไฟฟ้า	9.52 : 1
● ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า	0.8
● ประสิทธิภาพของระบบเครื่องยนต์	0.7

การคำนวณ

- แรงต้านการขับเคลื่อน
- แรงต้านการหมุนของล้อ

$$R_r = K_r W$$

$$= 0.0182(730.5 * 9.81) = 130.42 \text{ N}$$

- พื้นที่หน้าตัดรถ

$$A = 0.8 * \text{ความกว้างของรถ} * \text{ความสูงของรถ}$$

$$= 0.8 * 1.37 * 1.78$$

$$= 1.951 \text{ m}^2$$

- แรงต้านอากาศ

$$R_a = K_a A V''$$

$$= 0.031 * 1.951 * 20^2$$

$$= 24.19 \text{ N}$$

- ไม่คิดแรงต้านทางขึ้น

$$\begin{aligned} \text{แรงต้านทั้งหมด} \quad R_t &= R_f + R_a + R_g \\ &= 130.42 + 24.19 = 154.61 \text{ N} \end{aligned}$$

- แรงขับเคลื่อน

$$\begin{aligned} \text{แรงขับเคลื่อน}(F) &= \text{แรงต้านอากาศ}(R_t) \\ F &= 154.61 \text{ N} \end{aligned}$$

- แรงบิดที่ล้อขับเคลื่อน

$$\begin{aligned} T_w &= F \cdot r \\ T_w &= 154.61 \cdot 0.48 = 74.21 \text{ N.m} \end{aligned}$$

- กำลังขับเคลื่อนที่ล้อ

$$\begin{aligned} P_w &= FV/3.6 \\ &= (154.61 \cdot 20)/3.6 = 858.94 \text{ W} \end{aligned}$$

- กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์

$$\begin{aligned} P_e &= P_w / \eta_t \\ &= 858.94 / 0.7 = 1227.06 \text{ W} \end{aligned}$$

- แรงบิดของเครื่องยนต์

$$\begin{aligned} T_e &= T_w / \eta_t \cdot i_t \\ &= 74.21 / (0.7 \cdot 13.24) = 8.01 \text{ N.m} \end{aligned}$$

- ความเร็วรอบของเครื่องยนต์

$$\begin{aligned} N &= (V \cdot i_t) / (2\pi r \cdot 3.6) \\ &= (20 \cdot 13.24) / (2\pi \cdot 0.48 \cdot 3.6) \\ &= 24.39 \text{ rps} = 1463.34 \text{ rpm} \end{aligned}$$

- กำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์

$$\begin{aligned} P_m &= P_w / \eta_t \\ &= 858.94 / 0.8 = 1073.67 \text{ W} \end{aligned}$$

- แรงบิดของมอเตอร์

$$\begin{aligned} T_m &= T_w / \eta_t \cdot i_t \\ &= 74.21 / (0.8 \cdot 9.52) \\ &= 9.74 \text{ N.m} \end{aligned}$$

- ความเร็วรอบของมอเตอร์

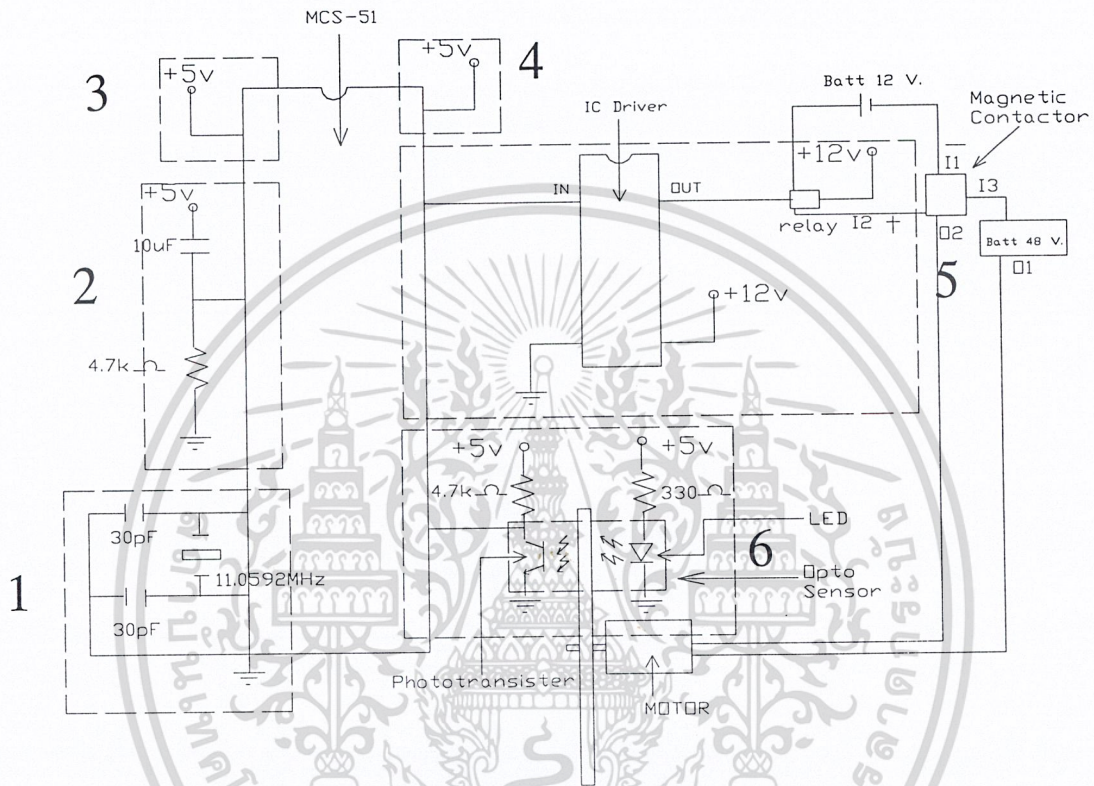
$$\begin{aligned} N &= (V \cdot i_t) / (2\pi r \cdot 3.6) \\ &= (20 \cdot 9.52) / (2\pi \cdot 0.48 \cdot 3.6) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 17.54 \text{ rps} = 1052.19 \text{ rpm}$$

3.4 วงจรควบคุมการทำงานในรถยนต์ไฮบริด

3.4.1 ชุดวงจรควบคุม



รูปที่ 3.13 วงจรควบคุมการทำงานในรถยนต์ไฮบริด

ส่วนที่ 1

- ประกอบด้วย
1. Cystal 1 ตัว
 2. ตัวเก็บประจุ 2 ตัว

ทำหน้าที่ เป็นตัวกำหนดว่าจะให้ตัวออสซิลเลเตอร์ใน MCS 51 กำเนิดสัญญาณความถี่ออกมาเท่าใดซึ่งจะมีการกำกับโดยใช้ตัว Cystal ซึ่งในที่นี้เราใช้ 11.0592 Hz

ส่วนที่ 2

- ประกอบด้วย
1. ตัวเก็บประจุ
 2. ตัวต้านทาน

ทำหน้าที่ เป็นชุด Power on Reset ทำหน้าที่ Reset Program ให้เริ่มทำงานที่จุดแรกของ

โปรแกรม โดยหากไม่มีชุดนี้โปรแกรมอาจจะเกิดความสับสนขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3

ทำหน้าที่ เป็นตัวกำหนดว่าจะเลือกใช้หน่วยความจำจากที่ใด ซึ่งหากจะใช้หน่วยความจำจากที่อื่นด้วยเราจะต่อส่วนนี้ลงกราวด์ แต่ในกรณีนี้เราจะใช้หน่วยความจำเฉพาะในตัว MCS 51 เท่านั้น จึงต่อไฟเลี้ยงส่วนนี้จำนวน 5 V.

ส่วนที่ 4

ทำหน้าที่ เป็นไฟเลี้ยงวงจร 5 V.

ส่วนที่ 5

ประกอบด้วย 1. IC Driver

2. Relay

ทำหน้าที่ ตัว IC Driver จะทำหน้าที่กลับสัญญาณที่เข้ามาทางขา Input ให้เป็นสัญญาณที่มีลักษณะตรงกันข้ามที่ขา Output (โดยภายในจะเป็นน็อดเกต) และจะมีไฟเลี้ยง 12 V. โดยในขณะที่ปกติที่ความเร็วรอบของเพลากลางยังไม่อยู่ในช่วงที่เราต้องการ ขา Input จะไม่มีไฟเลี้ยง ทำให้ขา Output มีไฟ 12 V. ไหลออกมา แต่หากความเร็วรอบอยู่ในช่วงที่เราต้องการ คือ 2100 - 2600 rpm ตัว MCS 51 จะส่งไฟไหลเข้าขา Input ของ IC Driver เป็นปริมาณ 12 V. ทำให้ขา Output มีค่าเป็น 0 V.

