สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รถยนต์ไฮบริด

HYBRID CAR

T046010

โดย

นาย กมล วารีมณีศิลป์

นาย ณัฐพงษ์ บุญสุวรรณ

นาย เทพนม นาคงาม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46010
วัน, เดือน, ปี 27 ก.พ. 2546

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถยนต์ไฮบริด

HYBRID CAR

ผู้จัดทำ

1.นาย กมล วารีมณีศิลป์ รหัสประจำตัว 41014557

2.นาย ณัฐพงษ์ บุญสุวรรณ รหัสประจำตัว 41014607

3.นาย เทพนม นาคงาม รหัสประจำตัว 41014625

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถยนต์ไฮบริด

กมล วารีมณีศิลป์ รหัสประจำตัว 41014557
ณัฐพงษ์ บุญสุวรรณ รหัสประจำตัว 41014607
เทพนม นาคงาม รหัสประจำตัว 41014625
ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและพัฒนารถยนต์ไฮบริดต้นแบบซึ่งเป็นรถยนต์ที่ใช้แหล่งพลังงานสองชนิด คือเครื่องยนต์สันดาปภายในและมอเตอร์ไฟฟ้า จากระบบเดิมซึ่งแยกการทำงานของเครื่องยนต์สันดาปภายในและมอเตอร์ไฟฟ้าออกจากกันไม่สามารถทำงานร่วมกันได้ มาเป็นระบบที่แหล่งพลังงานทั้งคู่สามารถทำงานร่วมกันได้ในช่วงความเร็วที่กำหนดไว้โดยมีเป้าหมายในการนำพลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้ามาช่วยขับเคลื่อนรถร่วมกับเครื่องยนต์สันดาปภายในซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักและทำการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของระบบส่งกำลังและชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าจากกระแสสลับขนาด10แรงม้าเป็นกระแสตรงขนาด5แรงม้าเพื่อลดน้ำหนักและเพิ่มพื้นที่การใช้งานของรถยนต์ ตลอดจนทำการทดสอบและเก็บบันทึกผลค่าต่างๆของระบบต่างๆที่ประกอบอยู่ในรถยนต์ไฮบริด เพื่อให้ได้รถยนต์ไฮบริดที่มีสมรรถนะ ลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hybrid Car

Kamol Vareemaneesilp
Natthapong Boonsuwan
Teppanom Nakengam
Dr. Chinda Charoenphonphanich Adviser

ABSTRACT

This article presents for a hybrid car. Internal combustion engine and electric motor were used as source energy in orders the hybrid car become most efficient reduces fuel consumption and pollution in the city. Thus hybrid car was environment friendly. In this project, to develop last project system from engine mode and electronic mode to turn into hybrid mode, by design new transmission system, change motor type, test power and specific fuel consumption of hybrid car.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือและร่วมมือจากบุคคลหลายท่านด้วยกันซึ่งบุคลท่านแรกที่ขอขอบคุณก็คือ อาจารย์จินดา เจริญพรพาณิชย์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำแนวทางและช่วยเหลือในการทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ อาจารย์พงษ์ศักดิ์ อาจารย์เมธี และอาจารย์ดำริที่ช่วยแนะนำเกี่ยวกับเรื่องเครื่องยนต์ และเบรคของรถยนต์

ทั้งต้องขอบคุณลุงมณฑาที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือเกี่ยวกับปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงาน โอ๋ ภาคไฟฟ้าที่ช่วยเหลือให้คำปรึกษาเกี่ยวกับด้านไฟฟ้ามาตลอด ขอบคุณพ่อแม่ที่ช่วยให้พวกเรามีวันนี้

สุดท้ายขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ช่วยมอบความรู้และประสบการณ์ที่มีคุณค่ายิ่งตลอด 4 ปีที่ผ่านมา รวมทั้งเพื่อนๆทุกคนที่ช่วยเป็นกำลังใจและช่วยเหลือเรื่องต่างๆจนทำให้งานรถยนต์ไฮบริดในครั้งนี้สำเร็จได้ ขอบคุณมากครับ

กมล วารีมณีศิลป์
ณัฐพงษ์ บุญสุวรรณ
เทพนม นาคงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์การดำเนินงาน	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 หลักการทำงานของรถยนต์ไฮบริด	4
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	4
2.1.1 ส่วนอยู่กับที่ (Stator)	5
2.1.2 ส่วนเคลื่อนที่ (Rotor)	6
2.1.3 ฝาครอบ (End plate)	8
2.1.4 ขดลวดสเตเตอร์ (Stator winding)	8
2.2 หลักการทำงานของอินดั๊กชั่น มอเตอร์	8
2.2.1 ความเร็วและค่าต่างๆ ที่สัมพันธ์กับความเร็วของอินดั๊กชั่นมอเตอร์	8
2.2.2 แรงบิดของอินดั๊กชั่นมอเตอร์	9
2.2.3 กำลังเอ้าพุทที่โรเตอร์	10
2.3 มอเตอร์กระแสตรง	12
2.3.1โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง	12
2.4 สมการพื้นฐานของมอเตอร์(Basic Motor Equation)	17
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและกำลังไฟฟ้า(Relationship between Torque and Power)	17
2.6 แรงดันไฟฟ้าต้านกลับ(Back Electromotive Force; Back EMF	18
2.7 สปีดเรกูเลชัน(Speed Regulation)	19
2.8 ประสิทธิภาพมอเตอร์(Motor Efficiency)	20
2.9 เครื่องยนต์ (ENGINE)	21
2.10 วัฏจักรการทำงาน	21
2.11 วัฏจักรการทำงานสี่จังหวะ	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้าที่
2.12 วัฏจักรการทำงานสองจังหวะ	23
2.13 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์	24
2.14ระบบเชื้อเพลิง	26
2.15 ระบบไอดีและไอเสีย	28
2.16ระบบหล่อลื่น	28
2.17 ระบบหล่อเย็น	29
2.18 การพัฒนาและอนาคตของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน	30
2.19แบตเตอรี่รถยนต์	31
2.20 โครงสร้างแบตเตอรี่	31
2.21 เซลล์แบตเตอรี่	32
2.22 พิกัดแบตเตอรี่	32
2.23 ประสิทธิภาพแบตเตอรี่	32
2.24 การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่	33
2.25 การบำรุงรักษาแบตเตอรี่ประกอบด้วย	33
2.26 การเก็บรักษาแบตเตอรี่	35
2.27 วงจรควบคุมการทำงานในรถไฟฟ้าไฮบริด	36
2.28 หลักการทำงานของวงจรควบคุม	37
2.29 ชุดหม้อแปลงชาร์ตแบตเตอรี่	38
2.30 วงจรประจุไฟ	38
2.31 ระบบตัดต่อการทำงานของวงจรควบคุม	39
บทที่ 3 การออกแบบรถยนต์ไฮบริด	40
3.1ระบบของรถยนต์ไฮบริด	40
3.1.1 ระบบอนุกรม(Series System)	40
3.1.2 ระบบขนาน(Parallel System)	40
3.2 การออกแบบระบบส่งกำลังของรถไฮบริด	42
3.2.1 การส่งกำลังโดยใช้โซ่	42
3.2.2 การออกแบบโซ่	42
3.2.3 การออกแบบเครื่องยนต์	43
3.2.4 การสูญเสียในการส่งกำลัง (Transmission Losses)	44
3.2.5 แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance)	44
3.2.6 แรงต้านอากาศ (Air Resistance)	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

