



การศึกษารถยนต์ไฮบริดแบบขนาน
STUDY OF HYBRID CAR WITH PARALLEL SYSTEM

โดย

นายฐิติวัฒน์ ตรีนาวิทย์

ณัฐพงษ์ พงศ์วิทยาเลิศ

ธีรภัทร จุฑะกาญจน์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.จินดา เจริญพรพาณิชย์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 42468
วัน, เดือน, ปี..... 23 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

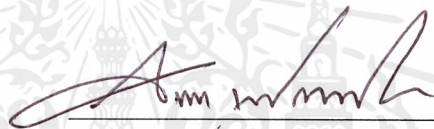
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษารถยนต์ไฮบริดแบบขนาน

STUDY OF HYBRID CAR WITH PARALLEL SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. ฐิติวัฒน์ ตีรนาควิทย์ รหัสประจำตัว 40010202
2. ณัฐพงษ์ พงศ์วิทยาเลิศ รหัสประจำตัว 40010222
3. ชีรภัทร จุฑะกาญจน์ รหัสประจำตัว 40010336



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. จินตา เจริญพรพานิชย์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษารถยนต์ไฮบริดแบบขนาน

ฐิติวัฒน์ ติรนาควิทย์	รหัสประจำตัว 40010202
ณัฐพงษ์ พงศ์วิทยาเลิศ	รหัสประจำตัว 40010222
ธีรภัทร จุฑะกาญจน์	รหัสประจำตัว 40010336
อ. จินดา เจริญพราณีชัย	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2543	

บทคัดย่อ

โครงการนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาารถคันแบบไฮบริด โดยเป็นการนำเอาระบบการทำงานของเครื่องยนต์และไฟฟ้า มาเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานร่วมกัน เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด ทั้งยังประหยัดและลดมลภาวะ โดยได้นำเอาโครงงานเดิมที่เป็นระบบอนุกรม มาพัฒนาเป็นระบบขนาน โดยได้ออกแบบโครงสร้างใหม่ และจัดเพิ่มคลังแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of Hybrid Car with Parallel System

Thitiwat Tiranakwit

Natapong Pongwitayaleard

Terapat Jutagan

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 series system to turn into parallel system), by design new frame and to add magnetic clutch.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์ จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา และอาจารย์พงษ์ศักดิ์ คำมูล ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำด้านเครื่องยนต์ ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ทั้งนี้ยังต้องขอขอบคุณ พี่มณฑา พี่โก้ ที่ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคนิค เกี่ยวกับภาคคอนโทรล ที่ช่วยซ่อมวงจร Driver และให้คำปรึกษาด้านไฟฟ้ามาโดยตลอด ขอขอบคุณครับ

สุดท้ายต้องขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้มอบความรู้ต่างๆ จนกระทั่งสามารถสามารถนำความรู้นั้นมาใช้ในการดำเนินงานในโครงการรถไฟฟ้าไฮบริดนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งอาจารย์และเพื่อนๆ ที่ภาควิชาเครื่องกลทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลืออื่นๆ และเป็นกำลังใจในการดำเนินงานโครงการนี้ ขอขอบคุณจริงๆ ครับ

นายจิติวัฒน์ ตรีนาวิทย์
ณัฐพงษ์ พงศ์วิทยาเลิศ
ธีรภัทร จูฑะกาญจน์

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	V
สารบัญรูปภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์การดำเนินงาน	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์และผลที่ได้รับจากการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 หลักการทำงานของรถไฟฟ้าไฮบริด	4
2.1 เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างไร	4
2.1.1 ป้อนเชื้อเพลิงเบื้องต้นของการทำงานในเครื่องยนต์	5
2.1.2 การเผาไหม้ในห้องสูบเครื่องยนต์	5
2.1.3 การจุดระเบิดในเครื่องยนต์	6
2.1.4 การทำงานของเครื่องยนต์	7
2.1.5 ระบบเครื่องยนต์ขั้นพื้นฐาน	9
2.1.6 สารมลพิษในไอเสีย	15
2.1.7 การควบคุมมลพิษจากไอเสีย	15
2.2 มอเตอร์กระแสตรง	17
2.2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	22
2.2.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ	23
2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับและกระแส	24
2.2.4 สมการเอาต์พุตของอาร์เมเจอร์	25
2.2.5 แรงบิด	26
2.2.6 สมการของแรงบิด	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
2.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยที่ใช้งานจริงของแรงบิดกับเอาต์พุต	28
2.2.8 ประสิทธิภาพ	29
2.2.9 การสตาร์ทมอเตอร์	30
2.2.10 การควบคุมความเร็วรอบ	31
2.2.11 การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ดีซีแบบซีรีส	31
2.3 ระบบควบคุม	32
2.3.1 ระบบการควบคุมในรถไฟฟ้าไฮบริด	33
2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	34
2.4.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)	37
2.4.1.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น	37
2.4.1.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น	37
2.4.1.3 วงจรลดแรงกระแสฟอมโดยใช้ตัวเก็บประจุ	39
2.5 แบตเตอรี่	40
บทที่ 3 การออกแบบรถไฟฟ้าไฮบริด	42
3.1 ระบบของรถไฟฟ้าไฮบริด	42
3.2 โหมคการทำงานของรถไฟฟ้าไฮบริด	43
3.3 การออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของรถไฟฟ้าไฮบริด	44
3.3.1 คลัตช์แม่เหล็กไฟฟ้า	45
3.3.2 การส่งกำลังโดยใช้สายพาน	45
3.3.3 การส่งกำลังโดยใช้สายพานแบบต่อเนื่อง	48
3.3.4 การออกแบบเพลต	49
3.4 การออกแบบเครื่องยนต์	54
3.4.1 กำลังขับเคลื่อนของรถยนต์	54
3.4.2 การสูญเสียในการส่งกำลัง	55
3.4.3 แรงต้านการหมุนของล้อ	56
3.4.4 แรงต้านอากาศ	58
3.4.5 แรงต้านทางชัน	63
3.4.6 แรงขับเคลื่อน	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
3.4.7 อัตราเร็วรถยนต์	66
3.4.8 กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์	67
3.5 วิธีการสร้างระบบส่งกำลัง	68
3.5.1 เฟลาคลัตช์แม่เหล็ก	68
3.5.2 เฟลา CVT	68
3.6 การประกอบ	70
3.7 การเลือกขนาดเครื่องยนต์และมอเตอร์	71
3.7.1. ข้อมูลการออกแบบ	71
3.7.2. การคำนวณ	71
3.7.3. สรุปการออกแบบและนำไปเลือกใช้งาน	72
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบรถไฟฟ้าไฮบริด	73
4.1 วัตถุประสงค์	73
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	73
4.3 วิธีการทดลอง	73
4.3.1 การทดสอบเครื่องยนต์	73
4.3.2 การทดสอบความเร็วของรถ	73
4.3.3 การทดสอบการใช้น้ำมัน	74
4.3.4 การทดสอบมอเตอร์	74
4.3.5 การทดสอบการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่	74
4.4 ผลการทดสอบ	75
4.4.1 โหมดเครื่องยนต์	75
4.4.2 โหมดไฟฟ้า	75
4.4.3 โหมดไฮบริด	76
4.4.4 โหมดประจุไฟฟ้า	77
4.5 การเปรียบเทียบการทำงานในโหมดการทำงานต่างๆ	78
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	81
5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง	81
5.2 สรุปผลการทดลอง	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข	83
ภาคผนวก	84
หนังสืออ้างอิง	88

สารบัญแสดงรูปภาพ

	หน้าที่
บทที่ 2 หลักการทำงานของรถไฟฟ้ายานยนต์	
รูปที่ 2-1 ลักษณะการเผาไหม้ภายนอกและภายในเครื่องยนต์	4
รูปที่ 2-2 เครื่องยนต์เบนซิน	6
รูปที่ 2-3 เครื่องยนต์ดีเซล	7
รูปที่ 2-4 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ	8
รูปที่ 2-5 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงขั้นพื้นฐาน	9
รูปที่ 2-6 ระบบหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน	10
รูปที่ 2-7 การส่งแก๊สปีโตรเลียมเหลวโดยวิธีส่งถ่ายไอ	11
รูปที่ 2-8 อุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบส่งถ่ายเหลว	12
รูปที่ 2-9 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล	12
รูปที่ 2-10 ระบบจุดระเบิดแบบทองขาว	13
รูปที่ 2-11 ระบบหล่อลื่นทั่ว ๆ ไป	13
รูปที่ 2-12 ระบบหล่อเย็น	14
รูปที่ 2-13 อุปกรณ์กำจัดก๊าซพิษแบบ 3 ทาง	16
รูปที่ 2-14 แสดงเปลือกหรือโครง	17
รูปที่ 2-15 แสดงขั้วแม่เหล็ก	17
รูปที่ 2-16 แสดงขดลวดสนามแม่เหล็ก	18
รูปที่ 2-17 แสดงการตรวจสอบการต่อขดลวดฟิลด์คอยล์	18
รูปที่ 2-18 แสดงแปรงถ่านและช่องถ่าน	19

สารบัญแสดงรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 2-19 แสดงแกนเหล็กอาร์เมเจอร์	20
รูปที่ 2-20 แสดงขดลวดอาร์เมเจอร์	20
รูปที่ 2-21 แสดงลักษณะขดคอมมิวเตเตอร์	21
รูปที่ 2-22 แสดงรูปตัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	21
รูปที่ 2-23 แสดงส่วนต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้า	22
รูปที่ 2-24 แสดงกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง	22
รูปที่ 2-25 แสดงปฏิกิริยาระหว่างสนามแม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กที่ขดลวดตัวนำ	23
รูปที่ 2-26 วงจรเทียบเคียงของแรงดันไฟฟ้าด้านกลับ	24
รูปที่ 2-27 โมเมนต์ซึ่งลวดตัวนำอาร์เมเจอร์กระทำรอบจุดศูนย์กลาง	26
รูปที่ 2-28 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ดีซีแบบริสต์ด้วยการปรับวงจรสนาม	32
รูปที่ 2-29 โครงสแตเตอร์และแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ	35
รูปที่ 2-30 ภาพตัดแสดงลักษณะของรอสแตเตอร์แบบต่างๆ	35
รูปที่ 2-31 ตัวโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	36
รูปที่ 2-32 กราฟแสดงพลังงานที่จ่ายออกมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับโดยผ่านไดโอด 1 ตัว	37
รูปที่ 2-33 แสดงวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์และการทำงาน	38
รูปที่ 2-34 แสดงกราฟการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านวงจรบริดจ์	39
รูปที่ 2-35 การต่อตัวเก็บประจุในวงจรบริดจ์เพื่อลดการกระเพื่อม	39
รูปที่ 2-36 แสดงการใช้ตัวเก็บประจุในการลดการกระเพื่อม	40
บทที่ 3 การออกแบบรถไฟฟ้าไฮบริด	
รูปที่ 3-1 แสดงการส่งกำลังใน Electrical mode	43
รูปที่ 3-2 แสดงการทำงานใน Engine mode	43
รูปที่ 3-3 แสดงการทำงานใน Hybrid mode	44
รูปที่ 3-4 แสดงการทำงานใน Charge mode	44
รูปที่ 3-5 ส่วนประกอบของคลัตช์แม่เหล็กไฟฟ้า	45
รูปที่ 3-6 รูปแบบการทำงาน ของ Variable-speed belt drive	49
รูปที่ 3-7 แรงขับเคลื่อนและแรงต้านทั้งหมด	55

สารบัญแสดงรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 3-8 ระบบส่งกำลังของรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยล้อหลัง	56
รูปที่ 3-9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านการหมุนของล้อกับอัตราเร็วรถยนต์	57
รูปที่ 3-10 การเคลื่อนไหวของอากาศผ่านรถยนต์ทรงต่าง ๆ	59
รูปที่ 3-11 การเคลื่อนไหวของอากาศผ่านรูปทรงต่าง ๆ ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน	60
รูปที่ 3-12 สัดส่วนที่เหมาะสมของวัตถุทรงหยดน้ำ	60
รูปที่ 3-13 การทดลองหาแรงต้านอากาศโดยใช้หุ่นจำลองและอุโมงค์ลม	61
รูปที่ 3-14 ความกว้างและความสูงของรถยนต์	62
รูปที่ 3-15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านอากาศกับอัตราเร็วรถยนต์	63
รูปที่ 3-16 แรงต้านทางชั้น	64
รูปที่ 3-17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทางชั้นกับอัตราเร็วรถยนต์	64
รูปที่ 3-18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทั้งหมดกับอัตราเร็วรถยนต์	65
รูปที่ 3-19 เพลาลัดซ์แม่เหล็ก	68
รูปที่ 3-20 ป्लอกสวมเพลารองรับตัวโรเตอร์	68
รูปที่ 3-21 เพลา CVT	69
รูปที่ 3-22 งานประกบ และการติดตั้ง	69
รูปที่ 3-23 งานประกบ CVT กลิ้งเอียงเท่ากับงาน CVT	70
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบของรถไฟฟ้าไฮบริด	
รูปที่ 4-1 กราฟการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโหมดเครื่องยนต์และ โหมดไฟฟ้า	78
รูปที่ 4-2 กราฟการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโหมดเครื่องยนต์และ โหมดไฮบริด	79
รูปที่ 4-3 กราฟการเปรียบเทียบการสมรรถนะการทำงานของโหมดไฟฟ้าและ โหมดไฮบริด	80
ภาคผนวก รูปรถไฟฟ้าไฮบริดที่ได้จัดสร้าง	
รูปที่ ก-1 การส่งกำลังโดยใช้ CVT	84
รูปที่ ก-2 การส่งกำลังโดยใช้สายพาน	84
รูปที่ ก-3 มอเตอร์ไฟฟ้าและวงจร Driver	85
รูปที่ ก-4 เจนเนอเรเตอร์	85

สารบัญแสดงรูปภาพ (ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ ก-5 หม้อแปลงและวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	86
รูปที่ ก-6 แผงการควบคุมรถไฟฟ้าไอบริด	86
รูปที่ ก-7 รถไฟฟ้าไฮบริดที่ได้จัดสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว	87

สารบัญแสดงตาราง

	หน้าที่
บทที่ 3 การออกแบบรถไฟฟ้าไฮบริด	
ตารางที่ 3-1 ขนาดระบุของเพลตามาตรฐาน ISO/R775-1969	50
ตารางที่ 3-2 ค่าตัวประกอบความล้า	53
ตารางที่ 3-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง V และ K_r	58
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบของรถไฟฟ้าไฮบริด	
ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบในโหมดเครื่องยนต์	75
ตารางที่ 4-2 ผลการทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่ใช้	75
ตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบในโหมดไฟฟ้า	76
ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบในโหมดไฮบริด	76
ตารางที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้า	77
ตารางที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ได้	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัจจุบันโลกกำลังประสบปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะต้องทำการแก้ไข โดยเฉพาะปัญหาสภาวะเรือนกระจกเป็นปัญหาสำคัญและเป็นต้นเหตุทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น สาเหตุของสภาวะเรือนกระจกเกิดได้จากหลายสาเหตุ ส่วนหนึ่งมาจากสารและก๊าซพิษ ก๊าซพิษส่วนใหญ่นั้นมาจากการสันดาปของเครื่องยนต์ที่เป็นหัวใจสำคัญในการขับเคลื่อนยานพาหนะต่างๆ ในเครื่องยนต์เบนซิน ก๊าซไอเสียส่วนใหญ่จะประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) , ไฮโดรคาร์บอน (HC) และไนโตรเจนออกไซด์ (NOx)

จากปัญหาดังกล่าว ทำให้รัฐบาลแต่ละประเทศ มีการเพิ่มมาตรการการควบคุมมลภาวะให้มีปริมาณน้อยลงเรื่อยๆ และบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ได้ทำการผลิตพาหนะออกมาหลายประเภท พาหนะประเภทที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ (Zero Emission Vehicle : ZEV) โดยมากใช้พลังงานไฟฟ้ามาขับเคลื่อน แต่เมื่อได้มีการทดลองใช้งานแล้ว ปรากฏว่าไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากมีสาเหตุหลายๆอย่าง เช่น ราคาของรถไฟฟ้าสูงกว่ารถยนต์ทั่วไปที่ใช้งานในลักษณะเดียวกันและมีข้อจำกัด โดยเฉพาะเรื่องของแหล่งเก็บพลังงานที่ยังมีน้ำหนักมากและราคาแพง หากต้องการเก็บกระแสไฟไว้มากๆ การใช้งานเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางต่อน้ำหนักที่ต้องแบกแบตเตอรี่ไว้มากๆ จะมีน้ำหนักมากกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงหลายเท่า ทำให้รถไฟฟ้ามีการใช้งานได้ในระยะทางที่จำกัด , การใช้เวลาในการอัดไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ ทำให้รถไฟฟ้ามีการใช้งานได้ในระยะทางที่จำกัดเพราะหากบรรจุทุกแบตเตอรี่มากเกินไปจะทำให้รถมีน้ำหนักมาก อัตราเร่งทำได้ไม่ดี จึงเกิดการพัฒนายานพาหนะที่เรียกว่า รถไฮบริด (Hybrid car)

ในต่างประเทศมีการพัฒนารถไฮบริดมาอย่างต่อเนื่อง ในประเทศญี่ปุ่นมีบริษัทรถยนต์หลายบริษัททำการพัฒนารถไฮบริด เช่น โตโยต้าที่เคยประสบความสำเร็จจากการพัฒนามาเป็นเวลาหลายปีและสามารถส่งรถโตโยต้า “พริอุส” ซึ่งเป็นรถยนต์นั่งขนาดเล็กสำหรับการใช้งานในเมืองขับเคลื่อนด้วยระบบไฮบริดออกสู่ท้องตลาดเป็นรายแรกของโลก ฮอนด้า ก็เป็นบริษัทหนึ่งที่ได้พัฒนารถไฮบริดอย่างต่อเนื่องซึ่งในปัจจุบันได้เดินสายการผลิตรถตระกูล “อินไซท์” ออกขึ้น ไซวูรัมในอเมริกาและ ในยุโรปแล้ว

ด้านการศึกษารถไฮบริดในประเทศไทยขณะนี้ยังมีไม่มากนัก โดยที่ผ่านมามีส่วนใหญ่มุ่งศึกษาในระบบอนุกรม การศึกษาระบบขนานจึงนับว่าเป็นเรื่องที่ยังใหม่อยู่

คณะผู้จัดทำโครงการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการทำโครงการชิ้นนี้จะเป็นแนวทางการศึกษารถไฮบริดแก่ผู้ทำวิจัยและเป็นแหล่งความรู้ที่มีค่าแก่เยาวชนไทยอย่างสูงสุด เพื่อความเจริญก้าวหน้าของประเทศไทยในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์การดำเนินงาน

- 1.2.1. เป็นการค้นคว้าและศึกษาวิจัยยานยนต์เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต
- 1.2.2. ศึกษากระบวนการส่งกำลังโดยการใช้ เครื่องยนต์ และการใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนว่าในแต่ละแบบนี้มีการทำงานอย่างไร
- 1.2.3. ศึกษาการทำงานของระบบการส่งกำลังโดยสายพาน และการทำงานของคลัตช์แม่เหล็กไฟฟ้า
- 1.2.4. ศึกษาการทำงานของระบบต่างๆ ในรถไฟฟ้าไฮบริดซึ่งได้แก่
 - ระบบขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์
 - ระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า
 - ระบบไฮบริด (เครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้า)
 - ระบบประจุไฟฟ้า
 - ระบบการเบรก

1.3 ขอบเขตของโครงการงาน

ในการศึกษารถไฟฟ้าไฮบริดในครั้งนี้ เป็นการศึกษาในส่วนของการคิดแปลงจากระบบอนุกรมให้เป็นระบบขนาน โดยการใช้คลัตช์แม่เหล็กไฟฟ้ามาใช้ในการตัดต่อการส่งกำลัง และทำการปรับปรุงและแก้ไขการส่งกำลังบางส่วนเพื่อให้รองรับ กับการใช้คลัตช์แม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อให้สามารถนำพลังงานจากเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้ร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการจัดสร้างรถไฟฟ้าไฮบริดนี้ได้จัดทำระบบต่างๆ ในการทำงาน โดยมีการปรับเปลี่ยนระบบโดยการใช้สวิตซ์ในการควบคุม

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับรถไฟฟ้าไฮบริด
2. ศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในรถไฟฟ้าไฮบริด ได้แก่ เครื่องยนต์ มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า คลัตช์แม่เหล็ก เกียร์ CVT และเบดเตอร์
3. ศึกษาทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบขนาดเครื่องยนต์ มอเตอร์ ขนาดเพลา และสายพาน
4. ออกแบบและคำนวณระบบส่งกำลัง โดยทำการออกแบบหลาย ๆ แบบ แล้วนำมาวิเคราะห์หาแบบที่ดีที่สุด
5. ทำการสร้างระบบส่งกำลังตามที่ออกแบบไว้
6. ทำการทดสอบการทำงานของรถไฟฟ้าไฮบริดในระบบต่างๆ
7. นำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับรถยนต์ปกติและรถไฟฟ้า
8. สรุปผล วิเคราะห์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์และผลที่ได้รับจากการดำเนินงาน

1. เข้าใจถึงการทำงานของรถไฟฟ้าไฮบริด
2. เข้าใจและทราบถึงหลักการทำงานของเครื่องยนต์ มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า คลัตช์แม่เหล็ก เกียร์ CVT และเบรคเตอร์
3. ทราบถึงวิธีการออกแบบขนาดเครื่องยนต์ มอเตอร์ ขนาดเพลา และสายพาน
4. ได้นำความรู้ที่ได้ศึกษามาสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นประโยชน์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการทำงานของรถไฟฟ้าไฮบริด

2.1 เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างไร

เครื่องยนต์ที่ใช้กันในปัจจุบันเพื่อเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนในงานต่าง ๆ เช่น ขับเคลื่อนรถยนต์ ขับเคลื่อนเครื่องจักรกล ขับหมุนปั้มน้ำ ขับหมุนเครื่องปั่นไฟฟ้า ขับหมุนอุปกรณ์การเกษตร เป็นต้น ล้วนแต่เป็นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในทั้งสิ้น

เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (Internal Combustion Engine) หมายถึง เครื่องยนต์ที่เกิดการลุกไหม้ของเชื้อเพลิงขึ้นภายในตัวเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ทั่วไป เป็นเครื่องยนต์ลูกสูบเคลื่อนกลับไปกลับมา (Reciprocation Piston Engine) ลูกสูบส่งแรงผ่านเพลาค้อเหวี่ยงออกไปใช้งาน

หลักการพื้นฐานของเครื่องยนต์แบบนี้คือ การนำเอาเชื้อเพลิง อากาศ และความร้อนบรรจุเข้าภายในเครื่องยนต์ เมื่อส่วนประกอบการสันดาปทั้ง 3 เข้าไปอยู่ในเครื่องยนต์พร้อมกันแล้ว ก็เกิดการจุดระเบิด

(Ignition) เกิดการเผาไหม้ขึ้น ส่วนผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศหรือไอดี (Air – fuel Mixture) ที่เกิดการติดไฟลุกไหม้อย่างรวดเร็วและรุนแรงนี้จะเกิดการขยายตัวแล้วพยายามดันออกภายนอก ความดันนี้จะส่งแรงไปดันขึ้นส่วนเครื่องยนต์ และส่งต่อออกไปหมุนขับเคลื่อนต่าง ๆ ตามต้องการ แรงขับเคลื่อนนี้เรียกว่า แรงบิดเครื่องยนต์ (Engine Torque)



รูปที่ 2.1 ลักษณะการเผาไหม้ภายนอกและภายในเครื่องยนต์

2.1.1 ปัจจัยเบื้องต้นของการทำงานในเครื่องยนต์

เครื่องยนต์ คือ อุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนจากสารเคมีของเชื้อเพลิงเป็นพลังงานกลออกไปใช้งาน เครื่องยนต์ทำงานได้ต้องมีองค์ประกอบเบื้องต้นคือ การเผาไหม้ในห้องสูบ อัตราอัด กลไกเครื่องยนต์ และกลวฏเครื่องยนต์

1. การเผาไหม้ในห้องสูบ เป็นการสันดาปเชื้อเพลิงซึ่งเป็นสารเคมีให้เกิดเป็นความดันขึ้นในห้องสูบ
2. อัตราอัด เป็นการเพิ่มความดันซึ่งเกิดจากการสันดาปในห้องสูบที่อยู่ภายใต้ความสูง การสันดาปที่อยู่ภายใต้ความดันสูงที่เกิดจากอัตราอัดเครื่องยนต์ทำให้ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะเกิดพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นเป็นผลให้ความดันเพิ่มสูงตามไปด้วย
3. กลไกเครื่องยนต์ เป็นชิ้นส่วนกลไกที่เปลี่ยนความดันของแก๊สเปรี๊ใหม่เป็นทอร์กของเครื่องยนต์
4. กลวฏเครื่องยนต์ เป็นวงรอบหนึ่ง ๆ ของขั้นตอนความลำดับต่อเนื่องของกระบวนการที่จะเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นกำลังของเครื่องยนต์ภายในกระบอกสูบ

2.1.2 การเผาไหม้ในห้องสูบเครื่องยนต์

การเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้เครื่องยนต์ เป็นองค์ประกอบเบื้องต้นในการสร้างพลังงานความร้อนให้เกิดขึ้นในเครื่องยนต์จากการเผาไหม้หรือการสันดาป การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นได้ต้องประกอบด้วยอากาศเชื้อเพลิง และความร้อน

1. อากาศหรือออกซิเจน (Oxygen)

อากาศเป็นตัวผสมกับเชื้อเพลิงเพื่อให้ออกซิเจนช่วยให้เกิดการเผาไหม้ขึ้นอย่างรวดเร็ว อากาศมีคุณสมบัติที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ 2 อย่าง คือ

1. อากาศสามารถอัดตัวได้ อากาศทั่ว ๆ ไป สามารถรับความกดดันให้อัดตัวมีปริมาตรเล็กลงได้ เช่น อากาศ 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถอัดให้เล็กลงเหลือ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตรได้
2. อากาศเมื่อถูกอัดตัวจะร้อนขึ้น โมเลกุลของอากาศเมื่ออยู่ภายใต้ความกดดันจะเกิดการเสียดสีซึ่งกันและกัน ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น เป็นผลให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดีและรวดเร็ว

2. เชื้อเพลิง (Fuel)

เชื้อเพลิงต้องมีคุณสมบัติผสมคลุกเคล้าเข้ากับอากาศได้ทั่วถึงอย่างรวดเร็วและจุดติดไฟหรือจุดระเบิดง่าย เชื้อเพลิงที่นิยมใช้ทั่วไปมี น้ำมันเบนซิน แก๊สปิโตรเลียมเหลว แก๊สธรรมชาติอัดและน้ำมันดีเซล เชื้อเพลิงเหล่านี้กลายเป็นไอระเหยได้รวดเร็วและจุดติดไฟง่าย การกลายเป็นไอระเหยเร็วจะช่วยให้เชื้อเพลิงคลุกเคล้ากับอากาศได้ทั่วถึงแล้วเกิดการเผาไหม้ที่ดี

3. การจุดระเบิดหรือการจุดติดไฟ

การจุดระเบิดเป็นการให้ความร้อนอันจะทำให้เกิดการลุกไหม้ของเชื้อผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง หรือเป็นการให้เชื้อเพลิงได้รับอากาศและความร้อนเกิดการลุกติดไฟขึ้น การลุกไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

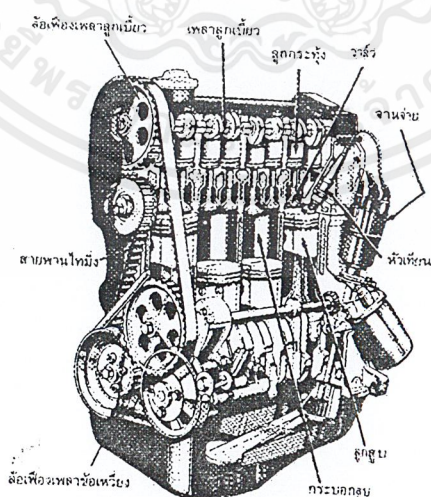
เร็วจะมีความดันทำให้เครื่องยนต์มีกำลังสูง ดังนั้นกำหนดเวลา (Timing) ที่ต้องการให้เกิดการลุกติดไฟเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต้องสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของลูกสูบ กำหนดเวลาการจุดระเบิดจึงต้องได้รับการปรับตั้งให้ถูกต้องเหมาะสมที่เรียกกันว่า การตั้งไฟจุดระเบิด หรือ การตั้งองศาจุดระเบิด (Ignition Timing Adjusting)

2.1.3 การจุดระเบิดในเครื่องยนต์

จากลักษณะการจุดระเบิด หรือการให้ความร้อนเพื่อเกิดการสันดาปขึ้นในห้องสูบมีอยู่ 2 แบบ คือ การจุดระเบิดด้วยประกายไฟ และการจุดระเบิดด้วยการอัด

1. การจุดระเบิดด้วยประกายไฟ (Sparking Ignition)

เครื่องยนต์แบบนี้จะใช้หัวเทียน (Spark Plug) เป็นตัวจุดประกายไฟในห้องเผาไหม้ เพื่อให้เกิดการจุดระเบิดเชื้อผสมขึ้น เรียกเครื่องยนต์แบบนี้ว่า เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (Sparking Ignition Engine) หรือเรียกว่า เครื่องยนต์ออตโต (Otto Engine) ที่ เอากุส ออตโต และ ออยเกิน ลางเกิน ชาวเยอรมันผู้ช่วยกันคิดค้นประดิษฐ์ขึ้น เมื่อ ค.ศ. 1867 เป็นต้นแบบ และมีระบบจุดระเบิดที่คิดประดิษฐ์ขึ้นโดยนักฟิสิกส์ชาวอิตาลีคือ อเลสซานโดร โวลต้า (Alessandro Volta) เมื่อ ค.ศ. 1777 ซึ่งเรียนระบบจุดระเบิดนี้ว่า Pistola Di Volta เครื่องยนต์แบบนี้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงหลายอย่าง ปัจจุบันจึงนิยมเรียกชื่อตามเชื้อเพลิงนั้น ๆ เช่น เครื่องยนต์ออตโตใช้เชื้อเพลิงน้ำมันเบนซินเรียกว่า เครื่องยนต์เบนซิน (Benzine Engine) ในสหรัฐอเมริกาเรียกน้ำมันเบนซินนี้ว่า แก๊สโซลีน (Gasoline) จึงเรียกเครื่องยนต์นี้ว่า เครื่องยนต์แก๊สโซลีน (Gasoline Engine) ในอังกฤษเรียกน้ำมันเบนซินว่า เพทรีออล (Petrol) จึงเรียกว่า เครื่องยนต์เพทรีออล (Petrol Engine) ส่วนเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สเรียกว่า เครื่องยนต์แก๊ส (LPG Engine)

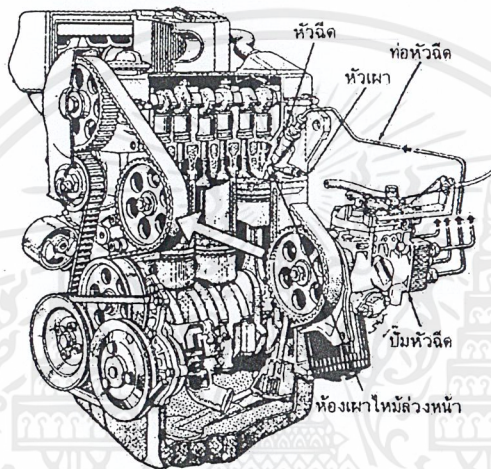


รูปที่ 2.2 เครื่องยนต์เบนซิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การจุดระเบิดด้วยการอัดอากาศ (Compression Ignition)