ตัว Relay ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุม Magnetic Contactor (ซึ่งตัว Magnetic Contactor เป็นตัวที่จะควบคุมการทำงานของมอเตอร์อีกที) โดยที่ขาหนึ่งจะต่ออยู่กับไฟ 12 V. และอีกขาหนึ่งจะต่ออยู่กับขา Output ของ IC Driver ซึ่งตัว Relay จะทำงานก็ต่อเมื่อมีแรงดันไฟตกคร่อมนั้นคือ ขา Output ของ IC Driver กลายเป็น 0 V. นั่นเอง

ส่วนที่ 6

ประกอบด้วย 1. Opto Sensor

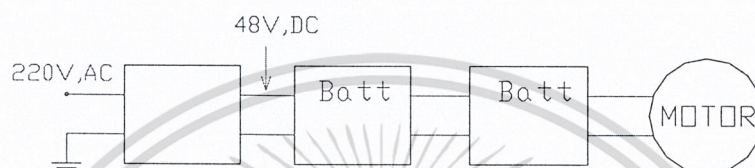
2. ตัวต้านทาน

ทำหน้าที่ ตัว Opto Sensor ประกอบด้วยตัว LED ข้างหนึ่งและตัว Photo Transistor อีกข้างหนึ่ง โดยแต่ละขาจะต่อตัวต้านทานเพื่อ Drop Volt. ที่สูงเกินไป โดยตัว Opto Sensor จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณเป็น Pulse Signal ไปประมวลผลที่ตัว MCS-51

3.4.2 หลักการทำงานของวงจรควบคุม

หลักการทำงานจะเริ่มที่ตัวชุด Encoder จะทำหน้าที่วัดความเร็วรอบ (โดยใช้ตัว Opto Sensor) ประกอบไปด้วย แผ่นโลหะกลมแบนซึ่งติดอยู่ที่หัวของมอเตอร์ เจาะรูเล็กๆ 1 รูไว้ที่แผ่นโลหะแล้วใช้ Opto Sensor คร่อมรูไว้ ในขณะที่รูไม่ตรงกับตัว Opto Sensor ทำให้ไฟจากตัว LED ไม่ไปกระทบกับตัว Photo Transistor ทำให้มีไฟ 5 V. ไหลเข้าไปที่ตัว MCS-51 และเมื่อตรงกับรูไฟจาก LED จะไปกระทบกับตัว Photo Transistor ทำให้มีไฟไหลเข้าไปที่ตัว MCS-51 เมื่อเป็นเช่นนี้ตัว MCS-51 จะประมวลผลให้นับเป็น 1 รอบ

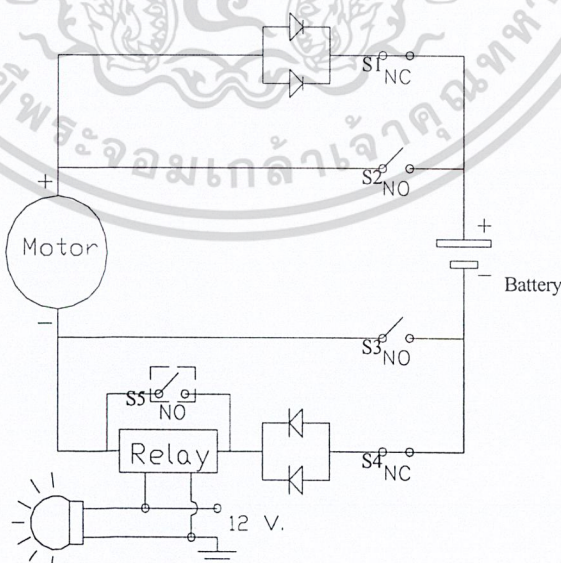
ในขณะที่ความเร็วรอบของพลาถกลางไม่อยู่ในช่วงที่เราต้องการคือ 2100 - 2600 rpm ตัววงจรควบคุมก็จะไม่สั่งให้ Magnetic Contactor ทำงาน แต่ถ้าหากถึงตามที่เราตั้งโปรแกรมไว้ Magnetic Contactor จะทำงานและสั่งให้ Motor ทำงานเพื่อช่วยเสริมกำลังให้กับรถต่อไป



รูปที่ 3.14 ชุดหม้อแปลงชาร์ตแบตเตอรี่

3.4.3 ชุดหม้อแปลงชาร์ตแบตเตอรี่

เราจะใช้หม้อแปลงในกรณีชาร์ตแบตเตอรี่จากไฟบ้านเพื่อความสะดวก เมื่อไฟของชุดแบตเตอรี่ 4 ลูก ซึ่งใช้เลี้ยงมอเตอร์มีไฟไม่เพียงพอที่จะขับเคลื่อนมอเตอร์ได้ก็จะทำการเสียบปลั๊กไฟเข้ากับไฟบ้านได้เลย โดยมีชุดวงจรของหม้อแปลงชาร์ตแบตเตอรี่ดังนี้



รูปที่ 3.15 วงจรประจุไฟเข้าแบตเตอรี่

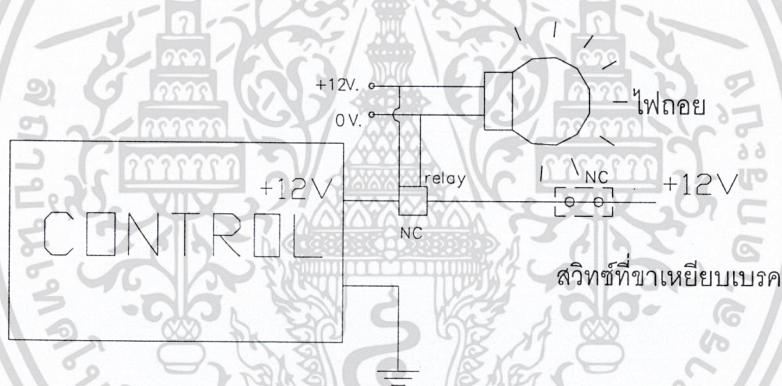
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรนี้ในขณะที่ชุดควบคุมยังไม่สั่งให้มอเตอร์ทำงานลักษณะของสวิตช์จะเป็นดังรูปคือจะไม่มีไฟไปเลี้ยงมอเตอร์และไฟชาร์ตแบตเตอรี่ไม่ได้ แต่เมื่อเราเหยียบเบรคจะทำให้รีเลย์ทำงานโดยใช้ไฟจากการต่อฟ่วงกับสายไฟเบรคและมีไฟไปชาร์ตที่แบตเตอรี่ได้(หรือถ้าหากต้องการชาร์ตแบตเตอรี่โดยไม่ต้องเหยียบเบรคก็ทำได้โดยการควบคุมที่สวิตช์ S_2 บริเวณหน้าปัดรถได้) โดยไฟจะไหลไปชาร์ตแบตเตอรี่เพียงทิศทางเดียว โดยจะมีตัวไดโอดควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า (เราใช้ไดโอด 2 ตัวต่อขนานกันเพื่อแบ่งกระแสปริมาณมากที่ไหลจากแบตเตอรี่ เพื่อพยายามจะไหลไปเลี้ยงมอเตอร์ได้)

แต่หากชุดควบคุมสั่งให้มอเตอร์ทำงานลักษณะของสวิตช์ทั้งหมดจะตรงกันข้ามกับรูปข้างต้น โดยสวิตช์ S_2 และ S_3 จะปิดลง ส่วนสวิตช์ S_1 กับ S_4 จะเปิดออก ทำให้มีไฟไหลเข้าไปเลี้ยงทำให้อมอเตอร์หมุนส่งกำลังได้ โดยจะไม่มีกระแสไฟกลับเข้าไปเก็บไว้ที่แบตเตอรี่เลย

โดยสรุปคือ หากชุดควบคุมไม่ได้สั่งให้มอเตอร์ทำงาน ก็จะไม่มีการ Load เกิดขึ้นที่ตัวมอเตอร์เลย จนกระทั่งหากมีการเหยียบเบรคจึงจะทำให้มีการชาร์ตเกิดขึ้นและทำให้มี Load เกิดขึ้นที่จังหวัดการทำงานนี้

3.4.4 ระบบตัดต่อการทำงานของวงจรควบคุม



รูปที่ 3.16 ระบบตัดต่อการทำงานของวงจรควบคุม

ในกรณีที่มีการใส่เกียร์ถอยหลังจากจะทำให้ไฟถอยติดและมีไฟไปเลี้ยงที่ตัว Relay ส่งผลให้มีสถานะภาพเป็น NO วงจรควบคุมจะหยุดการทำงานทันทีเนื่องจากไม่มีไฟส่งไปเลี้ยงที่ตัววงจร

และในกรณีที่เราเหยียบเบรค สวิตช์ที่ขาเหยียบเบรคจะถูกเปิดออก จึงอยู่ในสถานะ NO ทำให้วงจรควบคุมหยุดการทำงานทันทีเช่นกัน

3.4.5 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

- ไทม์เมอร์ในการกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล

ไทม์เมอร์ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์ประกอบไปด้วยไทม์เมอร์ 0 และไทม์เมอร์ 1 และอาจจะมีไทม์เมอร์ 2 ในบางเบอร์ของ MCS-51 โดยการกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (Baud Rate) เพื่อการใช้งานพอร์ตสื่อสารข้อมูลอนุกรมในโหมดที่ 1 นั้นจะใช้ไทม์เมอร์ 1 เป็นตัวกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผู้ใดเห็น ใบนี้เพื่อใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Band Rate ซึ่งการใช้งานไทม์เมอ์นั้นจะถูก ควบคุมด้วยรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TMOD โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TMOD : TIMER/COUNTER Mode Control Register (Notbit Addressable)

Timer1				Time 0			
SM0	SM1	SM2	REM	TB8	RB8	TI	RI

รูปที่ 3.17 แสดงส่วนประกอบของ mcs-51

ภายในรีจิสเตอร์ TMOD จะประกอบไปด้วยบิตการควบคุมการใช้งานต่างๆ จำนวน 8 บิตจากข้างต้นจะพบว่าจะมีบิตในการใช้งานไทม์เมอ์ 1 และไทม์เมอ์ 0 โดย 4 บิตบนจะควบคุมการใช้งานไทม์เมอ์ 1 และ 4 บิตล่างจะเป็นชุดควบคุมไทม์เมอ์ 0 ซึ่งทั้ง 4 บิตบนและล่างจะมีลักษณะการใช้งานเช่นเดียวกันรายละเอียดของชุดบิตดังกล่าวมา เพื่อการใช้งานไทม์เมอ์ในการกำหนดอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมแสดงดังดังนี้

ชื่อบิต

รายละเอียด

GATE

เท่ากับ 0 จะสามารถเลือกใช้งานไทม์เมอ์หรือเคาน์เตอร์ได้

C/T

บิตเลือกการทำงานไทม์เมอ์หรือเคาน์เตอร์โดย

เท่า 1 หมายถึง ใช้งานเป็นเคาน์เตอร์นับพัลส์ภายนอกที่ขา TX(T0,T1)