3.2.7 แรงต้านทางชัน 49

3.2.8 แรงขับเคลื่อน 51

3.2.9 อัตราเร็วรถยนต์ 52

3.2.10 กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ 53

3.2.11 การเลือกขนาดของเครื่องยนต์และมอเตอร์ 53

บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบของรถยนต์ไฮบริด 56

4.1 วัตถุประสงค์ 56

4.2 วิธีการทดสอบ 56

4.2.1 การทดสอบเครื่องยนต์ 56

4.2.2 การทดสอบการสิ้นเปลืองน้ำมัน 57

4.2.3 การทดสอบมอเตอร์ 57

4.3 ผลการทดสอบระบบเครื่องยนต์ (โดยใช้เครื่องทดสอบ CHASSIS DYNAMOMETER) 57

4.3.1 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะ 57

4.3.2 กำลังของรถยนต์ 58

4.4 ผลการทดสอบระบบเครื่องยนต์ (วิ่งบนถนนจริงระยะทาง 1 กิโลเมตร) 59

4.5 ผลการทดสอบระบบไฮบริด(โดยใช้เครื่องทดสอบ CHASSIS DYNAMOMETER) 59

4.5.1 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะ 59

4.5.2 กำลังของรถยนต์ 60

4.6 ผลการทดสอบระบบไฮบริด(วิ่งบนถนนจริงระยะทาง 1 กิโลเมตร) 61

4.7 ผลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้า 62

4.8 ผลการทดสอบก๊าซไอเสีย 62

บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทำงาน 64

5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง 64

5.2 สรุปผลการทดลอง 64

5.2.1 ข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ไฮบริด 64

5.2.2 ข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์ไฟฟ้า 65

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข 65

ภาคผนวก 66

บรรณานุกรม 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันไม่ว่าจะในนานาประเทศหรือเมืองไทยเราเองประสบปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อมกันมากขึ้นทุกขณะ ซึ่งนี่เองทำให้ต้องมาย้ำและกล่าวทบทวนกันอยู่หลายครั้งหลายคราวว่าปัญหาเหล่านี้ต้องใช้เวลาในการแก้ไข โดยเฉพาะทางด้านสภาวะเรือนกระจกนั้นเป็นปัญหาที่สำคัญพอสมควร เนื่องจากเป็นต้นเหตุให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นซึ่งยังมีผลกระมบให้ประเทศต่างๆมีภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไป ทั้งยังรวมไปถึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดฝนกรดอีกด้วย ซึ่งต้นเหตุที่ทำให้บรรยากาศของโลกอยู่ในสภาวะเรือนกระจกนั้นก็มีสาเหตุอยู่หลายอย่างด้วยกันไล่ตั้งแต่ป่าไม้ที่เปรียบเสมือนแหล่งฟองอากาศบริสุทธิ์ถูกทำลาย รวมถึงก๊าซพิษต่างๆที่ทำให้ระบบนิเวศน์เสียไปซึ่งเมื่อเอ่ยถึงก๊าซเหล่านี้แล้วก็ยังเป็นที่รู้กันอีกต่อว่าส่วนใหญ่นั้นมาจากการสันดาปของเครื่องยนต์ที่เป็นหัวใจในการขับเคลื่อนยานพาหนะประเภทต่างๆซึ่งในเครื่องยนต์เบนซินนั้นก๊าซไอเสียส่วนใหญ่จะประกอบด้วยคาร์บอนมอนอ็อกไซด์ (CO) , ไฮโดรคาร์บอน (HC) และไนโตรเจนอ็อกไซด์ (Nox) นั่นเอง ดังนั้นเมื่อเกิดปัญหาขึ้นทางรัฐบาลของประเทศต่างๆก็มีมาตราการควบคุมมลภาวะเหล่านี้ให้มีปริมาณน้อยลงไปเรื่อยๆซึ่งมาตราการควบคุมก็ได้ดำเนินมาเป็นระยะเวลานานพอสมควรทีเดียวโดยแต่ละแห่งคือ ประเทศญี่ปุ่น กลุ่มประเทศยุโรป และประเทศอเมริกานั้นก็มีมาตราฐานของก๊าซไอเสียแตกต่างกัน เช่น ในปี คศ. 1900 ทางประเทศญี่ปุ่นได้กำหนดให้ในไอเสียมีก๊าซไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนอ็อกไซด์ไม่ถึง 1 กรัม/กิโลเมตร จากนั้นในปี คศ. 2000 และก่อนกลาง ทศวรรษแรกก็ปรับมาตราฐานให้ต่ำลงอีกสองครั้งด้วยกัน เพื่อให้มาอยู่ในระดับต่ำกว่า 0.01 กรัม/ กิโลเมตร ส่วนทางกลุ่มประเทศยุโรปก็มีการออกมาตราการบังคับใช้มาแล้ว 3 ครั้งด้วยกันคือ ในช่วงก่อนกลางทศวรรษ 90 ใช้มาตราฐาน ECD 1 ที่บังคับให้มีก๊าซไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนอ็อกไซด์ประมาณ 0.5 กรัม/กิโลเมตร จากนั้นราวปี คศ.1998 ก็ใช้มาตราฐาน ECD 2 เพื่อลดก๊าซทั้งสองนี้ให้ต่ำลงกว่า 0.5 กรัม/กิโลกรัม แล้วในปี คศ. 2000 ก็ใช้มาตราฐาน EU-3 ลดก๊าซไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนอ็อกไซด์ให้ลงมาอยู่ในระดับ 0.015 กรัม/กิโลกรัม จากนั้นอีกห้าปีต่อไปก็จะใช้มาตราฐาน EU-4 ให้ปริมาณมลภาวะลดลงไปอีก สำหรับประเทศอเมริกาจะมีมาตราการบังคับให้มีก๊าซเหล่านี้ปริมาณน้อยกว่าอีกคือในราวปี คศ. 1995 กำหนดให้อยู่ในมาตราฐาน TLEV (Transition Low Emission Vehicle) ซึ่งบังคับให้มีก๊าซไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนอ็อกไซด์อยู่ที่ 0.1 กรัม/กิโลกรัม ปี คศ.1997 ได้เปลี่ยนมาในมาตราฐาน LEV (Low Emission Vehicle) ปริมาณก๊าซพิษทั้งสองชนิดจะมีอยู่ที่ไม่เกิน 0.015 กรัม/กิโลกรัม(เท่ากับมาตราฐาน EU-3 ของยุโรป) พอถึงปี คศ.2000 ก็จะลดต่ำลงไปอีกโดยอยู่ในมาตราฐานของ ULEVหรือUltra-Low Emission Vehicle แล้วพอในช่วงกลางทศวรรษหน้าก็จะใช้มาตราฐาน SULEV ซึ่ง S ตัวหน้าก็หมายถึง Super โดยก๊าซไฮโดรคาร์บอนและไนโตรเจนอ็อกไซด์ต้องอยู่ในระดับ 0.01 กรัม/กิโลกรัมและเมื่อพ้นปี คศ. 2010 ในสหรัฐอเมริกาจะบังคับให้ค่ายรถยนต์ผลิตยานพาหนะประเภท ZEV หรือ Zero Emission Vehicle ซึ่งยานพาหนะประเภท ZEV นั้นส่วนใหญ่ก็ใช้พลังงานไฟฟ้ามาขับเคลื่อนซึ่งก็คือรถไฟฟ้านั่นเอง ทั้งนี้มาเมื่อปีสองปีที่ผ่านมานี้เองบางรัฐในอเมริกา เช่น แคลิฟอร์เนีย เป็นต้นก็บังคับให้ค่ายรถต่างๆเริ่มนำยานพาหนะประเภทนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาจำหน่ายควบคู่กับรถยนต์ทั่วๆไปกันแล้วโดยในอนาคตก็ยังจะมีมาตราการบังคับให้เพิ่มสัดส่วนที่ต้องนำรถประเภท ไม่มีมลพิษมาขึ้นโชว์รูมเพื่อจำหน่ายมากขึ้นเป็นลำดับอีกด้วยแต่เมื่อผู้คนได้ถอยมาใช้งานกันแล้วปรากฏว่าไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควรเนื่องจากมีสาเหตุหลายๆอย่างเช่น แม้จะได้ยกเว้นและให้ความช่วยเหลือต่างๆแล้วค่าตัวของรถไฟฟ้ายังสูงกว่ารถยนต์ทั่วๆไปที่ให้การใช้งานในลักษณะเดียวกันและอย่างที่สองก็คือจะมีข้อจำกัดในการใช้งานไม่ว่าจะพิสัยของระยะทางที่วิ่งได้และการใช้เวลาในการอัดไฟเข้าสู่แบตเตอรี่เป็นต้น นี่เองที่แม้ว่าเราจะได้ข่าวความเคลื่อนไหวของการแก้ปัญหาเหล่านี้เช่น การใช้แหล่งพลังงานจากปฏิกิริยาเคมีที่เรียกว่าแบบFuel Cell ที่สามารถกำเนิดกระแสไฟฟ้าแล้วนำมาเก็บในแบตเตอรี่แทนการชาร์จจากภายนอกรถนั้นเป็นหนทางหนึ่งที่ยังต้องใช้เวลาในการพัฒนาและนำออกทดลองวิ่งเพื่อมาใช้งานได้อย่างจริงจัง นอกจากนี้ยังมีค่ายรถหลายๆค่ายที่หันมาเน้นในการพัฒนายานพาหนะที่เรียกว่า Hybrid Car ซึ่งหมายถึงยานพาหนะที่ใช้พลังขับเคลื่อนจากขุมพลังสองประเภทที่ทำงานผสมผสานกันอย่างสอดคล้องอย่างมีประสิทธิภาพโดยในปัจจุบันส่วนใหญ่ก็จะเป็นการนำเครื่องยนต์มาใช้ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อน

1.2 วัตถุประสงค์การดำเนินงาน

1.2.1 ศึกษาการทำงานของระบบต่างๆในรถยนต์ไฮบริดซึ่งประกอบด้วย

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

1.2.2 ค้นคว้าหาแนวทางในการพัฒนารถยนต์ไฮบริดต้นแบบและออกแบบระบบของรถยนต์ไฮบริดโดยมีจุดมุ่งหมายที่จะนำพลังงานจากเครื่องยนต์และ มอเตอร์ไฟฟ้ามาขับเคลื่อนรถยนต์ร่วมกันเพื่อเพิ่มกำลังของรถยนต์และประหยัดเชื้อเพลิง

1.2.3 ทดสอบและบันทึกค่าต่างๆของรถยนต์ไฮบริด

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

ในการศึกษาและจัดทำรถยนต์ไฮบริดในครั้งนี้ เป็นการนำรถยนต์ไฮบริดต้นแบบซึ่งมีระบบการทำงานเพียงสองระบบคือระบบเครื่องยนต์และระบบมอเตอร์ไฟฟ้าเท่านั้น มาพัฒนาโดยการออกแบบระบบส่งกำลังใหม่ให้สามารถใช้งานแบบไฮบริดได้ซึ่งก็คือการนำพลังงานจากเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้ามาขับเคลื่อนรถยนต์ร่วมกันนั่นเอง และจัดทำระบบการประจุไฟฟ้าเพิ่มเติมเข้าไปอีกด้วย

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับรถยนต์ไฮบริดจากแหล่งข้อมูลต่างๆ
2. ศึกษาระบบต่างๆที่มีอยู่ในรถยนต์ไฮบริดต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ออกแบบและคำนวณระบบส่งกำลังที่จะนำมาใช้ในรถยนต์ไฮบริด
4. จัดทำระบบต่างๆซึ่งประกอบอยู่ในรถยนต์ไฮบริด
5. ทำการทดสอบและเก็บบันทึกค่าของระบบต่างๆในรถยนต์ไฮบริด
6. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดทดสอบเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
หลักการทำงานของรถยนต์ไฮบริด