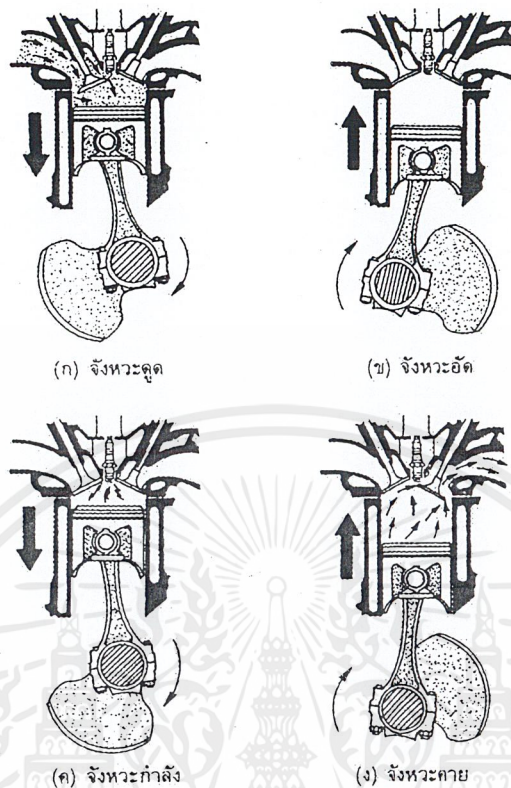
การจุดระเบิดแบบนี้ ในห้องเผาไหม้ก่อนที่จะนำเชื้อเพลิงเข้าไปจะทำการอัดอากาศให้ร้อนเต็มที่จนถึงอุณหภูมิที่เป็นจุดวาบไฟ (Flash Point) ของเชื้อเพลิง แล้วใช้หัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปเกิดการจุดลุกติดไฟเป็นการเผาไหม้ขึ้น เรียกเครื่องยนต์แบบนี้ว่า เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดอากาศ (Compression Ignition Engine) นิยมเรียกว่า เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine) ตามชื่อของ รูดอล์ฟ ดีเซล ชาวเยอรมัน ซึ่งเป็นผู้คิดประดิษฐ์ขึ้น เมื่อ ค.ศ. 1897



รูปที่ 2.3 เครื่องยนต์ดีเซล

2.1.4 การทำงานของเครื่องยนต์

การทำงานของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟแบ่งออกเป็น 4 จังหวะ ซึ่งได้แก่ จังหวะดูด จังหวะอัด จังหวะกำลัง และจังหวะคาย เครื่องยนต์จะต้องหมุน 2 รอบจึงจะครบวัฏจักร (cycle) การทำงานของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์ที่ทำงาน 4 จังหวะดังกล่าวเรียกว่า เครื่องยนต์วัฏจักร 4 จังหวะ (four-stroke-cycle engine) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า เครื่องยนต์ 4 จังหวะ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ 4 จังหวะ

1. **จังหวะดูด (intake stroke)** ในช่วงจังหวะดูด ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ก) ลูกสูบจะเคลื่อนที่ลง วาล์วไอดีเปิดออก และไอดีถูกดูดให้ไหลเข้ากระบอกสูบ ทั้งนี้เพราะว่าในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงจะเกิดสุญญากาศในกระบอกสูบ ทำให้เกิดแรงดูดไอดีเข้ากระบอกสูบ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ถึงจุดต่ำสุด วาล์วไอดีจะปิด

2. **จังหวะอัด (compression stroke)** หลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ถึงจุดต่ำสุดแล้วก็จะเริ่มเคลื่อนที่ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ข) วาล์วไอดีและวาล์วไอเสียปิด ไอดีภายในกระบอกสูบจะถูกอัดให้มีปริมาตรเล็กลง จึงเรียกว่า จังหวะอัด เช่น จากปริมาตร 8 ส่วน ถูกอัดจนเหลือเพียง 1 ส่วน อัตราส่วนระหว่างปริมาตรก่อนอัดกับปริมาตรหลังอัด เรียกว่า อัตราส่วนการอัด (compression ratio)

3. **จังหวะกำลัง (power stroke)** ในระหว่างจังหวะกำลัง วาล์วไอดีและไอเสียยังคงปิดอยู่ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ใกล้ศูนย์ตายบนในจังหวะอัด จะเกิดประกายไฟที่หัวเทียน และเริ่มการจุดระเบิดเผาไหม้ไอดี ในขณะเดียวกันลูกสูบจะเคลื่อนที่ผ่านตำแหน่งศูนย์ตายบนและเริ่มเคลื่อนที่ลง ดังแสดงในรูปที่ 2.4

ในระหว่างการเผาไหม้ จะเกิดความดันสูงกระทำต่อลูกสูบให้เคลื่อนที่ลงและถ่ายทอดผ่านก้านสูบไปสู่เพลาค้อเหวี่ยง

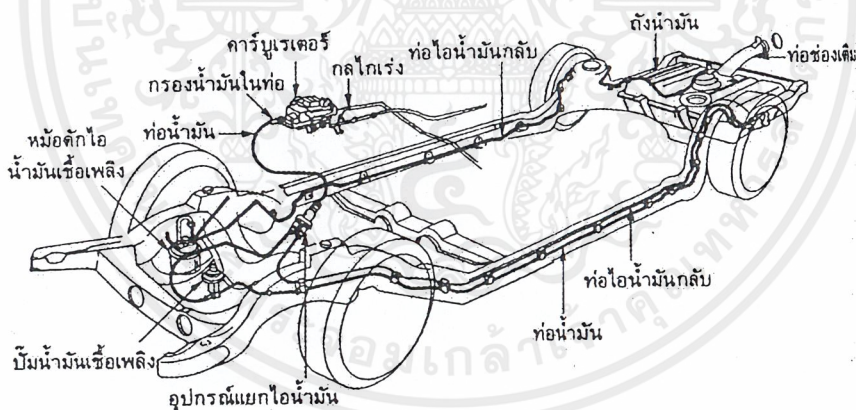
4. จังหวะคาย (exhaust stroke) เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ใกล้ถึงศูนย์ตายล่าง วาล์วไอเสียจะเปิดออก หลังจากลูกสูบเคลื่อนที่ผ่านศูนย์ตายล่างแล้วก็จะเคลื่อนที่ขึ้น และไล่ไอเสียออกจากกระบอกสูบทางวาล์วไอเสีย ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จึงเรียกว่า จังหวะคาย

เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ผ่านศูนย์ตายบนแล้วก็จะเริ่มเคลื่อนที่ลง วาล์วไอเสียจะปิด และวาล์วไอดีจะเปิดออก เพื่อเริ่มต้นจังหวะคู่อีกครั้งหนึ่ง

2.1.5 ระบบเครื่องยนต์ขั้นพื้นฐาน

เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (spark ignition engine หรือ SI engine) ต้องการระบบพื้นฐาน 4 ระบบการทำงาน ได้แก่ ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบจุดระเบิด ระบบหล่อลื่น และระบบหล่อเย็น ส่วนเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (compression ignition engine หรือ CI engine) ต้องการระบบพื้นฐานเพียง 3 ระบบ ได้แก่ ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบหล่อลื่น และระบบหล่อเย็น โดยไม่ต้องการระบบจุดระเบิด ระบบพื้นฐานเหล่านี้ได้แก่

1. ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง (fuel system) ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงทำหน้าที่ป้อนน้ำมันเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์ น้ำมันเชื้อเพลิงผสมกับอากาศและจุดระเบิดเผาไหม้ให้กำลังงานออกมาหมุนเพลาคือเหวี่ยงเครื่องยนต์

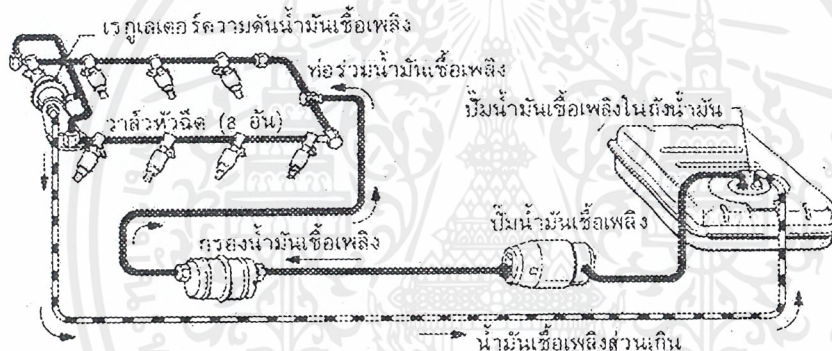


รูปที่ 2.5 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงขั้นพื้นฐาน

น้ำมันเชื้อเพลิงจากถังน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกดูดและส่งโดยปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงไปยังคาร์บูเรเตอร์ จากนั้นคาร์บูเรเตอร์ก็จะทำหน้าที่ผสมอากาศกับน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าด้วยกัน แล้วส่งเข้ากระบอกสูบของเครื่องยนต์ ส่วนผสมจะถูกอัดและจุดระเบิดด้วยประกายไฟจากหัวเทียน แล้วให้กำลังงานออกมาที่เพลาคือเหวี่ยง ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบ ได้แก่ ถังน้ำมันเชื้อเพลิง ปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิง และคาร์บูเรเตอร์ นอกจากนี้แล้วเครื่องยนต์แก๊สโซลีนในปัจจุบันบางเครื่องจะไม่มีคาร์บูเรเตอร์แต่จะใช้ระบบหัวฉีดแทน ซึ่งจะประกอบด้วย

หัวฉีดหนึ่งอันหรือมากกว่า ซึ่งทำหน้าที่ฉีดน้ำมันเข้าผสมกับอากาศ ก่อนที่จะไหลเข้ากระบอกสูบแล้วเผาไหม้ หรืออาจฉีดเข้าห้องเผาไหม้โดยตรง

ระบบหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ในเครื่องยนต์แก๊สโซลีนระบบหัวฉีด น้ำมันเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในอากาศโดยวาล์วหัวฉีด ซึ่งทำงานโดยการควบคุมของโซลินอยด์ = การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงอาจแยกเป็น 2 แบบใหญ่ ๆ ดังนี้คือ การฉีดเข้าช่องไอดี (port injection) และการฉีดเข้าช่องวาล์วปีกผีเสื้อ (throttle-body injection หรือ TBI) การฉีดเข้าช่องไอดีอาจเรียกว่า การฉีดหลายจุด (multipoint injection) น้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดที่ตำแหน่งต่าง ๆ การฉีดเข้าช่องวาล์วปีกผีเสื้ออาจเรียกว่า การฉีดจุดเดียว (single-point injection) คือ น้ำมันเชื้อเพลิงจะฉีดที่จุดเดียวบนช่องวาล์วปีกผีเสื้อ การฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงจะเกิดขึ้นตรงบริเวณก่อนที่อากาศจะไหลผ่านวาล์วปีกผีเสื้อเข้าสู่ท่อร่วมไอดี



รูปที่ 2.6 ระบบหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์แก๊สโซลีน

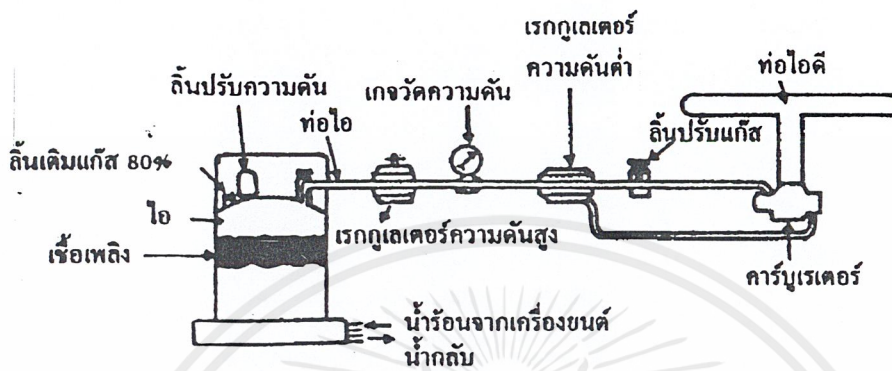
ระบบเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว (LPG Fuel System) เครื่องยนต์แก๊สก็เป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟหรือเครื่องยนต์ออตโตที่จะต้องผสมอากาศกับแก๊สปิโตรเลียมเหลวก่อนนำเข้าห้องสูบ ตามปกติแก๊สปิโตรเลียมเหลวจะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นถึงน้ำมันเชื้อเพลิงต้องแข็งแรงเพราะต้องอัดแก๊สด้วยความดันสูงมาก เพื่อให้แก๊สอยู่ในสภาพเป็นของเหลวและมีอุปกรณ์ที่ป้องกันการระเหยหนีของไอด้วย การส่งถ่ายเชื้อเพลิงจากถังมีกรรมวิธีอยู่ 2 ระบบ คือ ระบบส่งถ่ายเหลวและระบบส่งถ่ายไอ

(1) ระบบส่งถ่ายไอ (Vapor Withdrawal System) เป็นการส่งถ่ายปิโตรเลียมเหลวขณะเป็นไอใช้ในขณะสตาร์ทเครื่องยนต์ แล้วมีสวิตช์เปลี่ยนไปใช้เป็นระบบส่งถ่ายเหลวหลังจากที่เครื่องยนต์ผ่านการอุ่นเครื่องแล้วเพราะในขณะที่เครื่องยนต์ยังเย็นอยู่แก๊สปิโตรเลียมยังไม่เป็นไอดีพอ ระบบเชื้อเพลิงแก๊สมีอุปกรณ์ต่าง ๆ คือ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนหรือหม้อต้ม (Heat Exchanger) เป็นตัวทำให้แก๊สปิโตรเลียมเหลวกลายเป็นไอที่ดีพอเพื่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวผสมแก๊ส (Mixer) หรือคาร์บูเรเตอร์แก๊ส เป็นตัวทำหน้าที่ผสมอากาศกับแก๊สในอัตราผสม และปริมาณที่ถูกต้องเหมาะสมเข้าห้องสูบ หัวผสมแก๊สจะทำงานเมื่อเชื้อเพลิงอยู่ในสภาพของ ไอเท่านั้น



รูปที่ 2.7 การส่งแก๊สปิโตรเลียมเหลวโดยวิธีส่งถ่ายไอ

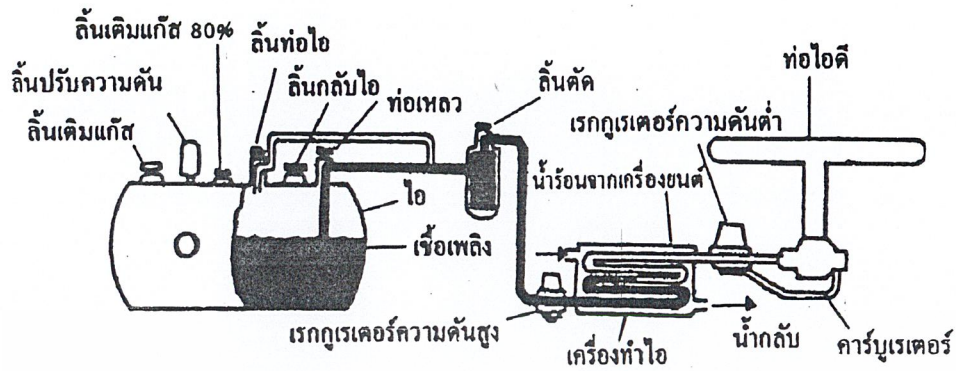
ท่อและวาล์วต่าง ๆ มีไว้เพื่อเป็นทางเดินแก๊สที่มีความปลอดภัยและสามารถเลือกใช้แก๊สที่เป็นของเหลวหรือไอตามต้องการ

กรอง ทำหน้าที่คักความชื้นและฝุ่นที่ติดมากับแก๊ส

ตัวควบคุมความดัน (Pressure Regulator) เป็นตัวรักษาความดันใช้งานของแก๊สปิโตรเลียมเหลวให้คงที่อยู่ตลอดเวลา เพื่อควบคุมจำนวนเชื้อเพลิงป้อนเข้าเครื่องยนต์อย่างถูกต้องเหมาะสม

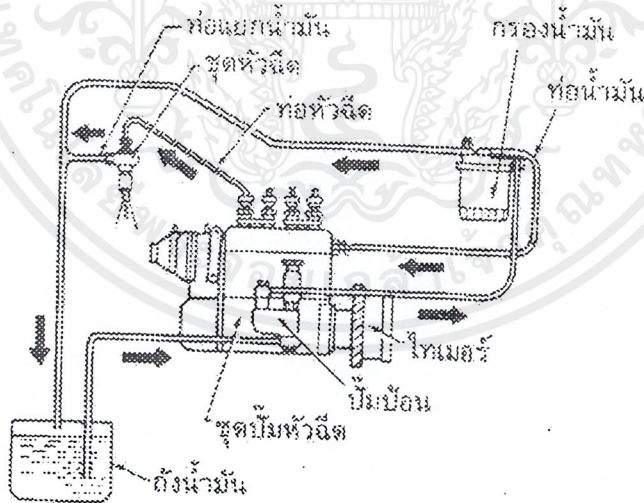
(2) ระบบส่งถ่ายเหลว (Liquid Withdrawal System) หม้อต้มหรือเครื่องผลิตความร้อนจะเปลี่ยนสภาพแก๊สปิโตรเลียมเหลวให้กลายเป็นไอ หม้อต้มทำงานโดยใช้ความร้อนของน้ำจากระบบหล่อเย็นเครื่องยนต์ไปหมุนวนอุ่นแก๊ส การส่งถ่ายในขณะที่แก๊สอยู่ในสภาพเป็นของเหลวระบบนี้เป็นแบบที่นิยมใช้ในการส่งแก๊สขณะเครื่องยนต์ทำงานปกติทั่วไป

คาร์บูเรเตอร์ของระบบเชื้อเพลิงแก๊สเป็นแบบที่ง่ายกว่าคาร์บูเรเตอร์ของน้ำมันเบนซินเพราะเชื้อเพลิงเป็นไออยู่ก่อนแล้ว คาร์บูเรเตอร์จึงทำหน้าที่เพียงควบคุมปริมาณไอแล้วผสมเข้ากับอากาศในอัตราผสมที่เหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงเรียกคาร์บูเรเตอร์ของเครื่องยนต์แก๊สว่า หัวผสมแก๊ส (Mixer) เพราะทำหน้าที่ผสมแก๊สเพียงอย่างเดียวโดยไม่ต้องทำให้เชื้อเพลิงเป็นไอ



รูปที่ 2.8 อุปกรณ์ต่างๆ ของระบบส่งถ่ายเหลว

ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล (Diesel Fuel System) ในระบบนี้ น้ำมันดีเซลจะถูกฉีดให้เป็นฝอยเข้าไปในห้องเผาไหม้ที่ตรงจุดระเบิด (Ignition Timing) ซึ่งอากาศถูกอัดจนร้อนมีอุณหภูมิสูงเพียงพออยู่แล้ว และเกิดการจุดระเบิดลุกไหม้ขึ้น โดยไม่ต้องมีประกายไฟเพื่อจุดระเบิดเหมือนเครื่องยนต์แก๊สโซลีน แต่ใช้ปั๊มหัวฉีดและหัวฉีด ฉีดน้ำมันดีเซลเข้าผสมกับอากาศแทนคาร์บูเรเตอร์ ส่วนประกอบของระบบน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลประกอบด้วย ถังน้ำมันดีเซล ปั๊มเลี้ยง กรองน้ำมันดีเซล ปั๊มหัวฉีด หัวฉีดและท่อน้ำมัน

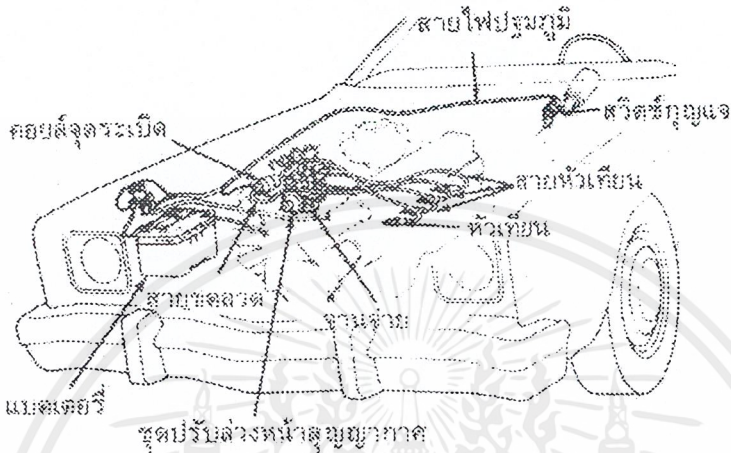


รูปที่ 2.9 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล

2. ระบบจุดระเบิด (Ignition System) ระบบจุดระเบิดจะทำหน้าที่สร้างประกายไฟสำหรับจุดระเบิดน้ำมันเชื้อเพลิงในกระบอกสูบ ระบบจุดระเบิดจะนำแรงดันไฟฟ้าต่ำจากแบตเตอรี่ ซึ่งโดยทั่วไปมีค่า

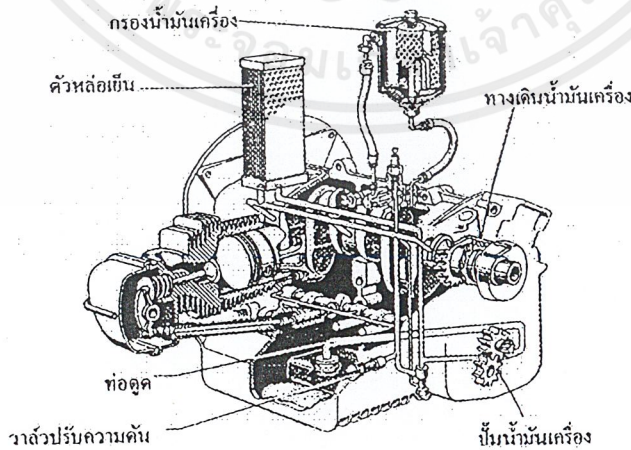
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 12 โวลต์ มาตรฐานแรงดันไฟฟ้าสูง บางระบบอาจสร้างแรงดันไฟฟ้าได้สูงมากถึง 47,000 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าสูงสามารถช่วยให้เกิดประกายไฟที่บริเวณเชื้อหัวเทียนได้ ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของการจุดระเบิดเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 2.10 ระบบจุดระเบิดแบบทองขาว

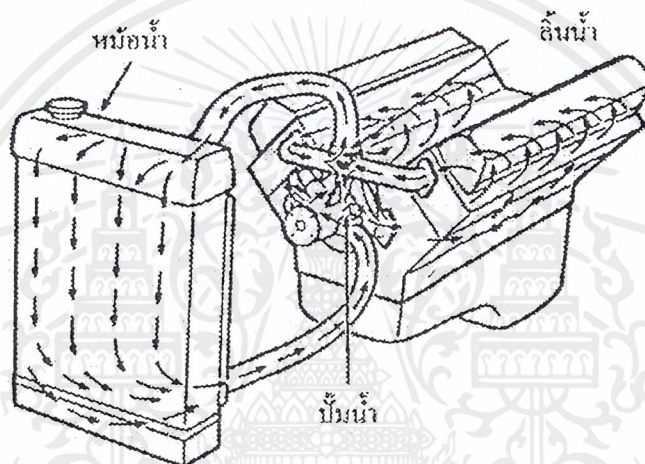
3. ระบบหล่อลื่น (Lubricating System) ระบบหล่อลื่นจะทำหน้าที่ป้อนน้ำมันหล่อลื่นไปยังส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ที่มีการเคลื่อนไหว เพื่อป้องกันการสึกหรอและระบายความร้อน ระบบหล่อลื่นจะมีอ่างน้ำมันอยู่ที่ส่วนล่างของเครื่องยนต์ ซึ่งทำหน้าที่เก็บน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในระบบ ป้อนน้ำมันหล่อลื่นซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยกำลังจากเครื่องยนต์ จะดูดน้ำมันจากอ่างแล้วส่งไปยังส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์ หลังจากนั้นน้ำมันหล่อลื่นก็จะไหลกลับสู่อ่างน้ำมันตามเดิม และจะหมุนเวียนไปเช่นนี้ตลอดการทำงานของเครื่องยนต์



รูปที่ 2.11 ระบบหล่อลื่นทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ระบบหล่อเย็น (Cooling System) ระบบหล่อเย็นจะทำหน้าที่ระบายความร้อนส่วนเกินของเครื่องยนต์ออกสู่บรรยากาศภายนอก การเผาไหม้ไอดีในกระบอกสูบทำให้อุณหภูมิภายในกระบอกสูบอาจสูงถึง 2,000 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าจุดหลอมละลายของโลหะที่ใช้ทำเครื่องยนต์ ดังนั้นจึงควรระบายความร้อนออกไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ พลังงานความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ ส่วนหนึ่งเปลี่ยนไปเป็นพลังงานกลที่เพลาช้อเหวี่ยง ส่วนหนึ่งจะออกไปกับไอดี ส่วนหนึ่งถูกน้ำมันหล่อลื่นพาออกไป และส่วนที่เหลือออกไปด้วยระบบหล่อเย็น



รูปที่ 2.12 ระบบหล่อเย็น

จากรูปที่ 2.13 จะแสดงระบบหล่อเย็นขั้นพื้นฐานซึ่งระบายความร้อนด้วยน้ำ รอบ ๆ กระบอกสูบมีโพรงน้ำสำหรับการไหลเวียนของน้ำ น้ำจะพาความร้อนออกจากเครื่องยนต์และไหลเข้าสู่หม้อน้ำ เพื่อระบายความร้อนสู่บรรยากาศอีกครั้งหนึ่ง

ระบบอื่น ๆ ของเครื่องยนต์ นอกจากระบบที่กล่าวมาทั้ง 4 ระบบซึ่งได้แก่ ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง ระบบจุดระเบิด ระบบหล่อลื่น และระบบหล่อเย็น ยังมีระบบอื่น ๆ อีกที่ทำงานสัมพันธ์กันและมีความจำเป็น ได้แก่ ระบบไอดี ระบบควบคุมไอดี และระบบสตาร์ท

ระบบไอดีจะช่วยลดเสียงดังในขณะที่ไอดีออกจากกระบอกสูบและพาไอดีออกไปยังตำแหน่งที่ปลอดภัยแก่ผู้โดยสารในรถยนต์ ระบบควบคุมไอดีทำหน้าที่ควบคุมมลภาวะของอากาศเนื่องจากไอดีส่วนระบบสตาร์ทจะช่วยในการสตาร์ทเครื่องยนต์

2.1.6 สารมลพิษในไอเสีย (Pollutants in the Exhaust)

สารที่พบในไอเสียของรถยนต์เครื่องยนต์เบนซินอันมีความเสี่ยงต่อสุขภาพของคนคือ CO HC NOx และสารพิษอื่น

1. แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งเป็นแก๊สที่มีพิษมากและเป็นแก๊สที่มีสัดส่วนค่อนข้างมากในแก๊สไอเสียจึงเป็นแก๊สที่มีอันตรายมากเป็นพิเศษ

ตามกฎหมายของเยอรมันและในหลาย ๆ ประเทศจะมีเหมือน ๆ กัน คือ ชีวิตมนุษย์จะต้องได้รับไม่มากกว่า 50 ส่วนต่อล้านส่วน (50 ppm) ของคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศในบริเวณที่คนทำงานอยู่ ปัจจุบันบนทางแยกถนนสายหลักจึงต้องทำการตรวจวัดค่าปริมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นประจำ

2. ส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ (Unburnt Hydrocarbon) ไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ หรือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลาย ๆ อย่างที่แตกต่างกัน ส่วนประกอบเหล่านี้ยังเป็นข้อสงสัยว่าจะเป็นตัวสนับสนุนให้เกิดมะเร็งได้หรือไม่ และยังเป็นต้นเหตุของกลิ่นไอเสียที่น่ารังเกียจอีกด้วย

3. แก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_2 Gas) แก๊สไนโตรเจนออกไซด์มีสีน้ำตาลแดงและมีพิษอย่างรุนแรงด้วยในที่มีความเข้มข้นมากกว่า 150 ส่วนในล้านส่วน (150 ppm) จะทำให้เกิดการระคายเคืองอย่างแรงต่ออวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ มนุษย์สามารถดูดซับเอาออกไซด์ของไนโตรเจนได้ประมาณ 0.5 ส่วนในล้านส่วน (0.5 ppm) ได้โดยปราศจากการเป็นการเป็นอันตรายของสุขภาพ

นอกจากนี้ยังมีสารมลพิษอื่น ๆ ในไอเสียของเครื่องยนต์ เช่น ออกไซด์ของกำมะถัน กรดคาร์บอนแอมโมเนีย เกิดขึ้นในระดับความเข้มข้นต่ำซึ่งจะไม่เป็นพิษอย่างรุนแรงหรืออันตรายต่อสุขภาพ

2.1.7 การควบคุมพิษจากไอเสีย (Exhaust Emission Control Measures)

การลดระดับสารมลพิษในไอเสีย เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ ส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอนและออกไซด์ของไนโตรเจน มีกระบวนการที่ได้มีการพัฒนาและนำมาใช้ดังลำดับต่อไปนี้

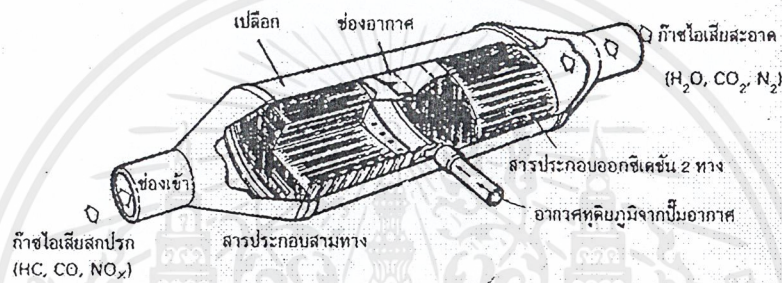
1. การใช้คาร์บูเรเตอร์ควบคุมมลพิษ (Pollution-control Carburetors) ซึ่งเป็นคาร์บูเรเตอร์ที่ติดตั้งระบบเครื่องยนต์เดินเบา (Idling Systems) และระบบเครื่องยนต์เดินเร็วเกิน (Overrun Systems) เช่น ขณะรถถ่วงลงจากเขาซึ่งจะต้องตัดการจ่ายน้ำมันเบนซินเป็นการรักษาความถูกต้องและความคงที่ของอัตราผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเบนซิน

2. การใช้ระบบหัวฉีดน้ำมันเบนซิน (Fuel Injection Systems) ซึ่งเป็นระบบที่ทำการส่งน้ำมันเบนซินเข้าผสมกับอากาศเป็นเชื้อระเบิดเข้าห้องสูบโดยการฉีด ทำให้อัตราผสมระหว่างอากาศกับน้ำมันเบนซินสามารถที่จะควบคุมให้เกิดขึ้นอยู่ในสภาพที่เหมาะสมทุกสภาวะของการทำงานของเครื่องยนต์และความต้องการการลดมลพิษไอเสีย

3. ปรับปรุงการหมุนวนของส่วนผสมของอากาศกับน้ำมันเบนซิน ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ดีขึ้น โดยการออกแบบอย่างรอบคอบในการสร้างท่อไอดีและห้องเผาไหม้ ทำให้การควบคุมองศาจุดระเบิด

(Ignition Timing) เป็นไปอย่างเที่ยงตรงที่สุดที่เป็นได้

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



รูปที่ 2.13 อุปกรณ์กำจัดก๊าซพิษแบบ 3 ทาง ซึ่งโครงสร้างภายในเป็นแบบช่องรังผึ้งเคลือบด้วยสารประกอบ

5. การให้ความร้อนหลังการเผาไหม้ (Thermal Afterburning) หรือ การเผาไหม้ซ้ำ (Re-combustion) ทำการเป่าลมจากปั๊มลมที่ขับหมุนจากเครื่องยนต์เข้าไปในก๊าซไอเสียทันทีที่ออกจากกระบอกสูบ ด้วยวิธีการนี้จะเปลี่ยนคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เป็นพิษให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นพิษและเกิดการเผาผลาญไฮโดรคาร์บอนที่ไม่เผาไหม้ที่หลงเหลืออยู่ให้หมดสิ้นไปได้มากขึ้น