เท่า 0 หมายถึง ใช้งานเป็นไทม์เมอ์นับการทำงานของแมชชีนไซเคิล

M0

บิตเลือกโหมดการใช้งานไทม์เมอ์ 0 และไทม์เมอ์ 1

M1

บิตเลือกโหมดการใช้งานไทม์เมอ์ 0 และไทม์เมอ์ 1

การควบคุมบิต TRX (TR0,TR1) ทางซอฟต์แวร์นั้น บิต TRX จะอยู่ในรีจิสเตอร์ TCON ซึ่งสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิตโดยถ้า TR1=1 จะเป็นการใช้งานในโหมดไทม์เมอ์ 1 และถ้า TR0=1 จะเป็นการใช้งานในโหมดไทม์เมอ์ 0 ซึ่งนั่นก็คือบิต TR0 และ TR1 ภายในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TCON จะเป็นตัวควบคุมการใช้งานไทม์เมอ์ 0 และไทม์เมอ์ 1 ตามลำดับ

โดยจากตารางจะเห็นว่าบิต M0 และ M1 นั้นจะใช้เป็นบิตในการควบคุมหรือเลือกโหมดการทำงานของไทม์เมอ์ ซึ่งสามารถสรุปเป็นตารางความจริงของบิต M0 และ M1 ได้ แสดงในตารางการใช้งานไทม์เมอ์ 1 เพื่อการกำหนดอัตราเร็วในการสื่อสารอนุกรมนั้นจะใช้งานไทม์เมอ์ 1

ในโหมดที่ 2 โดยจากตารางนั้นก็คือ บิต M1 ถูกเซ็ตให้เป็น 1 และบิต M0 ถูกเซ็ตให้เป็น 0 ในส่วนของรายค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละเอียดของการทำงานภายในของไมโครเมอร์ 1 ในโหมดที่ 2 หรือในโหมดอื่นๆ นั้น จะไม่แสดงรายละเอียดเนื่องจากเป็นขั้นตอนการทำงานภายในโดยตัว CPU เป็นตัวควบคุมการทำงานทั้งหมด

จากที่กล่าวมาการใช้งานไมโครเมอร์ 1 ในโหมดที่ 2 เพื่อการกำหนดอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลอนุกรม นั้น จะมีบิต SMOD ภายในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PCON เป็นตัวกำหนดอัตราการเกิดโอเวอร์โฟลว์(Over Flow)ให้กับไมโครเมอร์ 1 โดยลักษณะชุดข้อมูลของรีจิสเตอร์ PCON มีดังนี้

- รีจิสเตอร์ PCON : Power Control Register(Not Bit Addressable)

SMOD	—	—	—	GF1	GF0	IDL
------	---	---	---	-----	-----	-----

รูปที่ 3.18 แสดงลักษณะรูปแบบชุดข้อมูลของรีจิสเตอร์ PCON

ข้างต้นเป็นลักษณะรูปแบบชุดข้อมูลของรีจิสเตอร์ PCON จะเห็นว่าบิต SMOD จะอยู่ในตำแหน่งบิตสูงสุด(Most Significant Bit ; MSB) ของชุดข้อมูล 8 บิต และรีจิสเตอร์ PCON นี้ จะไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลในระดับบิตได้ฉะนั้นการเซตค่า SMOD ในการควบคุมการเกิดโอเวอร์โฟลว์ให้ไมโครเมอร์ 1 นั้น จะไม่สามารถกระทำได้โดยการส่งชุดข้อมูลครั้งละ 8 บิตเข้าไปในรีจิสเตอร์ PCON ดังตัวอย่าง

MOV PCON,#80H ; บิต SMOD เท่ากับ 1

MOV PCON,#00H ; บิต SMOD เท่ากับ 0

รายละเอียดการใช้งานบิต SMOD นั้นจะเป็นบิตในการควบคุมอัตราความเร็วในการรับข้อมูล (Baud Rate) โดยถ้าหากถูกเซตหรือบิต SMOD มีค่าเป็น 1 จะทำให้มีการเพิ่มอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลเป็น 2 เท่านั่นเอง

จากที่กล่าวมาแล้วว่ารูปแบบในการใช้งานพอร์ตสื่อสารข้อมูลอนุกรมของ MCS-51 นั้นสามารถที่จะจัดรูปแบบการใช้งานได้ถึง 4 โหมดโดยจะมีเพียงโหมดที่ 1 และ 3 เท่านั้น ที่สามารถกำหนดอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลได้ ซึ่งสามารถสรุปเป็นสมการการคำนวณอัตราความเร็วในการรับข้อมูลได้ดังสมการที่ 1

$$\text{Baud Rate} = \frac{K \times \text{Oscillator Frequency}}{32 \times 12 \times [256 - (\text{TH1})]}$$

สมการที่ 1

จากสมการที่ 1 ค่า K จะมีค่าเท่ากับ 2^{SMOD} โดยค่าอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลนั้นจะทำการกำหนดขึ้นมาได้ตามต้องการแต่โดยมาตรฐานทั่วไปจะใช้อัตราความเร็วที่ 4800 หรือ 9600 บิตต่อวินาที (bps) ฉะนั้นตัวแปรที่เราต้องการหาจากสมการที่ 1 ก็คือค่าของ TH1 ซึ่งสามารถเปลี่ยนสมการที่ 1 ได้ใหม่เพื่อการคำนวณค่าของ TH1 ให้ได้ตามค่า Baud Rate ตามที่เราต้องการได้ใหม่ดังสมการที่ 2

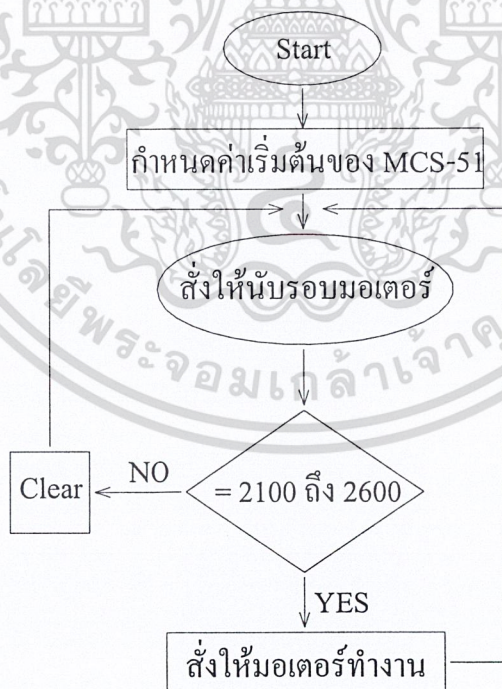
$$TH1 = \frac{256 - K \times \text{Oscillator Frequency}}{384 \times \text{Baud Rate}}$$

สมการที่ 2

จากสมการที่ 2 สามารถสรุป และแสดงตัวอย่างค่าต่างๆ ของ TH1 ที่สามารถกำหนดอัตราความเร็วในการรับข้อมูลมาตรฐาน(Baud Rate) ดังแสดงในตาราง

ตามตารางจะเห็นได้ว่าการใช้งาน X-TAL Oscillator ที่ความถี่ 11.059 MHz นั้นจะสามารถกำหนดอัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูล(Baud Rate) ได้ค่า Actual Baud Rate ที่ลงตัว ในการใช้งานพอร์ตสื่อสารข้อมูลอนุกรมในโหมดที่ 1 โดยใช้งานไทม์เมอร์ 1 ในโหมดที่ 2 เป็นตัวควบคุมหรือกำหนดอัตราความเร็ว(Baud Rate) ที่ไม่มีความผิดพลาด(Error) เกิดขึ้นเลยหรือเป็นไปตามทฤษฎีนั้นเองคดยจะเห็นว่าเมื่อต้องการกำหนดอัตราความเร็วในการรับข้อมูลที่อัตราความเร็ว 9600 บิต ต่อ วินาทีนั้น จะต้องทำการเคลียร์บิต SMOD (ถูกเซตเป็น 0) และทำการเซตค่าของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TH1 ให้มีค่าเป็น FDH (253=FDH จากการคำนวณในสมการที่ 2) จากนั้นก็ทำการเซตบิต TR1 (เซตเป็น 1) เพื่อเริ่มต้นการใช้งานไทม์เมอร์ 1 ก็จะได้อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูล 9600 บิต ต่อ วินาที(bps) ตามต้องการ

ซึ่งอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลที่กล่าวถึงมาโดยตลอดนั้น จะใช้กับชุดข้อมูลที่มีขนาด 10 บิต (ประกอบด้วย Start Bit, ข้อมูล 8 บิต และ Stop Bit) ซึ่งเป็นชุดข้อมูลมาตรฐานในการคำนวณ Baud Rate ดังที่กล่าวมา



รูปที่ 3.19 Flow Chart แสดงการทำงานของโปรแกรมชุดควบคุมมอเตอร์

- โปรแกรมควบคุมมอเตอร์ที่ช่วงกำหนดความเร็ว (ภาษา Assembly สำหรับ MCS-51)

ORG 0000H

MOV 89H,#00010101B

START: MOV A,#00H

MOV P2,A

MOV TL0,#00H

SETB TR0

LCALL TIMER

CLR TR0

MO1: MOV A,TL0

CJNE A,#19,MO2

LCALL ON

LCALL DELAY

LJMP START

MO2: MOV A,TL0

CJNE A,#20,MO3

LCALL ON

LCALL DELAY

LJMP START

MO3: MOV A,TL0

CJNE A,#21,MO4

LCALL ON

LCALL DELAY

LJMP START

MO4: MOV A,TL0

CJNE A,#22,MO5

LCALL ON

LCALL DELAY

LJMP START

MO5: MOV A,TL0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CJNE A,#23,MO6
LCALL ON
LCALL DELAY
LJMP START

```

```

MO6: MOV A,TL0
CJNE A,#24,CLEAR
LCALL ON
LJMP START

```

```

CLEAR: MOV A,#00H
MOV P2,A
LJMP START

```

```

ON: MOV A,#0FFH
MOV P2,A
RET

```

```

TIMER: MOV R1,#45
NEW: LCALL LOOP
DJNZ R1,NEW
RET

```

```

LOOP: MOV TH1,#0DBH
MOV TL1,#0FFH
CLR TF1
SETB TR1
JNB TF1,$
CLR TR1
CLR TF1
RET

```

```

DELAY: MOV R5,#0FFH

```

```

OP1: MOV R6,#0FFH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OP2: MOV R7,#32H
OP3: NOP
DJNZ R7,OP3
DJNZ R6,OP2
DJNZ R5,OP1
RET
END