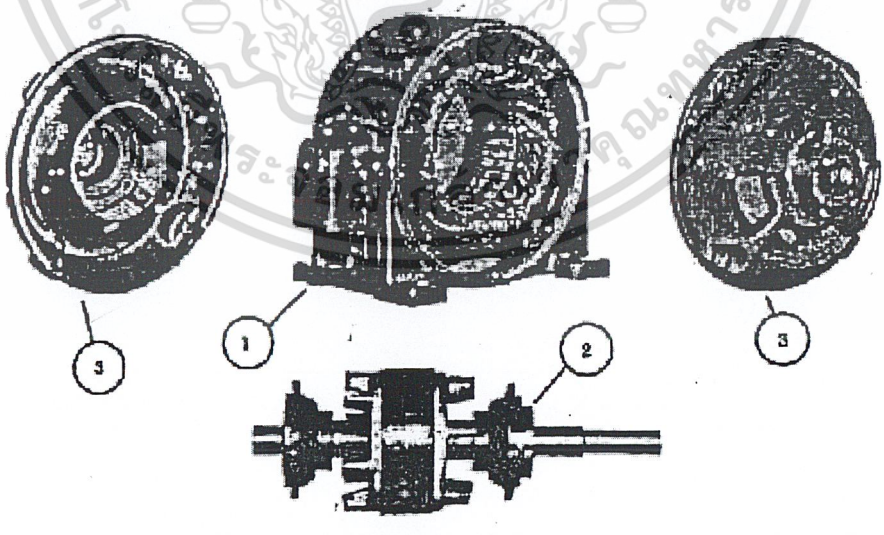
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับมีใช้งานอย่างแพร่หลายตั้งแต่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จนถึงโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก แม้แต่ในบ้านพักอาศัยก็มีใช้กัน ตั้งแต่ขนาดเล็กๆ ไปจนถึงขนาดใหญ่ๆ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับคือเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลนี้ พลังงานไฟฟ้าไม่ได้นำเข้าสู่โรเตอร์ของมอเตอร์โดยตรง แต่ได้จากการเหนี่ยวนำหรือที่เรียกว่า อินดั๊กชั่น (induction) ดังนั้นจึงเรียกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับว่า อินดั๊กชั่นมอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับนี้บางทีเรียกชื่อสั้นๆ ว่ามอเตอร์ไฟสลับ หรือ มอเตอร์กระแสสลับ แบ่งออกได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ แบบที่มีโรเตอร์เป็นสไควเรลเกจ (squirrel cage) หรือกรงกระรอก เรียกมอเตอร์แบบนี้ว่า สไควเรลเกจมอเตอร์ (squirrel cage motor) และแบบที่ครเตอร์พันด้วยเส้นลวดเล็กๆ ที่เรียกว่า วาวด์โรเตอร์ (wound rotor) เรียกมอเตอร์แบบนี้ว่า วาวด์โรเตอร์มอเตอร์ (wound rotor motor) หรือสลิปริงมอเตอร์ (slip ring motor)

มอเตอร์ทั้งสองแบบนี้ จะมีส่วนประกอบคล้ายๆ กันดังนี้คือ ส่วนอยู่กับที่ (stator) เหมือนกัน ฝาครอบ (end plate) เหมือนกัน จะแตกต่างกันก็เฉพาะส่วนเคลื่อนที่ (rotor) เท่านั้น และมอเตอร์ไฟฟ้าสลับหรืออินดั๊กชั่นมอเตอร์นี้ ยังแบ่งออกได้ 2 ชนิดด้วยกันคือ ชนิดหนึ่งเฟส (หนึ่งยก, stngle – phase) และชนิดสามเฟส (สามยก, three – phase)

มอเตอร์ไฟฟ้าสลับทั้งชนิดหนึ่งและชนิดสามเฟสจะมีส่วนประกอบเบื้องต้นเหมือนกันคือ ประกอบด้วยส่วนอยู่กับที่ ส่วนเคลื่อนที่ และฝาครอบ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบเบื้องต้นของมอเตอร์

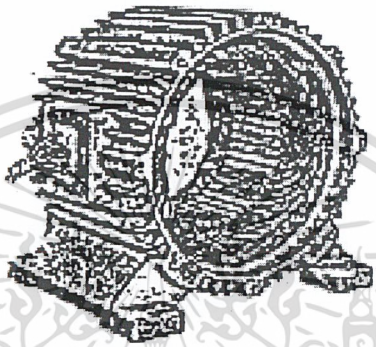
หมายเลข 1 เรียกว่าส่วนอยู่กับที่ หมายเลข 2 เรียกว่าส่วนเคลื่อนที่ หมายเลข 3 เรียกว่า ฝาครอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ส่วนอยู่กับที่ (Stator)

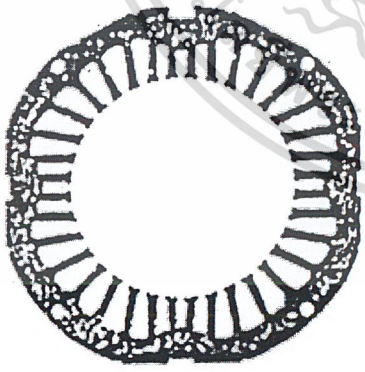
ส่วนอยู่กับที่นี้มักจะเรียกชื่อกันจนติดปากว่า สเตเตอร์และในส่วนนี้ยังประกอบด้วยสิ่งสำคัญดังนี้คือ โครงมอเตอร์ แกนขดลวดและขดลวด

โครงมอเตอร์ (Frame หรือ Yoke) บางทีเรียกสั้นๆ ว่าโครงทำด้วยเหล็กหล่อรูปทรงกระบอกกลวง ฐานส่วนล่างมีลักษณะเป็นขาตั้ง มี กล่องสำหรับต่อสายไฟอยู่ด้านบนหรือด้านข้าง ดังรูปที่ 1.2 โครงทำหน้าที่จับยึดแกนขดลวดให้แน่นอยู่กับที่ ผิวด้านนอกโดยรอบของโครงมอเตอร์บางตัวจะออกแบบให้มีลักษณะเป็นครีบ เพื่อช่วยในการระบายความร้อน

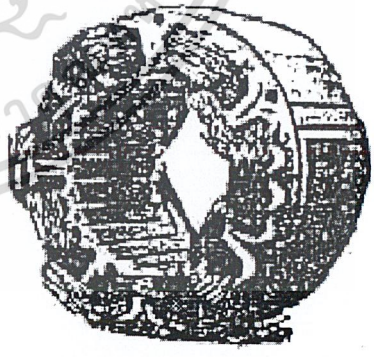


รูปที่ 2.2 โครงมอเตอร์ชนิดมีครีบ พร้อมแกนขดลวดและขดลวดที่พันเสร็จเรียบร้อยแล้ว

แกนขดลวด (stator core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ มีลักษณะกลม เจาะตรงกลางและเซาะร่องภายในโดยรอบ แผ่นเหล็กนี้เรียกว่าแผ่นลามิเนท (laminated sheet) ดังรูปที่ 2.3 แต่ละแผ่นหนา 0.025 นิ้ว แล้วนำเอาแผ่นเหล็กบางเหล่านี้ที่อาบซิลิกอนแล้ว มาอัดเข้าด้วยกันดังรูปที่ 2.4 เรียกว่าแกนขดลวด หรือสเตเตอร์ คอร์ ร่องที่เซาะภายในโดยรอบ เรียกว่า สล๊อท (slots) เป็นที่สำหรับพันขดลวดและแกนขดลวดนี้ทำหน้าที่เป็นทางเดินเส้นแรงแม่เหล็กหรือเป็นวงจรแม่เหล็กด้วย



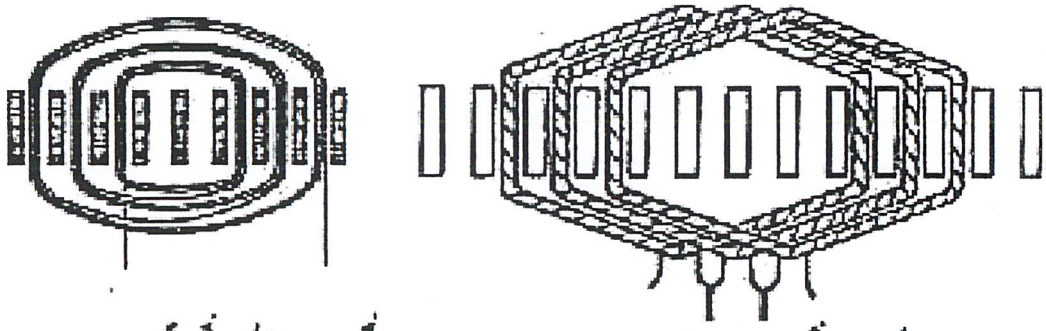
รูปที่ 2.3 แผ่นเหล็กลามิเนท



รูปที่ 2.4 แกนขดลวดและขดลวดสเตเตอร์

ขดลวด (stator winding) ขดลวดที่พันลงในสล๊อทของแกนขดลวดนั้นแตกต่างกันตามชนิดของมอเตอร์ เส้นลวดทองแดงที่ใช้พันเป็นขดลวดนี้ จะเป็นชนิดที่เคลือบด้วยฉนวนไฟฟ้าอย่างดี เช่น น้ำมันวานิช ซึ่งเมื่อแห้งสนิทแล้วจะเป็นฉนวนไฟฟ้าอย่างดี ลักษณะของขดลวดดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



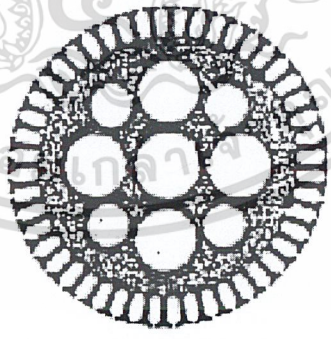
ก. ขดลวดมอเตอร์หนึ่งเฟสแบบหนึ่ง ข. ขดลวดมอเตอร์สามเฟส