6. การวนกลับก๊าซไอเสีย (Exhaust Gas Recirculation) โดยการให้ไอเสียส่วนหนึ่งไหลวนกลับเข้าไปในท่อร่วมไอดีของเครื่องยนต์ จะทำให้เกิดการลดออกไซด์ของไนโตรเจนลง แต่ก็ทำให้เกิดการลดกำลังของเครื่องยนต์ลงด้วย

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

การแก้ปัญหาเกี่ยวกับการแพร่ออกของก๊าซไอเสียไม่เป็นการง่ายที่จะทำการแก้ปัญหามากนัก เพราะขณะที่ทำให้คาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง สักส่วนความสมดุลจากสารพิษของออกไซด์ของไนโตรเจนมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้น

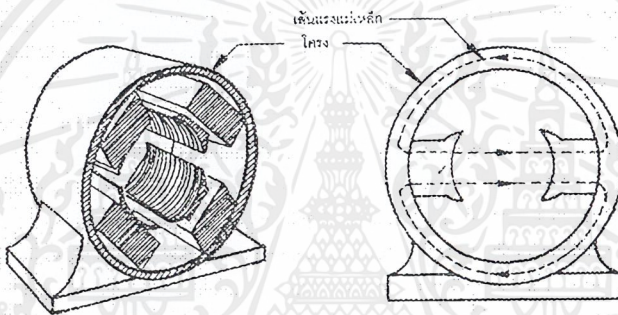
ในปัจจุบันนี้มีการใช้รถยนต์กันอย่างมากมายทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศจากไอเสียของรถยนต์ตามมา ถึงแม้จะใช้วิธีการลดมลพิษจากไอเสียของรถยนต์ด้วยวิธีการต่าง ๆ แต่มลพิษก็ยังคงมีอยู่ค่อนข้างมาก เนื่องจากจำนวนรถยนต์ที่ใช้นั่นเอง

2.2 มอเตอร์กระแสตรง

โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีโครงสร้างประกอบด้วยส่วนสำคัญอยู่ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

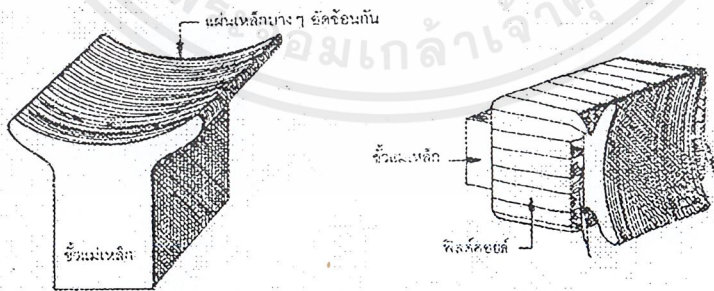
1. ส่วนอยู่กับที่ (Stator Part) ประกอบด้วย

- 1) เปลือกหรือโครง (Frame or Yoke) ทำมาจากเหล็กหล่อ หรือสารแม่เหล็ก ทำหน้าที่คือ
- ยึดขั้วแม่เหล็ก และส่วนประกอบทั้งหมด
- เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็ก (Magnetic circuit)



รูปที่ 2.14 แสดงเปลือกหรือโครง

2) ขั้วแม่เหล็ก (Pole shoes) ทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆ (Laminated sheet steel) อัดซ้อนเข้าด้วยกัน โดยแต่ละแผ่นจะเคลือบไว้ด้วยฉนวน ขั้วแม่เหล็กนี้จะยื่นออกมาจากโครง โดยขั้วแม่เหล็กนี้จะถูกยึดเข้ากับโครงด้วยสกรู ลักษณะของขั้วแม่เหล็กแสดงได้ดังรูปที่



รูปที่ 2.15 แสดงขั้วแม่เหล็ก

3) ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil or field winding) หรือเรียกว่าขดลวดฟิลด์คอยล์ เป็นขดลวดตัวนำที่พันไว้รอบขั้วแม่เหล็ก ขดลวดสนามแม่เหล็กจะพันจากแบบภายนอก แล้วสวมเข้ากับขั้วแม่เหล็ก ซึ่งขั้วแม่เหล็กสามารถถอดออกได้ ขดลวดสนามแม่เหล็กนี้จะต้องมีขนาดพอดี คือไม่แน่นหรือหลวมเกินไป เพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

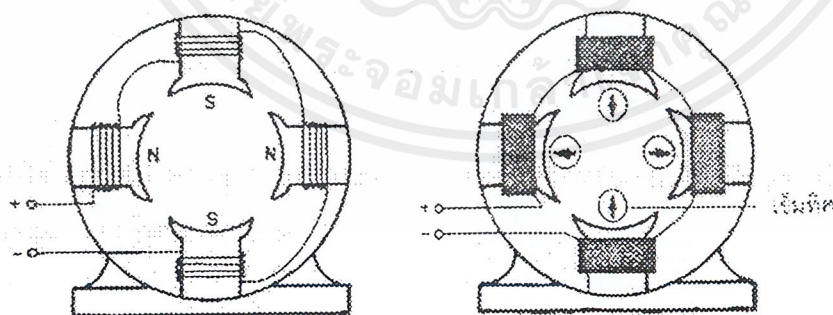
ถ้าแน่นจนเกินไปขณะประกอบอาจทำให้เกิดการร้าวลงดินได้ และขณะเดียวกันถ้าหลวมเกินไป ก็อาจทำให้เกิดอาการสั่นคลอนของขดลวดขณะใช้งานได้ และจะทำให้ปิดฝาครอบหัวท้ายไม่ได้อีกด้วย ขดลวดสนามแม่เหล็กทำหน้าที่สร้างเส้นแรงแม่เหล็ก ขดลวดฟิลต์ค้อยล์มี 2 ชนิด คือ

- ขดลวดชัณฑ์ฟิลต์ (Shunt field or shunt winding) ขดลวดนี้จะพันด้วยเส้นลวดเส้นเล็ก ดังนั้น ความต้านทานจะสูง
- ขดลวดซีรีส์ฟิลต์ (Series field or series winding) ขดลวดนี้จะพันด้วยเส้นลวดเส้นใหญ่ ดังนั้น ความต้านทานจะต่ำ

ขดลวดทั้งสองชุดนี้พันอยู่บนแกนขั้วแม่เหล็กอันเดียวกัน โดยขดลวดชัณฑ์ฟิลต์จะพันอยู่ด้านในสุด ส่วนซีรีส์ฟิลต์จะพันไว้ด้านนอกสุดและมีจำนวนรอบเพียงเล็กน้อย จะต้องมีความสัมพันธ์ระหว่างขดลวดชัณฑ์ฟิลต์กับขดลวดซีรีส์ฟิลต์ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ขดลวดทั้งสองชุดจะต้องพันไปในทิศทางเดียวกัน และขดลวดในแต่ละชุดนั้นจะต้องอนุกรมเข้าด้วยกันระหว่างขั้วแม่เหล็กให้ถูกต้องด้วย เพราะจะทำให้ขั้วแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือและขั้วใต้สลับกันไป ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 แสดงขดลวดสนามแม่เหล็ก



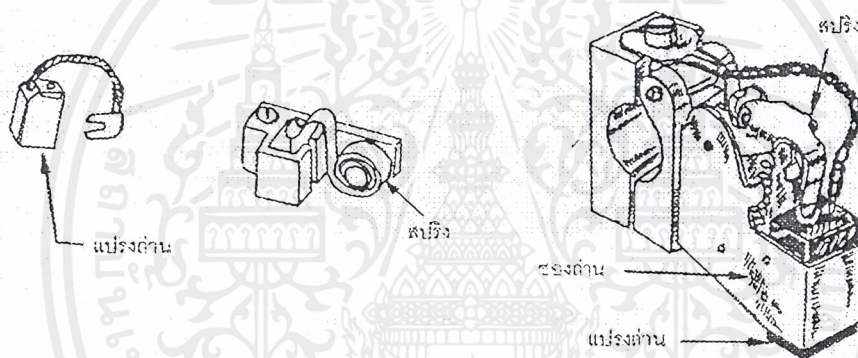
รูปที่ 2.17 แสดงการตรวจสอบการต่อขดลวดฟิลต์ค้อยล์

การตรวจสอบการต่อว่าถูกต้องหรือไม่นั้น เราสามารถตรวจสอบได้ด้วยการใช้เข็มทิศ หรือการใช้แท่งแม่เหล็กถาวรในการตรวจสอบ โดยจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับฟิลต์ค้อยล์ และใช้เข็มทิศหรือแท่งแม่เหล็กถาวรสอดเข้าไปที่ด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้ว ขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะต้องสลับกันไป เมื่อทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบขดลวดชั้นฟิลต์แล้ว ก็ให้ทำการตรวจสอบซีรีส์ฟิลต์ในทำนองเดียวกัน และขั้วแม่เหล็กที่แสดงออกเนื่องจากขดลวดซีรีส์ฟิลต์นั้น จะต้องเหมือนกันกับขดลวดชั้นฟิลต์

4) แปรงถ่านและเบร้ง (Brushes or bearing) แปรงถ่านทำหน้าที่เป็นสะพานไฟจากคอมมิวเตเตอร์ไปยังวงจรถายนอก แปรงถ่านทำมาจากคาร์บอนอัดแน่นจะมีลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าบรรจุอยู่ในช่องถ่าน โดยที่แปรงถ่านนี้จะมีขดลวดทองแดงถักติดอยู่ด้วยเพื่อต่อไฟออกไปใช้งาน และถูกกดด้วยสปริงให้สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา และช่องถ่านจะถูกยึดติดกับฝาครอบ ส่วนเบร้งหรือลูกปืนนั้นจะเป็นตัวรับน้ำหนักทั้งหมดที่ได้รับจากตัวหมุน และช่วยลดแรงเสียดทานของเพลลาขณะทีอาร์เมเจอร์หมุนปกติ เบร้งจะยึดติดอยู่ที่ฝาครอบทั้ง 2 ด้านของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แปรงถ่านและช่องถ่านแสดงได้ดังรูปที่ 2.19 ในเครื่องกลไฟฟ้า กระแสตรงนี้จะต้องมีแปรงถ่านอย่างน้อย 2 แปรง และแปรงถ่านทั้งสองต้องสามารถหมุนปรับตำแหน่งได้พร้อมกัน ดังนั้นช่องถ่านทั้ง 2 จะต้องอยู่บนตัวปรับอันเดียวกันด้วย

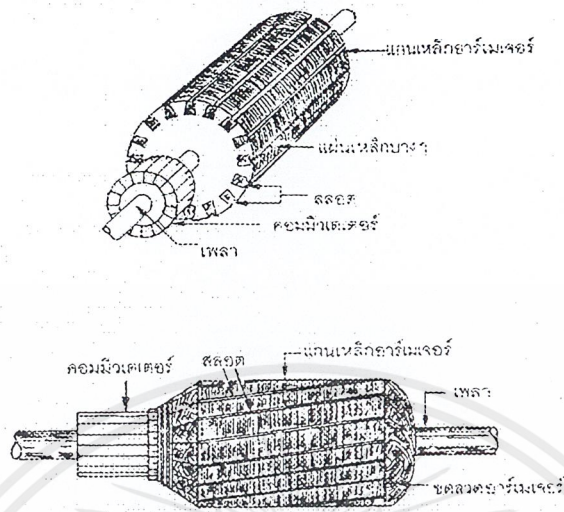


รูปที่ 2.18 แสดงแปรงถ่านและช่องถ่าน

5) ฝาปิดหัวท้ายหรือฝาครอบ (End plate) ทำมาจากเหล็กหล่อเช่นเดียวกับโครง ทำหน้าที่รองรับเพลลาของส่วนหมุน และยึดช่องถ่าน

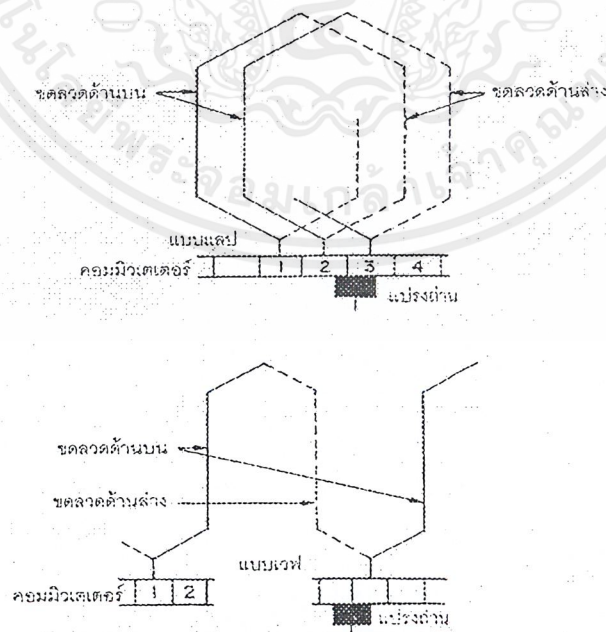
2. ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor Part) ประกอบด้วย

1) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature core) ทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆ ที่ด้านหนึ่งฉาบด้วยฉนวนอัดซ้อนเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอกเพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากฮีสเตอรีซิส และกระแสไหลวนในแกนเหล็ก แกนเหล็กอาร์เมเจอร์นี้ทำเป็นช่องสลอตไว้ดังรูปที่ 2.21 แกนเหล็กอาร์เมเจอร์เป็นที่สำหรับบรรจุขดลวดอาร์เมเจอร์ และที่แกนเหล็กอาร์เมเจอร์นี้จะเจาะรูไว้ด้วย เพื่อช่วยในการระบายความร้อนเนื่องจากความสูญเสีย



รูปที่ 2.19 แสดงแกนเหล็กอาร์เมเจอร์

2) ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature coil or Armature winding) คือขดลวดที่บรรจุลงในช่องสลอตของแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ โดยขดลวดนั้นทำมาจากลวดทองแดงอาบฉนวน ขดลวดอาร์เมเจอร์จะนิยมพันจากแบบภายนอกแล้วจึงนำไปบรรจุลงในสลอต เพราะจะทำให้ขดลวดแต่ละขดมีความยาวและมีน้ำหนักสมดุลไม่เกิดการแกว่งขณะหมุน ขดลวดอาร์เมเจอร์มีกรพันเป็นแบบแลป (lap) หรือแบบ (wave) ปลายของขดลวดจะถูกนำมาต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 2.21

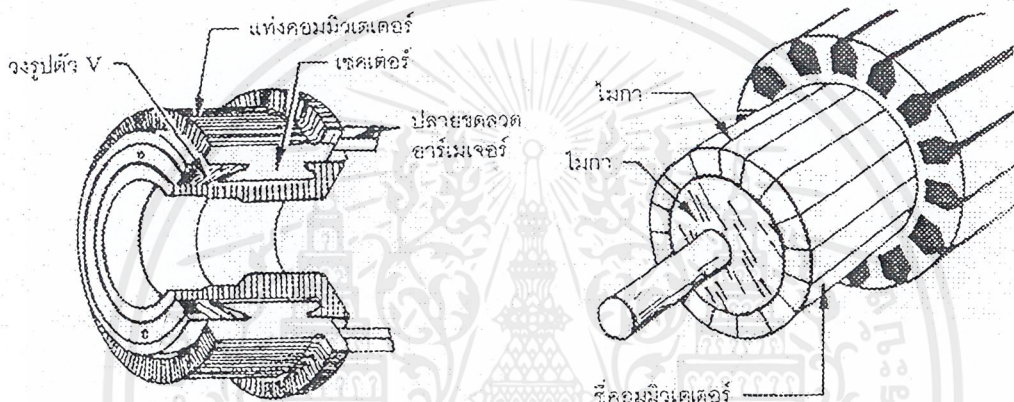


รูปที่ 2.20 แสดงขดลวดอาร์เมเจอร์

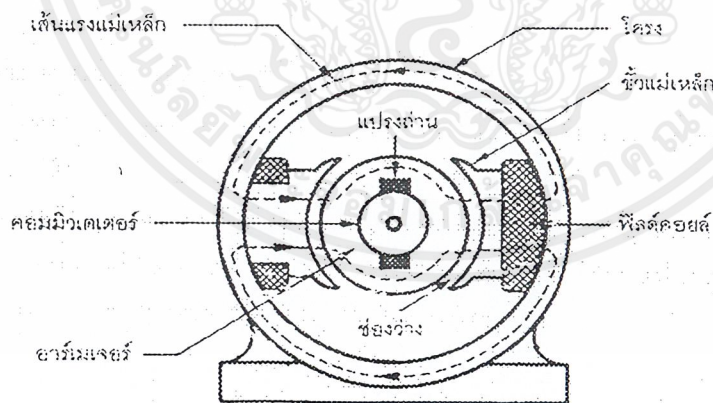
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์เมเจอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงที่มีลักษณะคล้ายลิ้ม เพื่อให้สามารถนำมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก คอมมิวเตเตอร์แต่ละอันนั้นเรียกว่าซี่ และในระหว่างซี่ทองแดงแต่ละซี่จะคั่นไว้ด้วยฉนวนหนาแข็งแรง และคอมมิวเตเตอร์นี้จะยึดติดไว้บนเพลลาอันเดียวกับแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ คอมมิวเตเตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 2.21

จากโครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงทั้งหมดดังที่กล่าวมาแล้ว สามารถแสดงส่วนต่างๆ ได้ดังรูปที่ 2.22

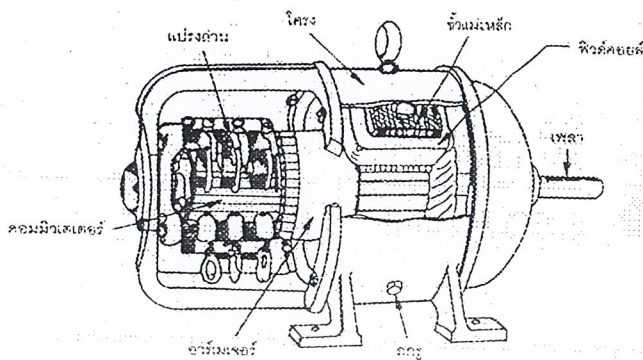


รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะของคอมมิวเตเตอร์



รูปที่ 2.22 แสดงรูปตัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

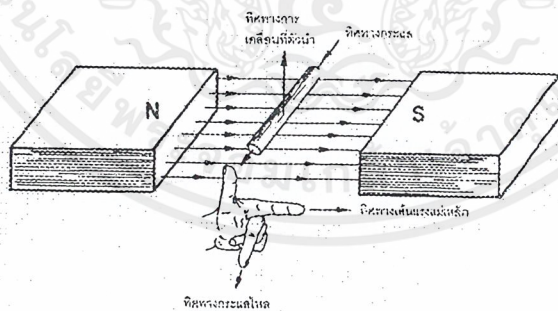


รูปที่ 2.23 แสดงส่วนต่างๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้า

2.2.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

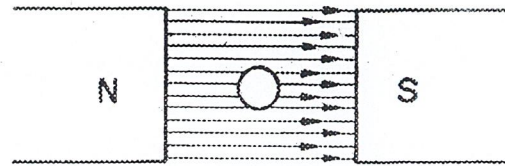
เมื่อมีขดลวดตัวนำหมุนตัดกับสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ขึ้นในขดลวดตัวนำนั้น และทิศทางการไหลของกระแสในขดลวดตัวนำจะไหลในทิศทางที่ต้านการหมุนของขดลวดตัวนำ ซึ่งกฎในเรื่องทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้านี้เรียกว่ากฎของเลนซ์

การพิจารณาการหมุนของมอเตอร์ว่าจะหมุนไปทางใหนั้น พบว่าถ้าทราบทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก ทิศทางการไหลของกระแสในตัวนำ จะทำให้ทราบทิศทางการหมุนของขดลวดตัวนำได้ จากความสัมพันธ์ดังกล่าว เรียกว่ากฎของเฟลมมิ่ง สามารถหาได้โดยการใช้มือซ้าย กางนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางให้ตั้งฉากกัน ให้นิ้วหัวแม่มือชี้ทิศทางเคลื่อนที่ของตัวนำ นิ้วชี้ชี้ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กและนิ้วกลางชี้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าในตัวนำดังแสดงในรูปที่ 2.25

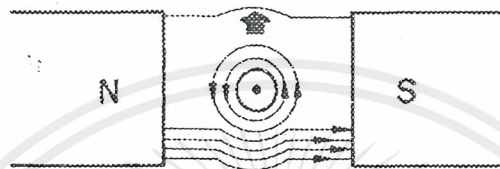


รูปที่ 2.24 แสดงกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง

ถ้าขดลวดตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน จะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบๆ ลวดตัวนำนั้น ดังนั้นถ้าลวดตัวนำนี้วางอยู่ในสนามแม่เหล็กอื่น สนามแม่เหล็กทั้งสองจะทำปฏิกิริยากันทันที โดยที่เส้นแรงแม่เหล็กนั้นจะไม่ตัดกัน ดังนั้นจึงทำให้เส้นแรงแม่เหล็กนั้นเกิดผลลักัน เป็นเหตุให้ที่ด้านหนึ่งจะมีความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กมาก ส่วนอีกด้านหนึ่งเส้นแรงแม่เหล็กหนีห่างออกไปจากกัน ผลก็คือจะมีสนามแม่เหล็กหนาแน่นมากที่ด้านหนึ่ง และจะมีความหนาแน่นน้อยอีกด้านหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.26



(ก) เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็ก



(ข) เส้นแรงแม่เหล็กรอบ ๆ ตัวนำที่มีกระแสไหล



(ค) ตัวนำเคลื่อนที่ขึ้น



(ง) ตัวนำเคลื่อนที่ลง

รูปที่ 2.25 แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กกับสนามแม่เหล็กที่ขดลวดตัวนำ

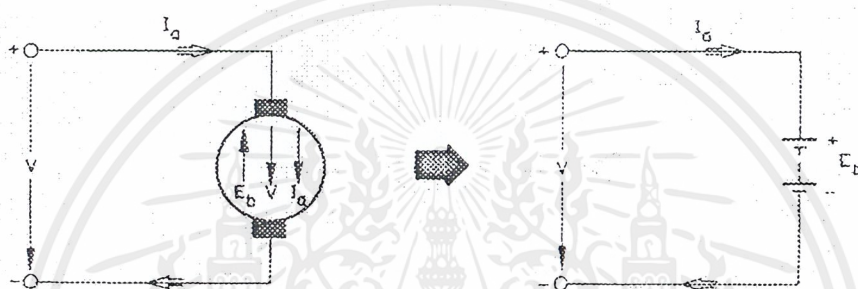
2.2.2 แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ

เมื่อมอเตอร์กระแสตรงหมุน ลวดตัวนำแต่ละเส้นซึ่งมีกระแสไหลผ่านจะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กใหญ่ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นมาจำนวนหนึ่งในทิศทางที่สวนกับทิศทางของกระแสที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ลองพิจารณาทิศทางของการเคลื่อนที่กลับดังรูปที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_b = p\phi \times \frac{n}{60} \times \frac{Z_c}{a} \quad (2.1)$$

เมื่อให้	ϕ	คือ	จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กต่อหนึ่งขั้วแม่เหล็ก (Wb)
	Z	คือ	จำนวนเส้นลวดตัวนำทั้งหมดบนอาร์เมเจอร์
	P	คือ	จำนวนขั้วแม่เหล็ก
	A	คือ	จำนวนวงจรขนานระหว่างขั้วบวกและขั้วลบ
	N	คือ	จำนวนรอบต่อการหมุนต่อนาที



รูปที่ 2.26 วงจรเทียบเคียงของแรงดันไฟฟ้าด้านกลับ

จากสมการ 2.1 เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับแปรผันโดยตรงกับจำนวนรอบหมุนของมอเตอร์ ดังนั้นในกรณีที่มอเตอร์ยังไม่เริ่มหมุน ($n = 0$) แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับจะมีค่าเท่ากับศูนย์ด้วย กำหนดมอเตอร์ดีซี ขนาด 4 kw 200 V ความต้านทานภายในของอาร์เมเจอร์ 0.5Ω ถ้าป้อนไฟดีซีจากแหล่งจ่าย 200 V ให้กับมอเตอร์ในสภาพหยุดหมุน จะเห็นว่ากระแสจะไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ทันทีถึง 400 A ($200/0.5$) แต่เนื่องจากกระแสไฟที่ไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ แม้ที่ตำแหน่งโพลเด็ทจะมีขนาดน้อยกว่านี้มากประมาณ 25 A เป็นอย่างสูง การที่กระแสซึ่งไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์ขณะที่ยังไม่หมุนด้วยขนาดของกระแสเพียง 25 A ได้ นั่น เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับที่เกิดขึ้นนี้จะพยายามต้านการจ่ายกระแสจากแหล่งจ่ายไฟดีซี

2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับและกระแส

เมื่อกำหนดให้ V คือ แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟดีซีระหว่างคู่แปรงถ่าน

E_b	คือ	แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ
r_a	คือ	ความต้านทานภายในวงจรของอาร์เมเจอร์
I_a	คือ	กระแสอาร์เมเจอร์

จากรูปที่ 2.27 จะได้ว่า

$$I_a = \frac{V - E_b}{r_a} \quad (2.2)$$

หรือ

$$V = E_b + I_a r_a$$

$$E_b = V - I_a r_a \quad (2.3)$$

ค่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับนี้จะมีค่าไม่เท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับที่เกิดขึ้น สามารถเขียนเปรียบเทียบได้เหมือนกับในอาร์เมเจอร์นั้นมีแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงซ่อนอยู่ และจ่ายไฟออกมาตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไปดังแสดงในรูปที่ 2.28

จากรูปที่ 2.28 เป็นมอเตอร์กระแสตรงอย่างง่าย ซึ่งประกอบด้วยขดลวดที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก โดยปลายขดลวดทั้งสองต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ด้านละซี่ ซึ่งจะมีแปรงถ่านต่อไว้ และแปรงถ่านทั้งสองต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงจากภายนอก ขดลวดตัวนำนั้นจะต้องหมุนอยู่ในสนามแม่เหล็กด้วย

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

$$I_s = \frac{V}{r_a} \quad (2.4)$$

โดยที่ I_s คือ กระแสตอนเริ่มเดินเครื่องมีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

จากสมการที่ .2 และ .4 สามารถอธิบายได้ว่า ขณะที่มอเตอร์ยังไม่เริ่มหมุน เมื่อป้อนไฟดีซีจะมีกระแส $I_s = V/r_a$ จำนวนมากไหลในขดอาร์เมเจอร์ มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบสูงในทันที ทำให้ E_b มีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว กระแสในอาร์เมเจอร์จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนมีค่าคงที่ในที่สุด

2.2.4 สมการเอาต์พุตของอาร์เมเจอร์

จากสมการที่ .3 เมื่อคูณด้วย I_a จะได้

$$E_b I_a = V I_a - I_a^2 r_a \quad (W)$$

โดยที่ $V I_a$ คือ กำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตที่ป้อนให้กับอาร์เมเจอร์

$I_a^2 r_a$ คือ การสูญเสียจากลวดตัวนำในอาร์เมเจอร์

เมื่อหักการสูญเสียออกจากกำลังอินพุตที่ป้อนแล้วจะได้เป็น $E_b I_a$ ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าส่วนที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นกำลังกลในอาร์เมเจอร์ กำหนดให้เป็น P_{ar} ดังนั้นจะได้

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังกล (P_{ar}) บางส่วนจะสูญเสียไปในรูปแบบของการสูญเสียทางกล และการสูญเสียในแกนเหล็ก จึงไม่สามารถปรากฏออกมาให้เห็นได้หมด จากสมการที่ 1

$$E_b = \frac{P}{a} \times \frac{n}{60} \times Z_c \times \phi \quad (V)$$

เนื่องจากมอเตอร์ซึ่งสร้างสำเร็จรูป นอกจาก n และ ϕ แล้วค่าอื่นๆ จะมีค่าคงที่ทั้งหมด จึงสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

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

โดยที่ $K = \frac{P}{a} \times \frac{Z_c}{60}$

เมื่อคูณ I_a ตลอดจะได้

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

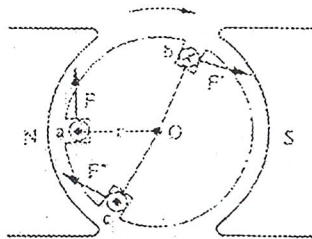
2.2.5 แรงบิด

รูปที่ 2.28 แสดงแรงที่กระทำบนลวดตัวนำ (a) ซึ่งห่างจากจุดศูนย์กลาง (O) เป็นระยะ r (หน่วยเป็นเมตร) ในทิศทางสัมผัสกับเส้นรอบวงของแกนอาร์เมเจอร์ ที่ตำแหน่งนี้กำหนดให้มีค่าเป็น F นิวตัน ดังนั้นแรงที่กระทำบนลวดตัวนำนี้จะมีโมเมนต์เท่ากับ $F \times r$ ซึ่งจะพยายามขับเคลื่อนแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ให้หมุนเคลื่อนไป แต่เนื่องจากในแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ มีสล๊อตเป็นจำนวนมาก และแต่ละสล๊อตก็มีลวดตัวนำเป็นจำนวนมากเช่นกัน ดังนั้นแรงที่กระทำบนลวดตัวนำทั้งหมด จะมีโมเมนต์ซึ่งพยายามขับเคลื่อนแกนเหล็กให้หมุนไปในทิศทางเดียวกัน จะได้ผลรวมของโมเมนต์ ดังนี้

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

โดยที่ T_a คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็น N-m

ดังนั้นแรงบิดคือ ผลรวมของโมเมนต์ของแรงที่กระทำต่อลวดตัวนำรอบจุดศูนย์กลาง



รูปที่ 2.27 โมเมนต์ซึ่งลวดตัวนำอาร์เมเจอร์กระทำรอบจุดศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 สมการของแรงบิด

จากรูปที่ 2.28 กำลังกล P_a ของลวดตัวนำ (a) ที่เกิดขึ้นจะเท่ากับผลคูณระหว่างแรง (F) มีหน่วยเป็น นิวตันกับระยะทาง $(2\pi r)(n/60)$ มีหน่วยเป็นเมตรซึ่งเป็นระยะที่ลวดตัวนำ (a) เคลื่อนที่ไปในแนวแรงในช่วงเวลา 1 วินาที ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} P_a &= 2\pi r \times \frac{n}{60} \times F \\ &= 2\pi \times \frac{n}{60} \times Fr \quad (W) \end{aligned}$$

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

$$P_a = \omega Fr \quad (W)$$

ดังนั้นผลรวมของกำลังกลที่เกิดขึ้น (P_{ar}) ของขดลวดตัวนำทั้งหมดจะมีค่าดังสมการคือ

$$\begin{aligned} P_{ar} &= P_a + P_b + P_c + \dots \\ &= (\omega \times Fr) + (\omega \times F'r) + (\omega \times F''r) + \dots \\ &= \omega(Fr + F'r + F''r + \dots) \end{aligned}$$

ดังนั้น
$$P_{ar} = \omega T_a \quad (W)$$

และจากสมการที่ 2.7 ได้ว่า

$$Kn\phi I_a = P_{ar}$$

$$Kn\phi I_a = \omega T_a$$

เมื่อแทนค่า K และ ω

$$\left(K = \frac{P}{a} \times \frac{Z_c}{60}, \omega = 2\pi \frac{n}{60} \right)$$

$$\frac{n}{a} \times \frac{P}{60} \times \phi I_a = 2\pi \left(\frac{n}{60} \right) T_a$$

$$T_a = \frac{1}{2\pi} \times \frac{P}{a} \times Z_c \times \phi I_a \quad (N-m) \quad (2.8)$$

$$T_a = K'\phi I_a \quad (N-m)$$

$$K' = \frac{1}{2\pi} \times \frac{P}{a} \times Z_c$$

นั่นคือ ทอร์กของมอเตอร์ดีซีจะแปรผันโดยตรงกับผลคูณระหว่างจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กกับกระแสอาร์เมเจอร์ ไม่เพียงแต่มอเตอร์ดีซีเท่านั้น ความสัมพันธ์นี้ยังสามารถใช้ได้กับมอเตอร์เอชอีซีด้วย