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบของรถไฟฟ้าไฮบริด

4.1 วัตถุประสงค์

- เพื่อทำการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละระบบการทำงานของรถยนต์ไฮบริด
- เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และพัฒนาต่อไปในอนาคต

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. รถยนต์ไฮบริด
2. เครื่องวัดความเร็วรอบ,กำลัง,ความเร็วรถยนต์
3. เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า
4. นาฬิกาจับเวลา
5. ชุดวัดอัตราการกินน้ำมัน
6. แบตเตอรี่

4.3 วิธีการทดสอบ

4.3.1 การทดสอบเครื่องยนต์

การทดสอบเครื่องยนต์เป็นการนำรถไฮบริดมาทดสอบสมรรถนะในส่วนการทำงานของเครื่องยนต์ในสถานะต่างๆเพื่อหาค่ากำลังที่รถยนต์ให้ออกมาในช่วงความเร็วต่างๆและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน โดยในการทดสอบครั้งนี้ใช้เครื่องทดสอบ CHASSIS DYNAMOMETER ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- ขับรถให้ล้อที่จะทำการทดสอบอยู่กลางลูกกลิ้งในขณะที่ลิฟท์ยกรถถูกยกขึ้นรอไว้โดยกด PUSH BUTTON ที่ REMOTE CONTROL
- กดปุ่มให้ลิฟท์ลงให้ล้อสัมผัสลูกกลิ้งตรวจสอบให้มั่นใจว่าล้อรถสัมผัสเฉพาะลูกกลิ้งเท่านั้น
- ปรับค่าน้ำหนักรถ ความต้านทานของลมปะทะระดเวลาวิ่งจริง และความต้านทานของยางรถ
- ลูกกลิ้งจะถูกล็อกโดยอัตโนมัติในกรณีที่เกิดปุ่มยกลิฟท์ขึ้นเพื่อให้ขับรถออกจากลูกกลิ้งได้ หากขับรถบนลูกกลิ้งเกินกว่าความเร็ว 5 กม./ชม. ปุ่มยกลิฟท์จะไม่ทำงานเพื่อป้องกันรถเลื่อนออกจากลูกกลิ้งในขณะที่ทำการทดสอบอยู่
- ปรับโปรแกรมการทดสอบ km/h ไฟที่ Cabinet จะติดขณะนี้ Eddy Current Brake จะทำงานโดยอัตโนมัติ
- ในขณะที่รถวิ่งอยู่บนลูกกลิ้งจะไม่สามารถเปลี่ยน โปรแกรมการทดสอบได้ต้องให้ลูกกลิ้งหยุดก่อนจึงจะเปลี่ยนโปรแกรมได้
- ตั้งค่าภาระของเครื่องทดสอบที่ความเร็วต่าง ๆ
- เร่งความเร็วของเครื่องยนต์จนกระทั่งค่าความเร็วของเครื่องยนต์บนเครื่องทดสอบเพิ่มขึ้นจนไม่มีการเปลี่ยนแปลง ณ ที่ความเร็วที่ตั้งไว้
- อ่านค่าและบันทึกผลลงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การทดสอบการใช้น้ำมัน

- กำหนดระยะทางการวิ่งของรถยนต์เป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร
- กำหนดความเร็วของรถยนต์ให้คงที่ในช่วง 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ตลาดเคลื่อนได้ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
- เติมน้ำมันในกระบอกตวงขนาด 160 ซีซี
- ทำการวิ่งในช่วงระยะทางและความเร็วของรถยนต์ในช่วงที่กำหนดไว้
- ระหว่างการทดลองในกรณีที่ใช้ระบบไฮบริดให้วัดกระแสไฟฟ้าด้วย
- สังเกตปริมาณน้ำมันที่ใช้ไปเมื่อวิ่งครบตามระยะทางที่กำหนด
- บันทึกค่าที่ได้

4.3.3 การทดสอบมอเตอร์

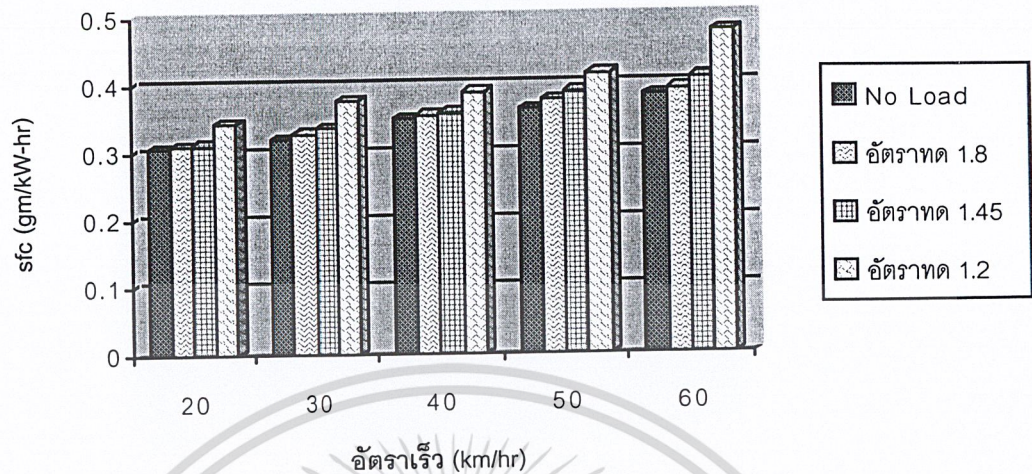
- วัดกระแสไฟฟ้าที่เข้ามอเตอร์โดยใช้แอมป์มิเตอร์แล้วบันทึกค่ากระแสที่ทำได้
- วัดค่าความเร็วรอบที่ทำได้โดยใช้เครื่องวัดรอบแล้วบันทึกค่าความเร็วรอบที่ทำได้

4.4 ผลการทดสอบระบบเครื่องยนต์ (โดยใช้เครื่องทดสอบ Chassis Dynamometer)

4.4.1 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะ (SFC, gm/kW-hr)

ตารางที่ 4-1 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะที่สภาวะต่างๆ

ความเร็ว (km/h)	อัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน(gm-kw-hr)			
	ไม่มี LOAD	อัตราทด 1.8	อัตราทด 1.45	อัตราทด 1.2
20	0.306	0.31	0.312	0.344
30	0.3197	0.329	0.336	0.377
40	0.3504	0.355	0.359	0.389
50	0.3635	0.378	0.389	0.416
60	0.3841	0.392	0.409	0.478



กราฟที่ 4-1 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะที่สภาวะต่างๆ

จากกราฟจะเห็นได้ว่าที่อัตราทดสูงจะประหยัดน้ำมันมากกว่า เนื่องจากที่อัตราทดสูงจะได้กำลังมากขึ้นก็จะทำให้ได้ค่า sfc น้อยลง ซึ่งเป็นไปตามสูตร

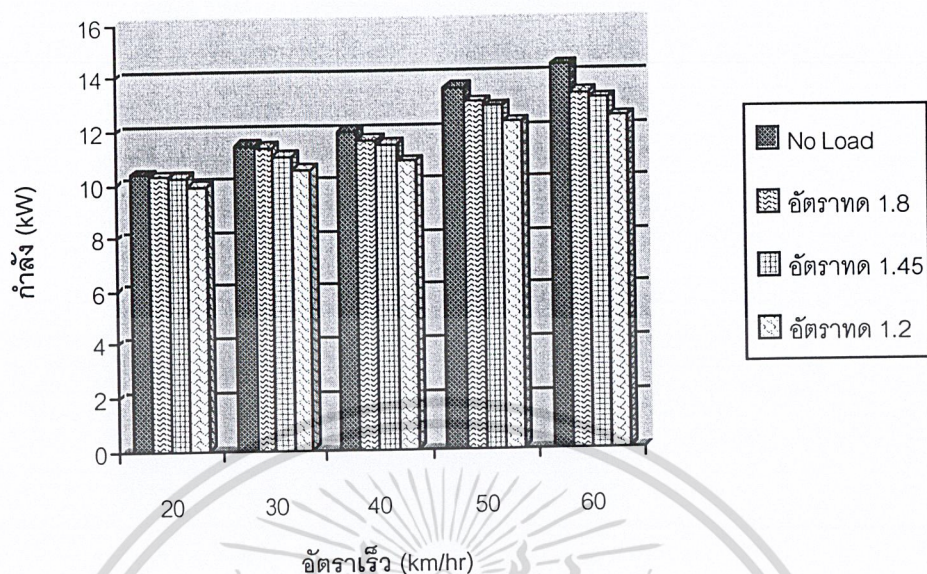
$$sfc = \frac{\text{rate of fuel into engine}}{\text{engine power}} \quad (\text{gm/kW-hr})$$

ซึ่งที่อัตราทด 1.8 เป็นอัตราทดที่มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะต่ำกว่าอัตราทด 1.45 และอัตราทด 1.2 แต่สูงกว่าที่สภาวะ NO LOAD ที่อัตราเร็วเดียวกันจึงเลือกใช้อัตราทด 1.8 เป็นอัตราทดที่ใช้ในรถยนต์ไฮบริด

4.4.2 กำลังของรถยนต์ (km/hr)

ตารางที่ 4-2 แสดงค่ากำลัง(kw)ของรถยนต์ที่สภาวะต่างๆ

ความเร็ว(km/h)	กำลัง(kw)			
	ไม่มี LOAD	อัตราทด 1.8	อัตราทด 1.45	อัตราทด 1.2
20	10.40	10.30	10.25	9.90
30	11.45	11.35	11.00	10.50
40	11.95	11.60	11.45	10.80
50	13.55	13.00	12.85	12.25
60	14.35	13.30	13.10	12.40



กราฟที่ 4-2 แสดงการเปรียบเทียบกำลัง(kW)ของรถยนต์ที่สภาวะต่างๆ

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าที่อัตราทด 1.8 จะได้กำลังมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราทด 1.45 และอัตราทด 1.2 ที่อัตราเร็วของรถที่เดียวกันจึงเลือกใช้อัตราทด 1.8 เป็นอัตราทดที่ใช้ในรถยนต์ไฮบริด