รูปที่ 2.5 ลักษณะของขดลวดมอเตอร์

2.1.2 ส่วนเคลื่อนที่ (Rotor)

ส่วนนี้มักจะเรียกว่าโรเตอร์(Rotor) มีสองแบบด้วยกันคือแบบสไควเรลเกจหรือกรงกระรอก (squirrel cage rotor) และแบบวาวด์โรเตอร์ (wound rotor) แต่ละแบบยังประกอบด้วยสิ่งสำคัญต่อไปนี้คือ แกนโรเตอร์ ขดลวด ใบพัด และเพลา

2.1.2.1 โรเตอร์แบบสไควเรลเกจ เป็นโรเตอร์ที่ใช้กับมอเตอร์ไฟสลับหรือมอเตอร์ที่ทำงานด้วยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เรียกว่า อินดั๊กชั่นมอเตอร์ แกนโรเตอร์จะทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ ที่เรียกว่า แผ่นเหล็กลามิเนทหรือแผ่นลามิเนท (laminated sheet steel) เช่นเดียวกับแกนขดลวดของสเตเตอร์ที่ได้กล่าวมาแล้ว มีลักษณะกลม เซาะผิวภายนอกให้เป็นร่องโดยรอบที่เรียกว่า สล๊อท ตรงกลางแผ่นจะเจาะรูสำหรับสอดเพลา บริเวณระหว่างสล๊อทรอบๆ ขอบกับรูกลางแผ่นจะเจาะเป็นรูไว้เพื่อใช้ช่วยในการระบายความร้อน และให้โรเตอร์มีน้ำหนักเบาดังรูปที่ 2.6 เมื่อนำแผ่นลามิเนทเหล่านี้มาอัดเข้าด้วยกัน จะได้แกนโรเตอร์

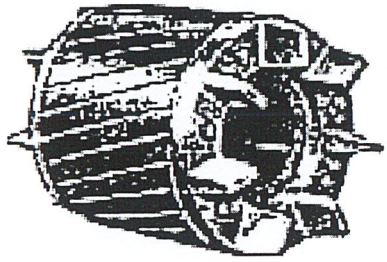


รูปที่ 2.6 ลักษณะแผ่นลามิเนทของแกนโรเตอร์

ขดลวดที่อัดเข้าไปในสล๊อทของแกนโรเตอร์นั่นแทนที่จะทำด้วยลวดทองแดงเส้นเล็กๆ ดังเช่นกรณีของลดลวดสเตเตอร์ แต่จะทำด้วยแท่งอลูมีเนียมหล่อ อัดเข้าไปในสล๊อทให้แน่น แล้วยึดวงแหวนที่มีครีบยื่นออกมาเข้ากับปลายแต่ละข้างของแท่งอลูมีเนียมที่โผล่ออกมาจากสล๊อทเพื่อให้แท่งอลูมีเนียมเหล่านั้นครบวงจรทางไฟฟ้า หรือไม่ก็นำ

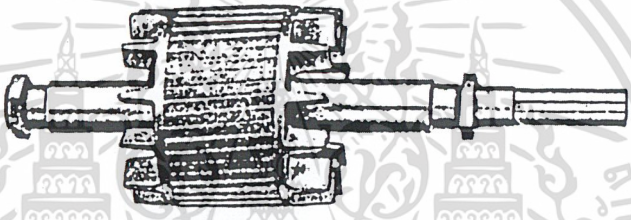
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาแกนโรเตอร์เข้าไปวางไว้ในแบบพิมพ์ (mold) แล้วฉีดอลูมีเนียมเหลวเข้าไป จะได้อลูมีเนียมอัดแน่นอยู่ในสล๊อทจนเต็มและมีครีบยื่นออกไปทั้งสองข้างของแกนโรเตอร์ด้วย

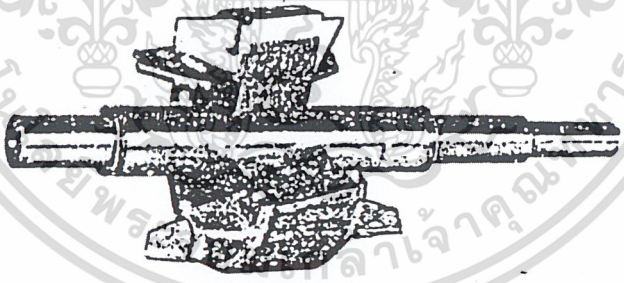


รูปที่ 2.7 แกนโรเตอร์ที่มีตัวนำแท่งอลูมิเนียมอัดอยู่ในสล็อทและแหวนอลูมิเนียมพร้อมครีบยึดติดอยู่

ครีบที่ยื่นออกไปเหล่านี้เรียกว่าใบพัดใช้สำหรับระบายความร้อน และเมื่ออัดเพลาเข้าไปที่รูกลางของแกนแล้ว จะได้แกนโรเตอร์ดังรูปที่ 2.8



ก. แสดงให้เห็นถึงโรเตอร์แบบกรงกระรอกที่ประกอบด้วยแกนโรเตอร์ขดลวด (แท่งอลูมีเนียม) ครีบ (ใบพัด) และเพลา

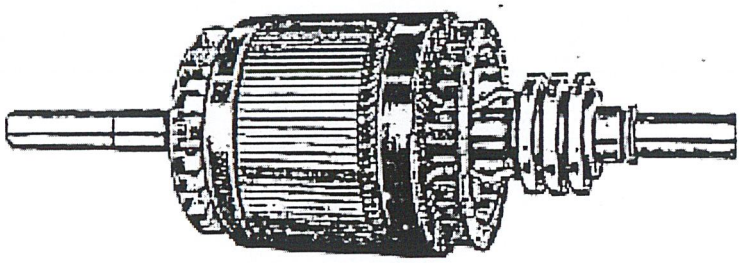


ข. แสดงให้เห็นเพลาที่อัดแน่นอยู่กับแกนโรเตอร์

รูปที่ 2.8 แกนโรเตอร์ของอินดั๊กชั่นมอเตอร์แบบกรงกระรอก

2.1.2.2 โรเตอร์แบบวาวด์ หรือวาวด์โรเตอร์ โรเตอร์แบบนี้มีส่วนประกอบคล้ายๆ กับโรเตอร์แบบกรงกระรอก คือมีแกนโรเตอร์ที่ทำด้วยแผ่นเหล็กลามิเนทอัดติดกัน มีขดลวดซึ่งพันด้วยเส้นลวดทองแดงที่หุ้มด้วยน้ำยาฉนวนไฟฟ้า โดยต่างจากขดลวดของโรเตอร์แบบกรงกระรอกที่ทำด้วยแท่งอลูมีเนียม ใบพัดสำหรับระบายความร้อนยึดติดอยู่หัวท้ายของแกนโรเตอร์และเพลา นอกจากนี้โรเตอร์แบบวาวด์ยังมีแหวนทองแดงที่เรียกว่าสลิปริง (slipping) ต่อร่วมกับปลายวายของขดลวดอีกหนึ่งชุดจำนวน 3 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ลักษณะของโรเตอร์แบบวาวด์ที่มีขดลวดโรเตอร์ ใบพัด สลิปริง และเพลา

2.1.3 ฝาครอบ (End plate)

ทำด้วยเหล็กหล่อ เจาะรูตรงกลางเพื่ออัดแบริ่งรองรับเพลาของโรเตอร์ ที่ฝากครอบนี้บางทีจะเจาะรูไว้ด้วยเพื่อช่วยในการถ่ายเทอากาศ ลักษณะของฝาครอบมอเตอร์จะเห็นได้ในรูปที่ 2.1

2.1.4 ขดลวดสเตเตอร์ (Stator winding)

หมายถึงขดลวดที่พันอยู่ในสล๊อทของแกนขดลวดที่สเตเตอร์หรือสเตเตอร์คอร์ไปถึงขดลวดหรือแท่งอลูมีเนียมที่พันหรืออัดอยู่ในสล๊อทของโรเตอร์

2.2หลักการทำงานของอินดั๊กชั่น มอเตอร์

2.2.1 ความเร็วและค่าต่างๆ ที่สัมพันธ์กับความเร็วของอินดั๊กชั่นมอเตอร์

2.2.1.1 ความเร็วซิงโครนัส ว่าเมื่อป้อนไฟฟ้าให้กับขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์แล้ว จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุน (revolving field หรือ rotating field) ขึ้น ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ป้อนให้ขดลวดมอเตอร์ โดยที่ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนนี้จะแปรผันโดยตรงกับความถี่ของระบบไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์ แต่จะแปรผันเป็นส่วนกลับกับจำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์ตัวนั้น ความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนนี้เรียกว่า ความเร็วซิงโครนัส (synchronous speed, N_s) ซึ่ง

$$Ns = \frac{120f}{P} \qquad (2.1)$$

เมื่อ N_S = ความเร็วซิงโครนัส – รอบต่อนาที

f = ความถี่ของระบบไฟฟ้า – ไซเกิลต่อวินาที

P = จำนวนขั้วแม่เหล็ก – โพล (ขั้ว)

ความเร็วซิงโครนัสของมอเตอร์ไฟสลับที่ความถี่ต่างๆ มีดังนี้

2.2.1.2 ความเร็วโรเตอร์และสลิป (slip) ในความเป็นจริงแล้ว โรเตอร์ของมอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสเสมอ ถ้าโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วซิงโครนัสแล้ว จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่โรเตอร์ จะไม่เกิดกระแสเหนี่ยวนำและจะไม่เกิดแรงบิดขึ้นมา คือโรเตอร์จะไม่หมุนนั่นเอง เมื่อโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วที่ต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัส ความแตกต่างระหว่างความเร็วซิงโครนัส และความเร็วของโรเตอร์นี้เรียกว่าสลิป (slip) หรือความเร็วสลิป (slip speed)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $Slipspeed = Ns - N$ (2.2)