2.2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยที่ใช้งานจริงของแรงบิดกับเอาต์พุต

หน่วยที่ใช้งานจริงของทอร์คคือ m-kg ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยที่ใช้งานจริงกับหน่วย MKS สามารถแสดงได้ดังนี้

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

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

$$\text{หรือ } 1 \text{ (N-m)} = \frac{1}{9.81} \text{ (kg-m)}$$

จากสมการที่ .8 จะได้

$$T_a = \frac{1}{9.81 \times 2\pi} \times \frac{P}{a} \times Z_c \times \phi I_a \quad (\text{kg-m})$$

$$= 0.01623 \times \frac{P}{a} \times Z_c \times \phi I_a \quad (\text{kg-m})$$

$$= K'' \phi I_a \quad (\text{kg-m})$$

$$\text{โดยที่ } K'' = 0.01623 \times \frac{P}{a} \times Z_c$$

ความสัมพันธ์ระหว่างเอาต์พุต ทอร์ค และความเร็วรอบ สามารถหาได้ดังนี้

กำหนดให้ P คือ กำลังเอาต์พุตของมอเตอร์มีหน่วยเป็น kw

T คือ ทอร์คซึ่งใช้งานได้จริงกับโหลคมีหน่วยเป็น kg-m

n คือ ความเร็วรอบหมุนมีหน่วยเป็น rpm

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

$$1 \text{ (kg-m/sec)} = 9.81 \text{ (N-m/sec)} \quad (2.9)$$

$$\therefore 10^3 \times P = \omega (\text{rad/sec}) \times T (\text{N-m}) \quad (\text{W})$$

$$\text{หรือ } 10^3 \times P = 2\pi \times \frac{n}{60} \times T \quad (\text{W})$$

$$T = \frac{60}{2\pi} \times 10^3 \times \frac{P}{n} \quad (\text{N-m})$$

จากสมการที่ .9 จะได้

$$T = \frac{60 \times 10^3}{2\pi \times 9.81} \times \frac{P}{n} = 974 \times \frac{P}{n} \quad (\text{kg-m}) \quad (2.10)$$

จะเห็นว่าแรงบิดแปรผันโดยตรงกับเอาต์พุต P(kW) แต่แปรผกผันกับจำนวนรอบหมุน n(rpm)

สมการความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ .3 และ .7 จะได้

$$E_b = V - I_a r_a$$

และ

$$E_b = K n \phi$$

$$\therefore n = \frac{E_b}{K \phi} = \frac{V - I_a r_a}{K \phi}$$

$$n = \frac{V}{K \phi} \quad (\text{rpm}) \quad (2.11)$$

$I_a r_a$ ในสมการนี้ประมาณว่ามีค่าน้อยมาก ซึ่งควรใช้เฉพาะกรณีที่มี I_a หรือกระแสไหลดไม่มากนักเท่านั้น จะเห็นว่าความเร็วรอบแปรผันโดยตรงกับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ และแปรผกผันกับจำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก

2.2.8 ประสิทธิภาพ

ให้ η คือประสิทธิภาพของมอเตอร์ ดังนั้นจะใช้สมการ

$$\eta = \frac{\text{เอาต์พุต}}{\text{อินพุต}} \times 100 \% \\ = \frac{(\text{อินพุต}) - (\text{การสูญเสีย ขณะมีโหลด}) - (\text{การสูญเสีย คงที่})}{\text{อินพุต}} \times 100 \% \quad (2.12)$$

เนื่องจากมอเตอร์ เป็นอุปกรณ์เครื่องกลไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไปนั้นการสูญเสียของเครื่องกลไฟฟ้าคือซึ่งให้มีพลักซ์คงที่ (การเปลี่ยนแปลงของพลักซ์จากขั้วแม่เหล็กอันใหญ่อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโหลด ค่าต่ำเช่น มอเตอร์คิซีแบบขั้วตันนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด

1. การสูญเสียคงที่ซึ่งในทางปฏิบัติถือว่าค่าคงที่ไม่ขึ้นกับขนาดของโหลด
 2. การสูญเสียขณะมีโหลดซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามกระแสไหลดยกกำลังสองโดยประมาณ
- ประสิทธิภาพของมอเตอร์คิซีที่ค่ากระแส I ใดๆ ภายใต้แรงดันระหว่างขั้วพิกัด V ที่คงที่สามารถแสดงให้เห็นได้ดังนี้

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

$$\text{การสูญเสียคงที่ } (P_k) = \text{การสูญเสียของขดลวดตัวนำในวงจรขดลวดสนามแบบขั้วตัน} + \\ \text{การสูญเสียในแกนเหล็ก} + \text{การสูญเสียทางกล}$$

ทั้งนี้ P_k เป็นค่าการสูญเสียคงที่ที่แรงดันพิกัดและความเร็วรอบพิกัด กรณีมอเตอร์คิซีแบบซีรีส์

$i = 0$ ดังนั้นการสูญเสียของขดลวดตัวนำในวงจรขดลวดสนามแบบขั้วตัน = 0

ระบบการควบคุมมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวโดยทั่วไป ระบบควบคุมมอเตอร์และป้องกันอันตรายมอเตอร์นั้นใช้ระบบประสม แม่เหล็กไฟฟ้าให้สตาร์ทมอเตอร์คร่อมคู่สายคั่นกำลัง วิธีสตาร์ทและหยุดมอเตอร์ควรจะทำจากแผงสวิตช์บอร์ดที่อยู่ใกล้ๆ ตำแหน่งใช้งานมอเตอร์ เพื่อความปลอดภัยสวิตช์สตาร์ทควรมีทั้งที่ใกล้มอเตอร์นั้นๆ เองและที่แผงคอนโทรล

2.2.9 การสตาร์ทมอเตอร์

การทำให้มอเตอร์ซึ่งหยุดนิ่งหมุนเคลื่อนที่ด้วยการป้อนแรงดันระหว่างขั้วอินพุตนั้นเรียกว่า การเดินเครื่องหรือสตาร์ท

กำหนดให้

V คือ แรงดันแหล่งจ่าย

E_b คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ

I_a คือ กระแสอาร์เมเจอร์

$$\therefore I_a = \frac{V - E_b}{r_a + r_s} \quad (2.13)$$

โดยที่ r_a คือ ความต้านทานในขดอาร์เมเจอร์

r_s คือ ความต้านทานในขดซีรีส์ (กรณีแบบชัณฑ์ $r_s = 0$)

จะเห็นว่า เมื่อรักษาแรงดัน V ให้คงที่ ขณะที่ E_b มากขึ้น I_a มีค่าน้อยลง ดังนั้นที่ V คงที่ที่ค่าแรงดันพิกัดนั้น กรณีที่ความเร็วรอบ n มีค่ามาก E_b ซึ่งแปรผันโดยตรงกับ n จะมีค่ามากทำให้ $(V - E_b)$ มีค่าน้อย และแม้ $(r_a + r_s)$ มีค่าน้อยก็ตาม I_a จะมีค่าจำกัดค่าหนึ่ง แต่ในขณะที่เริ่มเดินเครื่องมอเตอร์ให้หมุนนั้น เนื่องจากความเร็วรอบ $n = 0$, $E_b = 0$ ด้วย และถ้าป้อน V ที่ค่าแรงดันพิกัดโดยทันทีแล้ว I_a จะมีค่าสูงเกินค่าพิกัดมาก (หลายสิบเท่าของค่าพิกัด) ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อขดอาร์เมเจอร์ได้ ดังนั้นเพื่อเป็นการจำกัด I_a ให้มีค่าต่ำลงในระยะแรกสุดของการเดินเครื่อง จะป้อนแรงดันระหว่างขั้ว V ให้มีค่าต่ำกว่าแรงดันพิกัดมาก หลังจากนั้นค่อยๆ เพิ่มค่า V ให้มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่ความเร็วรอบ n สูงขึ้นจนถึงค่าแรงดันพิกัด

แต่ในทางปฏิบัติแรงดันระหว่างขั้วจะมีค่าคงที่ที่ที่แรงดันพิกัดตลอดนับตั้งแต่เริ่มทำการเดินเครื่องและในวงจรอาร์เมเจอร์จะมีสตาร์ทติงรีโอสตัท (starting rheostat) หรือสตาร์ทค้ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์ ในขณะที่เริ่มเดินเครื่องจะปรับสตาร์ทติงรีโอสตัทให้มีค่ามากๆ เพื่อลดกระแสสตาร์ทให้มีค่าต่ำลง โครงสร้างสตาร์ทติงรีโอสตัทและฟิลล์รีโอสตัทในวงจรสนามจะไม่แตกต่างกันไม่มาก ในกรณีของสตาร์ทติงรีโอสตัท เนื่องจากมีกระแสอาร์เมเจอร์ไหลผ่านลวดความต้านทานที่ใช้จึงต้องเป็นเส้นหนาหรือมีลักษณะเป็นแถบ ในกรณีที่กระแสไหลผ่านมีค่ามากๆ นั้นจะใช้แผ่นความต้านทานซึ่งได้จากการหล่อลักษณะดังรูปที่ เมื่อนำมาประกอบกันเข้าจะได้ดังรูปที่

จำนวนแท็ป (tap) หรือจุดแยก ในกรณีนี้จะน้อยกว่ากรณีของฟิลลิ่งรีโอสตัดมาก ในวงจรของมอเตอร์ คีซีแบบซันต์จะต่อสตาร์คดิงรีโอสตัดไว้ดังรูปที่

เมื่อมอเตอร์หยุดหมุนคันโยก K จะอยู่ที่ตำแหน่ง OFF เมื่อเริ่มเดินเครื่องคันโยกมาอยู่ที่แท็ป 1 อาร์เมเจอร์จะครบวงจรและมอเตอร์จะเริ่มหมุน ในขณะนี้เนื่องจากความต้านทานในวงจรอาร์เมเจอร์มีค่ามากที่สุด กระแส I_s ในวงจรอาร์เมเจอร์จะมีค่าจำกัดค่าหนึ่ง และเนื่องจากแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรสนามมีค่าเท่ากับแรงดันพิกัด สนามจึงมีความแรงมาก ทำให้ทอร์คช่วงนี้มีค่าสูงด้วย

กำหนดให้ R คือความต้านทานทั้งหมดของสตาร์คดิงรีโอสตัด

I_s คือกระแสในขณะเริ่มเดินเครื่อง

$$\therefore I_s = \frac{V}{(r_s + r_a) + R}$$

ในสมการนี้จะเห็นว่า I_s มีค่าขึ้นกับขนาดของ R เท่านั้น ถ้าให้ I เป็นค่ากระแสที่โหลดพิกัด R จะมีขนาดต่างๆ เพื่อให้ได้ค่า I_s ตามลักษณะการใช้งานดังนี้

ในกรณีทำการหยุดและเดินเครื่องไม่บ่อยครั้ง : $I_s = (2 \text{ ถึง } 2.5)I$

ในกรณีทำการหยุดและเดินเครื่องบ่อยครั้ง : $I_s = (1.2 \text{ ถึง } 1.3)I$

ในกรณีเฉลี่ยโดยทั่วไป : $I_s = 1.5I$

2.2.10 การควบคุมความเร็วรอบ

ความเร็วรอบของมอเตอร์คีซีสามารถแสดงได้ดังสมการที่

$$\frac{E}{K\phi} = \frac{V - I_a r_a}{K\phi} \quad (2.14)$$

ดังนั้นในการปรับความเร็วรอบมอเตอร์จึงสามารถทำได้โดยการปรับ $V, I_a r_a$ หรือ ϕ อย่างไม่อย่างหนึ่ง การปรับความเร็วรอบจึงสามารถแบ่งคร่าวๆ ออกได้ 3 ชนิด

1. การปรับวงจรสนาม เป็นวิธีปรับความเร็วรอบโดยการปรับกระแสสนามหรือสนามแม่เหล็ก ϕ
 2. การปรับความต้านทาน เป็นวิธีปรับความเร็วรอบโดยการปรับค่า R ซึ่งต่ออนุกรมอยู่กับอาร์เมเจอร์ เพื่อเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันตกคร่อม
 3. การปรับแรงดัน เป็นวิธีปรับความเร็วรอบโดยการปรับแรงดันแหล่งจ่าย V
- การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์คีซีแต่ละแบบสามารถอธิบายได้หัวข้อต่อไป

2.2.11 การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์คีซีแบบซีรียส์

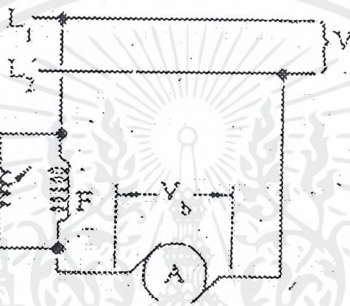
การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์คีซีแบบซีรียส์ มีด้วยกัน 3 วิธีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การปรับวงจรสนาม จะใช้ตัวต้านทานซึ่งปรับเปลี่ยนค่าได้ ต่อพร้อมชุดขดลวดสนามไว้เพื่อส่วนหนึ่งของกระแสกระตุ้นไหลผ่านตัวต้านทานดังรูปที่

กระแสกระตุ้นหรือ ϕ ที่ได้จึงมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยตามค่าความต้านทานที่ปรับไว้ ซึ่งจะเท่ากับ การปรับเปลี่ยนความเร็วรอบ

นอกจากจะใช้ความต้านทานช่วยในการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบแล้วยังสามารถใช้วิธีการเพิ่มหรือลดจำนวนรอบของชุดขดลวดสนามด้วยการดึงจุดแท็บหลายๆ จุดออกจากขดลวดซีรี่ส์ เพื่อที่จะลัดวงจรหรือตัดบางส่วนของขดลวดซีรี่ส์ออกก็สามารถทำให้ ϕ เปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน



รูปที่ 2.28 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ดีซีแบบซีรี่ส์ด้วยการปรับวงจรสนาม

2. การปรับความต้านทาน การปรับในวิธีนี้จะใช้ความต้านทาน R ซึ่งปรับค่าได้ ต่ออนุกรมกับอาร์เมเจอร์และอาศัยชุดควบคุมในการเปลี่ยนค่าความต้านทานแต่มีข้อแตกต่างกันตรงที่ว่า ในกรณีของมอเตอร์ดีซีแบบซีรี่ส์นั้นขดลวดอาร์เมเจอร์และตัวต้านทานปรับค่าได้ จะต่ออนุกรมกันหมด

3. การควบคุมการต่ออนุกรมหรือขนาน เป็นวิธีการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ดีซีแบบซีรี่ส์ตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป โดยการสับเปลี่ยนให้มอเตอร์เหล่านี้ต่อกันแบบอนุกรมหรือขนาน วิธีการเช่นนี้จะได้กล่าวในอันดับต่อไป

2.3 ระบบควบคุม

ระบบควบคุมเป็นการควบคุมการจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ไปยังมอเตอร์ เพื่อใช้ในงานต่างๆ โดยที่การใช้งานในรถไฟฟ้ายานยนต์จะต้องมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้

1. การทำงานในความเร็วต่างๆ จะต้องราบเรียบ
2. สามารถเร่งความเร็วขึ้นไปยังความเร็วต่างๆ ได้อย่างราบเรียบ
3. สามารถทำงานได้ที่ความเร็วคงที่
4. มีประสิทธิภาพ ความปลอดภัยขณะใช้งาน
5. ป้องกันการเกิด Overload การย้อนกลับของกระแสในมอเตอร์
6. มีความน่าเชื่อถือในการปรับความเร็วได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. มีความทนทาน แข็งแรง ง่ายต่อการซ่อม

2.3.1 ระบบการควบคุมในรถไฟฟ้าไฮบริด

ระบบควบคุมในรถไฟฟ้าไฮบริดเป็นการควบคุมการจ่ายพลังงานจากแหล่งจ่ายพลังงาน (แบตเตอรี่) ไปยังมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อให้มีการใช้ในการควบคุมความเร็ว และการใช้พลังงานได้อย่างเหมาะสม โดยมีหน้าที่ในการใช้งานดังนี้

1. เชื่อมโยงแหล่งจ่ายพลังงานเข้ากับมอเตอร์
2. เปลี่ยนแปลง Voltage ของมอเตอร์ ในการควบคุมความเร็วต่างๆ
3. ควบคุมการใช้พลังงานอย่างเหมาะสม
4. กำหนดให้มอเตอร์สามารถหมุนได้ทางเดียว หรือสองทิศทาง
5. ควบคุมการทำงานของระบบให้สมบูรณ์
6. ควบคุมการทำงานของรถขณะเคลื่อนที่ได้้อย่างเหมาะสม
7. ปกป้องมอเตอร์ในสภาวะเกิดไฟกระชาก

ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นมีการควบคุมได้ 3 วิธีหลักคือ

1. การต่ออนุกรมโดยการจำกัดความต้านทาน

เป็นวิธีที่ง่ายในการควบคุม Voltage ของมอเตอร์โดยการต่ออนุกรมความต้านทานเข้ากับมอเตอร์ ระหว่างสตาร์ทหรือขณะทำงานมีความเร็วต่ำจะใช้ความต้านทานมากในวงจรปัญหาที่เกี่ยวข้องกับระบบมีดังนี้

- พลังงานสูญเสียสูง โดยเฉพาะสภาวะที่ต้องการแรงบิดสูงๆ
- จะเกิดปัญหาด้านความร้อนตามมาเมื่อมีพลังงานสูญเสีย
- เกิดการสึกหรอขึ้นกับส่วนประกอบตามมา เมื่อมีการปรับ Voltage เป็นขั้นๆ

ปัญหาต่างๆ สามารถลดลงได้โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่เคลือบผิวด้วยคาร์บอน และใช้วงจรสำหรับปรับความต้านทานของตัวควบคุมเป็นขั้นๆ และวงจรปรับความต้านทานของตัวควบคุมโดยไม่จำกัด

2. การต่อขนาน-อนุกรมของแบตเตอรี่โดยใช้สวิตช์ควบคุม

ในการรวมแบตเตอรี่ของระบบ แบตเตอรี่จะต่อขนานในการทำงานที่ความเร็วต่ำ และสับสวิตช์เปลี่ยนเป็นอนุกรม เมื่อต้องการทำงานที่ความเร็วรอบสูง หรือแรงบิดมากๆ วิธีนี้อาจมีประสิทธิภาพมากกว่าการจำกัดตัวต้านทาน อย่างไรก็ตามจะเกิดปัญหาในการปรับค่า Voltage เป็นขั้นๆ บางส่วนใช้อุปกรณ์ Solid-State มากกว่าสวิตช์ทางกล ซึ่งจะใช้ในวงจรของแบตเตอรี่ที่ใช้ในสวิตช์ควบคุม

3. การต่อขนาน-อนุกรมของมอเตอร์โดยใช้สวิตช์ควบคุม

วิธีควบคุมแบบนี้จะใช้ในรถแบบมอเตอร์หลายตัวเท่านั้น สำหรับการทำงานที่ความเร็วรอบต่ำมอเตอร์จะถูกต่อเป็นแบบอนุกรม สำหรับที่ความเร็วรอบสูง สวิตช์จะควบคุมให้ต่อในแบบขนาน ซึ่งจะคล้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับเบตเตอรี่ ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบอนุกรมความต้านทาน แต่ยังคงมีปัญหาในการปรับ Voltage และกระแสเป็นขั้นๆ

2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัส (Synchronous Generators) โดยที่โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนั้นสามารถ แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ตัวโรเตอร์ (Rotor) และตัวสเตเตอร์ (Stator) การสร้างและการออกแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนี้สามารถทำได้ 2 ลักษณะคือ

แบบที่ 1 เป็นอาร์เมเจอร์หมุน (Revolving Armature) ขั้วแม่เหล็กสนาม (Field Pole) จะเป็นตัวอยู่กับที่หรือ สเตเตอร์ อาร์เมเจอร์จะเป็นตัวหมุนตัดสนามแม่เหล็ก

แบบที่ 2 เป็นแบบสนามแม่เหล็กเป็นตัวหมุน (Revolving Field) อาร์เมเจอร์จะเป็นตัวอยู่กับที่หรือ ตัวสเตเตอร์ ขั้วแม่เหล็กเป็นตัวหมุนหรือตัวโรเตอร์ เพื่อให้สนามแม่เหล็กตัดกับตัวนำที่พันอยู่กับอาร์เมเจอร์

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับส่วนใหญ่จะสร้างในลักษณะที่สอง นอกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก เนื่องจากเหตุผลดังต่อไปนี้

1. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในอาร์เมเจอร์จะถูกต่อออกจากตัวสเตเตอร์ ไปสู่วงจรภายนอกได้โดยตรง ไม่ต้องผ่านการสัมผัสของแปรงถ่าน และวงแหวนลื่น (Slip Ring)

2. ในกรณีที่เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงๆ ทางด้านอาร์เมเจอร์ เช่น 33 กิโลโวลต์ หรือมากกว่านั้น การหุ้มฉนวนทำได้สะดวกกว่า เมื่ออาร์เมเจอร์เป็นตัวอยู่กับที่

ส่วนการต่อแปรงถ่านกับวงแหวนลื่น เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงไฟเลี้ยงขดลวดสนาม (Field Winding) นั้นทำได้ง่าย เพราะใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าน้อย สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กจะมีอาร์เมเจอร์เป็นตัวหมุน และขั้วแม่เหล็กสนามเป็นตัวอยู่กับที่ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ไม่มากนัก ส่วนแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใช้ก็ต่ำ การพันขดอาร์เมเจอร์จึงไม่มีปัญหาและสะดวกกว่าในการพันอาร์เมเจอร์ขนาดเล็กที่เป็นลักษณะหุ่นโรเตอร์ตามรูปที่ เพราะการพันขดอาร์เมเจอร์กับสเตเตอร์ขนาดเล็กต้องพันขดลวดจากด้านในจึงมีเนื้อที่จำกัดทำให้พันขดลวดได้ยาก

ส่วนประกอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับนั้น สามารถแบ่งส่วนประกอบสำคัญได้เป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่ อาร์เมเจอร์หรือสเตเตอร์ และขั้วแม่เหล็กสนาม

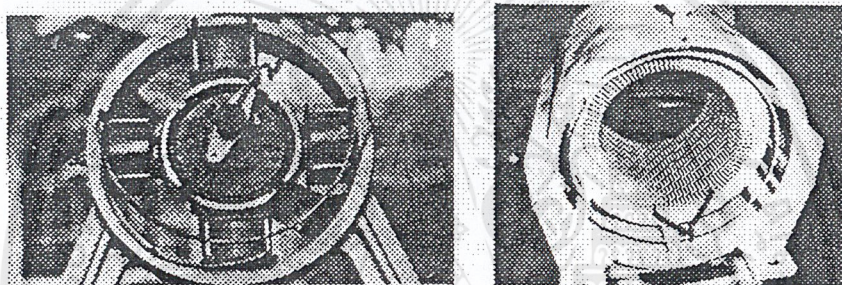
1. สเตเตอร์ ประกอบด้วยโครงสเตเตอร์ซึ่งยึดแกนอาร์เมเจอร์ที่ทำด้วยเหล็กแผ่นบางๆ จำนวนมาก นำมาอัดรวมกันเป็นรูปทรงกระบอก มีร่องสำหรับพันขดลวดอาร์เมเจอร์และเนื้อเหล็ก ส่วนที่ได้ร่องสเตเตอร์จะเป็นทางเดินเส้นแรงแม่เหล็ก โลหะที่ใช้ทำแกนอาร์เมเจอร์เป็นเหล็กอ่อนผสมซิลิกอน เพื่อให้มีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียจากฮิสเทอรีซิส (Hysteresis loss) ต่ำ เนื่องจากต้องการลดกระแสไหลวน (Eddy current) ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แกนเหล็ก หรืออาร์เมเจอร์ แกนอาร์เมเจอร์จึงต้องทำให้ด้วยแผ่นเหล็กบางๆ และมีการฉนวนกันระหว่างแผ่น ร่องสเตเตอร์บนอาร์เมเจอร์ดังรูปที่ แบ่งได้เป็น 3 แบบคือ

- แบบเปิด (wide-open)
- แบบกึ่งเปิด (semi-close)
- แบบปิด (close)

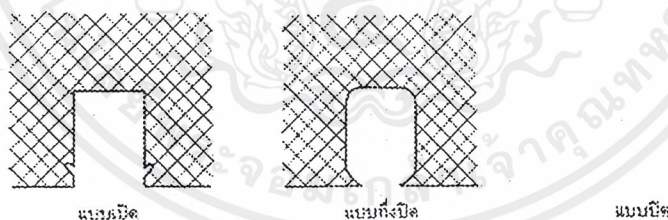
แบบแรกสะดวกในการลงร่องสเตเตอร์ของขดลวดอาร์เมเจอร์ แต่เส้นแรงแม่เหล็กข้ามช่องว่างอากาศ (air gap) จะไม่สม่ำเสมอ แบบที่สองเส้นแรงแม่เหล็กข้ามช่องว่างอากาศสม่ำเสมอขึ้น และยังคงใช้ขดลวดพันขึ้นรูป (form coil) ได้แบบที่สามไม่ค่อยนิยมใช้เพราะการพันอาร์เมเจอร์ทำได้ยาก



(ก) แบบฉนวนแม่เหล็กอยู่ใต้ อาร์เมเจอร์ไม่เหลื่อมกัน

(ข) แบบฉนวนแม่เหล็กขมุน อาร์เมเจอร์อยู่ทับกัน

รูปที่ 2.29 โกรงสเตเตอร์และแกนเหล็กอาร์เมเจอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ



รูปที่ 2.30 ภาพตัดแสดงลักษณะของร่องสเตเตอร์ต่างๆ

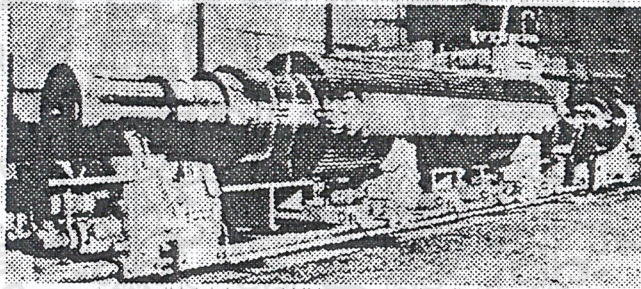
2. โรเตอร์ จะเป็นขั้วแม่เหล็กที่มีขดลวดสนามพันอยู่ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่ปรับค่าได้ โดยปรับกระแสที่ไหลเข้าขดลวดสนามซึ่งพันอยู่บนขั้วแม่เหล็ก โรเตอร์ขอเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

- แบบขั้วทรงกระบอก (Cylindrical pole) มีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีช่องว่างอากาศระหว่างตัวโรเตอร์กับตัวสเตเตอร์สม่ำเสมอ ใช้กับเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีความเร็วรอบสูงและมีขั้วแม่เหล็ก

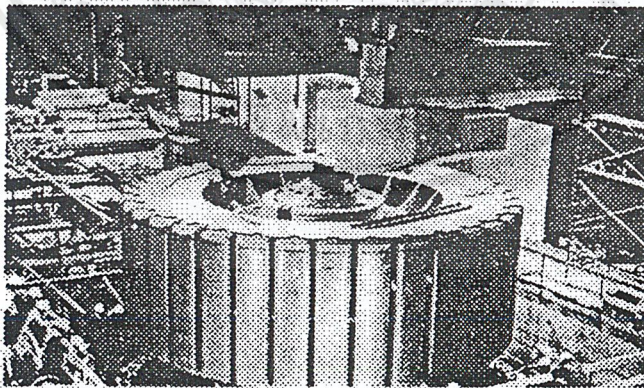
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนน้อย เช่น 2 หรือ 4 ขั้ว เรียกว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเทอร์โบ (Turbo-alternator หรือ Cylindrical-rotor synchronous generator) ใช้กับตัวคั่นกำลังที่มีความเร็วรอบสูงซึ่ง ได้แก่ กังหันแก๊ส (gas turbine) เป็นตัวขับ ลักษณะภายนอกของเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดนี้ คือ มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยและตัวเครื่องจักรกลยาว เนื่องจากมีความเร็วรอบสูงแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางมาก ลักษณะดังรูปที่ 2.33

- แบบขั้วยื่น (Salient pole) มีลักษณะเป็นขั้วแม่เหล็กยึดติดเบตัวโรเตอร์ ช่องว่างอากาศระหว่างตัวโรเตอร์ กับตัวสเตเตอร์จึงไม่สม่ำเสมอคือ ช่องว่างอากาศที่หน้าขั้วแม่เหล็กจะน้อยกว่าบริเวณที่ไม่ใช่ขั้วแม่เหล็ก ใช้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขั้วแม่เหล็กมากและความเร็วรอบต่ำ ซึ่งใช้ตัวคั่นกำลังเป็นกังหันไฟฟ้าพลังน้ำ มีความเร็วรอบตั้งแต่ 60 ถึง 500 รอบต่ออนาที ลักษณะภายนอกของเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดนี้ จะมีรูปร่างใหญ่แต่สั้น เรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแบบไฮโดร (Hydro-alternator หรือ salient-pole synchronous generator)



(ก) โรเตอร์แบบขั้วทรงกระบอก 4 ขั้วแม่เหล็ก



(ข) โรเตอร์แบบขั้วยื่น

รูปที่ 2.31 ตัวโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 วงจรเรียงกระแส (Rectifier)

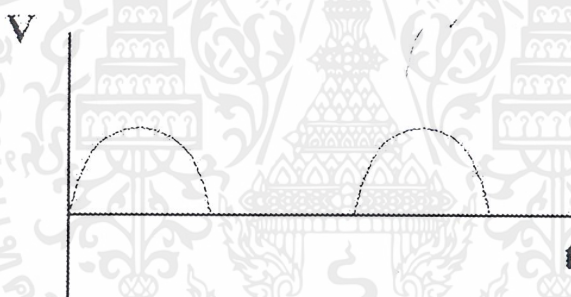
วงจรเรียงกระแสสำหรับไฟฟเสเด็ย สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

- วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น (Half Wave Rectifier) ใช้วงจรไดโอดเพียง 1 ตัวในการแปลงกระแส
- วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave Rectifier) สามารถต่อวงจรได้ 2 แบบคือ วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบหม้อแปลงมีแทป (FWCT) วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ (FWB)

3

2.4.1.1 วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น

วงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นนี้ จะใช้ไดโอดในวงจรเพียงตัวเดียว ในการแปลงกระแสจากกระแสสลับ เป็นกระแสตรง ซึ่งกระแสจากแหล่งจ่าย จะไหลผ่านไดโอดเข้าไปยังโหลดได้เพียงทางเดียว กล่าวคือถ้ากระแสไหลทางด้านศักย์ต่ำของโหลด จะไม่สามารถไหลสวนทิศทางของไดโอดได้ ทำให้ได้กราฟของความต่างศักย์ดังรูปที่