4.4.3 ผลการทดสอบระบบเครื่องยนต์ (วิ่งบนถนนระยะทาง 1 กิโลเมตร)

ตารางที่ 4-3 แสดงผลการทดสอบของระบบเครื่องยนต์

การทดสอบ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
เวลาที่ใช้ (s)	150	152	150	150.67
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (cc)	125	128	125	126
ความเร็วรถยนต์ (km/hr)	20	21	20	20.33
อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะ (km/litre)	8	7.81	8	7.94
กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ (W)	10600	10700	10650	10650
ราคาน้ำมันที่สูญเสียไป (฿)	1.625	1.664	1.625	1.638

(โดยคิดราคาน้ำมันเบนซิน 91 ราคา 13 บาทต่อลิตร)

จากผลการทดสอบเครื่องยนต์มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉลี่ย 7.94 กิโลเมตรต่อลิตร และมีกำลัง

ขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ 10.650 kW

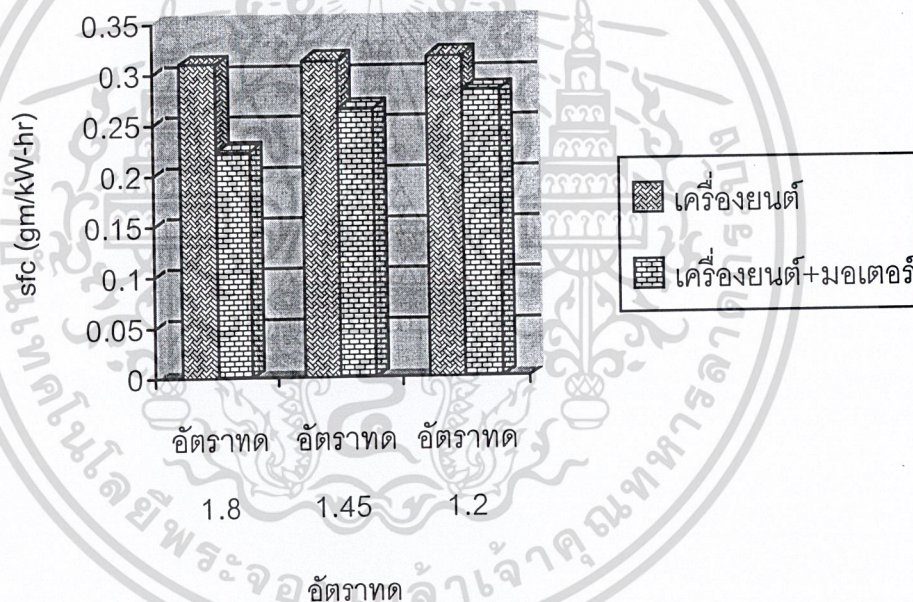
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดสอบระบบไฮบริด (โดยใช้เครื่องทดสอบ CHASSIS DYNAMOMETER)

4.5.1 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะ (SFC, gm/kW-hr)

ตารางที่ 4-4 แสดงค่า sfc ของโหมดเครื่องยนต์และโหมดไฮบริด(เครื่องยนต์+มอเตอร์)

อัตราทด	อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน(gm-kw-hr)	
	เครื่องยนต์	ไฮบริด
1.8	0.310	0.224
1.45	0.313	0.265
1.2	0.317	0.283



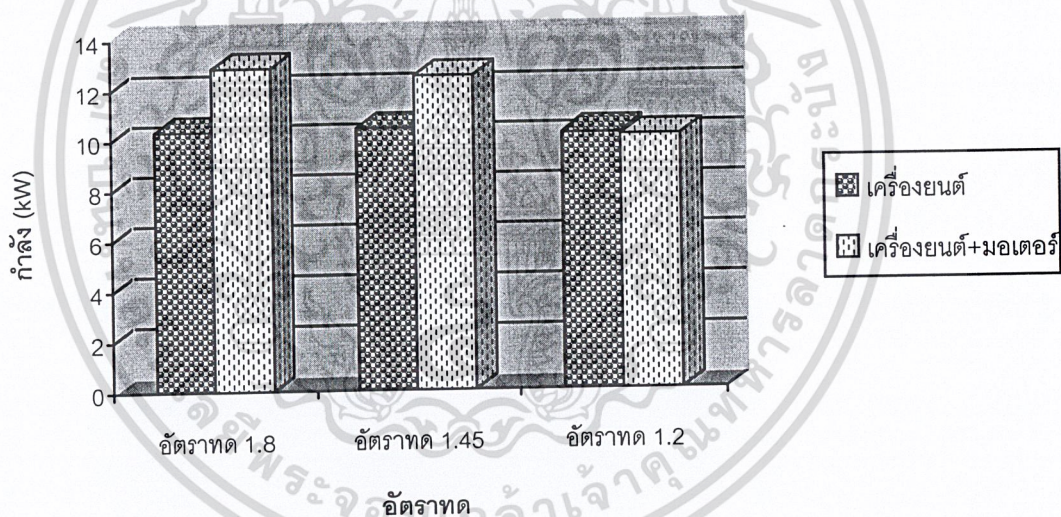
กราฟที่ 4-3 เปรียบเทียบค่า sfc ระหว่างโหมดเครื่องยนต์และโหมดไฮบริด(เครื่องยนต์+มอเตอร์)

จากกราฟจะเห็นได้ว่าโหมดไฮบริด(เครื่องยนต์+มอเตอร์)จะประหยัดน้ำมันมากกว่าโหมดเครื่องยนต์เพราะว่าโหมดไฮบริด(เครื่องยนต์+มอเตอร์)ได้นำมอเตอร์มาใช้ร่วมกับเครื่องยนต์ทำให้รถมีกำลังสูงขึ้นจึงสิ้นเปลืองน้ำมันน้อยกว่าโหมดเครื่องยนต์ที่ใช้กำลังจากเครื่องยนต์อย่างเดียว

4.5.2 กำลังของเครื่องยนต์ (kW)

ตารางที่ 4-5 แสดงกำลังของเครื่องยนต์ในโหมดเครื่องยนต์และโหมดไฮบริด(เครื่องยนต์+มอเตอร์)

อัตราทด	กำลัง(kw)	
	เครื่องยนต์	ไฮบริด
1.8	10.30	12.85
1.45	10.40	12.50
1.2	10.20	12.05



กราฟที่ 4-4 เปรียบเทียบค่ากำลังของรถยนต์ในโหมดเครื่องยนต์และโหมดไฮบริด(เครื่องยนต์+มอเตอร์)

จากกราฟจะเห็นว่ากำลังที่ได้จากไฮบริด(เครื่องยนต์+มอเตอร์)จะมากกว่าโหมดเครื่องยนต์เพราะว่าไฮบริด(เครื่องยนต์+มอเตอร์)จะใช้มอเตอร์ร่วมกับเครื่องยนต์จึงทำให้กำลังที่ได้เพิ่มขึ้น

4.5.3 ผลการทดสอบระบบไฮบริด (วิ่งบนถนนระยะทาง 1 กิโลเมตร)

ตารางที่ 4-6 แสดงผลการทดสอบของระบบไฮบริด

การทดสอบ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
เวลาที่ใช้ (s)	149	151	150	150
ปริมาณน้ำมันที่ใช้(cc)	75	77	73	75
ความเร็วรถยนต์ (km/hr)	20	20	20	20
อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะ (km/litre)	13.33	12.99	13.7	13.34
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (A)	36	37	35	36
กำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์ (W)	1728	1776	1680	1728
กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ (W)	9800	10000	9900	9900
พลังงานการใช้กระแสไฟฟ้า (kW. hr)	0.071	0.074	0.07	0.072
จำนวนเงินที่ต้องใช้ไปกับค่าไฟฟ้า (฿)	0.128	0.133	0.126	0.129
จำนวนเงินของน้ำมันที่ต้องสูญเสียไป (฿)	0.975	1.001	0.949	0.975
รวมจำนวนเงินที่ต้องสูญเสียไปทั้งหมด (฿)	1.103	1.134	1.075	1.104

(โดยคิดราคาน้ำมันเบนซิน 91 ราคา 13 บาทต่อลิตร ค่ากระแสไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัยในบ้านเรือนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 1 – 150 หน่วยแรกคิดราคาหน่วยละ 1.804 บาทต่อหน่วย)

จากผลการทดสอบความเร็วของรถในระบบไฮบริดอยู่ที่ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันอยู่ที่ 13.34 กิโลเมตรต่อลิตรและใช้กระแสไฟฟ้า 36 แอมแปร์ กำลังขับเคลื่อนรวมอยู่ที่ 11.628 kW จำนวนเงินที่เสียไปกับค่ากระแสไฟฟ้า 0.129 บาทและที่เสียไปกับค่าน้ำมัน 0.975 บาท

4.6 ผลการทดสอบมอเตอร์

ตารางที่ 4-7 แสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

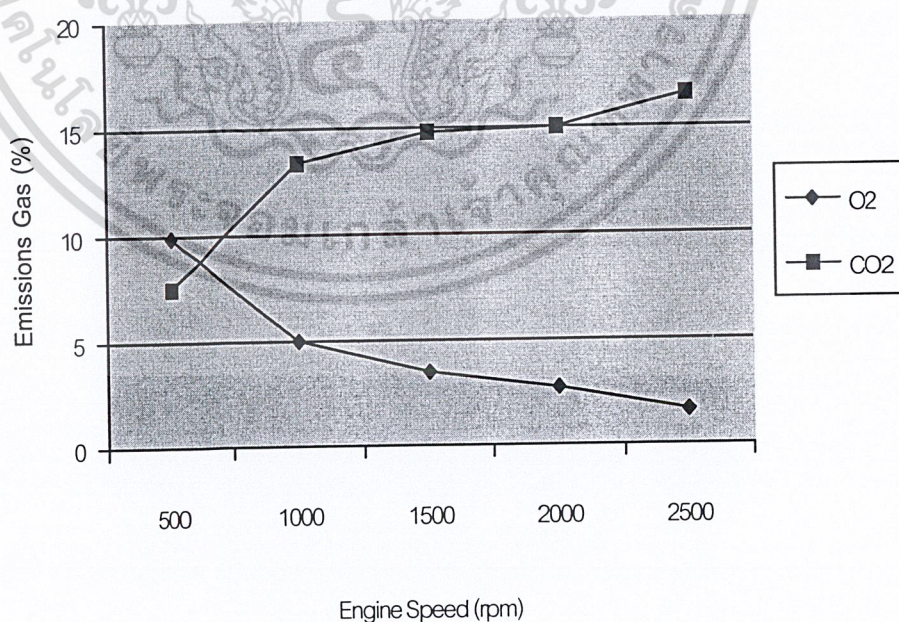
อัตราทด	ความเร็วรถยนต์ (km/hr)	กำลังรถยนต์ (kW)	ความเร็วรอบ (rpm)	กระแสไฟฟ้า (A)	แรงดันไฟฟ้า (V)
1.2	25	0.3	2030	105	48
1.45	23	0.5	2100	105	48
1.8	20	0.75	2550	105	48