เมื่อจะแสดงค่าสลิปอยู่ในรูปเปอร์เซนต์ ก็หาได้ดังนี้คือ

$$Slip, S = \frac{Ns - N}{Ns} \quad (2.3)$$

หรือ $$\%S = \frac{Ns - N}{Ns} \times 100\% \quad (2.4)$$

เมื่อ N_s = ความเร็วซิงโครนัส รอบต่อนาที

N = ความเร็วโรเตอร์ รอบต่อนาที

ซึ่งค่าสลิปของมอเตอร์ที่ใช้งานทั่วไป ที่โหลดเต็มพิกัดจะมีค่าอยู่ในช่วง 1 – 10 เปอร์เซ็นต์ และความเร็วโรเตอร์ที่ค่าสลิปใดๆ จะมีค่า

$$N = \frac{120f(1-s)}{P} \quad (2.5)$$

2.2.2 แรงบิดของอินดั๊กชั่นมอเตอร์

แรงบิดที่เกิดขึ้นที่โรเตอร์ของมอเตอร์คือแรงที่จะต้านหรือเอาชนะต่อโหลดที่กระทำกับมอเตอร์ หรือหมายถึงแรงที่ทำให้มอเตอร์หมุน จากเรื่องมอเตอร์ไฟตรงแรงบิดที่เกิดขึ้นกับมอเตอร์ไฟตรง จะแปรผันโดยตรงกับกระแสอาร์มาเจอร์ และเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กสเตเตอร์ ในทำนองเดียวกัน แรงบิดของอินดั๊กชั่นมอเตอร์ จะแปรผันโดยตรงกับกระแสโรเตอร์ เส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสเตเตอร์ นอกจากนี้แล้วแรงบิดมอเตอร์ไฟสลับยังขึ้นอยู่กับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของโรเตอร์อีกด้วย

ดังนั้น แรงบิด $T \alpha \phi I_2 \cos \phi_2$

$$= K\phi I_2 \cos\phi_2 \quad (2.6)$$

เมื่อ I_2 = กระแสโรเตอร์ขณะโรเตอร์อยู่กับที่

ϕ = เส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดสเตเตอร์

$\cos \phi_2$ = เพาเวอร์แฟคเตอร์โรเตอร์

ϕ_2 = มุมต่างเฟสของกระแสโรเตอร์กับแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำโรเตอร์

K = ค่าคงที่

2.2.2.1 แรงบิดทำงาน (running torque, T)

เมื่อมอเตอร์หมุนแล้ว แรงเคลื่อนเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนไปโดยขึ้นอยู่กับค่าของสลิป ตลอดจนค่ารีแอ็คแตนซ์ก็ขึ้นอยู่กับค่าสลิปด้วย ดังนั้นสมการแรงบิดทำงานจะสามารถหาได้ดังนี้

$$T_S = \frac{K_1 V^2 R_2}{R_2^2 + X_2^2} \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = T_S \qquad (2.8)$$

ดังสมการ2.8 และสรุปได้ว่า

1. แรงบิดทำงานเมื่อสลิปมีค่าน้อย การที่สลิปมีค่าน้อยหมายความว่า ความเร็วโรเตอร์สูงมากเกือบเท่าความเร็วซิงโครนัส แรงบิดขณะนี้จะมีค่าน้อยมาก

2. แรงบิดทำงานเมื่อสลิปมีค่ามาก การที่สลิปมีค่ามากก็หมายความว่า ความเร็วโรเตอร์ต่ำมาก แตกต่างจากความเร็วซิงโครนัสมาก ขณะนี้แรงบิดจะมีค่าสูงมาก

2.2.3 กำลังเอ้าพุทที่โรเตอร์

เมื่อป้อนไฟสลับให้กับขดลวดสเตเตอร์ จะเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่โรเตอร์ การที่ป้อนไฟฟ้าให้กับมอเตอร์นั้นก็คือ ป้อนกำลังอินพุทให้กับสเตเตอร์ การเหนี่ยวนำให้เกิดไฟฟ้าขึ้นที่โรเตอร์ก็คือ เอ้าพุทของสเตเตอร์ แต่เอ้าพุทของสเตเตอร์จะน้อยกว่าอินพุท ดังนั้นส่วนที่แตกต่างกันระหว่างอินพุทและเอ้าพุทก็คือ ความสูญเสีย (ลอส = Loss) จึงเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

อินพุทของสเตเตอร์ – ลอสของสเตเตอร์ = เอ้าพุทของสเตเตอร์ โดยที่ลอสของสเตเตอร์จะอยู่ในรูปของค๊อปเปอร์ลอส (Copper)

อินพุทของโรเตอร์ = เอ้าพุทของสเตเตอร์

กำลังอินพุทของโรเตอร์จะให้กำลังเอ้าพุทออกมาที่โรเตอร์ในรูปของพลังงานกลคือโรเตอร์หมุน พลังงานกลที่เกิดขึ้นนี้จะมีค่าน้อยกว่าอินพุทของโรเตอร์ ความแตกต่างระหว่างอินพุทของโรเตอร์กับกำลังกลเอ้าพุทของโรเตอร์ก็คือความสูญเสียหรือลอสของโรเตอร์ซึ่งอยู่ในรูปของค๊อปเปอร์ลอส ดังนั้น

เอ้าพุทของโรเตอร์ = อินพุทของโรเตอร์ - ค๊อปเปอร์ลอส

Por = Pir - Cu.losses

เอ้าพุทของโรเตอร์ที่อยู่ในรูปพลังงานไฟฟ้าจะเปลี่ยนเป็นพลังงานกล ทำให้เกิดแรงบิด Tg (gross torque) ขึ้นที่โรเตอร์

นอกจากนี้แล้วขณะที่โรเตอร์หมุน ยังมีความเสียดทานและปะทะลมอีก จึงทำให้เอ้าพุทของโรเตอร์ลดลงไปอีก ดังสมการ

Por = Pir – Cu.losses – Friction and windage losses

ดังนั้นเอ้าพุทของโรเตอร์ขณะนี้จะอยู่ในรูปของพลังงานกล และทำให้เกิดแรงบิด Tsh (shaft torque) ขึ้นมาที่เพลา แรงบิด Tsh ที่เพลาเป็นแรงบิดที่นำไปใช้งาน

ถ้าให้ N = ความเร็วโรเตอร์ในหน่วยรอบ/วินาที

$\therefore$ เอ้าพุทของโรเตอร์, Por = Tg 2π N

$$T_g = \frac{P_{or}}{2\pi N} \qquad (2.9)$$

ถ้าไม่มีค๊อปเปอร์ลอสในโรเตอร์ เอ้าพุทของโรเตอร์จะเท่ากับอินพุทของโรเตอร์และโรเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส

$$T_g = \frac{P_{ir}(watt)}{2\pi N_S} \qquad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเอ้าพุทของโรเตอร์ $= T_g \times 2\pi N$ (2.11)

อินพุทของโรเตอร์ $= T_g \times 2\pi N_S$ (2.12)

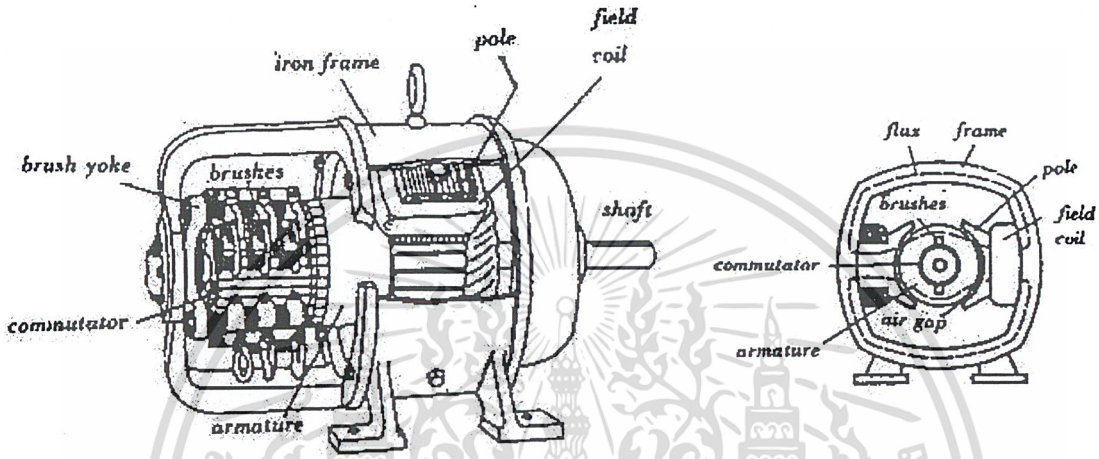
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 มอเตอร์กระแสตรง

2.3.1 โครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนประกอบที่สำคัญ(Main Structural Elements of DC Machine)

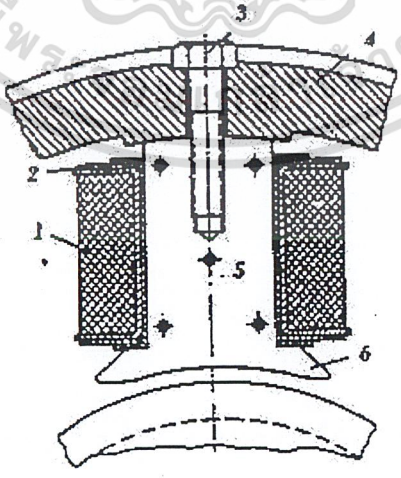
ปกติเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงเพียงเครื่องเดียวอาจเป็นได้ทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้า กล่าวคือ ถ้าได้ รับแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกจะทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า แต่ถ้าได้รับพลังงานกลจากภายนอกจะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่2.10 แสดงโครงสร้างของเครื่องกลไฟฟ้า