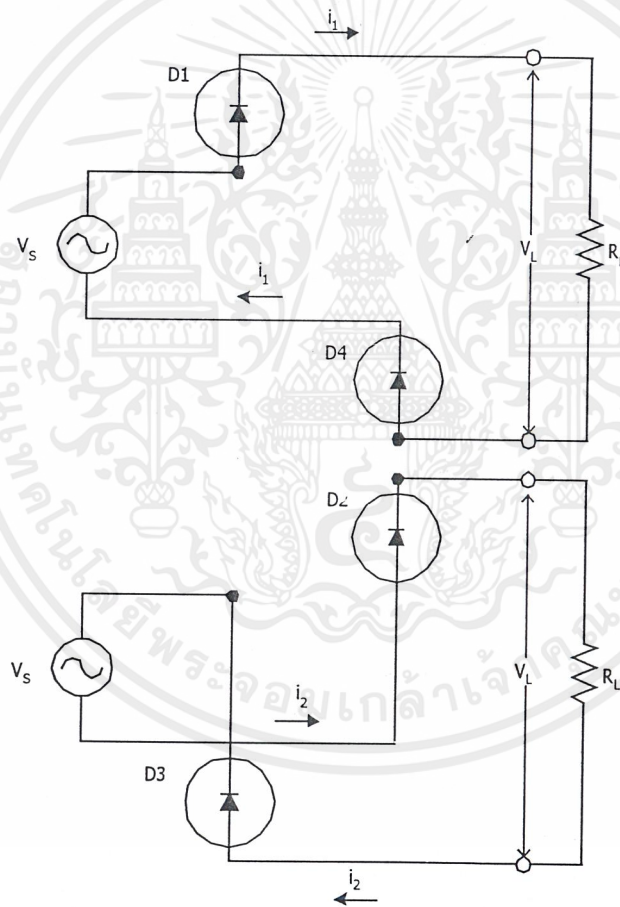
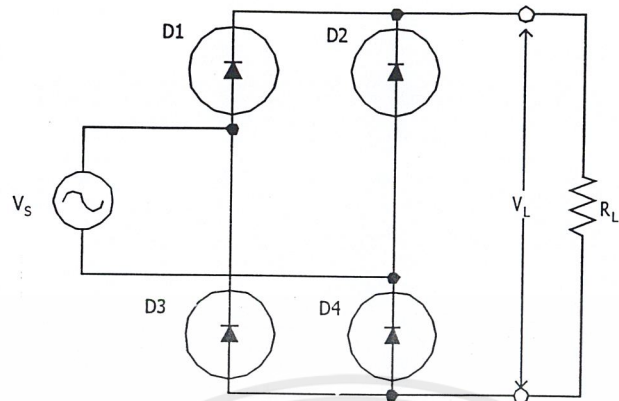


รูปที่ 2.32 กราฟแสดงพลังงานที่จ่ายออกมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับโดยผ่านไดโอด 1 ตัว

2.4.1.2 วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

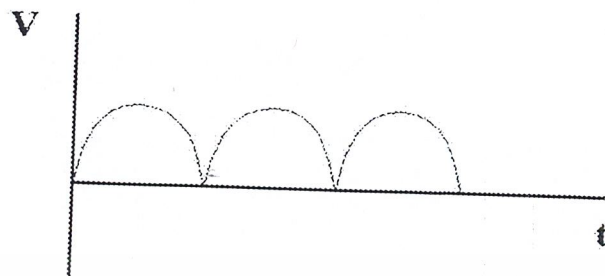
วงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นนี้ มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดด้วยกัน คือแบบหม้อแปลงที่มีแทป และแบบบริดจ์ โดยที่ในที่นี่จะกล่าวแต่เฉพาะแบบบริดจ์

วงจรบริดจ์นี้เป็นวงจรที่มีไดโอดทั้งหมด 4 ตัว โดยการทำงานจะทำงานโดยกลับ Voltage ด้านลบให้กลับเป็นด้านบวก โดยใช้ไดโอดทีละ 2 ตัว ทำให้กระแสที่ได้มีรูปแบบเต็มคลื่น



รูปที่ 2.33 แสดงวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์และการทำงาน

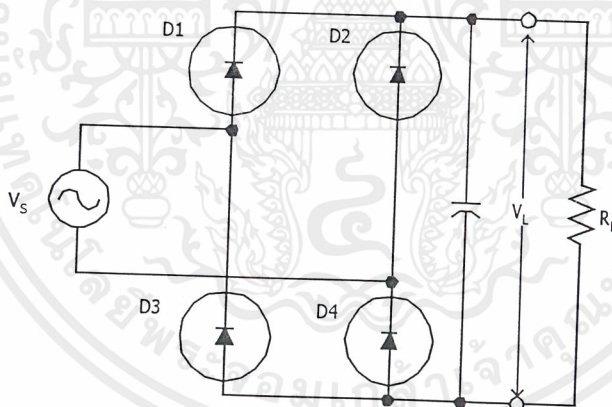
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



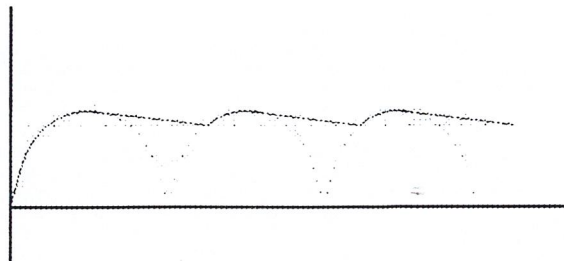
รูปที่ 2.34 แสดงกราฟการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับผ่านวงจรบริดจ์

2.4.1.3 วงจรลดแรงกระเพื่อมโดยใช้ตัวเก็บประจุ

จากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น จะเห็นได้ว่าจะมีการกระเพื่อมมาก ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการใส่ตัวเก็บประจุเข้าไปขนานกับโหลด โดยมีหลักการทำงานดังนี้ คือ ในขณะที่ไดโอดนำกระแส ตัวเก็บประจุจะทำการสะสมพลังงานไว้ และเมื่อไดโอดหยุดนำกระแส ตัวเก็บประจุก็จะทำการคายพลังงานออกมาให้กับโหลด ทำให้โหลดได้รับพลังงานอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.35 การต่อตัวเก็บประจุในวงจรบริดจ์เพื่อลดการกระเพื่อม



รูปที่ 2.36 แสดงการใช้ตัวเก็บประจุในการลดการกระเพื่อม

2.5 แบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากสำหรับรถไฟฟ้า เพราะเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ และยังเป็นสิ่งที่สามารถบอกได้ถึง ความสามารถและประสิทธิภาพการทำงานของรถไฟฟ้าได้ด้วย เพราะฉะนั้น การพัฒนาระบบของรถไฟฟ้า จึงขึ้นอยู่กับการพัฒนาแบตเตอรี่เป็นส่วนใหญ่ด้วย หลักการทำงานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ประกอบด้วย หนึ่งเซลล์หรือหลายๆ เซลล์ ต่ออนุกรมกัน ซึ่งในแต่ละเซลล์จะมีแผ่นธาตุอยู่ 2 แผ่น คือ แผ่นบวก และแผ่นลบ โดยที่แผ่นทั้งสองจะแช่อยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อแบตเตอรี่ Discharge องค์กรประกอบทางเคมีของส่วนประกอบทั้งสามส่วนนี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลง และเมื่อมีการ Charge องค์กรประกอบต่างๆ ก็จะกลับมาสู่สภาวะเดิม โดยที่ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ที่ใช้กันมากที่สุด คือ ชนิด ตะกั่ว-กรด เพราะจะทำให้ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจสูงสุด

แรงดันที่ขั้วเซลล์ จะเพิ่มขึ้น เมื่อมีการ Charge และจะตกลงเมื่อมีการ Discharge แรงดันของแบตเตอรี่สามารถหาได้จากผลคูณของแรงดันต่อเซลล์และจำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรมกัน การต่อเซลล์มี 3 แบบ ได้แก่

1. การต่อแบบอนุกรม
2. การต่อแบบขนาน
3. การต่อแบบอนุกรม-ขนาน

ความจุของแบตเตอรี่แต่ละเซลล์ประมาณว่าขึ้นอยู่กับ พื้นที่ของแผ่นธาตุ อัตราการ Discharge ซึ่งถูกกำหนดโดยแอมแปร์-ชั่วโมง ที่อุณหภูมิมาตรฐาน 25°C ความจุของเซลล์จะลดลงเมื่ออัตราการ Discharge สูงขึ้น

ส่วนประกอบที่สำคัญ และโครงสร้างของแบตเตอรี่ ชนิดตะกั่ว-กรด

1. แผ่นธาตุบวก เป็นแผ่นอิเล็กโทรดที่มีศักย์สูง
2. แผ่นธาตุลบ เป็นแผ่นอิเล็กโทรดที่มีศักย์ต่ำ จะมีจำนวนแผ่นมากกว่าจำนวนแผ่นในเซลล์บวก อยู่หนึ่งแผ่นในแต่ละเซลล์
3. อิเล็กโทรไลต์ เป็นสารละลายที่แตกตัวเป็นไอออนบวกและไอออนลบ ทำหน้าที่เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้า
4. น้ำกรดกำมะถันชนิดเจือจาง ต้องมีความบริสุทธิ์มากกว่าปกติ คือมีส่วนผสมของแร่ธาตุต่าง ๆ น้อยที่สุด
5. แผ่นกั้น ใส่ระหว่างธาตุบวกและธาตุลบ ป้องกันแผ่นธาตุ 2 ชนิดติดกัน
6. แผ่นใยแก้ว ทำหน้าที่เป็นฉนวนสัมผัสกับแผ่นธาตุบวก ป้องกันการหลุดร่วงของวัสดุไวปฏิกิริยา
7. เปลือกหม้อ เป็นภาชนะสำหรับใส่ส่วนประกอบต่างๆ แบ่งออกตามวัสดุได้เป็น 4 ชนิดได้แก่ พลาสติก ยาง แก้ว และไม้บุแผ่นแก้ว
8. ฝาหม้อ ทำหน้าที่ป้องกันอิเล็กโทรไลต์กระเด็นออกจากเซลล์ภายในออกสู่ภายนอกของเปลือกหม้อ
9. จุดที่ใช้ปิดช่องฝาหม้อแบตเตอรี่ ทำไว้เพื่อการเติมอิเล็กโทรไลต์
10. อุปกรณ์ป้องกันแก๊ส
11. เปลือกนอกของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบระบบไฟฟ้าไฮบริด

รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริดเป็นลูกผสมระหว่างเครื่องยนต์และไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบกับรถไฟฟ้าแล้ว จะมีมลภาวะมากกว่าแต่มีข้อดีกว่ารถไฟฟ้าในแง่ของการใช้งานคือ ไม่ต้องเสียเวลาในการชาร์จแบตเตอรี่ เพราะไฟฟ้าที่ใช้เกิดจากการปั่นไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์ ทั้งยังมีกำลังและสมรรถนะใกล้เคียงกับรถที่ใช้เครื่องยนต์ โดยที่ จะประหยัดน้ำมันและมีมลภาวะต่ำกว่ารถที่ใช้เครื่องยนต์เพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพรถติดมากๆ อย่างเช่น ในกรุงเทพมหานคร เพราะรถยนต์ไฮบริดนี้สามารถออกตัวด้วยมอเตอร์จึงไม่ต้องคิดเครื่องยนต์ไว้ตลอดในเวลาที่รถติดอยู่กับที่ ทำให้สามารถประหยัดน้ำมันและลดมลพิษได้มาก สำหรับรายละเอียดและการทำงานของรถยนต์ไฮบริดจะอธิบายดังต่อไปนี้

3.1 ระบบของรถไฟฟ้าไฮบริด

ระบบของรถไฮบริดในปัจจุบันที่มีสองระบบ คือ

3.1.1 ระบบอนุกรม (series system) เริ่มต้นที่ความต้องการของผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานสามารถเลือกการทำงานได้ 2 ระบบ

- (1) ระบบไฟฟ้า เมื่อผู้ใช้งานเลือกการทำงานด้วยระบบไฟฟ้า แบตเตอรี่จะเป็นตัวจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อน ซึ่งการทำงานด้วยระบบไฟฟ้านี้เครื่องยนต์จะไม่ทำงาน
- (2) ระบบไฮบริด เมื่อผู้ใช้งานเลือกการทำงานด้วยระบบไฮบริดนี้โดยส่งไปที่ระบบควบคุมระบบควบคุมนี้จะสั่งให้เครื่องยนต์ทำงาน เครื่องยนต์จะผลิตพลังงานกล และพลังงานกลทั้งหมดนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดย Generator พลังงานไฟฟ้านี้จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยระบบควบคุม พลังงานไฟฟ้าส่วนแรกจะถูกส่งไปขับมอเตอร์ มอเตอร์นี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกลเพื่อใช้ในการขับเคลื่อน พลังงานไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะเป็นพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เหลือจากพลังงานไฟฟ้าส่วนแรก พลังงานไฟฟ้าส่วนนี้จะถูกส่งไปเก็บไว้ใช้ในการทำงานของมอเตอร์ แต่ถ้ากำลังของเครื่องยนต์ไม่พอใช้กับเครื่อง มอเตอร์จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาช่วยเครื่องยนต์ขับเคลื่อนอีกชั้นหนึ่ง ด้วยการทำงานของระบบไฮบริดนี้สามารถทำให้เครื่องยนต์ทำงานด้วยอัตราเร็วคงที่ที่ optimum point เพื่อช่วยในการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง โดยใช้มอเตอร์เป็นตัวเสริมกำลังที่ขาดไป และแบตเตอรี่เป็นตัวเก็บกำลังที่เกินออกมา ประจุเก็บไว้ในรูปของพลังงานไฟฟ้า

3.1.2 ระบบขนาน (parallel system) ผู้ใช้งานสามารถเลือกการทำงานได้ 3 ระบบ

- (1) ระบบเครื่องยนต์ เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน พลังงานกลจากเครื่องยนต์จะถูกส่งผ่านระบบส่งกำลังไปขับเพลลา เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนโดยตรง ส่วนพลังงานกลที่เหลือจากการขับเคลื่อนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยมอเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็น Generator ประจุเก็บไว้ในแบตเตอรี่

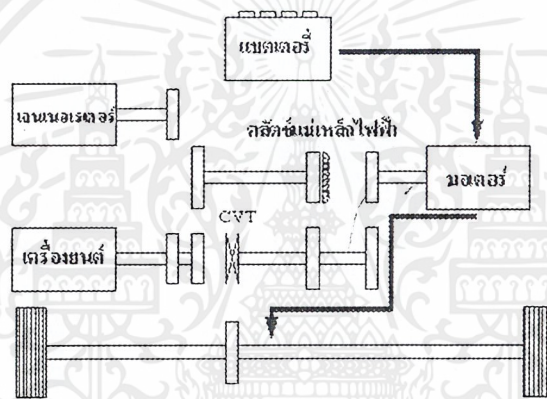
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (2) ระบบไฟฟ้า แบตเตอรี่จะเป็นตัวช่วยจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์จะเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลเพื่อใช้ขับเคลื่อน
- (3) ระบบไฮบริด จะเป็นการทำงานร่วมกันของทั้งเครื่องยนต์และมอเตอร์ในการขับเคลื่อน โดยที่เครื่องยนต์และมอเตอร์จะส่งกำลังขับไปบนเพลาคเดียวกัน โดยเราจะต้องควบคุมแรงบิดที่เครื่องยนต์และมอเตอร์จะส่งออกมาให้มีขนาดเท่ากัน หรืออาจออกแบบให้ใช้งานด้วยระบบที่เหมือนกับระบบไฮบริดของรถไฮบริดระบบอนุกรมก็ได้

3.2 โหมดการทำงานของรถไฟฟ้าไฮบริด

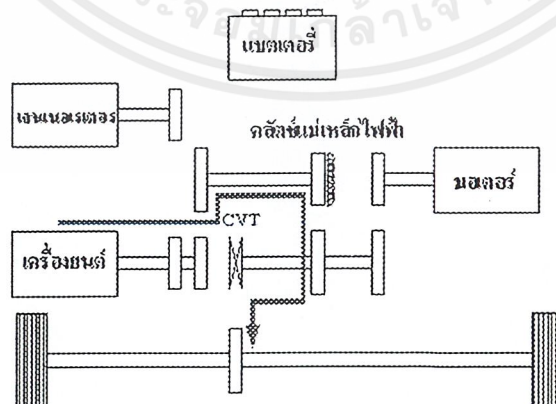
โครงการวิจัยนี้เป็นการทดลองสร้างรถยนต์ไฮบริดระบบขนานซึ่งมีประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนที่ดีกว่า โดยมีโหมดการทำงานต่างๆดังนี้

Electrica Mode กำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนจะได้อาจจากการส่งกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าอย่างเดียว ใช้ในช่วงออกตัวและช่วงความเร็วต่ำซึ่งถ้าใช้เครื่องยนต์จะมีประสิทธิภาพต่ำ และการออกตัวด้วยมอเตอร์นี้ทำให้ไม่ต้องเดินเบาในขณะที่จอดหรือรถติด



รูปที่ 3.1 แสดงการส่งกำลังใน Electrical mode

Engine Mode กำลังที่ใช้ขับเคลื่อนจะได้อาจจากการส่งกำลังของเครื่องยนต์อย่างเดียว หรือเครื่องยนต์กับมอเตอร์ซึ่งได้รับไฟจาก Generator ในโหมดนี้จะไม่ใช้ไฟจากแบตเตอรี่ ใช้ในช่วงความเร็วสูงและคง

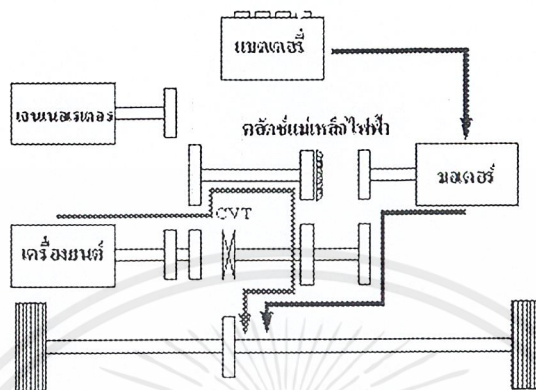


รูปที่ 3.2 แสดงการทำงานใน Engine mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

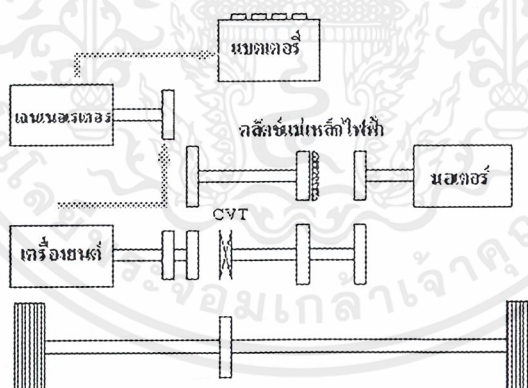
ที่ ซึ่งเครื่องยนต์มีมลพิษต่ำ และทำให้ประหยัดน้ำมันเนื่องจากใช้กำลังจากเครื่องยนต์โดยตรงไม่ต้องสูญเสียพลังงานในช่วงการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นไฟฟ้า

Hybrid Mode การทำงานในโหมดนี้จะใช้ทั้งเครื่องยนต์และมอเตอร์ร่วมกันส่งกำลังขับเคลื่อน ให้กำลังสูงสุดใช้ในช่วงเร่งแซงหรือขึ้นเนิน



รูปที่ 3.3 แสดงการทำงานใน Hybrid mode

Battery – Charge Mode ในสภาวะการใช้เครื่องยนต์ในการขับเคลื่อน เครื่องยนต์จะมีหน้าที่อีกอย่างหนึ่งพร้อมกับหน้าที่ขับเคลื่อน คือ การประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ โดยใช้มอเตอร์เป็น Generator ซึ่งหน้าที่นี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีพลังงานเหลือจากการขับเคลื่อนหรือในช่วงที่ไฟในแบตเตอรี่ลดลงมาก



รูปที่ 3.4 แสดงการทำงานใน Charge mode

3.3 การออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ของรถไฟฟ้าไฮบริด

3.3.1 คลัตช์แม่เหล็กไฟฟ้า

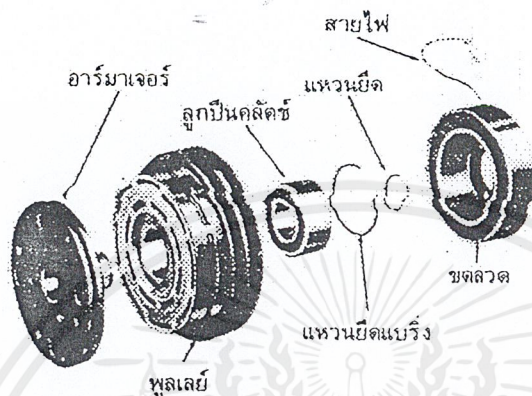
ในปัจจุบันบริษัทผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศรถยนต์ทั้งหมดได้ใช้คลัตช์แม่เหล็ก(Magnetic Clutch) เป็นตัวทำหน้าที่ช่วยให้คอมเพรสเซอร์เดินหรือหยุดทำงาน เรานำหลักการตัดต่อนี้มาใช้ในโครงงานสำหรับการตัดต่อ การส่งผ่านกำลังของเครื่องยนต์มาสู่เพลา CVT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการเบื้องต้นการทำงานของคลัทช์แม่เหล็กทุกชนิดจะทำงานเหมือนกัน คืออาศัยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปพบว่าคลัทช์มี 2 แบบ คือ

1. แบบสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ (Stationary Field Clutch)
2. แบบสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่หรือหมุน (Rotation Field Clutch)

ในโครงการนี้ได้นำคลัทช์แม่เหล็กแบบสนามแม่เหล็กอยู่กับที่มาใช้ คลัทช์แบบนี้เป็นชนิดที่พบใช้กันมาก การออกแบบก็มีชิ้นส่วนอุปกรณ์น้อยชิ้น



รูปที่ 3.5 ส่วนประกอบของคลัทช์แม่เหล็กไฟฟ้า

ขดลวดของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกยึดติดกับโครงรถ โรเตอร์จะถูกยึดบนแกนเพลลาที่รับกำลังจากเครื่องยนต์ ขณะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าป้อนเข้าเลี้ยงขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าก็จะไม่มีแรงดูดของสนามแม่เหล็ก แกนเพลลาจะถูกเครื่องยนต์หมุนฟรี โรเตอร์จะไม่ถูกหมุนไปด้วย

เมื่อเปิดสวิตช์ให้กระแสไฟฟ้าป้อนเข้าเลี้ยงขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะเกิดอำนาจแม่เหล็กเหนี่ยวนำดูดโรเตอร์เข้ามาจับ ทำให้เกิดการส่งผ่านกำลังจากเครื่องยนต์ไปสู่เพลลา CVT

เมื่อปิดสวิตช์ กระแสไฟฟ้าจะถูกตัดออกจากวงจรที่เข้าไปเลี้ยงขดลวดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า อำนาจการเหนี่ยวนำของแม่เหล็กหมดลง โรเตอร์จะแยกออก เครื่องยนต์หมุนฟรีอีกครั้ง จนกว่าจะมีกระแสไฟฟ้ามาป้อนเข้าเลี้ยงขดลวดอีกครั้ง

3.3.2 การส่งกำลังโดยใช้สายพาน

การส่งกำลังทางกลจากเพลลาอันหนึ่งไปยังเพลลาอีกอันหนึ่ง อาจทำได้ 3 วิธี คือ โดยใช้เฟือง ใช้สายพาน หรือใช้โซ่ การส่งกำลังโดยสายพานเป็นการส่งกำลังแบบอ่อนตัวได้ (flexible) ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับ การส่งกำลังโดยใช้เฟือง ข้อดีก็คือ มีราคาถูกและใช้งานง่าย รับแรงกระตุกและการสั่นสะเทือนได้ดี ขณะใช้งานไม่มีเสียงดัง เหมาะสำหรับการส่งกำลังระหว่างเพลลาที่อยู่ห่างกันมากๆ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ แต่ก็มีข้อเสีย คืออัตราทดไม่แน่นอนนักเนื่องมาจากการสลิป (slip) และการครีป (creep) ของสายพาน และต้องมีการปรับระยะห่างระหว่างเพลลาหรือปรับแรงดึงในสายพานระหว่างใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายพานแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ตามลักษณะหน้าตัดของสายพาน คือ สายพานแบน (flat belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สายพานลิ่ม (V- belt) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สายพานกลม (ropes) มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และ ไทม์มิ่งเบลท์ (timing belts) มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู แต่จะมีเป็นร่องคล้ายฟันเพื่อลดความขยวของสายพานของสายพาน สายพานแต่ละชนิดจะมีลักษณะในการใช้งานต่างกัน สายพานที่เลือกใช้ในโครงการนี้คือ สายพานลิ่ม

สายพานลิ่มใช้ส่งกำลังได้ค่อนข้างมากโดยต้องการแรงดึงขั้นต่ำในสายพานค่อนข้างน้อย ทั้งนี้เพราะผลจากการเกาะยึดตัวกันระหว่างด้านข้างของสายพานที่เรียวกับร่องรูปลิ่มของล้อสายพาน ทำให้เกิดแรงเสียดทานสูง ซึ่งเป็นผลให้สายพานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี เหมาะกับการใช้งานในกรณีที่มีระยะห่างระหว่างศูนย์กลางน้อย การส่งกำลังจะส่งได้มากที่สุด เมื่อผิวด้านข้างของสายพานอัดแน่นกับร่องบนล้อสายพาน การขับสายพานลิ่ม มีข้อดีคือ เงียบ สะอาด และสามารถรับแรงกระตุกได้ มีขนาดกระทัดรัด มีประสิทธิภาพดี และแรงของเพลาลังไม่ต้องรับแรงมากเกินไป

การออกแบบสายพาน

1. ทำการเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ ของล้อสายพานจากเครื่องยนต์ให้ $d_p = 62$ มิลลิเมตร และ เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ของล้อสายพานบนเพลาลังแม่เหล็ก $D_p = 167$ มิลลิเมตร

2. คำนวณหาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางล้อสายพานโดยใช้ค่า $C_{max} = 2(D_p + d_p)$ และ $C_{min} = 0.7(D_p + d_p)$ จะได้ค่า $C_{max} = 458$ มิลลิเมตร และ $C_{min} = 160.3$ มิลลิเมตร เลือกใช้ 400 มิลลิเมตร

3. หาความยาวพิตช์โดยประมาณ จาก $L_p = 2C + 1.57(D_p + d_p) + \frac{(D_p - d_p)^2}{4c}$
จะได้ค่า $L_p = 1166.42$ มิลลิเมตร

4. เปิดตาราง A เพื่อเลือกค่าสายพาน เลือกใช้สายพาน $L_p = 1173$ มิลลิเมตร

5. หาค่าระยะห่างระหว่างศูนย์กลางคำนวณได้จาก

$$C = p + \sqrt{p^2 - q}$$

$$p \cong 0.25L_p - 0.393(D_p + d_p)$$

$$q \cong 0.125(D_p - d_p)^2$$

พบว่าได้ค่า $p = 203.253$ มิลลิเมตร , $q = 1378.125$ มิลลิเมตร , $C = 403.08$ มิลลิเมตร

6. ส่วนโค้งสัมผัส $= \frac{D_p - d_p}{c}$ จะได้ค่าส่วนโค้งสัมผัส 0.2604

7. มุมสัมผัสของสายพานคำนวณได้จากสูตร

$$\alpha = 180 - 2 \sin^{-1} \left(\frac{D_p - d_p}{2c} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ค่ามุมสัมพัทธ์สายพาน 179.74°

8. ความเร็วสายพาน

$$v = \pi d_p n$$

จะได้ค่าความเร็วสายพาน 26.23 เมตรต่อวินาที โดยคิดที่ความเร็วรอบ = 3000 รอบต่อนาที

9. แรงดึงในสายพานขณะส่งกำลัง

$$F = \frac{W_p}{v}$$

จะได้ค่าแรงดึงในสายพานขณะส่งกำลัง 142.97 นิวตัน

10. จากตาราง B ใช้งานปานกลาง ได้ค่า $k_1 = 1.5$ และจากตาราง C สายพานแบบ A

ได้ค่า $k_2 = 0.217$

11. แรงดึงขั้นต่ำในสายพาน

$$F_i = (k_1 F + k_2 v^2) \sin \frac{\alpha}{2}$$

จะได้ค่าแรงดึงขั้นต่ำ 142.97 นิวตัน

12. สายพานที่รับกำลังเครื่องยนต์จากเพลากลัซแม่เหล็กสู่เพลาคVT จำนวนด้วยรูปแบบเดียวกับขั้นตอนข้างต้น จะมีค่าที่คำนวณได้ดังนี้

$$d_p = 54 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$D_p = 137 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$C_{\max} = 382 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$C_{\min} = 133.7 \text{ มิลลิเมตร}$$

เลือกใช้ 250 มิลลิเมตร

$$L_p = 806.759 \text{ มิลลิเมตร}$$

เปิดตารางเลือก $L_p = 810$ มิลลิเมตร

$$p = 127.437 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$q = 861.125 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$C = 251.449 \text{ มิลลิเมตร}$$

ส่วน โคนสัมพัทธ์ = 0.33

มุมสัมพัทธ์ของสายพาน 179.6683°

ความเร็วสายพาน = 8.16 เมตรต่อวินาที

แรงดึงสายพานขณะส่งกำลัง 459.55 นิวตัน

แรงดึงขั้นต่ำ = 672.59 นิวตัน

13. สายพานซึ่งรับกำลังจากมอเตอร์ส่งไปสู่เพลาคVT

$$d_p = 64 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$D_p = 92 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$C_{\max} = 312 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$C_{\min} = 109.2 \text{ มิลลิเมตร}$$

เลือกใช้สายพาน 300 มิลลิเมตร

$$L_p = 845.573 \text{ มิลลิเมตร}$$

เปิดตารางเลือกใช้ 843 มิลลิเมตร

$$p = 149.442 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$q = 98 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$C = 149.12 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\text{ส่วนโค้งสัมผัส} = 0.187$$

$$\text{มุมสัมผัสสายพาน} 179.811^\circ$$

$$\text{ความเร็วสายพาน} 7.22 \text{ เมตรต่อวินาที}$$

$$\text{แรงดึงสายพานขณะส่งกำลัง} = 124.65 \text{ นิวตัน}$$

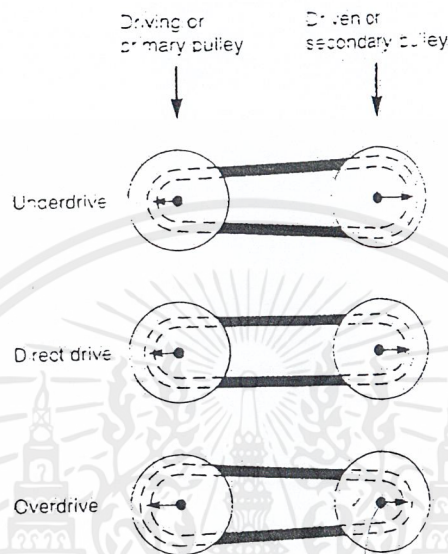
$$\text{แรงดึงขั้นต้น} = 184.843 \text{ นิวตัน}$$

3.3.3 การส่งกำลังโดยใช้สายพานแบบต่อเนื่อง (Continuously Variable Transmission : CVT)