จากผลการทดสอบที่อัตราทด 1.8 ซึ่งเป็นอัตราทดที่เลือกใช้ในรอบยนต์ไฮบริด มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถทำความเร็วได้ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีความเร็วรอบ 2550 รอบต่อนาที กินกระแสไฟฟ้า 105 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 48 โวลท์

4.7 ผลการทดสอบไอเสีย

ตารางที่ 4-8 แสดง Emission Gas (%) O_2 , CO_2 ที่วัดได้ที่ความเร็วรอบต่างๆ

ความเร็วรอบ rpm	เปอร์เซ็นต์แก๊ส O_2	เปอร์เซ็นต์แก๊ส CO_2
500	7.53	9.85
1000	13.42	4.98
1500	14.74	3.46
2000	15.05	2.75
2500	16.51	1.62

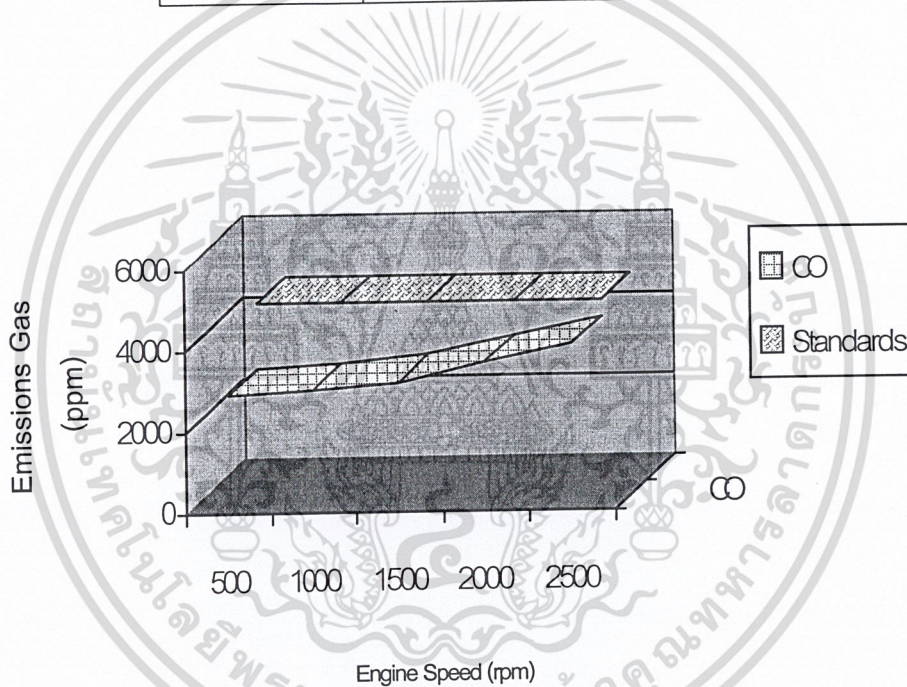


กราฟที่ 4-5 แสดง Emission Gas (%) O_2 , CO_2 ที่วัดได้ที่ความเร็วรอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-9 แสดง Emission Gas (ppm) CO เทียบกับค่า Standards

ความเร็วรอบ rpm	ปริมาณแก๊ส CO(ppm)	ค่ามาตรฐาน CO(ppm)
500	2900	4500
1000	3000	4500
1500	3200	4500
2000	3670	4500
2500	4090	4500



กราฟที่ 4-6 แสดง Emission Gas (ppm) CO เทียบกับค่า Standards

การทดสอบหาปริมาณก๊าซต่างๆของไอเสียสามารถทำการวัดได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียวัดหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ออกซิเจน(O₂)และคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)ที่ความเร็วรอบต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)มีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบมากขึ้น แต่ปริมาณออกซิเจน(O₂)จะลดลงเมื่อความเร็วรอบมากขึ้น ส่วนปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบมากขึ้นแต่ยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ในกฎหมาย

4.8 ข้อมูลของรถยนต์ไฮบริด

- * ความเร็วสูงสุดที่ใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- * ความเร็วของรถยนต์ในโหมดไฮบริด 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- * กำลังของรถยนต์เมื่อใช้เครื่องยนต์ (ที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) 13.3 กิโลวัตต์
- * กำลังของรถยนต์เมื่อใช้งานในโหมดไฮบริด 12.85 กิโลวัตต์
- * อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของโหมดเครื่องยนต์ (ที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) 0.392 กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง
- * อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของโหมดไฮบริด 0.224 กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง
- * เวลาที่สามารถใช้มอเตอร์ไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง 1 ชั่วโมง

4.9 ข้อมูลของมอเตอร์ไฟฟ้า

* Motor Type	D.C.	
* กำลังสูงสุด (HP)	5	HP
* แรงบิดสูงสุด (Nm/rpm)	2.8/2550	Nm/rpm
* แรงดันไฟฟ้า (Volt)	48	Volt
* ความเร็วรอบ (rpm)	2250	rpm
* น้ำหนัก (kg)	15	kg

4.10 การคำนวณหาจุดคุ้มทุนระหว่างรถยนต์ MODE ธรรมดา และMODE ไฮบริด]

จากการคำนวณหาจุดคุ้มทุน เราจะใช้หลักการทางเศรษฐศาสตร์ในการคำนวณ

4.10.1 ข้อมูลเบื้องต้นและสูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$P = F(PWF, i\%, n)$$

$$P = A(SPWF, i\%, n)$$

$$F = P(CAF, i\%, n)$$

$$F = A(SCAF, i\%, n)$$

i คือ อัตราดอกเบี้ยต่อระยะเวลา(วัน,เดือน,ปี)

n คือ จำนวนระยะเวลาที่กำหนด(วัน,เดือน,ปี)

P คือ ค่าราคาเริ่มต้นหรือค่าราคาปัจจุบัน(Present sum)

F คือ จำนวนเงินรวม ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นจำนวนเงินต้น ส่วนหนึ่งเป็นผลประโยชน์(Future sum)

A คือ จำนวนเงินรวม ซึ่งส่วนหนึ่งเป็นจำนวนเงินต้น ส่วนหนึ่งดอกเบี้ยที่คิดในอัตรา $i\%$

แต่ เงินจำนวนนั้นจะรับหรือจ่ายไปทุกๆปี

CAF คือ Single payment compound amount factor

PWF คือ Single payment present worth factor

SPWF คือ Uniform series present worth factor

SCAF คือ Uniform series compound amount factor

4.10.2 ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นสำหรับ MODE ไฮบริด

ตารางที่ 4-10 แสดงค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นสำหรับ MODE ไฮบริด

อุปกรณ์	ราคา	ค่าซาก	อายุใช้งาน
มอเตอร์	8000	2000	5 ปี
แบตเตอรี่ ลูกตะ	1000	100	2 ปี
หม้อแปลง	1500		—
ชุดควบคุม	500	—	—

ค่าใช้จ่ายรายปีของอุปกรณ์ทั้งหมดประมาณ 200 บาท ต่อ ปี

4.10.3 ข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการหาจุดคุ้มทุน

1. คิดอัตราดอกเบี้ยที่ 3% ต่อ ปี

2. รถยนต์ไฮบริดประหยัดน้ำมันที่ 0.534 บาท ต่อ km ใน 1 วันรถยนต์วิ่งที่ 50 km ในหนึ่งปี คิดที่ 365 วัน เพราะฉะนั้นใน 1 ปีประหยัดน้ำมันที่ $0.534 \times 50 \times 365 = 9745.5$ บาท

4.10.4 การคำนวณ

-เปลี่ยนค่าซากของ มอเตอร์ และแบตเตอรี่ในอนาคต มาเป็นค่าเทียบเท่า ณ ปัจจุบัน

จาก $P=F(PWF,i\%,n)$ แทนค่า

มอเตอร์ $P=2000(0.8626)$	แบตเตอรี่ $P=800(0.9426)$
=1725.2 บาท	=754.08 บาท

ฉะนั้นราคา ณ ปัจจุบันที่แท้จริงคือ

มอเตอร์ $8000-1725.2 = 6274.8$ บาท

แบตเตอรี่ $8000-754.08 = 7245.92$ บาท

หม้อแปลง	1500	บาท
ชุดควบคุม	500	บาท
-เปลี่ยนค่าราคาที่ได้ต่างๆ มาเป็นค่าที่ราคา ณ จุดที่ต้องการหา (ณ เวลาที่คุ้มทุน)		
มอเตอร์	6274.8(CAF,3%,n)	บาท
เบตเตอร์	7245.92(CAF,3%,n)	บาท
หม้อแปลง	1500(CAF,3%,n)	บาท
ชุดควบคุม	500(CAF,3%,n)	บาท
รวม	15520.72(CAF,3%,n)	บาท

-เปลี่ยนค่าซ่อมบำรุงรายปีเป็นค่าที่ราคา ณ จุด ต้องการหา

ค่าบำรุงรายปี	200(SCAF,3%,n)	บาท
---------------	----------------	-----

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด ณ เวลานั้น $15520.72(CAF,3%,n)+200(SCAF,3%,n)$ บาท