1.ขั้วสนามแม่เหล็ก(Field Poles)

ขั้วสนามแม่เหล็กเป็นส่วนที่สร้างฟลักแม่เหล็ก เมื่อตัวนำในอาร์มาเจอร์หมุนตัดผ่านฟลักแม่เหล็กนี้จะเกิดการเหนี่ยวนำขึ้น



รูปที่2.11 ส่วนประกอบโครงสร้างของขั้วสนามแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบโครงสร้างของขั้วสนามแม่เหล็ก มีดังนี้

หมายเลข 1 ขดลวดสนามแม่เหล็ก(Field Coil) ทำจากลวดทองแดงมีหน้าที่สร้างอำนาจแม่เหล็กหลังการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดนี้

หมายเลข 2 ฉนวนรองรับขดลวดสนามแม่เหล็ก ทำจากวัสดุเช่นกระดาษบางๆหรือพลาสติกที่ทำให้เกิดการซึมซาบจากยางสนหรือผ้า เป็นต้น มีหน้าที่รองรับขดลวดสนามแม่เหล็ก ในปัจจุบันการออกแบบเครื่องกลไฟฟ้าขนาด เล็กจะไม่มีฉนวนรองรับขดลวดสนามแม่เหล็ก

หมายเลข 3 สกรูยึด(Speial Bolt) ทำหน้าที่ยึดขั้วแม่เหล็กให้ติดกับเปลือกหรือโครงเหล็ก

หมายเลข 4 เปลือกหรือโครงเหล็ก(Frame or Yoke) ทำหน้าที่ยึดส่วนประกอบต่างๆของเครื่องกลไฟฟ้า

หมายเลข 5 แกนขั้วแม่เหล็ก(Pole core or laminated core) ทำจากแผ่นโลหะบางๆเพื่อลดความสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวน(Eddy current loss) แกนขั้วแม่เหล็กทำหน้าทำหน้าที่สร้างฟลักแม่เหล็กเมื่อได้รับการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าจากขดลวดสนามแม่เหล็ก

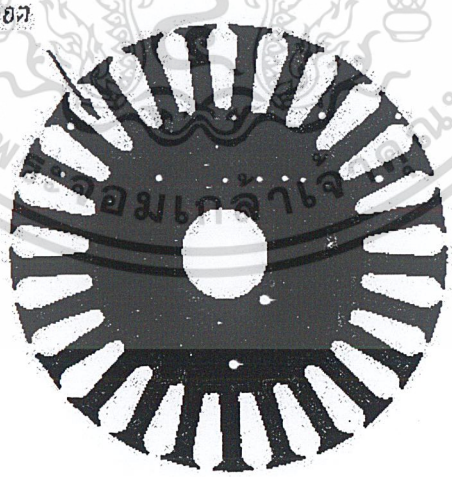
หมายเลข 6 ปลายขั้วแม่เหล็ก(Pole Shoe) เป็นส่วนที่อยู่ใกล้อาร์มาเจอร์มากที่สุด โดยมีช่องอากาศ(Air gap)เป็นตัว คั่นกลางปลายขั้วแม่เหล็กจะมีส่วนที่ยื่นออกมาเพื่อให้ฟลักแม่เหล็กไหลผ่านได้สะดวก

2.แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core)

แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ทำจากแผ่นเหล็กบางๆแต่ละแผ่นอาบน้ำยาวาณิชหรือกั้นด้วยกระดาษแล้วนำไปอัดเป็นรูปแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ สาเหตุที่ต้องใช้แผ่นลามิเนตทำแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ก็เพื่อลดความสูญเสียเนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลวนที่เกิดขึ้นในตัวอาร์มาเจอร์เอง

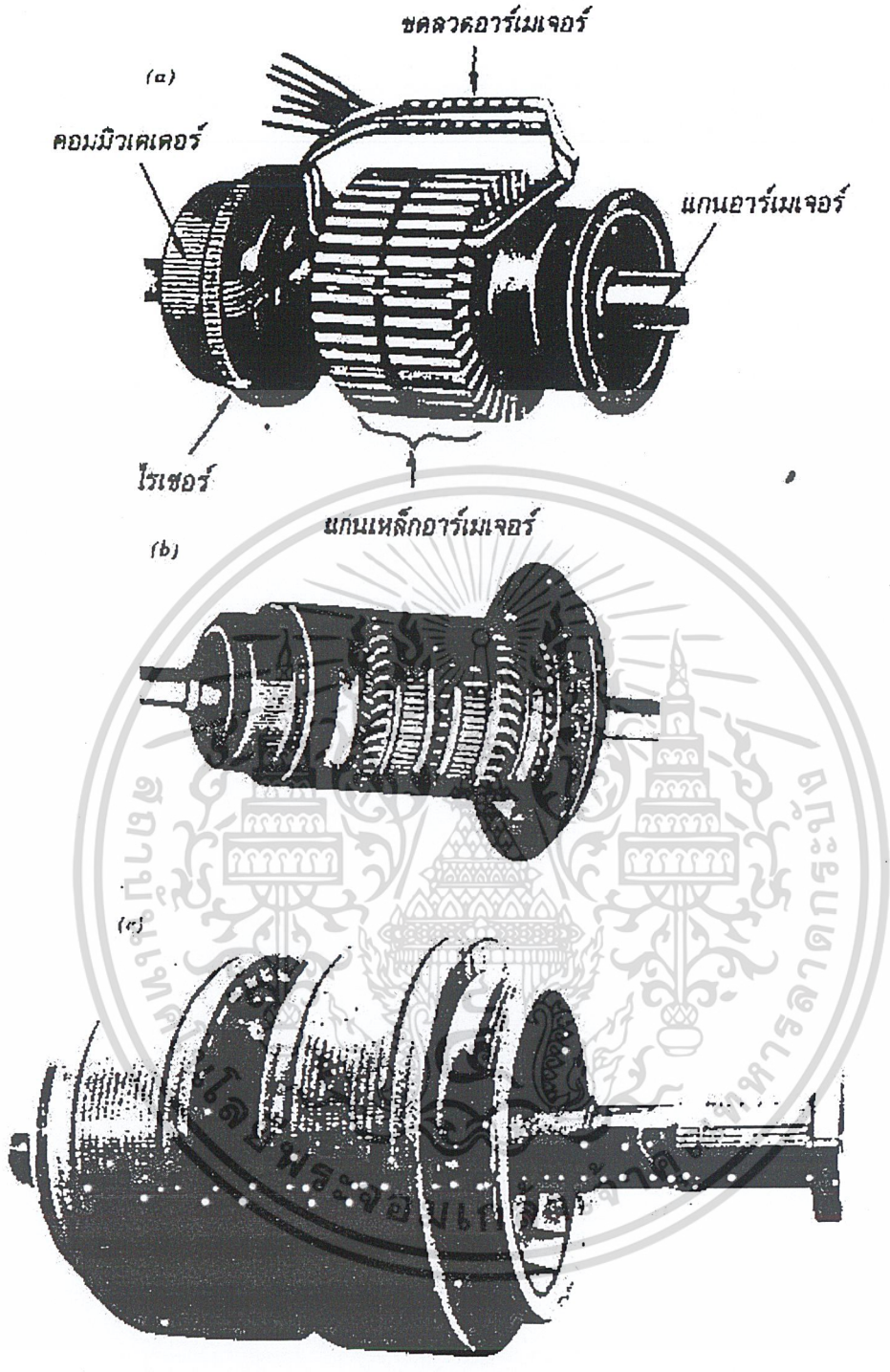
แกนเหล็กอาร์มาเจอร์จะมีร่องสลอตมากมายสำหรับฝังขดลวดตัวนำลงไปในร่องนี้

ร่องสลอต



รูปที่2.12 ร่องสลอต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 a เป็นรูปขณะพันขดลวดลงร่องสลอตของอาร์มาเจอร์

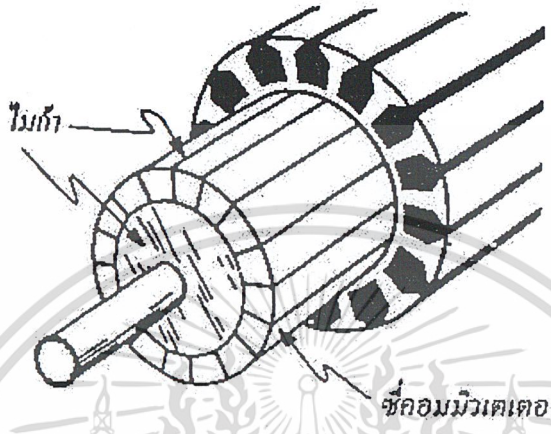
b แสดงให้เห็นอาร์มาเจอร์เมื่อพันขดลวดและประกอบเสร็จแล้ว

c เป็นอาร์มาเจอร์ที่ใช้กับเครื่องกลไฟฟ้าที่มีกำลังสูง ประกอบด้วยอาร์มาเจอร์ 2 ทุ่นแกนอาร์มาเจอร์แกนเดียวกันอยู่บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.คอมมิวเตเตอร์ (Commutater)

คอมมิวเตเตอร์ประกอบด้วยซี่ทองแดงหลายๆซี่อัดกดด้วยความร้อนแล้วนำไปกลึงผิวให้เป็นรูปทรงกระบอกซี่คอมมิวเตเตอร์แต่ละซี่คั่นด้วยแผ่นฉนวนไมก้าเพื่อไม่ให้ต่อถึงกัน



รูปที่ 2.14 คอมมิวเตเตอร์

คอมมิวเตเตอร์มีหน้าที่ 2 อย่าง คือ

-ทำหน้าที่รับและเรียงแรงดันไฟฟ้าจากขดลวดอาร์มาเจอร์ เพื่อส่งไปยังแปลงถ่านขณะที่เครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