เป็นการทดแทนการใช้เฟือง การหมุนรอบของเพลาสถาสามารถส่งผ่านจากพูลี่อันหนึ่งไปยังพูลี่อีกอันหนึ่งโดยใช้สายพาน ใช้แรงเสียดทานซึ่งบังคับพูลี่ตัวขับเพื่อขับสายพานและสายพานจะหมุนพูลี่ตัวตาม แรงเสียดทานนี้มาจากความดันสัมผัสของสายพานซึ่งทับขอบของพูลี่ อัตราส่วนของความเร็วการขับพูลี่ = อัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลี่ตัวขับกับเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลี่ตัวตาม ความเร็วของเพลาบอกในรูปของ รอบต่อนาที (RPM) ซึ่งเป็นสัดส่วนผกผันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลี่นั้นๆ . หากเราลองจินตนาการระบบส่งกำลังง่ายๆสำหรับพาหนะที่ใช้มอเตอร์ ซึ่งพูลี่ตัวขับที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กติดกับเพลาช้อเหวี่ยงและถูกเชื่อมโดยสายพานแบนไปสู่พูลี่ตัวตามที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่บนเพลากันล้อ ดังนั้นจะเป็นลักษณะของเฟืองทดรอบต่ำ (Low - ratio gear) ถ้าเราทำให้พูลี่ตัวขับและพูลี่ตัวตามมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันแล้ว จะเป็นลักษณะของการส่งตรง (Direct drive) ในขณะที่ถ้าเราทำให้ พูลี่ตัวขับมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าพูลี่ตัวขับ จะเป็นลักษณะของเฟืองทดรอบสูง (High-ratio gear) เทียบเท่ากับ overdrive . ถ้าเราแทนสายพานแบนด้วยสายพานร่องวี (V- belt) ซึ่งเชื่อมโยงด้วยร่องพูลี่ ที่มีขนาดเดียวกันและขับด้วยสมบัติของความเสียดทานที่สร้างขึ้น โดยด้านข้างๆของสายพานและครีบล้อของพูลี่. ตอนนี้เราไม่เพียงแต่เพิ่มประสิทธิภาพการส่งผ่านทอร์คของพูลี่ แต่ยังเข้าไปสู่ความเป็นไปได้ของการใช้การเปลี่ยนความเร็วแบบไม่เป็นขั้นตอน (Stepless speed change) หรืออาจเรียกได้ว่า การควบคุมความเร็วแบบแปรผันได้ (Variable - speed drive) . มันใช้การแบ่งโครงสร้างพูลี่แต่ละอันเป็น 2 ครั้ง ทั้ง 2 ครั้งของแต่ละพูลี่ จะเคลื่อนในแนวแกน เพื่อเปลี่ยนเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ที่เกิดประสิทธิผล (Effective pitch diameter) ของพวกมัน . พูลี่ชุดหนึ่งสามารถเคลื่อนที่เข้าหากันในแนวแกนคร่อมความกว้างของมัน และพูลี่อีกชุดหนึ่ง คือ ถูกสปริงถ่วงไปทางสภาวะความกว้างต่ำสุดของมัน . พูลี่อันหลังจะปรับโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราโมเมนต์ที่ส่งผ่านศูนย์กลางของมันและตำแหน่งในแนวแกนของมัน ดังนั้นสายพานยังคงอยู่ภายใต้ความตึงที่ถูกต้องเหมาะสมตลอดเวลา . คุณสมบัติที่เสริมเข้ามาของพูลี่ที่ถูกถ่วงโดยสปริง (Spring – loaded pulley) คือ มันสามารถเป็นเสมือน slipping clutch ในสภาวะของ overload ซึ่งใน gear train สภาวะดังกล่าวจะเป็นการลดความเร็วของพูลี่ตัวตาม และเพราะฉะนั้นการสูญเสียของกำลังที่ถูกส่งผ่าน ในกรณีที่สายพานสลลิดหรือ ครีฟ ซึ่งเป็นเหตุมาจากแรงเสียดทานน้อยจนเกินไป เพราะความตึงของสายพานไม่เพียงพอหรือมุมของการสัมผัสไม่เพียงพอ



รูปที่ 3.6 รูปแบบการทำงาน ของ Variable-speed belt drive

3.3.4 การออกแบบเพลลา

วัสดุเพลลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลลาทั่วไป คือ เหล็กกล้าละมุน (Mild steel) แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้ว มักใช้เหล็กกล้าผสมโลหะอื่นทำเพลลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 mm มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เพลลามีราคาถูกที่สุด จึงควรเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดาตอนนี้ใช้เหล็กกล้าชนิดอื่น

ขนาดของเพลลา

เพื่อให้เพลลามีมาตรฐานเหมือนกัน องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลลาซึ่งเป็นระบุ (Nominal size) ใน ISO/R 775-1969 เอาไว้สำหรับเลือกใช้ทั้งนี้เพื่อที่จะได้หาซื้อได้ตามทั่วไป และยังสอดคล้องกับขนาดของเบร้งที่ใช้รองรับเพลลาอีกด้วย ขนาดของเพลลาสามารถดูได้จากตารางที่

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น mm				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
1	45	90	170	320
12	5	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	

ตารางที่ 3-1 ขนาดระบุของเพลตามาตรฐาน ISO/R775-1969

การพิจารณาในการออกแบบ

การคำนวณขนาดของเพลที่พอเหมาะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลเพื่อให้เพลสามารถทนต่อแรงที่มากกระทำอย่างเฉียวนั้นไม่เพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลลูกเบี้ยว (Cam shaft) ในเครื่องยนต์สันดาปภายในต้องการให้มีตำแหน่งที่เที่ยงตรง ดังนั้นมุมบิดของเพลที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากกว่าที่กำหนดไว้ เป็นต้น นั่นคือเพลจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ภายใต้พิกัดที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากเกินไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้ว ยังอาจก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลทำให้เฟืองและแบร์ริงที่รองรับเพลอยู่เสียหายได้ง่ายขึ้น

ถึงแม้จะไม่มีมาตรฐานสำหรับมุมบิดของเพลไว้ก็ตามในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดของเพลในเครื่องจักรกลทั่วไปมีค่าไม่เกิน 0.3° ต่อความยาวเพล 1 m สำหรับเพลส่งกำลังทั่วไปอาจให้มีมุมบิดได้ถึง 1° ต่อความยาว 20 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเพล ในกรณีของเพลลูกเบี้ยวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วจะให้มุมบิดได้ไม่เกิน 0.5° ตลอดความยาวของเพล

ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือ ความแข็งแรงทางด้านระยะโคง เพราะจะต้องใช้ระยะโคงของเพลที่อยู่ภายใต้แรงภายนอก เป็นตัวสำคัญในการกำหนดระยะเบียด (Clearance) ระหว่างส้อมสายพานเฟือง โครงเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบร์ริงสำหรับรองรับเพลให้เหมาะสม ถ้าเพลมีระยะโคงมากเกินไปจะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลงเป็นผลให้อัตราส่วนการขบ (Contact ratio) ของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควร การเลือกแบร์ริงมารองรับเพลก็เช่นกันจำเป็นต้องเลือกแบร์ริงชนิดที่อนุญาตให้มีการเอียงแนวสำหรับการใช้งานได้พอเหมาะับระยะโคงที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นแบร์ริงแบบธรรมดาหรือแบร์ริงแบบปรับแนวองได้ (Self-aligning bearing) ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะโคงเป็นสำคัญ

ระยะโค้งตัวดังกล่าวมานี้ก็ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้ โดยทั่วไปแล้วอาจจะถือค่าดังต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งแรงทางด้านระยะโค้งได้ดังนี้ สำหรับเพลลาโดยทั่วไปค่าระยะโค้งตัวระหว่างจุดรองรับด้วยแรงรับควรจะไม่เกิน 0.08 mm/m

การออกแบบเพลลาตามเค้ดของ AMSE

วิธีนี้เป็นการใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพลลา ซึ่งเป็นการออกแบบโดยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static design method) ในการหาสมการสำหรับการออกแบบเพลลาให้พิจารณาเพลลาดังรูปที่ ให้เพลลาเป็นเพลลากลมและกลวง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเท่ากับ d_i และ d_o ตามลำดับ ความเค้นต่าง ที่เกิดขึ้นบนเพลลามีดังต่อไปนี้คือ

$$\text{ความเค้นดึงหรือกด} \quad \sigma_a = \frac{4F}{\pi(d_o^2 - d_i^2)} \quad (3.1)$$

$$\text{ความเค้นดัด} \quad \sigma_b = \frac{Mc}{I} = \frac{32Md}{\pi(d_o^4 - d_i^4)} \quad (3.2)$$

$$\text{ความเค้นเฉือน} \quad \tau_{xy} = \frac{Tr}{J} = \frac{16Td}{\pi(d_o^4 - d_i^4)} \quad (3.3)$$

ในกรณีที่เป็นแรงกด อาจมีผลจากการโค้งงอ (Buckling) ได้ ดังนั้นสมการที่ 3.1 จะกลายเป็น

$$\sigma_a = \frac{4\alpha F}{\pi(d_o^2 - d_i^2)} \quad (3.4)$$

โดยที่ α คือตัวประกอบความโค้งงอของเพลลา

เพลลาส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ทั้งนี้เพราะเพลลาหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำยังอาจเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาก็ได้ ดังนั้นเพลลาจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้วิธีการแบบสถิตยศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้า (Fatigue factor) มาเกี่ยวข้องด้วย

ถ้าให้ C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ดังนั้นสมการที่ 3.2 และสมการที่ 3.3 จึงกลายเป็น

$$\sigma_b = \frac{32C_m Md}{\pi(d_o^4 - d_i^4)} \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$\tau_{xy} = \frac{16C_t Td}{\pi(d^4 - d_i^4)} \quad (3.6)$$

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวมคือ

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_b \quad (3.7)$$

จากทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau = \left[\tau_{xy}^2 + \left[\frac{\sigma}{2} \right]^2 \right]^{1/2} \quad (3.8)$$

แทนค่าสมการที่ และสมการที่ ลงในสมการด้านบนนี้ แล้วจัดรูปใหม่จะได้ว่า

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left[(C_t T)^2 + \left[\frac{\alpha Fd(1+K^2)}{8} + C_m M \right]^2 \right]^{1/2} \quad (3.9)$$

โดยที่ $K = d_i / d$

ในกรณีที่ไม่มีแรง F กระทำอยู่ด้วย สมการที่ จะลดรูปเหลือเพียง

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau(1-K^4)} \left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \quad (3.10)$$

หรือในกรณีของเพลาดัน $K = d_i / d = 0$ เมื่อแทนค่าในสมการที่ ก็จะได้สมการที่มีรูปคล้ายกับในหนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไป คือ

$$d^3 = \frac{16}{\pi\tau} \left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \quad (3.11)$$

ค่าตัวประกอบความล้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ ซึ่งดูได้จากตารางที่

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลายูนิ่ง :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.5	1.5-2.0
เพลายวม :		
แรงสม่ำเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้าๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบาๆ	1.5-2.0	1.0-1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

ตารางที่ 3-2 ค่าตัวประกอบความล้า

สำหรับตัวประกอบการ โกงงอ ASME ได้แนะนำให้ใช้ค่าดังนี้

$$\alpha = 1 \quad \text{เมื่อ } F \text{ เป็นแรงดึง}$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - 0.0044(L/k)} \quad \text{เมื่อ } \frac{L}{k} \leq 115$$

$$\alpha = \frac{\sigma_y (L/k)^2}{\pi^2 n E} \quad \text{เมื่อ } \frac{L}{k} > 115$$

โดยที่ $n = 1.00$

เมื่อปลายเป็นแบบ SS

$n = 2.25$

เมื่อปลายเป็นแบบ CC

$n = 1.60$

เมื่อปลายเพลายึดขึ้นเป็นบางส่วน (Partially restrained)

$L =$

ความยาวจริงของเพล

จะเห็นได้ว่าสมการที่เป็นสมการของสูตรเส้นตรง (Straight line formula) และสมการที่เป็นสมการออยเลอร์ ซึ่งแก้ไขค่าคงที่ใหม่

นอกจากนี้โค้ดของ ASME ยังระบุเอาไว้ว่าเพลซึ่งมีโซ่อยู่ในงานธรรมดาทั่วไป ควรจะมีความเค้นเฉือนใช้งานดังนี้

$$\tau_d = 55 \text{ N/mm}^2 \quad \text{สำหรับเพลที่ไม่มีร่องลิ้ม}$$

$$\tau_d = 55 \text{ N/mm}^2 \quad \text{สำหรับเพลที่มีร่องลิ้ม}$$

แต่ถ้ากำหนดควัสดุของเพลที่บอกถึงหมายเลขของโลหะหรือส่วนผสมของโลหะให้ใช้ค่าความเค้นเฉือนใช้งานจากสมการที่ โดยเลือกใช้ค่าน้อยมาคำนวณคือ

$$\tau_d = 0.3\sigma_y \quad \text{หรือ} \quad \tau_d = 0.18\sigma_u$$

และถ้าเพลามีร่องลิ้มให้ลดค่าความเค้นเฉือนใช้งาน โดยใช้เพียง 75% ของค่าในสมการที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแกร่งทางการบิด

สำหรับเพลที่มีขนาดสม่ำเสมอ มุมบิดเป็น rad จะหาได้จากสมการ

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad (3.12)$$

สำหรับเพลกลมตัน $J = \frac{\pi}{32}d^4$ ดังนั้นจึงหาค่ามุมบิดเป็นองศาได้จากสมการ

$$\theta = \frac{584TL}{Gd^4} \quad (3.13)$$

ถ้าเป็นเพลกลมกลวง

$$\theta = \frac{584TL}{(1-K^4)Gd^4} \quad (3.14)$$

ฉะนั้นถ้าต้องการให้เพลมีความแข็งแกร่งตามลักษณะการใช้งานแล้ว ก็ควรที่จะใช้สมการที่ นี้ตรวจสอบมุมบิดให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

3.4 การออกแบบเครื่องยนต์

3.4.1 กำลังขับเคลื่อนของรถยนต์

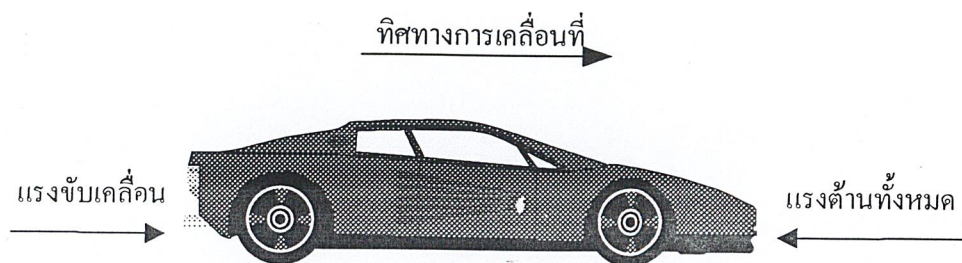
รถยนต์เคลื่อนที่ได้ต้องอาศัยกำลังจากเครื่องยนต์ซึ่งส่งผ่านระบบส่งกำลังมาที่ล้อขับเคลื่อน และอาศัยความฝืดระหว่างยางและผิวถนนทำให้เกิดแรงขับเคลื่อน รถยนต์จึงเคลื่อนที่ได้

ในขณะที่รถยนต์กำลังเคลื่อนที่อยู่ นั้น จะมีแรงต้านการเคลื่อนที่และมีทิศทางสวนกับแรงขับเคลื่อน ถ้ารถยนต์เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ เช่น 60 km/h และอาศัยกฎข้อหนึ่งของนิวตัน จะได้ว่า

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

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

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



รูปที่ 3.7 แรงขับเคลื่อนและแรงต้านทั้งหมด

กำลังจากเครื่องยนต์ที่ส่งไปยังล้อขับเคลื่อนจะใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่เพราะว่ามีบางส่วน สูญเสียไปในระบบส่งกำลัง เรียกว่า การสูญเสียในการส่งกำลัง (Transmission Losses) กำลังส่วนที่เหลือที่ล้อขับเคลื่อนจะใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านต่าง ๆ เพื่อให้รถยนต์เคลื่อนที่ได้ แรงต้านเหล่านั้นได้แก่

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

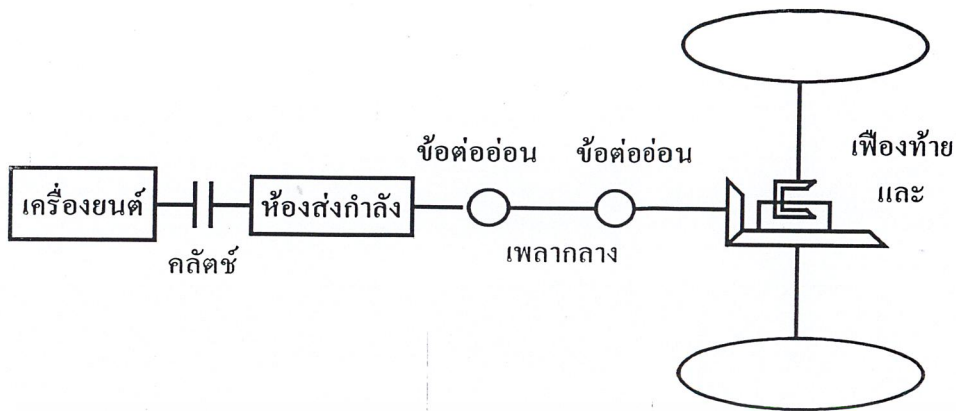
นอกจากนี้ในขณะที่เครื่องยนต์ กำลังบางส่วนต้องสูญเสียไปเพื่อเอาชนะความเฉื่อยของรถยนต์ เรียกว่า แรงต้านความเฉื่อย (Inertia Resistance)

3.4.2 การสูญเสียในการส่งกำลัง

กำลังจากเครื่องยนต์ส่งผ่าน คลัตช์ ห้องส่งกำลัง ข้อต่ออ่อน เพลากลาง เฟืองท้าย และดิฟเฟอเรนเชียล และเพลาหลัง จนถึงล้อขับเคลื่อน กำลังที่ล้อขับเคลื่อนจะน้อยกว่ากำลังของเครื่องยนต์ เนื่องจากมีกำลังบางส่วนสูญเสียไปในระบบส่งกำลังดังกล่าว สาเหตุของการสูญเสียกำลังเนื่องมาจาก

1. ความฝืดของส่วนต่างๆ ที่หมุน เช่น ที่เบร็กและที่ฟันเฟือง
2. ความหนืดของน้ำมันในห้องส่งกำลังและเฟืองท้าย
3. แรงต้านอากาศในขณะที่ชิ้นส่วนต่างๆ กำลังหมุน

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



รูปที่ 3.8 ระบบส่งกำลังของรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยล้อหลัง

3.4.3 แรงต้านการหมุนของล้อ

กำลังจากเครื่องยนต์ที่ล้อขับเคลื่อนจะถูกใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านการหมุนของล้อ การหาแรงต้านการหมุนของล้ออาจทำได้ดังนี้ ออกแรงคั่นรถยนต์ให้เคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร็วคงที่ค่าหนึ่งโดยได้เกียร์ว่าง แรงที่ใช้ในการคั่นรถยนต์จะมีค่าเท่ากับแรงต้านการหมุนของล้อในขณะนั้น แรงต้านการหมุนของล้อจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้

1. สภาพของผิวถนน เช่น ผิวถนนเรียบหรือขรุขระ แรงต้านการหมุนของล้อจะน้อยถ้าผิวถนนเรียบและจะมากถ้าผิวถนนขรุขระเป็นหลุมเป็นบ่อหรือมีสิ่งกีดขวางบนผิวถนน เช่น ผิวถนนมีน้ำขัง
2. สภาพของยางรถยนต์และความดันลมในยาง ตลอดจนรูปทรงของยาง ยางที่มีดอกยางละเอียดหรือดอกยางลึกจนเรียบจะมีแรงต้านการหมุนของล้อน้อยกว่าดอกยางหยาบ แรงต้านการหมุนของล้อจะเพิ่มขึ้นถ้าความดันลมในยางต่ำกว่าที่กำหนด และยางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตจะมีแรงต้านการหมุนล้อน้อยกว่ายางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสั้น
3. น้ำหนักของรถยนต์ โดยทั่วไปแรงต้านการหมุนของล้อจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักของรถยนต์เพิ่มขึ้น
4. อัตราเร็วของรถยนต์ แรงต้านการหมุนของล้อจะเพิ่มขึ้นถ้าอัตราเร็วของรถยนต์เพิ่มขึ้น

แรงต้านการหมุนของล้อสามารถหาได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$R_r = K_r W \quad (3.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ค่าของ K_r มีค่าต่าง ๆ กันตามสภาพของถนนดังนี้

$K_r = 0.0095$ สำหรับถนนที่เรียบดีมาก

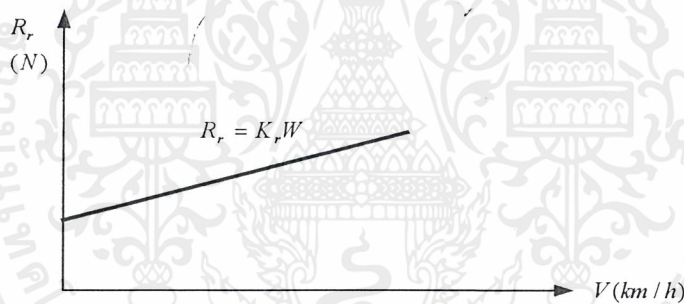
$K_r = 0.18$ สำหรับถนนที่เป็นทราย

$K_r = 0.015$ สำหรับค่าเฉลี่ยที่ใช้กันโดยทั่วไป

ทั้งนี้เนื่องจากอัตราเร็วของรถยนต์มีผลต่อแรงต้านการหมุนของล้อ จึงมักนิยมใช้สูตรต่อไปนี้สำหรับหาค่า K_r

$$K_r = 0.015 + 0.00016V \quad (3.16)$$

เมื่อ $V =$ อัตราเร็วของรถยนต์, km/h



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านการหมุนของล้อกับอัตราเร็วรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำค่า K_r จากสมการ (2.2) มาเขียนเป็นตารางโดยเปลี่ยนอัตราเร็วรถยนต์ จะได้ดังนี้

V (km/h)	K_r
0	0.015
10	0.0166
20	0.0182
30	0.0198
40	0.0214
50	0.023
60	0.0246
70	0.0262
80	0.0278
90	0.0294
100	0.031
110	0.0326
120	0.0342
130	0.0358
140	0.0374
150	0.039

ตารางที่ 3-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง V และ K_r

3.4.4 แรงต้านอากาศ

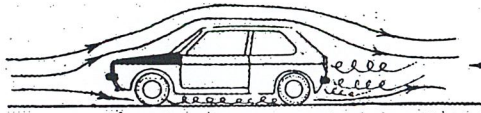
กำลังจากเครื่องยนต์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนส่วนมากใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราเร็วสูง ๆ แรงต้านอากาศจะเกิดขึ้นเมื่อรถยนต์มีการเคลื่อนที่และจะมากขึ้นอยู่กับรูปทรง อัตราเร็ว และพื้นที่หน้าตัดของรถยนต์

รถยนต์ปัจจุบันมักออกแบบให้ลู่ลมตามหลักอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) เพื่อลดแรงต้านอากาศและทำให้อัตราเร็วสูงสุดของรถยนต์เพิ่มขึ้น ตลอดจนช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

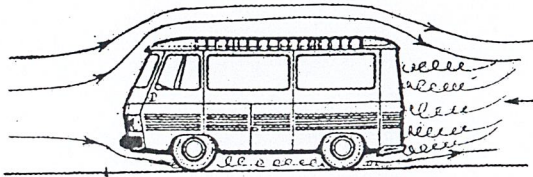
ในบางครั้งต้องออกแบบให้รถยนต์ให้ใช้งานได้สะดวกสบายซึ่งมีความจำเป็นมากกว่าการลดแรงต้านอากาศ รถยนต์พวกนี้จะมีรูปทรงด้านลมจึงทำให้แรงต้านอากาศสูงมาก รถยนต์เหล่านี้ได้แก่ รถเมล์ รถตู้ และรถบรรทุก

แรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นในขณะที่รถยนต์กำลังเคลื่อนที่นั้นมาจากความแตกต่างระหว่างความดันด้านหน้ากับด้านหลังรถยนต์และแรงลุดที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสของรถยนต์กับอากาศ

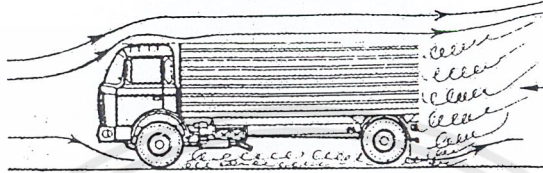
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



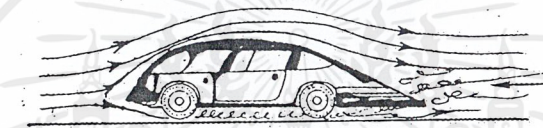
(1)



(2)



(3)



(4)

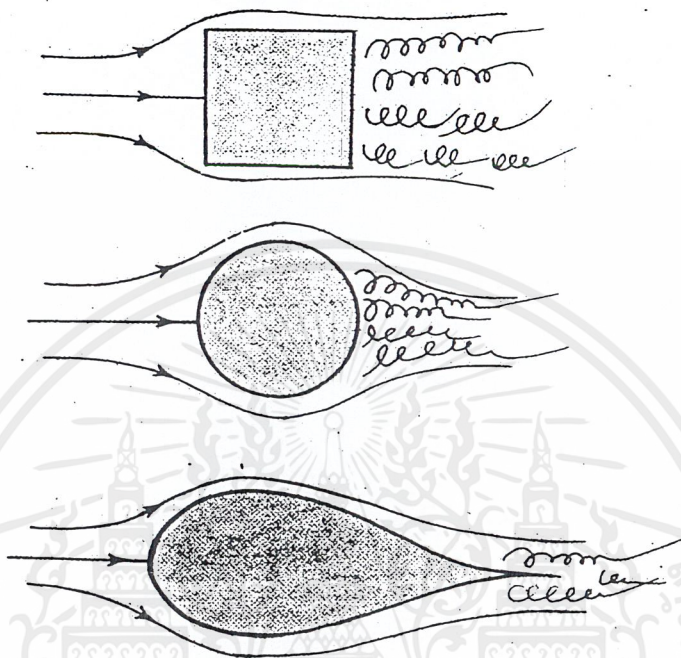
รูปที่ 3.10 การเคลื่อนไหวของอากาศผ่านรถยนต์ทรงต่างๆ

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

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

ดังนั้นในการออกแบบรูปทรงของรถยนต์ เพื่อลดแรงต้านอากาศจะต้องพยายามลดอากาศหมุนบริเวณท้ายรถยนต์ให้เหลือน้อยที่สุด

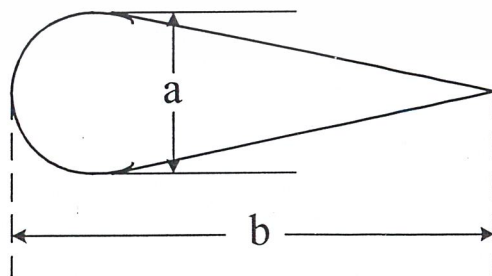
จากการทดสอบวัตถุรูปทรงต่าง ๆ เพื่อหาแรงต้านอากาศ พบว่า วัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันแต่รูปทรงต่าง ๆ กันจะมีแรงต้านอากาศไม่เท่ากัน เช่น แท่งทรงกระบอก ทรงกลม ทรงหยดน้ำ ตามแสดงในรูปที่ 3.11 วัตถุทรงหยดน้ำจะมีอากาศหมุนน้อยมาก จึงทำให้วัตถุทรงหยดน้ำมีแรงต้านอากาศน้อยมากและน้อยกว่าวัตถุรูปทรงอื่น ๆ ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน



รูปที่ 3.11 การเคลื่อนของอากาศผ่านรูปทรงต่าง ๆ ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน

วัตถุทรงหยดน้ำที่ยาวเกิน ไปถึงแม้จะลดอากาศหมุนจนเหลือน้อยมากก็ตามแต่จะเพิ่มแรงดูดที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสของทรงหยดน้ำกับอากาศ จึงทำให้แรงต้านอากาศรวมเพิ่มขึ้น แต่วัตถุทรงหยดน้ำที่สั้นเกินไปจะมีอากาศหมุนบริเวณส่วนท้ายมาก ถึงแม้ว่าแรงดูดที่บริเวณผิวสัมผัสจะน้อยก็ตาม แต่แรงต้านอากาศรวมจะเพิ่มขึ้น ค่าที่เหมาะสมสำหรับวัตถุทรงหยดน้ำที่ให้แรงต้านอากาศน้อยที่สุด คือ

$$a/b = 1/2.5$$



รูปที่ 3.12 สัดส่วนที่เหมาะสมของวัตถุทรงหยดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ใช้คำนวณเพื่อหาแรงต้านอากาศ คือ

$$R_a = K_a AV^2 \quad (3.17)$$

เมื่อ R_a = แรงต้านอากาศ, N

K_a = สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ

A = พื้นที่หน้าตัดของรถยนต์, m^2

V = อัตราเร็วรถยนต์, km/h

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

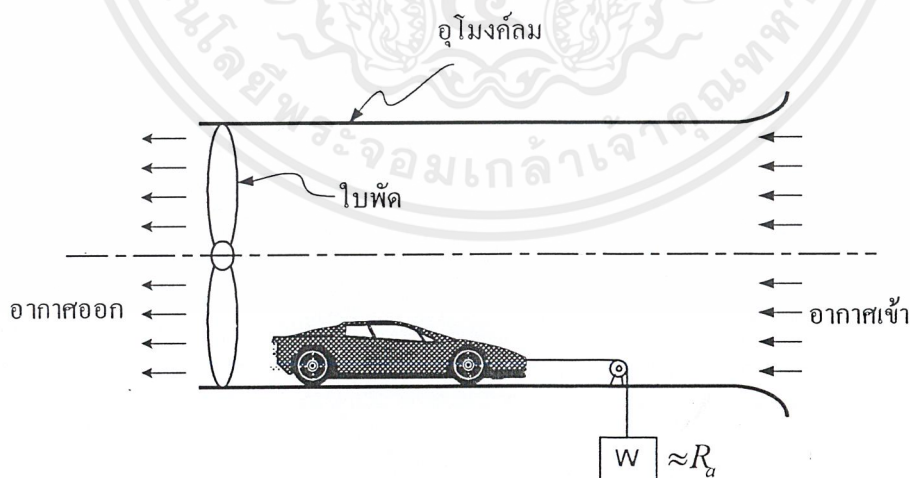
$K_a = 0.023$ สำหรับรถยนต์ที่ออกแบบดีมาก

$K_a = 0.031$ สำหรับรถยนต์ทั่วไป

$K_a = 0.045$ สำหรับรถบรรทุกและรถเมล์

การหาค่า K_a หรือแรงต้านอากาศอาจทำได้โดยการสร้างหุ่นจำลองรถยนต์ขนาดเล็กแล้ววางในอุโมงค์ลม ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณการไหลของอากาศภายในได้ หรือถ้ามีอุโมงค์ลมขนาดใหญ่ก็อาจใช้รถยนต์จริงในการทดสอบก็ได้

รูปที่ 3.13 แสดงการทดสอบเพื่อหาแรงต้านอากาศของรถยนต์โดยใช้หุ่นจำลองซึ่งวางไว้ในอุโมงค์ลม ด้านหน้าของหุ่นจำลองมีเชือกผูกไว้โดยคล้องกับรอกและห้อยค้ำน้ำหนัก น้ำหนัก W ที่ใช้ในการดึงไม่ให้หุ่นจำลองเคลื่อนที่ถอยหลัง จะมีค่าใกล้เคียงกับแรงต้านอากาศ R_a



รูปที่ 3.13 การทดลองหาแรงต้านอากาศโดยใช้หุ่นจำลองและอุโมงค์ลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของรถยนต์นั้นไม่เป็นสี่เหลี่ยม คือ มีส่วนเว้าส่วนโค้งตามความสวยงามของการออกแบบ จึงทำให้ไม่สามารถหาพื้นที่หน้าตัดของรถยนต์ได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงหาได้โดยวิธีประมาณดังนี้