-เปลี่ยนค่าประหยัดน้ำมันของรถยนต์ไฮบริด

ในทางปฏิบัติโดยเฉพาะการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมในเชิงเศรษฐศาสตร์ จะไม่ถือค่าความสำคัญของความแตกต่างในอัตราดอกเบี้ยที่มีการคิดมากกว่าครั้งใน 1 ปี เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้มีโอกาสพลาดจากความเป็นจริงเพียง 5-10 %

จากตารางที่ 4-3 จะได้ค่าใช้จ่ายที่เสียไปกับค่าน้ำมันที่ใช้เครื่องยนต์วิ่งโดยถอดโซ่ออก จะเสียค่าน้ำมัน 1.638 บาทต่อกิโลเมตร

จากตารางที่ 4-6 ในระบบไฮบริด จะได้ค่าใช้จ่ายที่เสียไปกับค่าไฟฟ้าและค่าน้ำมัน 1.104 บาทต่อกิโลเมตร

เมื่อเปรียบเทียบกันจะเห็นว่าระบบไฮบริดจะประหยัดกว่า 0.534 บาทต่อกิโลเมตร (โดยคิดราคาน้ำมันเบนซิน 91 ราคา 13 บาทต่อลิตร ค่ากระแสไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัยในบ้านเรือนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 1 – 150 หน่วยแรกคิดราคาหน่วยละ 1.804 บาทต่อหน่วย)

โดยคิดที่วิ่งวันละ 50 กิโลเมตร ใน 1 ปี มี 365 วัน ดังนั้น 1 ปี จะประหยัดได้ 9745.5 บาท

ประหยัดน้ำมันที่	9745.5(SCWF,3%,n)	บาท
------------------	-------------------	-----

สมการ คือ $9745.5(SCWF,3%,n)=15520.72(CAF,3%,n)+200(SCAF,3%,n)$

จากวิธี trial and error จะได้ค่า $n=1.7289$ ปี หรือ ประมาณ 1 ปี กับ 259 วัน

แบตเตอรี่	7245.92(CAF,3%,n)	บาท
หม้อแปลง	1500(CAF,3%,n)	บาท
ชุดควบคุม	500(CAF,3%,n)	บาท
รวม	15520.72(CAF,3%,n)	บาท

-เปลี่ยนค่าซ่อมบำรุงรายปีเป็นค่าที่ราคา ณ จุด ต้องการหา

ค่าบำรุงรายปี 200(SCAF,3%,n) บาท

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด ณ เวลานั้น $15520.72(CAF,3%,n)+200(SCAF,3%,n)$ บาท

-เปลี่ยนค่าประหยัดน้ำมันของรถยนต์ไฮบริด

ในทางปฏิบัติโดยเฉพาะการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมในเชิงเศรษฐศาสตร์ จะไม่ถือค่าความสำคัญของความแตกต่างในอัตราดอกเบี้ยที่มีการคิดมากครั้งใน 1 ปี เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้มีโอกาพลดจากความเป็นจริงเพียง 5-10 %

จากตารางที่ 4-3 จะได้ค่าใช้จ่ายที่เสียไปกับค่าน้ำมันที่ใช้เครื่องยนต์วิ่งโดยถอดโซ่อกจะเสียค่าน้ำมัน 1.638 บาทต่อกิโลเมตร

จากตารางที่ 4-6 ในระบบไฮบริด จะได้ค่าใช้จ่ายที่เสียไปกับค่าไฟฟ้าและค่าน้ำมัน 1.104 บาทต่อกิโลเมตร

เมื่อเปรียบเทียบกันจะเห็นว่าระบบไฮบริดจะประหยัดกว่า 0.534 บาทต่อกิโลเมตร (โดยคิดราคาน้ำมันเบนซิน 91 ราคา 13 บาทต่อลิตร ค่ากระแสไฟฟ้าประเภทที่อยู่อาศัยในบ้านเรือนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 1 – 150 หน่วยแรกคิดราคาระหว่างหน่วยละ 1.804 บาทต่อหน่วย)

โดยคิดที่วิ่งวันละ 50 กิโลเมตร ใน 1 ปี มี 365 วัน ดังนั้น 1 ปี จะประหยัดได้ 9745.5 บาท

ประหยัดน้ำมันที่ 9745.5(SCWF,3%,n) บาท

สมการ คือ $9745.5(SCWF,3%,n) = 15520.72(CAF,3%,n) + 200(SCAF,3%,n)$

จากวิธี trial and error จะได้ว่า $n=1.7289$ ปี หรือ ประมาณ 1 ปี กับ 259 วัน

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1.1 การวิจารณ์การทำงานในโหมดต่างๆ

- โหมดเครื่องยนต์ (Engine Mode) จากการทดสอบในโหมดเครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์สามารถทำความเร็วได้สูงสุดที่ 60 km/h โดยที่เครื่องยนต์เป็นเครื่องยนต์ที่มีการใช้งานมานานแล้วจึงทำให้มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงค่อนข้างสูง

- โหมดไฮบริด (Hybrid Mode) จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า เราไม่สามารถทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เท่ากับความเร็วของรถยนต์ได้เพราะไม่มีชุดควบคุมที่ควบคุมให้มอเตอร์แปรผันรอบตามความเร็วรถยนต์ เพราะฉะนั้นในช่วงที่ความเร็วสูงๆของโหมดไฮบริด มอเตอร์จะไปหน่วงเครื่องยนต์ทำให้เกิดความสูญเสียมากพอสมควร

- โหมดประจุไฟฟ้า (Charge Mode) ในโหมดนี้ไม่สามารถทำได้เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ไม่สามารถผลิตปริมาณกระแสไฟฟ้าให้ออกมาได้ตามที่ต้องการ

5.2 สรุปผลการทดลอง

รถยนต์ไฮบริดเป็นรถที่นำเอาพลังงานจากเครื่องยนต์และจากมอเตอร์มาใช้ร่วมกันในการขับเคลื่อนรถยนต์ซึ่งทำให้พบว่าเราสามารถนำแหล่งพลังงานทั้งสองมาใช้งานร่วมกันโดยไม่เกิดการหน่วงกันขึ้นและสามารถเพิ่มกำลังของรถยนต์และลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลงได้เมื่อมีการใช้งานแบบไฮบริด ดังผลการทดสอบดังนี้

- รถยนต์วิ่งด้วยระบบไฮบริด เปรียบเทียบกับ รถยนต์ที่วิ่งด้วยระบบเครื่องยนต์ ที่ความเร็วประมาณ 20 km/h (ใช้เครื่องทดสอบ CHASSIS DYNAMOMETER)

สามารถเพิ่มกำลังของรถยนต์ได้ 24.75 % ในขณะที่ใช้งานแบบไฮบริด

สามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงได้ 27 % ในขณะที่ใช้งานแบบไฮบริด

- รถยนต์วิ่งด้วยระบบไฮบริด เปรียบเทียบกับ รถยนต์ที่วิ่งด้วยระบบเครื่องยนต์ ที่ความเร็วประมาณ 20 km/h (วิ่งบนถนนจริงระยะทาง 1 กิโลเมตร)

สามารถประหยัดน้ำมันประมาณ 40% แต่กินกระแสไฟฟ้า 36 A. 48V.

สามารถประหยัดเงินได้กิโลเมตรละ 0.534 บาท

มีกำลังเพิ่มขึ้น 978 W (ประมาณ 8%) ดังนั้นจะมีแรงในการแซงหรือขึ้นเขาได้ดีกว่า

5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดสอบ

- มอเตอร์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าเข้ามาชาร์จแบตเตอรี่ได้เนื่องจากมอเตอร์ผลิตไฟได้น้อยมากประมาณ 50 mA. 6 V.
- เนื่องจากมีโหลดมากจึงทำให้มอเตอร์กินไฟมากตามไปด้วย แบตเตอรี่จึงหมดเร็ว
- เกิดเสียงดังบริเวณ โซ่ที่เชื่อมต่อกับมอเตอร์กับเฟลากลางในระบบส่งกำลัง
- วงจรควบคุมไม่สามารถควบคุมให้รถออกตัวด้วยมอเตอร์และไม่สามารถทำให้มอเตอร์มีความเร็วรอบแปรผันตามความเร็วรอบของเฟลากลางรถยนต์ได้
- แบตเตอรี่ที่ใช้มีจำนวนมากและมีน้ำหนักมาก
- เนื่องจากเราต่อมอเตอร์เข้ากับเฟลากลางรถยนต์โดยใช้โซ่ตลอดเวลา ทำให้เกิดความสูญเสียกำลังงานในขณะที่ไม่ใช้มอเตอร์และขณะที่เฟลากลางมีความเร็วรอบสูงกว่ามอเตอร์

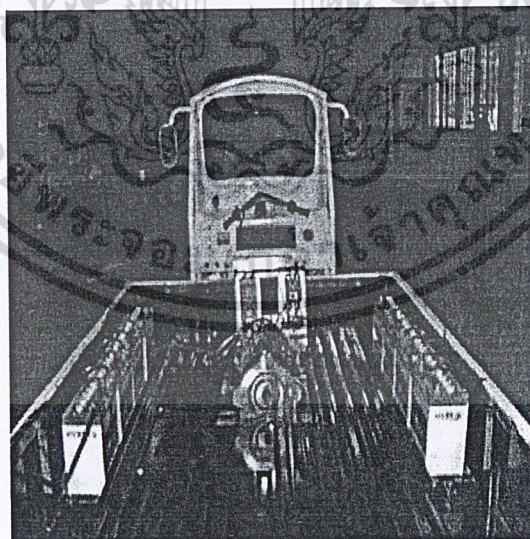
5.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