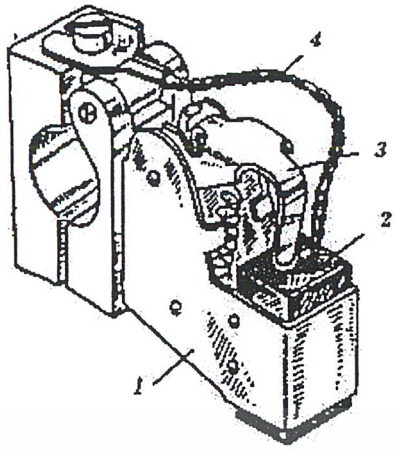
- ทำหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้าจากแปลงถ่านเพื่อส่งไปยังขดลวดอาร์มาเจอร์ขณะที่เครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่ เป็นมอเตอร์

4.แปรงถ่านและที่ยึดแปรงถ่าน(Brush and Brush Holder)

แท่งแปรงถ่านอาจทำจากส่วนผสมของคาร์บอนกับกราไฟต์หรือคาร์บอนกับทองแดง

เมื่อเครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แปรงถ่านจะทำหน้าที่รวบรวมกระแสไฟฟ้าจากซี่คอมมิวเตเตอร์ ส่งไปสู่วงจรภายนอก และเมื่อเครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ แปรงถ่านจะทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าจากวงจรภายนอกส่งไปยังคอมมิวเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แปรงถ่านและที่ยึดแปรงถ่าน

หมายเลข 1 กล่องใส่แปลงถ่าน(Brush-Holder Box)

หมายเลข 2 แท่งแปลงถ่าน (Brush)

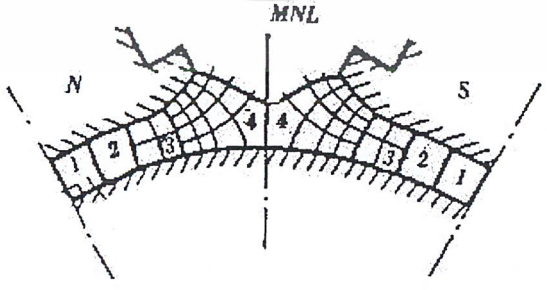
หมายเลข 3 สปริงแรงอัด(Pressure Spring)ทำหน้าที่กดแปลงถ่านให้สัมผัสกับพื้นผิวของคอมมิวเตเตอร์

หมายเลข 4 หางเปียแปลงถ่าน(Brush Pigtail) เป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าที่ถูกส่งเข้ามายังแปลงถ่านหรือถูกส่งออกจากแปลงถ่านสู่วงจรภายนอก

เมื่อเครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แปลงถ่านจะทำหน้าที่รวบรวมกระแสไฟฟ้าจากซี่คอมมิวเตเตอร์ส่งไปสู่วงจรภายนอกและเมื่อเครื่องกลไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นมอเตอร์ แปลงถ่านจะทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าจากวงจรภายนอกส่งไปยังคอมมิวเตเตอร์

5.ตำแหน่งติดตั้งแปลงถ่าน

ตำแหน่งติดตั้งแปลงถ่านต้องเป็นตำแหน่งที่ไม่มีการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าในตัวอาร์เมเจอร์ที่หมุนตัดผ่าน เพราะถ้าเกิดการเหนี่ยวนำจะเกิดการสปาร์คหรือเกิดประกายไฟบริเวณจุดสัมผัสระหว่างแปรงถ่านกับซี่คอมมิวเตเตอร์ขณะแปรงถ่านสัมผัสซี่คอมมิวเตเตอร์ 2 ซี่ ดังนั้นจึงติดตั้งแปรงถ่านไว้ระหว่างกึ่งกลางขั้วแม่เหล็กเหนือหรือใต้ เพราะที่จุดกึ่งกลางนี้จะมีความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็กที่เกิดขั้วแม่เหล็กน้อยมาก



รูปที่ 2.16 แสดงความหนาแน่นของฟลักบริเวณขั้วแม่เหล็กทั้งสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รูป 2.16 แสดงให้เห็นความหนาแน่นของฟลักบริเวณขั้วแม่เหล็กทั้งสอง(เหนือและใต้) ที่บริเวณ1,2 และ 3 จะมี ความหนาแน่นของฟลักแม่เหล็กมาก แต่บริเวณ 4 ความหนาแน่นของฟลักมีน้อย บริเวณจุดกึ่งกลางระหว่างขั้วแม่ เหล็กทั้งสองนี้เรียกว่าแนวเส้นสะเทินสนามแม่เหล็ก(Magnetic neutral Line, MNL)

2.4 สมการพื้นฐานของมอเตอร์(Basic Motor Equation)

สมการแรงบิด พื้นฐาน

$$T = KI_a\phi \tag{2.11}$$

เมื่อ T = แรงบิดที่มอเตอร์

K = ค่าคงที่พารามิเตอร์ทางกายภาพของมอเตอร์

ϕ= ฟลักแม่เหล็กต่อขั้ว

I_a =กระแสไฟฟ้าที่อาร์มาเจอร์

สมการ1 เป็นสมการแรงบิดพื้นฐานทางไฟฟ้าอาจกล่าวได้ว่า แรงบิดมอเตอร์เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่อาร์มาเจอร์(I)และฟลักแม่เหล็กที่เกิดจากแกนเหล็ก(ϕ)

ในทำนองเดียวกันเราสามารถเขียนสมการพื้นฐานหรืออัตราเร่งได้ดังนี้ คือ

$$\alpha = \frac{T}{J} \tag{2.12}$$

เมื่อ T = แรงบิดที่มอเตอร์

α= อัตราเร่ง(Acceleration)

J=โมเมนต์ความเฉื่อย(Moment of Inertia)

จากความสัมพันธ์สรุปได้ว่าการที่มอเตอร์จะหมุนได้นั้นต้องมีอัตราเร่ง(α)มากกว่าความเฉื่อยในการหมุนตัว(J)ของอาร์มาเจอร์

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและกำลังไฟฟ้า(Relationship between Torque and Power)

Output ของมอเตอร์อาจเป็นแรงบิด(T)หรือกำลังไฟฟ้า(P)ก็ได้ Pจะอยู่ในรูปปริมาณของพลังงานไฟฟ้า(แรงดันไฟฟ้าคูณด้วยกระแสไฟฟ้า) ส่วน T อยู่ในรูปพลังงานกล(การหมุนตัว)ดังสมการ 2.11 แต่ถ้ารู้ค่าใดค่าหนึ่ง(P หรือ T)ก็จะสามารถคำนวณหาอีกค่าหนึ่งได้

ระบบอังกฤษ $$T = \frac{7.04P}{S} \tag{2.13a}$$

ระบบ SI $$T = \frac{1000P}{\omega} \tag{2.13b}$$

เมื่อ T = Output Torque

P = Output Power

S = ความเร็วรอบในระบบอังกฤษ

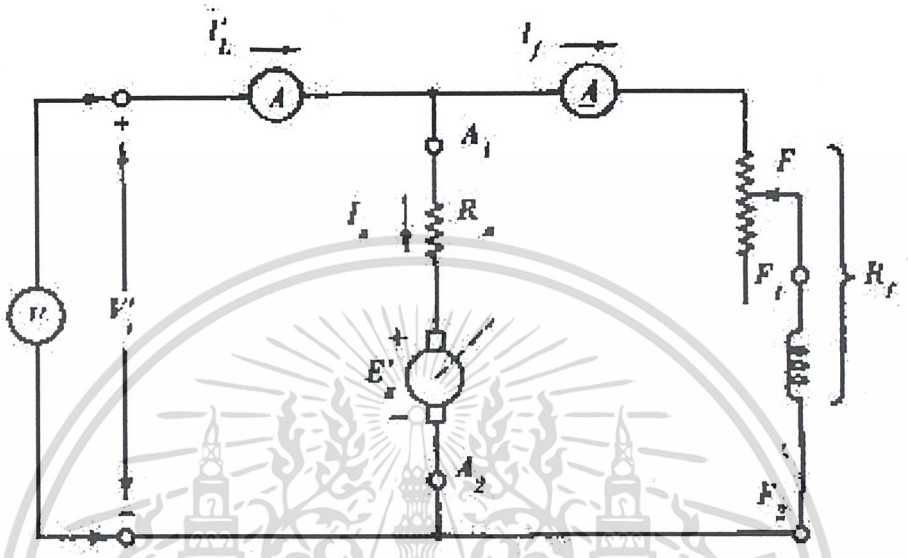
ω = ความเร็วรอบในระบบ SI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46010

2.6 แรงดันไฟฟ้าต้านกลับ(Back Electromotive Force; Back EMF)

ถ้าจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้อาร์มาเจอร์ จะเกิดไฟฟ้าไหลในอาร์มาเจอร์ ซึ่งจะสร้างแรงขึ้นและส่งผลให้เกิดแรงบิด(torque)จึงทำให้มอเตอร์หมุนได้ ขณะที่มอเตอร์หมุนมีแรงดันไฟฟ้าที่อาร์มาเจอร์ส่วนหนึ่งที่มีทิศตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์ เราเรียกแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ(Back EMF)