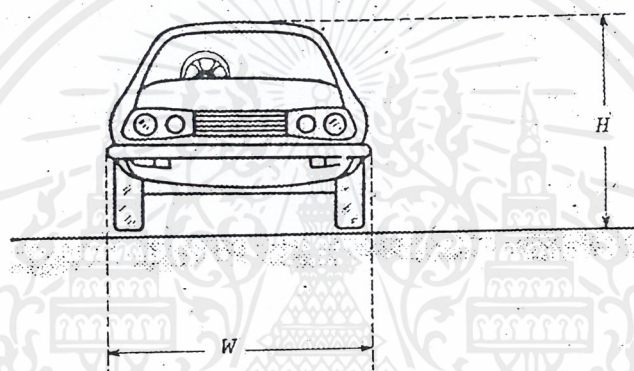
$$A = 0.8WH \quad (3.18)$$

เมื่อ $A =$ พื้นที่หน้าตัดของรถยนต์, m^2

$W =$ ความกว้างของรถยนต์, m

$H =$ ความสูงของรถยนต์, m

ความกว้างของรถยนต์วัดจากขอบตัวถังด้านซ้ายไปยังขอบตัวถังด้านขวา ความสูงของรถยนต์วัดจากพื้นถนนถึงจุดสูงสุดของหลังคาของรถยนต์ ตามรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ความกว้างและความสูงของรถยนต์

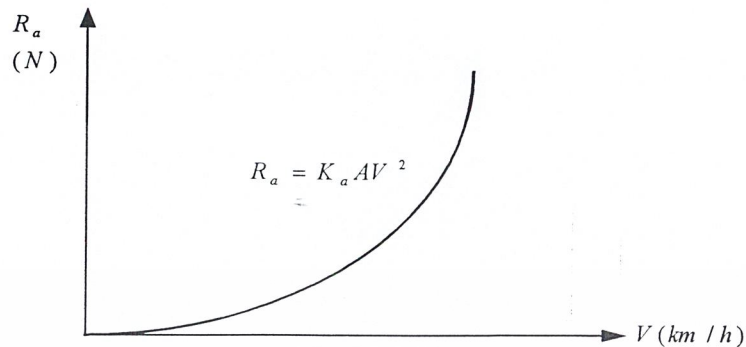
สำหรับอัตราเร็วรถยนต์ที่ใช้ในสูตรสำหรับการหา R_d ตามสมการที่ (2.3) นั้น ถ้ามีอัตราเร็วลมเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น วิ่งทวนลม วิ่งตามลม จะต้องนำอัตราเร็วลมมาคิดในสูตรด้วย ดังนี้

รถยนต์วิ่งทวนลม, ใช้ $V =$ อัตราเร็วรถยนต์ + อัตราเร็วลม

รถยนต์วิ่งตามลม, ใช้ $V =$ อัตราเร็วรถยนต์ - อัตราเร็วลม

รถยนต์วิ่งในลมสงบ, ใช้ $V =$ อัตราเร็วรถยนต์

เมื่อนำค่า R_d และ V มาเขียนกราฟ จะได้กราฟลักษณะตามรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านอากาศกับอัตราเร็วรถยนต์

รูปที่ 3.15 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านอากาศกับอัตราเร็วรถยนต์ จะเห็นได้ว่าแรงต้านอากาศจะเพิ่มขึ้นอย่างมากที่อัตราเร็วสูง ๆ แรงต้านอากาศจึงเป็นตัวการสำคัญอย่างยิ่งในการจำกัดอัตราเร็วสูงสุดของรถยนต์ ดังนั้นเพื่อลดแรงต้านอากาศให้น้อยลงจึงต้องพยายามลดค่า K_a ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดเท่ากัน ค่า K_a จะลดลงก็ต่อเมื่อรูปทรงของรถยนต์ต้องกลมตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

3.4.5 แรงต้านทางชัน

ในขณะที่รถยนต์วิ่งขึ้นทางชัน กำลังจากเครื่องยนต์บางส่วนต้องถูกใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านทางชัน ทำให้เครื่องยนต์ต้องทำงานหนักมากขึ้นกว่าวิ่งบนถนนระดับแต่ในทางกลับกันรถยนต์วิ่งลงทางลาด เครื่องยนต์จะทำงานเบาขึ้นเพราะมีแรงเสริม เนื่องจากน้ำหนักรถยนต์ทำให้รถยนต์เคลื่อนที่ได้เอง แรงต้านทางชันเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1. น้ำหนักรถยนต์
2. ความชันของถนน

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

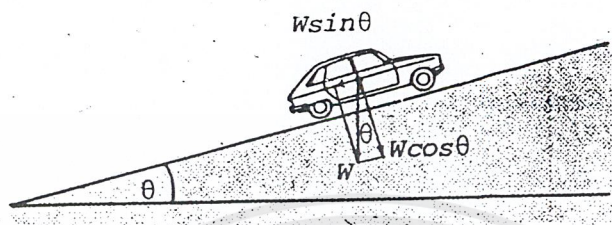
$$\therefore R_g = W \sin \theta$$

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

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

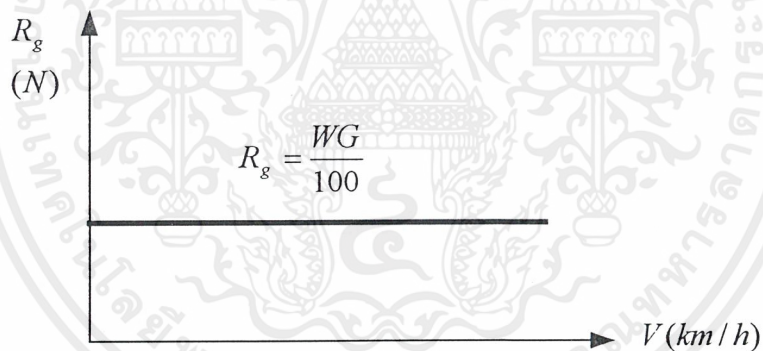
$$\text{ดังนั้น} \quad R_g = \frac{WG}{100} \quad (3.19)$$

เมื่อ $R_g =$ แรงต้านทางชัน, N
 $W =$ น้ำหนักรถยนต์, N
 $G =$ ความชัน, %



รูปที่ 3.16 แรงต้านทางชัน

จะเห็นได้ว่า แรงต้านทางชันมีค่าคงที่ต่ำเสมอตรงเท่าที่น้ำหนักรถยนต์และความชันของถนนไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเขียนกราฟระหว่างแรงต้านทางชันกับอัตราเร็วรถยนต์จะได้กราฟเส้นตรงตามรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทางชันกับอัตราเร็วรถยนต์

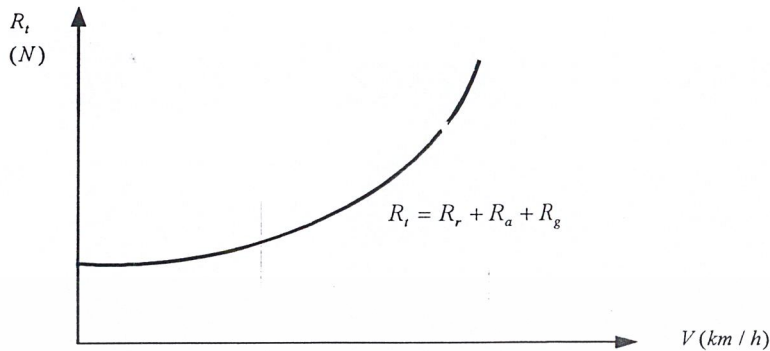
เมื่อรวมแรงต้านการหมุนของล้อ แรงต้านอากาศ และแรงต้านทางชัน จะได้แรงต้านทั้งหมดของรถยนต์ในขณะที่กำลังวิ่งขึ้นทางชัน (ถ้ารถยนต์วิ่งบนถนนระดับ แรงต้านทั้งหมดจะมีเพียงแรงต้านการหมุนของล้อและแรงต้านอากาศ) ดังนั้นจะได้

$$R_t = R_r + R_a + R_g \quad (3.20)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเขียนกราฟระหว่างค่าแรงต้านทั้งหมดกับอัตราเร็วรถยนต์ จะได้กราฟซึ่งมีลักษณะคล้ายกับที่แสดงในรูปที่ 2.26



รูปที่ 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทั้งหมดกับอัตราเร็วรถยนต์

3.4.6 แรงขับเคลื่อน

ในขณะที่รถยนต์กำลังวิ่งด้วยอัตราเร็วใด ๆ เครื่องยนต์จะต้องส่งกำลังขับเคลื่อนไปยังล้อขับเคลื่อน แรงขับเคลื่อนที่ล้อจะต้องเท่ากับแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น เพื่อรักษาอัตราเร็วรถยนต์ให้คงที่ แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างยางกับถนน ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับถนนต้องสูงมากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการลื่นไถลบริเวณผิวสัมผัส

แรงขับเคลื่อนที่ล้อสามารถหาได้จากกำลังเครื่องยนต์ หรือในทางกลับกันก็สามารถหากำลังเครื่องยนต์ได้จากแรงขับเคลื่อนที่ล้อ โดยใช้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเครื่องยนต์กับแรงบิดใช้สูตร

$$P_e = 2\pi N T_e \quad (3.21)$$

เมื่อ P_e = กำลังเครื่องยนต์, W

π = 3.1416

N = อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์, rps

T_e = แรงบิดเครื่องยนต์, $N \cdot m$

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่ล้อขับเคลื่อนกับแรงบิดเครื่องยนต์ใช้สูตร

$$T_w = \frac{\eta i_g i_f T_e}{100} \quad (3.22)$$

เมื่อ T_w = แรงบิดที่ล้อ, $N \cdot m$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\eta_t &= \text{ประสิทธิภาพการส่งกำลัง, \%} \\ i_g &= \text{อัตราทดเฟืองเกียร์} \\ i_f &= \text{อัตราทดเฟืองท้าย} \\ T_e &= \text{แรงบิดเครื่องยนต์, } N \cdot m\end{aligned}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับเคลื่อนและแรงบิดที่ล้อใช้สูตร

$$F = \frac{T_w}{r} \quad (3.23)$$

เมื่อ $F =$ แรงขับเคลื่อน, N
 $T_w =$ แรงบิดที่ล้อ, $N \cdot m$
 $r =$ รัศมีของยางที่ล้อขับเคลื่อน, m

จากสมการที่ (2.8) และ (2.9) จะได้แรงขับเคลื่อนที่ดังนี้

$$F = \frac{\eta_t i_g i_f T_e}{100r} \quad (3.24)$$

หรือ $F = \frac{\eta_t i_o T_e}{100r} \quad (3.25)$

เมื่อ $i_o = i_g \cdot i_f =$ อัตราทดเฟืองทั้งหมด

3.4.7 อัตราเร็วรถยนต์

ในขณะที่ขับจี้รถยนต์ อัตราเร็วรถยนต์จะมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ โดยขึ้นอยู่กับอัตราทดเฟืองทั้งหมดขณะนั้น

การหาอัตราเร็วรถยนต์ทำได้ดังนี้

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{หรือ} \quad = (2\pi r) \frac{N}{i_o} \left(\frac{3600}{1000} \right) \text{ km/h}$$

$$\text{หรือ} \quad V = \frac{3.6(2\pi r)N}{i_o} \text{ -----} \quad (3.26)$$

เมื่อ $V =$ อัตราเร็วรถยนต์, km/h

$r =$ รัศมียางรถยนต์, m

$N =$ อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์, rps

$i_o =$ อัตราทดเฟืองทั้งหมด

3.4.8 กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์

เมื่อคำนวณแรงต้านทั้งหมดของรถยนต์ได้แล้ว แรงขับเคลื่อนจะต้องมีค่าเท่ากับแรงต้านทั้งหมด เพื่อรักษาอัตราเร็วรถยนต์ให้คงที่

ดังนั้นกำลังขับเคลื่อนที่ล้อ ในขณะที่รถยนต์มีอัตราเร็ว $= V$ หาได้จากสูตร

$$P_w = \frac{FV}{3.6} \quad (3.27)$$

และกำลังเครื่องยนต์ในขณะนั้นคำนวณได้จาก

$$P_e = \frac{100P_w}{\eta_i} = \frac{100FV}{3.6\eta_i} \quad (3.28)$$

เมื่อ $P_w =$ กำลังขับเคลื่อนที่ล้อ, W

$F =$ แรงขับเคลื่อน, N

$V =$ อัตราเร็วรถยนต์, km/h

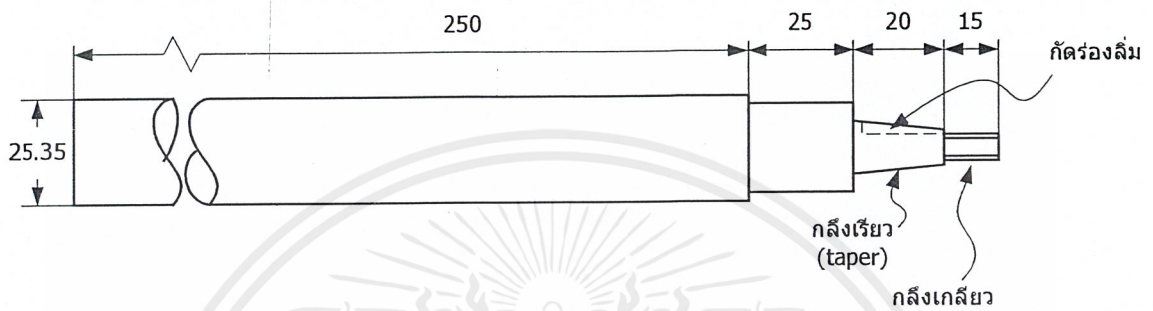
$P_e =$ กำลังเครื่องยนต์, W

$\eta_i =$ ประสิทธิภาพการส่งกำลัง, %

3.5 วิธีการสร้างระบบส่งกำลัง

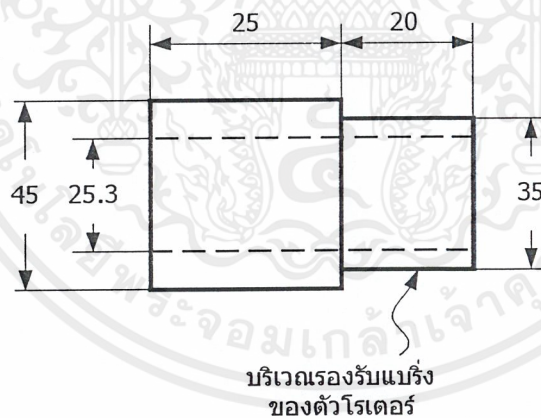
3.5.1 เฟลาคลัตช์แม่เหล็ก

- กิ่งเพลลาให้ได้นขนาด 25.35 มม. (สำหรับใช้กับแบร์ริง 1 นิ้ว) ยาว 250 มม.
- กิ่งปลายด้านหนึ่งของเพลลาสำหรับกรอกรับคลัตช์แม่เหล็ก โดยกิ่งเป็นบ่ายาว 25 มม. สำหรับสวมปลอกกรอรับตัวโรเตอร์ (Rotor) และกิ่งเรียว (taper) และกิ่งเกลียวที่ส่วนปลายสำหรับยึดแผ่นคลัตช์กับเพลลา กัดร่องลึ้มที่บริเวณเรียวสำหรับล็อกแผ่นคลัตช์กับเพลลา ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 เฟลาคลัตช์แม่เหล็ก

- กิ่งปลอกสวมเพลลาสำหรับกรอกรับตัวโรเตอร์ (Rotor) โดยมีขนาดดังรูปที่ 3.20 แล้วสวมอัดเข้ากับเฟลาคลัตช์แม่เหล็ก

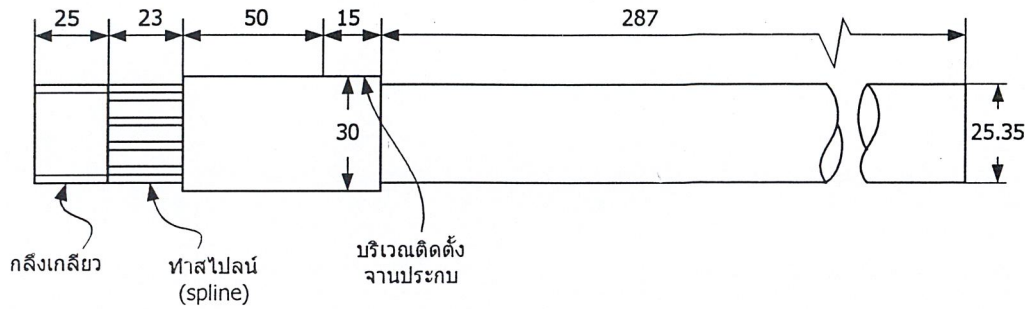


รูปที่ 3.20 ปลอกสวมเพลลากรอกรับตัวโรเตอร์

3.5.2 เฟลา CVT

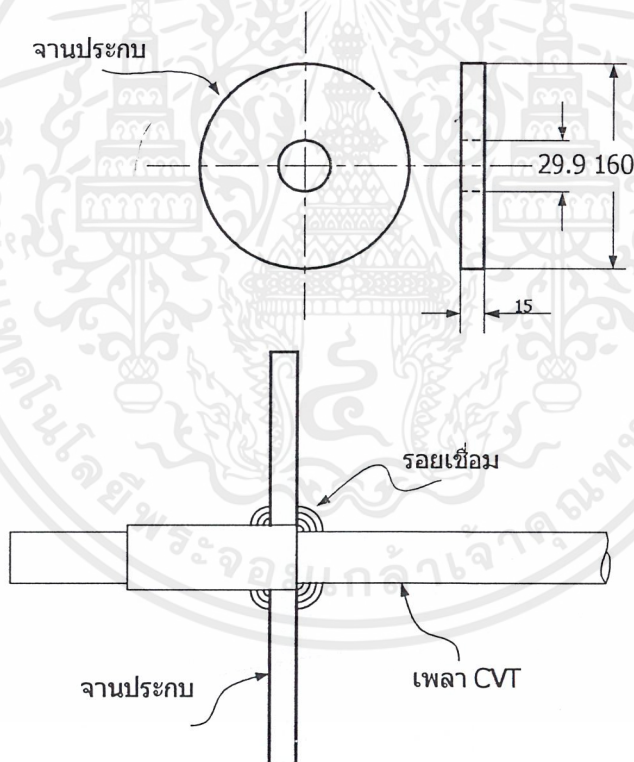
- กิ่งเพลลาให้ปลายด้านหนึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. สำหรับสวมกับจานประกอบ CVT ส่วนปลายทำเกลียว ต่อจากเกลียวกัดร่องสไปลน์ (spline) สำหรับสวมล็อกตัวประกอบ CVT ดังรูปที่ 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 เพลา CVT

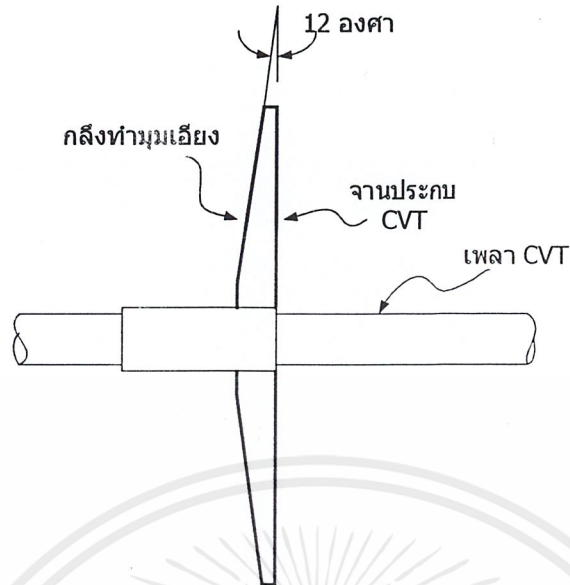
- กิ่งแผ่นเหล็กเป็นแผ่นกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 160 มม. เจาะรูตรงกลาง แล้วคว้านให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25.3 มม. สวมเข้ากับเพลาบริเวณติดตั้งงานประกบแล้วเชื่อมติดกับเพลา CVT ดังรูปที่ 99



รูปที่ 3.22 งานประกบ และการติดตั้ง

- กิ่งงานประกบ โดยทำมุมเอียงเท่ากับงาน CVT ดังรูปที่ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 จานประกบ CVT กลิ้งเอียงเท่ากับจาน CVT

3.6 การประกอบ

1. ประกอบพูลี่ (pulley) ของเพลาเครื่องยนต์ยึดเข้ากับเพลาเครื่องยนต์โดยขันสลักเกลียวยึด
2. ประกอบพูลี่เข้ากับเพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คล้องสายพานเข้ากับพูลี่ที่เพลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ประกอบแบร์ริง (bearing) เข้ากับเพลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ยึดแบร์ริงกับแท่นยึด แล้วทำการคล้องสายพานเข้ากับพูลี่ที่เพลาเครื่องยนต์ร่อนใน และคล้องเข้ากับพูลี่ที่เพลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
3. ประกอบคลัตช์แม่เหล็กเข้ากับเพลาคลัตช์แม่เหล็ก โดยสวมตัวโรเตอร์ (rotor) เข้าที่ปลอกสวมบนเพลาคลัตช์แม่เหล็ก จากนั้นสวมแผ่นคลัตช์เข้าที่ปลายเพลา ใส่ลิ้มเข้าร่องลิ้ม ปรับระยะห่างระหว่างแผ่นคลัตช์กับหน้าสัมผัสของตัวโรเตอร์ โดยใช้แผ่นชิม (chim) แล้วยึดแผ่นคลัตช์ด้วยแป้นเกลียว
4. คล้องสายพานเข้ากับพูลี่ที่ต่อกำลังจากเครื่องยนต์มายังเพลาคลัตช์แม่เหล็ก ยึดเพลาคลัตช์กับแบร์ริงรองรับเพลา แล้วคล้องสายพานเข้ากับร่องนอกของพูลี่ที่เพลาเครื่องยนต์
5. สวมเพลา CVT เข้ากับแบร์ริงรองรับเพลา โดยให้คล้องสายพานที่ต่อจากพูลี่ของคลัตช์แม่เหล็ก และคล้องสายพานจากพูลี่คลัตช์แม่เหล็กเข้ากับพูลี่ที่รับกำลังจากเพลาคลัตช์แม่เหล็กมายังเพลา CVT
6. สวมพูลี่เข้ากับเพลาของมอเตอร์ และสวมพูลี่เข้ากับปลายเพลา CVT แล้วคล้องสายพานเข้าระหว่างพูลี่ทั้งสอง
7. คล้องสายพานจากพูลี่ CVT ที่เฟืองท้ายเข้ากับเพลา CVT แล้วประกอบจานประกบ CVT เข้ากับเพลา CVT ยึดกับเพลาด้วยแป้นเกลียว

3.7 การเลือกขนาดเครื่องยนต์และมอเตอร์

3.7.1. ข้อมูลการออกแบบ

- น้ำหนักรถรวม 300 กก.
 - แมคเตอร์ี่ 8 ก้อน ๆ ละ 13 กก. รวม 117 กก.
 - คนขับ 63 กก.
 - ตั๋วรถ 120 กก.
- อัตราทดรวม
 - ระบบเครื่องยนต์ 26.74 : 1
 - ระบบไฟฟ้า 15.72 : 1
- ความเร็วรถที่ออกแบบ 15 กม./ชม.
- รัศมีที่ล้อขับเคลื่อน 0.2 ม.
- พื้นที่หน้าตัดรถ 0.35 ตร.ม.
- ประสิทธิภาพการส่งกำลัง
 - ระบบเครื่องยนต์ 0.7
 - ระบบไฟฟ้า 0.8

3.7.2. การคำนวณ

- แรงต้านการขับเคลื่อน
 - แรงต้านการหมุนของล้อ

$$R_r = K_r W = 0.015(300 \times 9.81) = 44.145 \text{ N}$$
 - แรงต้านอากาศ

$$R_a = K_a A V^2 = 0.031 \times 0.35 \times 15^2 = 2.44 \text{ N}$$
 - ไม่คิดแรงต้านทางชัน

แรงต้านทั้งหมด $R_t = R_r + R_a = 46.58 \text{ N}$

- แรงขับเคลื่อน

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

$$F = R_t$$

$$F = 46.58 \text{ N}$$

- แรงบิดที่ล้อขับเคลื่อน

$$T_w = F \cdot r$$

$$T_w = 46.58 \times 0.2 = 9.3 \text{ N} \cdot \text{m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กำลังขับเคลื่อนที่ล้อ

$$P_w = \frac{FV}{3.6} = \frac{46.58 \times 15}{3.6} = 194 \text{ W}$$

- กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์

$$P_e = \frac{P_w}{\eta_t} = \frac{194}{0.7} = 277 \text{ W}$$

- แรงบิดของเครื่องยนต์

$$T_e = \frac{T_w}{\eta_t \cdot i_t} = \frac{9.3}{0.7 \times 26.74} = 0.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- ความเร็วรอบของเครื่องยนต์

$$N = \frac{V \cdot i_t}{2\pi r \cdot 3.6} = \frac{15 \times 26.74}{2\pi \times 0.2 \times 3.6} = 5320 \text{ rpm}$$

- กำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์

$$P_m = \frac{P_w}{\eta_t} = \frac{194}{0.8} = 242.5 \text{ W}$$

- แรงบิดของมอเตอร์

$$T_m = \frac{T_w}{\eta_t \cdot i_t} = \frac{9.3}{0.8 \times 15.72} = 0.74 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- ความเร็วรอบของมอเตอร์

$$N = \frac{V \cdot i_t}{2\pi r \cdot 3.6} = \frac{15 \times 15.72}{2\pi \times 0.2 \times 3.6} = 3130 \text{ rpm}$$

3.7.3. สรุปการออกแบบและนำไปเลือกใช้งาน

- เครื่องยนต์

- กำลังขับเคลื่อน	277	W
- แรงบิดเครื่องยนต์	0.5	N.m

- มอเตอร์

- กำลังขับเคลื่อน	242.5	W
- แรงบิดเครื่องยนต์	0.74	N.m

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบของรถไฟฟ้าไฮบริด

4.1 วัตถุประสงค์

เพื่อทำการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละโหมดการทำงาน

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. รถไฟฟ้าไฮบริด
2. เครื่องวัดความเร็วรอบ (Tacho meter)
3. เครื่องวัดกระแส (Ampmeter)
4. หลอดตวงขนาด 100 ซีซี
5. นาฬิกาจับเวลา

4.3 วิธีการทดลอง

4.3.1 การทดสอบเครื่องยนต์

การทดสอบเครื่องยนต์จะประกอบด้วย การหาช่วงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ให้ประสิทธิภาพการทำงานที่เหมาะสมที่สุด และการทดสอบหาการใช้น้ำมันของเครื่องยนต์

1. การทดสอบหาช่วงการทำงานที่ให้ประสิทธิภาพการทำงานที่เหมาะสมที่สุดประกอบด้วยวิธีทดลองดังนี้
 - ทำการแบ่งช่วงการเปิดของวาล์วปีกผีเสื้อทั้งหมดเป็น 5 ช่วง คือ 20 % , 40 % , 60 % , 80 % และ 100 % ของช่วงการเปิดที่ได้ทั้งหมด
 - เริ่มเปิดวาล์วปีกผีเสื้อที่ 20 % โดยบังคับที่คันเร่ง
 - ทำการวัดค่าความเร็วรอบของเครื่องยนต์โดยใช้ Tacho meter วัดค่าความเร็วรอบของเพลาค้อเหวี่ยง
 - บันทึกค่า
 - เปลี่ยนค่า % การเปิดวาล์วปีกผีเสื้อ แล้วทำการทดสอบตามขั้นตอนข้างต้น จนกระทั่งครบ 100 %

4.3.2 การทดสอบความเร็วของรถ

จะประกอบด้วยการทดสอบความเร็วของรถที่ภาวะการทำงาน 3 ภาวะ คือ ช่วงการใช้เครื่องยนต์, ช่วงการใช้ไฟฟ้าโดยมอเตอร์ และช่วงไฮบริด โดยมีวิธีการทดลองดังนี้ คือ

- กำหนดระยะทางที่ใช้ทดสอบเป็นระยะทางคงที่
- ทำการขับเคลื่อนรถด้วยการทำงานที่ดีที่สุด ในภาวะการใช้เครื่องยนต์จะใช้การเปิดวาล์วปีกผีเสื้อที่ 60 % ในภาวะการใช้ไฟฟ้าจะใช้ความเร็วมากที่สุดของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จับเวลาที่ทำได้ และนำระยะทาง หาคด้วย เวลาเพื่อหาค่าความเร็วที่ทำได้ ทำการทดลอง 3 ครั้งและนำค่าที่ได้ทำการหาค่าเฉลี่ย

ในการทดลองบนรถจะมีภาระบรรทุกด้วย ประกอบด้วย แบตเตอรี่แบบlead-acid จำนวน 9 ก้อน , เจเนเรเตอร์ , มอเตอร์ , ระบบส่งกำลัง , เครื่องยนต์ และ โครงที่ใต้ทำขึ้น

4.3.3 การทดสอบการใช้น้ำมัน

จะทดสอบที่ภาวะการทำงานที่ใช้เครื่องยนต์และช่วงไฮบริด โดยมีวิธีการทดลอง ดังนี้

- กำหนดระยะทางที่ใช้ทดสอบ
- เติมน้ำมันในถังเก็บ 200 ซีซี
- ทำการวิ่งโดยใช้เครื่องยนต์เพียงอย่างเดียว
- เมื่อวิ่งได้ระยะทางที่กำหนดไว้แล้วทำการเติมน้ำมันในถังเก็บให้ครบ 200 ซีซี โดยเติมจากกระบอกตวงซึ่งมีน้ำมันบรรจุอยู่ 100 ซีซี
- ทำการวัดค่าน้ำมันที่ถูกเติมไป
- บันทึกค่าที่วัดได้
- ทำการทดลองอีก 2 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย
- เปลี่ยนการทดลองเป็นช่วงไฮบริด โดยใช้การทดลองเหมือนการใช้เครื่องยนต์แต่ใช้การขับเคลื่อนแบบไฮบริด

4.3.4 การทดสอบมอเตอร์

จะประกอบด้วยการทดสอบหาความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ใช้และความเร็วรอบมอเตอร์ โดยมีวิธีทดสอบดังนี้

- เริ่มทดสอบจากความเร็วต่ำๆ โดยปรับค่าความต้านทานที่แผงสวิทช์
- วัดกระแสโดยต่อแอมป์มิเตอร์ที่สายไฟเข้ามอเตอร์ บันทึกค่ากระแสที่ได้
- วัดค่าความเร็วรอบที่ทำได้ โดย Tachometer บันทึกค่าความเร็วรอบที่ได้
- เปลี่ยนค่าความต้านทานแล้วทำการวัดกระแสไฟฟ้าและความเร็วรอบตามขั้นตอนข้างต้นจนกระทั่งได้ค่าความเร็วสูงสุด

4.3.5 การทดสอบการประจุไฟฟ้าของเจเนอเรเตอร์

จะประกอบด้วยการทดสอบหาความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ประจุได้กับความเร็วรอบของเจเนอเรเตอร์ และการใช้น้ำมัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

- ทดสอบที่ 60% การเปิดวาล์วปีกผีเสื้อ ซึ่งเป็นภาวะที่ใช้ปั่นกระแส
- ทำการวัดค่าความเร็วรอบของเจเนอเรเตอร์ โดย ใช้ Tachometer
- ทำการวัดค่ากระแสที่ได้โดยต่อแอมป์มิเตอร์ที่สายไฟก่อนเข้าวงจร Rectifier
- ทำการประจุไฟฟ้าในเวลา 5 นาที และวัดจำนวนน้ำมันที่ใช้ไป

4.4 ผลการทดสอบ

4.4.1 โหมดเครื่องยนต์

ทดสอบครั้งที่	1	2	3	เฉลี่ย
เวลาที่ใช้ (s)	117	116	116	116
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (cc)	82	65	61	69
ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)	3600	4000	4100	3900
ความเร็วรถ (km/h)	15.4	15.5	15.5	15.5
อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (km/litre)	6.1	7.7	8.2	7.3
แรงต้านการขับเคลื่อน (N)	53.9	53.8	53.8	53.8
กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ (W)	256.2	257.4	257.4	257

ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบในโหมดเครื่องยนต์

จากผลการทดสอบในอรรถการทำงานที่ดีที่สุดของเครื่องยนต์ คือ ประมาณ 3900 รอบต่อนาที โดยจะให้ความเร็วที่ 15.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันอยู่ที่ 7.3 กิโลเมตรต่อลิตร