1. สำหรับระบบ Regenerative มอเตอร์ไม่มีความสามารถในการเป็นเจนเนอเรเตอร์ จึงทำให้กระแสไฟที่ออกมาในระบบชาร์จและRegenerative Braking น้อยมากคือประมาณ 50 mA ที่ 6 V ดังนั้นจึงควรจัดหาเจนเนอเรเตอร์เพื่อทำการติดตั้งเข้าไปในระบบ หรือควรทำการเปลี่ยนมอเตอร์ที่มีความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเพื่อเป็นการลดน้ำหนักและประหยัดที่จะหาตัว Generator มาเพิ่มเติม
2. เนื่องจากเวลาใช้มอเตอร์ออกตัว จะเกิดการกระชาก ดังนั้นควรจัดหาชุด Controller มาควบคุมมอเตอร์เพื่อให้รถสามารถออกตัวด้วยมอเตอร์และเพื่อให้สามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ให้สัมพันธ์กับความเร็วของรถยนต์ได้
3. ในการส่งกำลังที่ใช้โซ่ทำให้เกิดเสียงดังในขณะที่มอเตอร์ทำงาน ดังนั้นควรเปลี่ยนไปใช้สายพานในการส่งกำลังแทนโดยติดตั้งให้ระยะเหมาะสมเพื่อไม่ให้เกิดการสลิปขณะใช้งาน

ภาคผนวก
รูปรถยนต์ไฮบริด

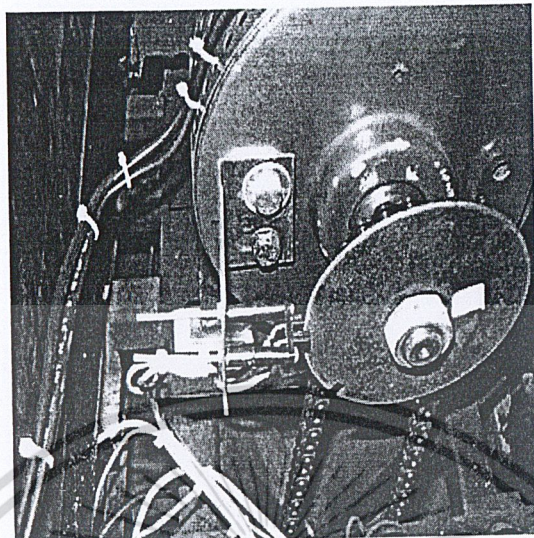


รูปที่ ก-1 แสดงรถยนต์ไฮบริด

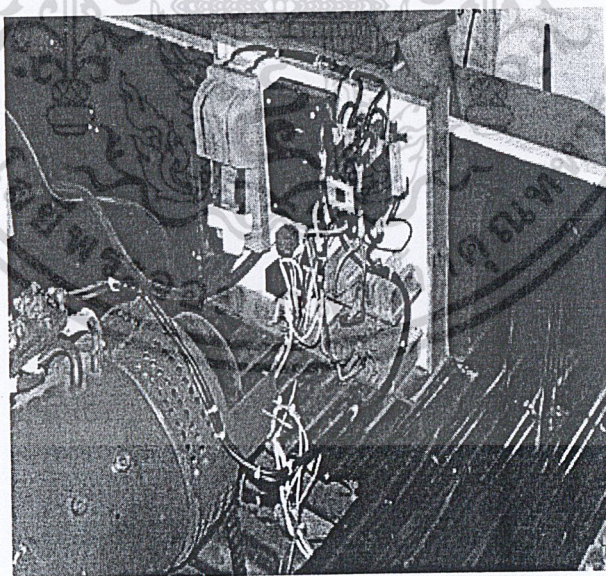


รูปที่ ก-2 แสดงภาพรวมของรถยนต์ไฮบริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

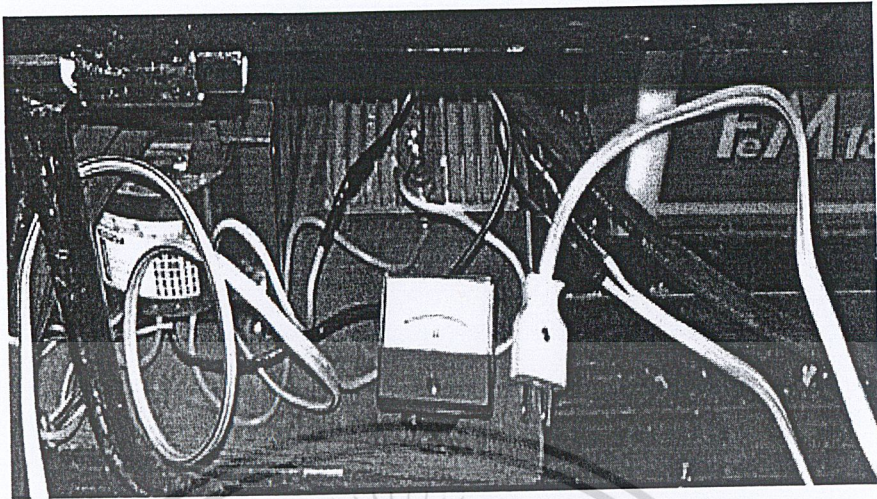


รูปที่ ก-2 แสดงการต่อชุด Encoder และการต่อโซ่เข้ากับมอเตอร์

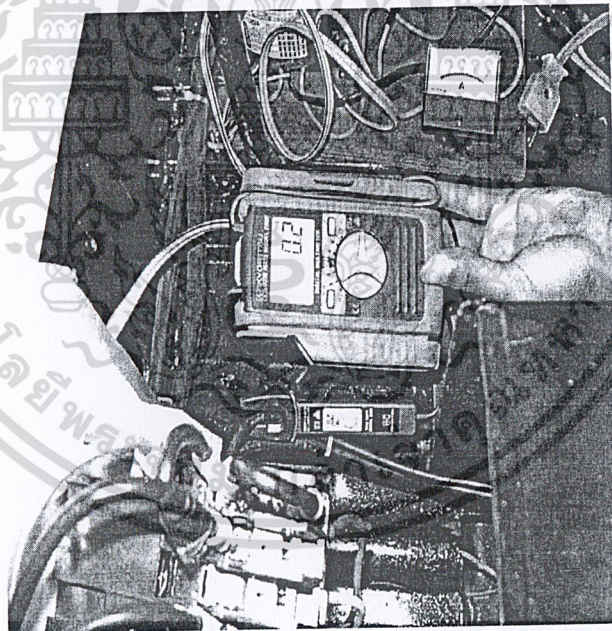


รูปที่ ก-3 แสดงมอเตอร์และชุดควบคุมมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

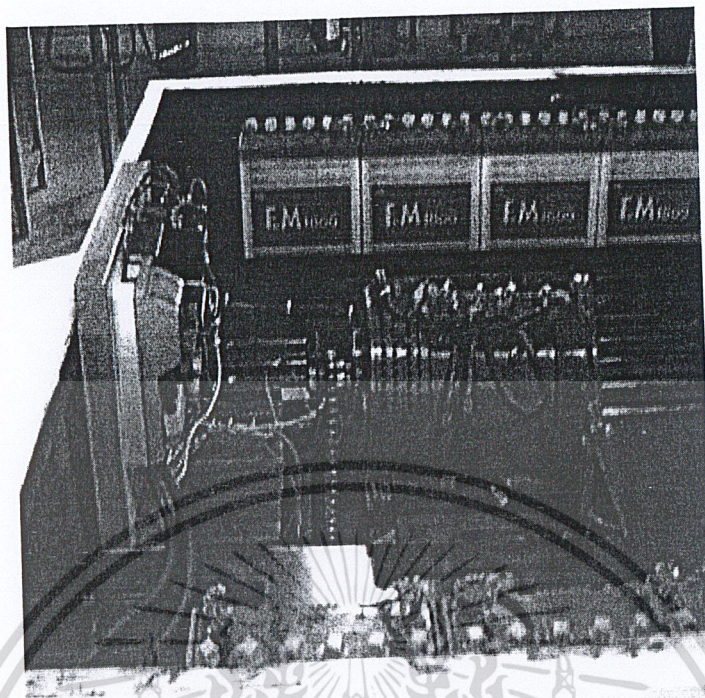


รูปที่ ก-4 แสดงชุดชาร์ตแบตเตอรี่

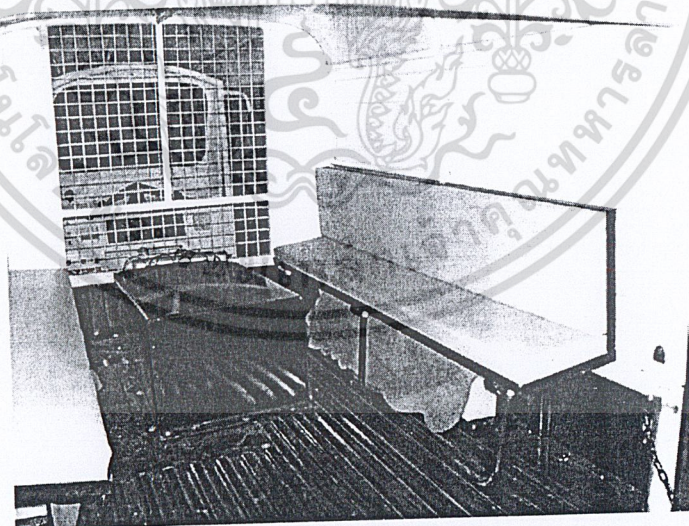


รูปที่ ก-5 แสดงการวัดกระแสไฟฟ้าโดยใช้คัลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-6 แสดงการติดตั้งชุดควบคุมเข้ากับมอเตอร์และเบตเตอร์



รูปที่ ก-6 แสดงการติดตั้งเบาะนั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] วันสุระ ศรีใสดี. ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ภาคปฏิบัติ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ดวงกมล ,2542
- [2] ประสานพงษ์.หาเรือนชีพ. ทฤษฎีและปฏิบัติส่งกำลังรถยนต์. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดบุคเซ็นเตอร์ ,2542
- [3] เขียรชัย บุญยะกุล,สมศักดิ์ นรสิงห์. เทคนิคยานยนต์ เล่ม 1. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ,2530
- [4] เขียรชัย บุญยะกุล,สมศักดิ์ นรสิงห์. เทคนิคยานยนต์ เล่ม 3. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น) ,2531
- [5] ประสานพงษ์.หาเรือนชีพ. เทคโนโลยียานยนต์สมัยใหม่.กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น ,2543
- [6] โยธิน เปรมปราณีรัชต์. วิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์.ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [7] วิริยะ พิเชฐจำเริญ. เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1. ภาควิชาไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น ,2535