4.4.2 โหมดไฟฟ้า

ความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm)	500	1000	1500	2000
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (A)	2.5	5.1	9.3	14.8

ตารางที่ 4-2 ผลการทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบครั้งที่	1	2	3	เฉลี่ย
เวลาที่ใช้ (s)	39.8	43	40.6	41.1
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (A)	13.6	12.1	13.2	12.9
ความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm)	1900	1750	1850	1833
ความเร็วรถ (km/h)	9.04	8.37	8.87	8.76
แรงต้านการขับเคลื่อน (N)	45	44.9	45	45
กำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์ (W)	141.3	130.5	138.5	136.8

ตารางที่ 4-3 ผลการทดสอบในโหมดไฟฟ้า

จากผลการทดสอบจะพบว่าโหมดไฟฟ้าสามารถทำความเร็วได้สูงสุดประมาณ 9 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีการกินกระแสไฟฟ้าที่ 13 แอมแปร์ และมีความเร็วรอบของมอเตอร์ประมาณ 3900 รอบต่อนาที

4.4.3 โหมดไฮบริด

ทดสอบครั้งที่	1	2	3	เฉลี่ย
เวลาที่ใช้ (s)	43.6	47.88	45.35	45.6
ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ (cc)	24	34	26	28
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (A)	11.72	10	11	10.9
ความเร็วรอบของมอเตอร์ (rpm)	1720	1567	1655	1647
ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)	2925	2666	2815	2803
อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (km/litre)	4	2.94	3.64	3.6
แรงต้านการขับเคลื่อน (N)	44.88	44.76	44.82	44.82
กำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์ (W)	128.6	116.8	123.6	123
กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ (W)	146.9	133.5	141.2	140.5
กำลังขับเคลื่อนรวม (W)	275.5	250.3	264.8	263.5

ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบในโหมดไฮบริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบความเร็วสูงสุดในโหมดไฮบริดนั้นคือประมาณ 8 กิโลเมตรต่อชั่วโมงให้กำลังสูงสุด 263 วัตต์ ใช้กระแสไฟฟ้า 10.9 แอมแปร์ สิ้นเปลืองน้ำมันที่ 3.6 กิโลเมตรต่อลิตร

4.4.4 โหมดประจุไฟฟ้า

ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (rpm)	แรงดันไฟฟ้า (V)
1120	90
1480	90
1710	90
2550	100
2890	110
3380	120
3405	125
3530	130

ตารางที่ 4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้า

ความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (rpm)	กระแสไฟฟ้าที่ได้ (A)
2700	0.7
3000	1.3
3100	2.2
3200	3

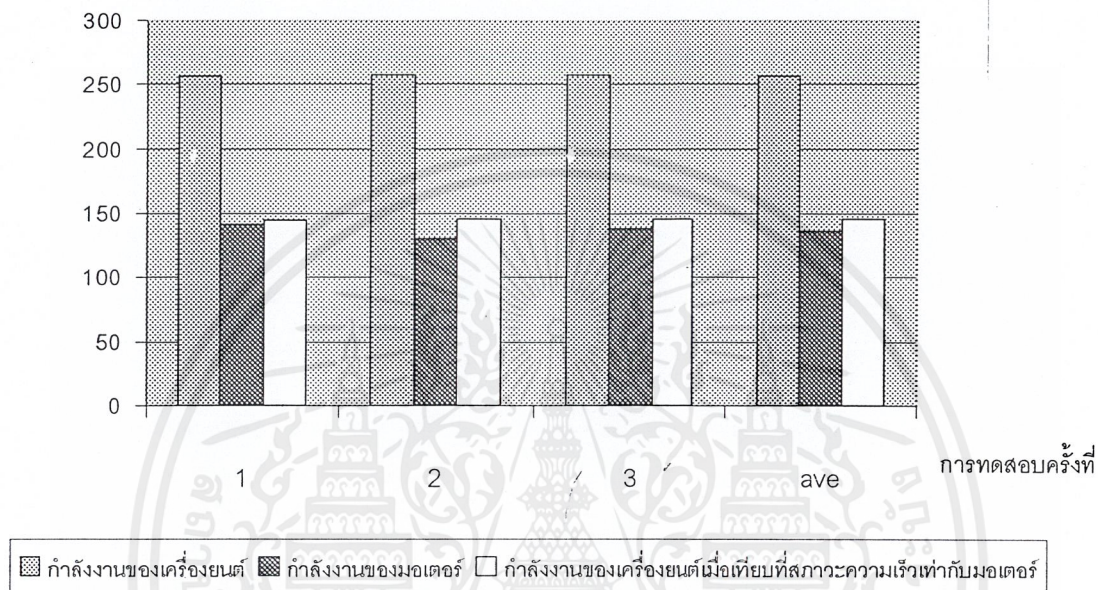
ตารางที่ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่ได้

จากผลการทดลองที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาค่าต่างๆ และเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

4.5 การเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานในโหมดต่างๆ

โหมดเครื่องยนต์-ไฟฟ้า

กำลังงาน (W)

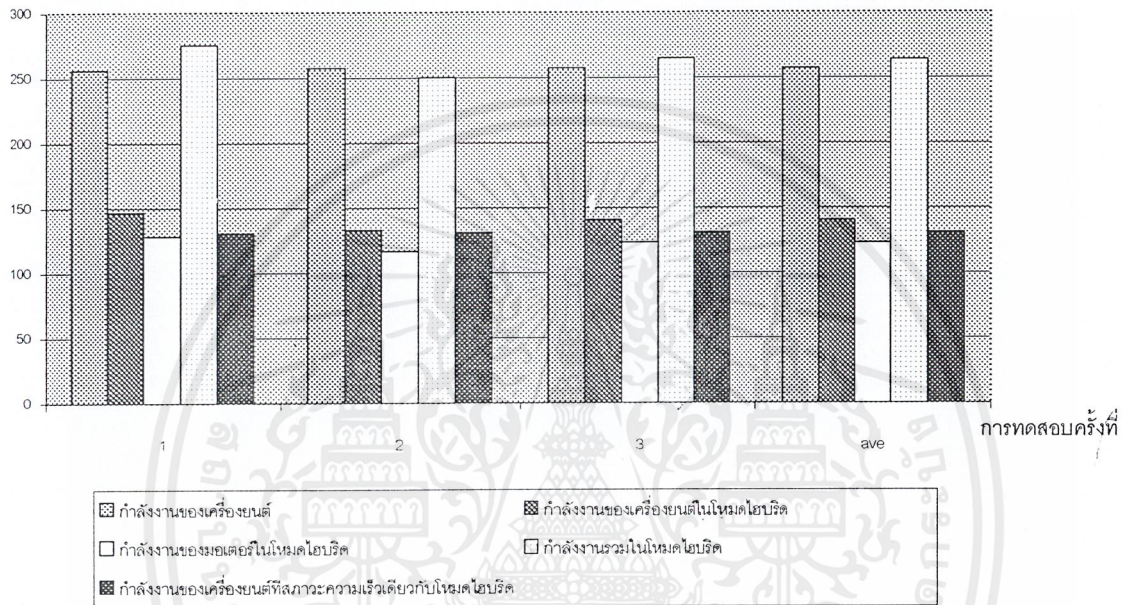


รูปที่ 4.1 กราฟการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโหมดเครื่องยนต์และโหมดไฟฟ้า

จากกราฟจะเห็นได้ว่า กำลังงานที่ได้สูงสุดในโหมดเครื่องยนต์จะสูงกว่าโหมดไฟฟ้า และความเร็วสูงสุดในโหมดเครื่องยนต์สูงกว่าด้วย คือทำได้สูงสุด 15.5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ให้กำลังงาน 257 วัตต์ ขณะที่โหมดไฟฟ้าทำความเร็วได้สูงสุด 8.76 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้กำลังงานจากมอเตอร์ 136.8 วัตต์ แต่ถ้าเปรียบเทียบที่ความเร็วเดียวกัน คือ 8.76 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โหมดเครื่องยนต์ต้องให้กำลังงาน 145.24 วัตต์ ซึ่งต้องให้มากกว่าโหมดไฟฟ้า

โหมคเครื่องยนต์-ไฮบริด

กำลังงาน (W)

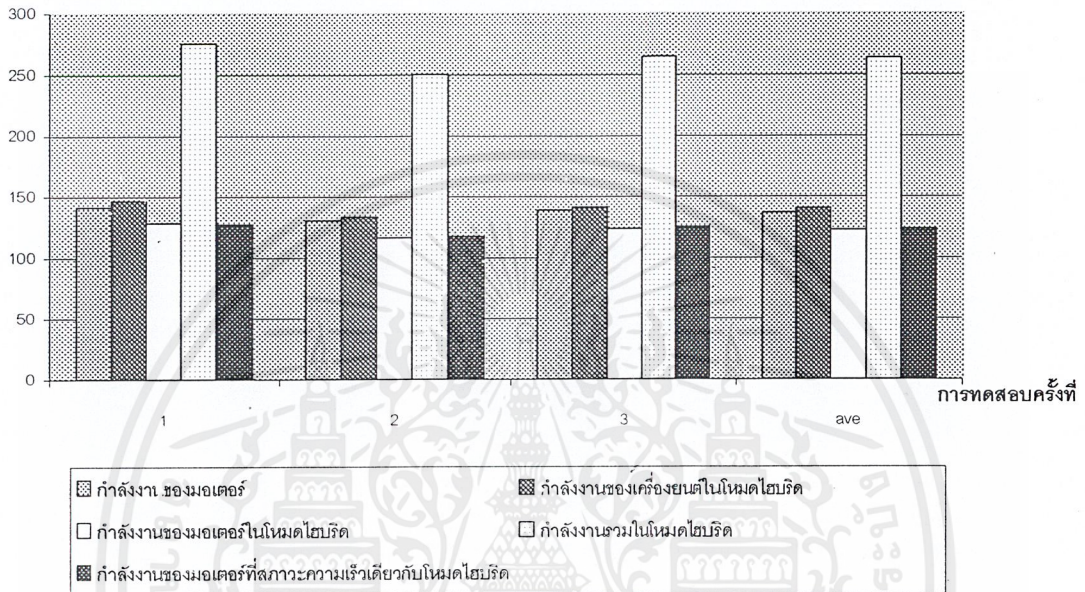


รูปที่ 4.2 กราฟการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโหมคเครื่องยนต์และโหมคไฮบริด

จากกราฟจะเห็นได้ว่า กำลังงานที่ได้จากโหมคไฮบริดมาจากทั้งเครื่องยนต์และมอเตอร์ ซึ่งมากกว่ากำลังงานที่ได้จากโหมคเครื่องยนต์ และถ้าเปรียบเทียบกำลังงานที่สภาวะความเร็วเดียวกัน จะเห็นได้ว่า โหมคเครื่องยนต์ให้กำลังงานเพียง 131.3 วัตต์ ก็สามารถขับเคลื่อนให้รถมีความเร็วเท่ากับ 7.92 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากับความเร็วในโหมคไฮบริด ซึ่งต้องให้กำลังงานถึง 263.5 วัตต์ จึงจะขับเคลื่อนให้รถมีความเร็วเท่ากับ 7.92 กิโลเมตรต่อชั่วโมงได้ แต่อาจจะให้แรงบิดที่มากกว่าโหมคเครื่องยนต์

โหมคไฟฟ้า-ไฮบริด

กำลังงาน (W)



รูปที่ 4.3 กราฟการเปรียบเทียบการสมรรถนะการทำงานของโหมคไฟฟ้าและโหมคไฮบริด

จากกราฟจะเห็นได้ว่า กำลังงานจากโหมคไฮบริดที่ส่งมาขับเคลื่อนรถให้มีความเร็ว 7.92 กิโลเมตรต่อชั่วโมงนั้น มากกว่ากำลังงานที่มอเตอร์ต้องให้ไปขับเคลื่อนที่ความเร็วเดียวกันนี้มาก แต่โหมคไฮบริดน่าจะให้แรงบิดที่สูงกว่าโหมคไฟฟ้า เพราะกำลังที่ใช้ขับเคลื่อนมาจากทั้งเครื่องยนต์และมอเตอร์

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการดำเนินโครงการจัดสร้างและทดสอบรถไฟฟ้าไฮบริดนี้ พบว่าสามารถนำเอาพลังงานจากเครื่องยนต์มาใช้ในการขับเคลื่อนร่วมกันได้ แต่เนื่องจากปัจจัยบางอย่าง ทำให้การทดสอบไม่ได้ตามที่ต้องการ อันเนื่องมาจากปัญหาดังต่อไปนี้

5.1.1 ปัญหาที่เกิดขึ้น

- เครื่องยนต์มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับภาระใช้งาน
- สายพานที่ติดตั้งตึงเกินไปทำให้เครื่องยนต์ ไม่สามารถหมุนฟรีขณะเริ่มเดินเครื่องได้
- เฟลาCVT ที่จัดทำขึ้นโดยการเชื่อมไฟฟ้าคือเฟลาCVT อันเดิม มีการโค้งงอเล็กน้อย ทำให้เกิดปัญหากับแบร์ริง
- แบตเตอรี่ที่ใช้มีน้ำหนักมากทำให้เกิดภาระในการขับเคลื่อนสูง
- เจเนเรเตอร์จะมีปัญหาเมื่อทำงานในรอบสูงๆเป็นเวลานาน
- ในการทดสอบของโหมดไฮบริดได้ทดลองใช้คลัตช์ทางเดียวในการส่งกำลัง พบว่าสามารถนำกำลังจากของเครื่องยนต์และไฟฟ้ามาใช้ร่วมกันได้โดยไม่มีภาระหน่วงกัน แต่มีข้อเสียที่ความไม่แข็งแรงของระบบซึ่งเมื่อทำงานในรอบสูงจะทำให้โซ่หลุด และการทดสอบโดยใช้สายพานพบว่าระบบมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น แต่การทำงานร่วมกันของเครื่องยนต์และมอเตอร์จะเกิดการหน่วงซึ่งกันและกัน
- คาร์บูเรเตอร์ไม่สามารถปรับส่วนผสมของเชื้อเพลิงได้ ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบรถไฟฟ้าไฮบริดโดยส่วนใหญ่เน้นได้สำเร็จลุล่วงไปได้ โดยสามารถหาค่าประสิทธิภาพ ความเร็ว การกินการกระแสมอเตอร์ไฟฟ้า อัตราการประจุไฟฟ้า แรงบิด และอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันซึ่งสามารถนำไปเป็นต้นแบบในการพัฒนารถไฟฟ้าไฮบริดต่อไปในอนาคตได้

5.1.2 การวิจารณ์การทำงานในโหมดต่าง ๆ

โหมดเครื่องยนต์

จากการทดสอบในโหมดของเครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์สามารถทำความเร็วได้สูงสุดที่ 15.5 km/h โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองมาก ทั้งนี้จะเกิดจากการออกแบบระบบส่งกำลังที่ยังไม่ดีพอ ซึ่งทำให้มีภาระอยู่ตลอดเวลาจากความตึงของสายพาน และน่าจะมาจากสภาพของเครื่องยนต์อยู่ในสภาพที่เก่า และคาร์บูเรเตอร์

ที่ไม่สามารถปรับส่วนผสมของเชื้อเพลิงได้ อีกทั้งระบบส่งกำลังโดยใช้สายพานในสภาวะที่มีภาระอาจจะเกิดการสั่นไถลได้ นั่นคือมีประสิทธิภาพต่ำ ทำให้เครื่องยนต์ต้องทำงานหนัก แต่จะได้กำลังส่งไปขับเคลื่อนน้อย

โหมดไฟฟ้า

ในโหมดไฟฟ้ามีความเร็วสูงสุดที่ทำได้คือ 8.7 km/h มีอัตราการใช้กระแสไฟฟ้าที่ 12.9 แอมแปร์ และที่ความดัน 96 โวลต์ โดยความเร็วรอบของมอเตอร์ถูกจำกัดอยู่ที่ประมาณ 1900 รอบต่อนาที ซึ่งน่าจะมีผลอันเนื่องมาจาก แรงดันไฟฟ้ามีเพียง 96 โวลต์ ซึ่งขณะที่ทำการทดสอบนั้นสามารถปรับตัวต้านทานได้จนถึงจุดๆ หนึ่งแล้วความเร็วรอบที่ได้ก็จะไม่เพิ่มขึ้นแม้ว่าจะปรับตัวต้านทานอีกก็ตาม

โหมดไฮบริด

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า กำลังที่ได้จากโหมดนี้จะมาจากทั้งเครื่องยนต์และมอเตอร์ แต่จะใช้กำลังจากเครื่องยนต์มากกว่าเนื่องจากประสิทธิภาพการส่งกำลังที่เพลลา CVT นั้น มีค่าต่ำเนื่องจากต้องส่งผ่านสายพานหลายครั้ง และผ่านคลัตช์แม่เหล็กไฟฟ้าด้วย อีกทั้งในโหมดนี้ความเร็วรอบจากเครื่องยนต์ที่ส่งมาขับเคลื่อน CVT ร่วมกับมอเตอร์นั้นมีความเร็วรอบไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการหน่วงซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดการสูญเสียกำลัง ซึ่งปัญหานี้เกิดจากระบบส่งกำลังที่ไม่ดีพอ ทำให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันสูงคือ 3.6 กิโลเมตรต่อลิตร และใช้กระแสไฟฟ้าที่ 10.9 แอมแปร์ ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยออกแบบระบบส่งกำลังที่มีประสิทธิภาพมากกว่านี้

โหมดประจุไฟฟ้า

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานได้ดีที่สุดที่ความเร็วรอบ 3000 รอบต่อนาที สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 3 แอมแปร์ แต่ก็ถือว่าน้อยมากไม่เพียงพอต่อความต้องการของระบบ ซึ่งต้องการประมาณ 15 แอมแปร์ ทั้งนี้จะมาจากความสามารถของตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เพียงพอต่อความต้องการของระบบ

5.2 สรุปผลการทดสอบ

โครงการรถไฟฟ้าไฮบริดนี้เป็นการจัดทำขึ้น เพื่อใช้ศึกษาการนำเอาพลังงานของเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้ร่วมกัน โดยได้ทำการทดสอบต่างๆ เพื่อให้ได้ทราบถึงความสามารถของรถไฟฟ้าที่ได้จัดทำและจากผลการทดสอบนี้ทำให้สามารถหาข้อมูลของรถไฟฟ้าไฮบริดได้ดังนี้

ข้อมูลจำเพาะของรถไฟฟ้าไฮบริด

- | | |
|--|-----------|
| - ความเร็วของรถในการใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน | 15.5 km/h |
| - ความเร็วของรถในการใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน | 8.76 km/h |
| - ความเร็วของรถในการใช้งานแบบไฮบริด | 7.92 km/h |
| - อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของเครื่องยนต์ | 7.3 km/l |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของโหมคไฮบริด 3.6 km/l
- เวลาที่มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง 2-3 hour
- เวลาการประจุแบตเตอรี่ 8-10 hour

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

- การออกแบบโครงรถควรออกแบบให้สามารถใช้ทำการทดสอบได้ง่าย มีเครื่องมือทดสอบสมรรถนะของรถได้ และมีขนาดใหญ่เพียงพอในการใช้วางอุปกรณ์ต่างๆ
- การออกแบบเครื่องยนต์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้สามารถรับภาระได้เพียงพอ
- การส่งกำลังโดยใช้สายพานควรสามารถปรับความตึงสายพานได้ เพื่อให้เครื่องยนต์สามารถส่งกำลังในการออกตัวได้ดีขึ้น และเครื่องยนต์สามารถเดินเบาโดยไม่มีภาระ
- การบูเรเตอร์ควรสามารถปรับแต่งส่วนผสมเชื้อเพลิงได้

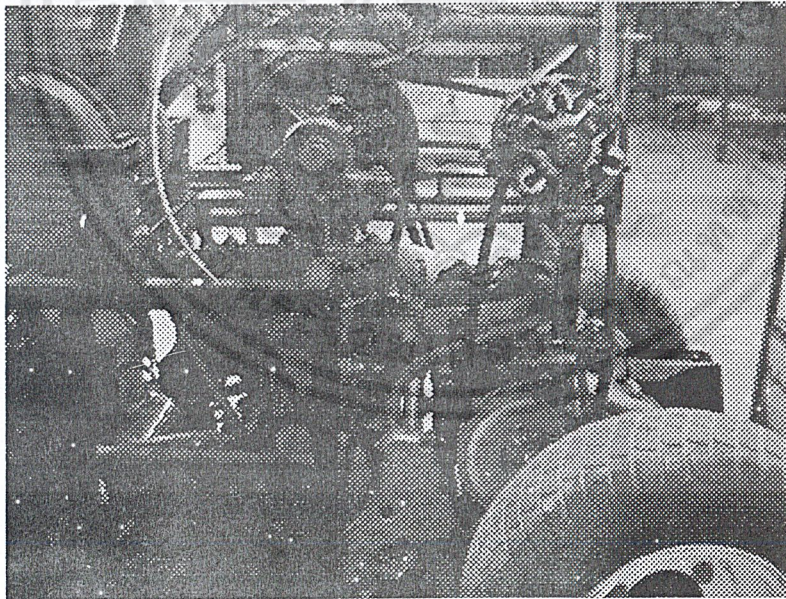


ภาคผนวก

รูปรถไฟฟ้าไฮบริดที่ได้จัดสร้าง

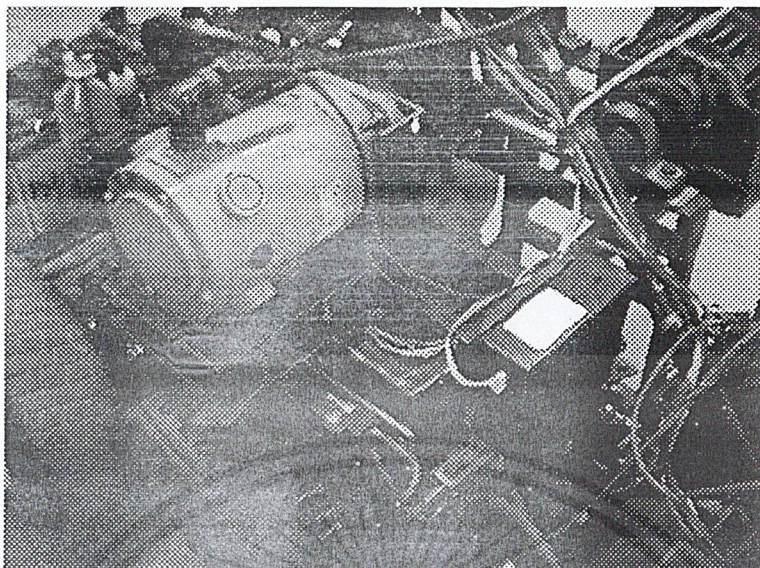


รูปที่ ก-1 การส่งกำลังโดยใช้ CVT

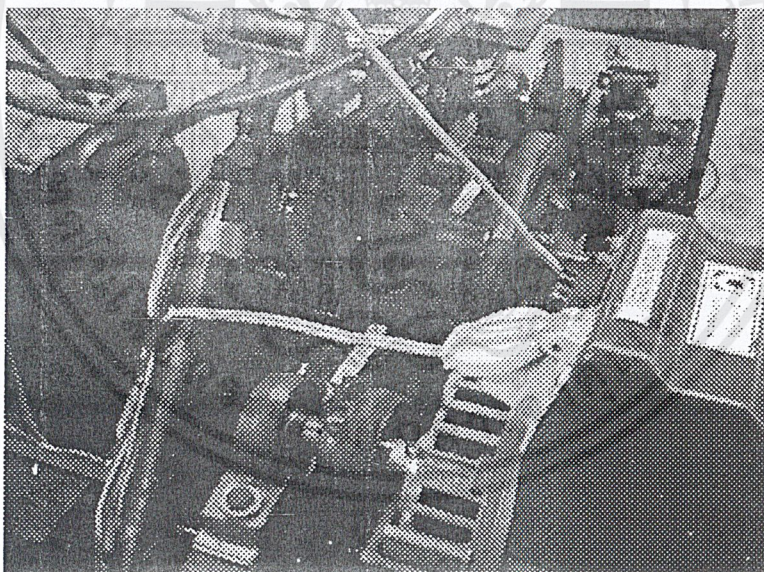


รูปที่ ก-2 การส่งกำลังโดยใช้สายพาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

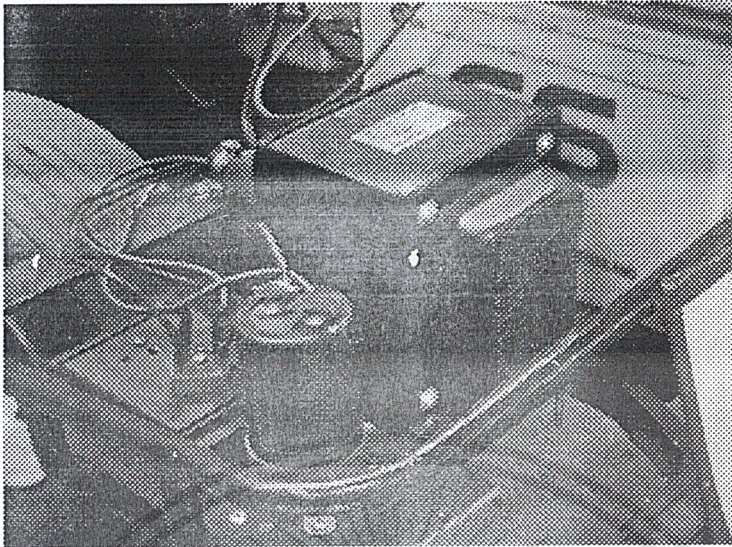


รูปที่ ก-3 มอเตอร์ไฟฟ้าและวงจร Driver

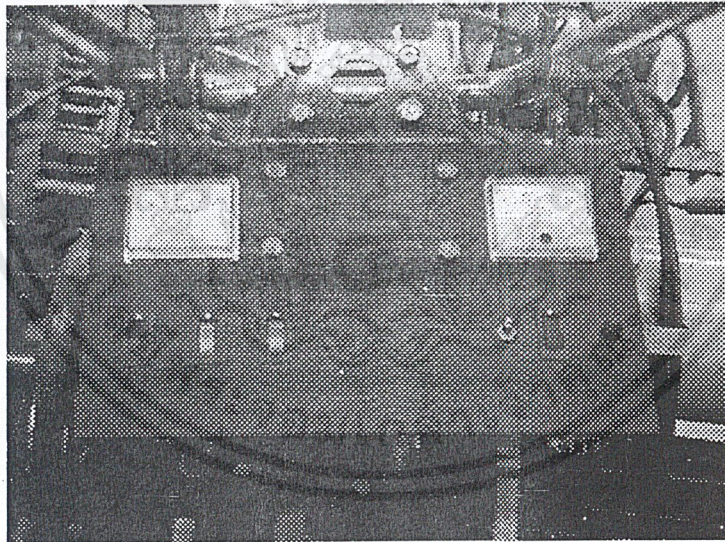


รูปที่ ก-4 เจนเนอเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

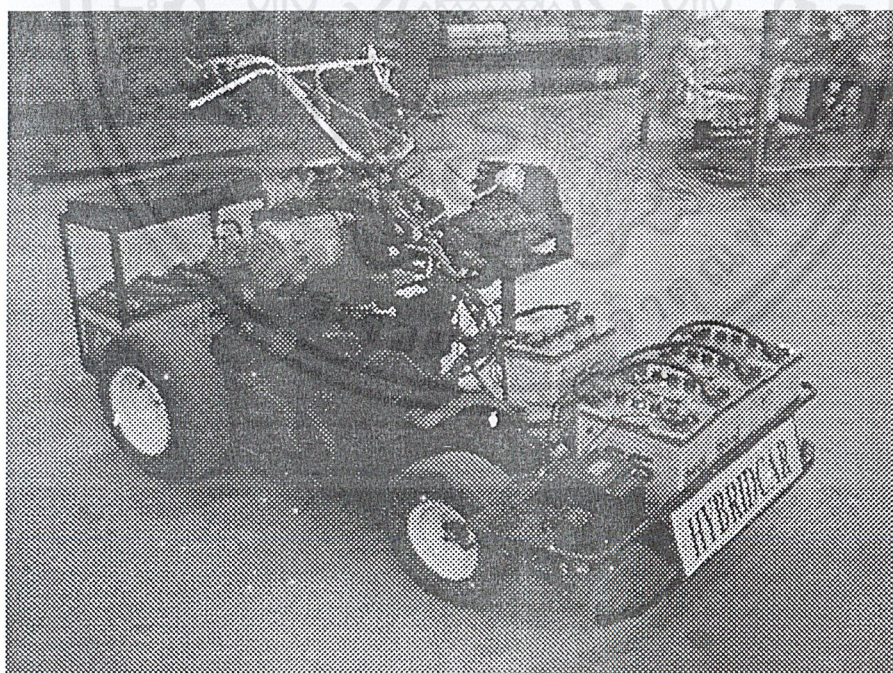
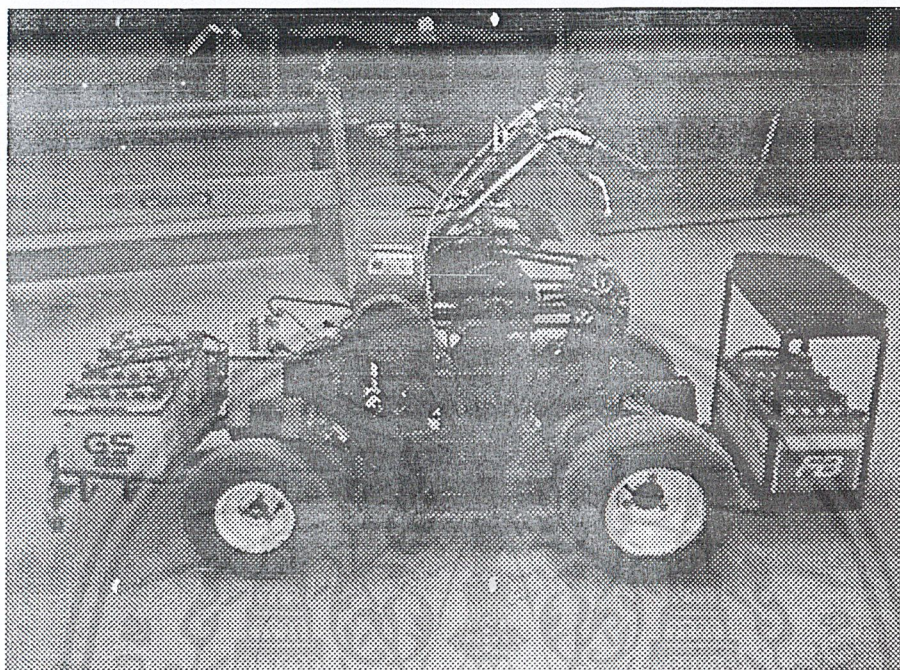


รูปที่ ก-5 หม้อแปลงและวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์



รูปที่ ก-6 แผงการควบคุมรถไฟฟ้าไฮบริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-7 รถไฟฟ้าไฮบริดที่จัดสร้างเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ชีระยุทธ สุวรรณประทีป . หลักการทำงานและซ่อมบำรุงเครื่องรถยนต์. กรุงเทพฯ ฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2541
2. ชีระยุทธ สุวรรณประทีป . วิศวกรรมยานยนต์ภาคคำนวณ . กรุงเทพฯ ฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.
3. บุญศักดิ์ ใจจงกิจ . อนุกรมเครื่องต้นกำลัง 4 มอเตอร์ไฟฟ้า . พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , 2521
4. พงศ์ สุวรรณปิฎก . มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสสลับ . พิมพ์ครั้งที่ 2. 2525
5. โยธิน เปรมปราณีรัชต์ . วิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์ . ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
6. วิริยะ พิเชฐจำเริญ . เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ ฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น , 2535



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้