รูปที่ 2.17 วงจรแสดงแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ

สมการ 2.12 ทำให้ทราบว่าแรงบิดที่จะทำให้มอเตอร์หมุนได้นั้นจะต้องเกิดอัตราเร่ง(α)เพื่อเอาชนะความเฉื่อยให้ ได้ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้มอเตอร์(ดังรูป2.17)เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำและเกิดแรงบิด ส่งผลให้เกิดอัตราเร่งเพื่อหมุนให้อาร์มาเจอร์อย่างต่อเนื่องเช่นกันจนกระทั่งมอเตอร์มีความเร็วรอบคงที่ นั่นคืออัตราเร่งเท่ากับศูนย์ แรงบิดจะเป็นศูนย์ด้วย เมื่อเป็นเช่นนี้จึงสันนิษฐานได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่อาร์มาเจอร์กลายเป็นศูนย์ แต่เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ายังคงถูกจ่ายให้มอเตอร์อยู่ เราจึงสันนิษฐานว่า มีแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดอาร์มาเจอร์ที่มีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้เราเรียกว่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ

ขณะมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในอาร์มาเจอร์มีค่าเป็นศูนย์นั้น ตามความเป็นจริงแล้วกระแสส่วนนี้จะไม่เป็นศูนย์ แต่จะมีอยู่จำนวนหนึ่งเพื่อสร้างแรงบิดมาหักล้างความฝืดของมอเตอร์ ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์(V_t) จะต้องมากกว่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ(E_g)ดังสมการ

$$E'_g = V'_t - I_a R_a \qquad (2.14)$$

เมื่อ E'_g = Back EMF

V'_t=แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์

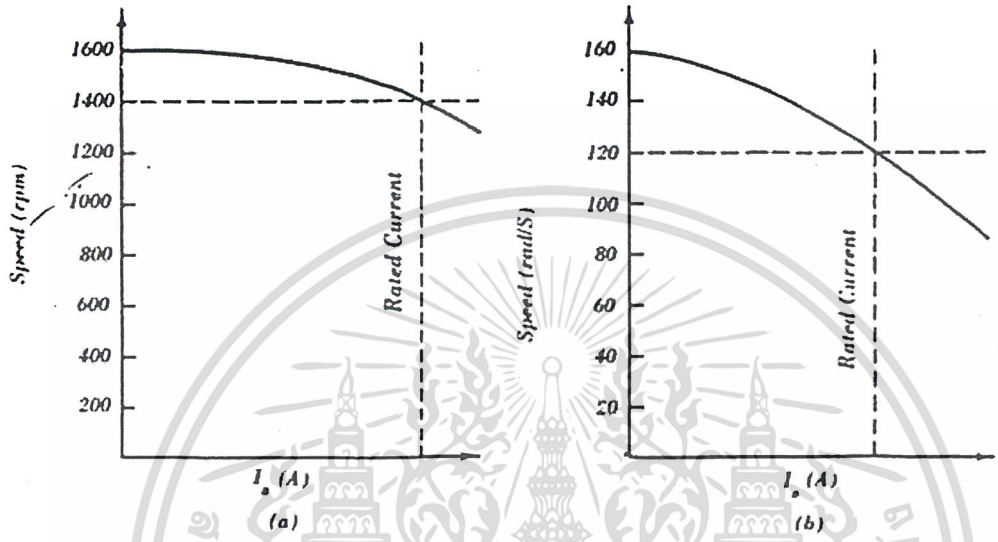
I_a =ที่กระแสไฟฟ้าที่อาร์มาเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_a=ความต้านทานของขดลวดอาร์มาเจอร์

2.7 สปีดเรกูเลชัน(Speed Regulation)

ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเราจะใช้ voltage regulation เป็นตัวชี้ให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว(terminal voltage) เปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใดขณะที่เปลี่ยนจากสภาพไม่มีโหลดเป็นสภาพจ่ายโหลดเต็มที่ ส่วนมอเตอร์นั้นก็มีตัวชี้ให้เห็นว่าความเร็ว รอบของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด ขณะที่เปลี่ยนจากสภาพไม่มีโหลดเป็นสภาพขับโหลดเต็มที่ ซึ่งเราเรียกว่า (Speed Regulation)



รูป 2.18 แสดงคุณลักษณะของมอเตอร์ขณะขับโหลด(Load Characteristics)

รูป 2.18 แสดงให้เห็นคุณลักษณะของมอเตอร์ขณะขับโหลด(Load Characteristics) ในระบบอังกฤษและแสดงให้เห็นคุณลักษณะของมอเตอร์ขณะขับโหลดในระบบSI จะเห็นว่าขณะขับโหลด ความเร็วรอบของมอเตอร์จะลดลงจากความเร็วรอบขณะหมุนตัวเปล่าหรือไม่มีโหลด

Speed Regulation จะสามารถคำนวณได้จากสมการ

ระบบอังกฤษ

$$\%Speed\ \text{Re}\ gulation = \frac{(S_{NL} - S_{FL})}{S_{FL}} \times 100 \qquad (2.15)$$

ระบบ SI

$$\%Speed\ \text{Re}\ gulation = \frac{(\omega_{NL} - \omega_{FL})}{\omega_{FL}} \times 100 \qquad (2.16)$$

เมื่อ S_{NL} = ความเร็วรอบขณะไม่มีโหลด(ระบบอังกฤษ)

S_{FL} = ความเร็วรอบขณะขับโหลดเต็มที่(ระบบอังกฤษ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ϖ_{NL}= ความเร็วรอบขณะไม่มีโหลด(ระบบ SI)

ϖ_{FL}= ความเร็วรอบขณะขับโหลดเต็มที่(ระบบ SI)

2.8 ประสิทธิภาพมอเตอร์(Motor Efficiency)

Input ของมอเตอร์เป็นพลังงานไฟฟ้าและ output Input ของมอเตอร์จะเป็นพลังงานกล การเปลี่ยนแปลงพลังงานที่เกิดขึ้นที่อาร์มาเจอร์ก็คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นให้เป็นพลังงานกลนั่นเอง ดังนั้นจะได้

$$\eta(\%) = \frac{P_O}{P_I} \times 100 \tag{2.17a}$$

เมื่อ

$$P_O = P_I - losses \tag{2.17b}$$

ดังนั้น

$$\eta(\%) = \frac{P_I - losses}{P_I} \times 100 \tag{2.18}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 เครื่องยนต์ (ENGINE)

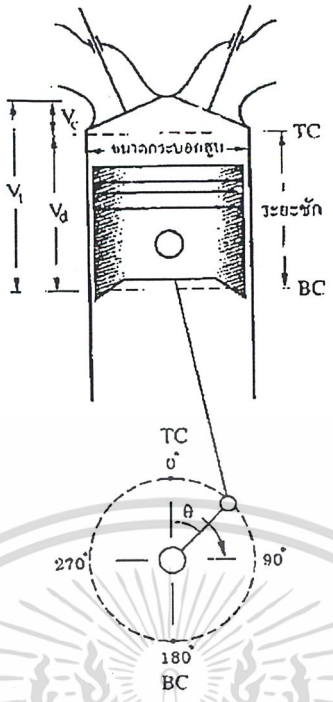
เครื่องยนต์ เป็นคำที่มักใช้เรียกอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นงานและกำลัง โดยทั่วไปพลังงานความร้อนจะได้จากการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิง เครื่องยนต์เผาไหม้(combustion engine) หรือเครื่องยนต์ความร้อน(heat engine) นี้จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1) เครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอก (external combustion engine) เป็นเครื่องยนต์ที่นำเอาผลของการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิงให้ถ่ายเทความร้อนไปยังของไหลชนิดที่สองซึ่งใช้เป็นสารทำงานสำหรับผลิตกำลัง ดังนั้นสารทำงานและสารที่เกิดจากการเผาไหม้จึงเป็นของไหลคนละชนิดและถูกแยกจากกันโดยผนังนำความร้อน สารที่เกิดจากการเผาไหม้จึงไม่สัมผัสกับชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ของเครื่องยนต์ เครื่องยนต์เผาไหม้ภายนอกนี้ได้แก่ เครื่องจักรไอน้ำ (steam engine) กังหันไอน้ำ (steam turbine) และเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling engine)
2) เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน (internal combustion engine) เป็นเครื่องยนต์ที่นำเอาผลของการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิงไปใช้เป็นสารทำงานสำหรับผลิตกำลังงานโดยตรง เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในนี้ได้แก่ เครื่องยนต์ลูกสูบ (piston engine) เครื่องยนต์โรตารี (rotary engine) กังหันแก๊ส (gas turbine) และเครื่องยนต์จรวด (rocket engine) จะเน้นเนื้อหาเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในแบบลูกสูบเป็นหลักเนื่องจากเครื่องยนต์แบบนี้มีข้อดี คือ
   - มีประสิทธิภาพสูง
   - อัตราส่วนของน้ำหนักต่อกำลังต่ำ
   - มีกลไกที่ง่าย มีความแข็งแรงและคงทน จึงนิยมใช้กันมากที่สุด

2.10 วัฏจักรการทำงาน

เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในแบบลูกสูบ ทั้งเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟและเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดจะทำงานตามวัฏจักรการทำงาน 4 จังหวะหรือ 2 จังหวะ ในขณะที่เครื่องยนต์แบบลูกสูบจะเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในกระบอกสูบและถ่ายทอดกำลังผ่านก้านสูบไปยังเพลาข้อเหวี่ยง(ตามรูป2.19) ซึ่งการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกสูบนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง เมื่อลูกสูบไปหยุดที่ตำแหน่งบนสุดซึ่งเรียกว่าตำแหน่งศูนย์บน (top dead center, TDC) ปริมาตรของกระบอกสูบจะน้อยที่สุดซึ่งเรียกว่าปริมาตรช่องวาง (clearance volume, Vc) และเมื่อลูกสูบไปหยุดที่ตำแหน่งล่างสุดซึ่งเรียกว่า ตำแหน่งศูนย์ตายล่าง (bottom center, BC) หรือตำแหน่งศูนย์ตายล่าง (bottom dead center, BDC) ปริมาตรกระบอกสูบจะมากที่สุดซึ่งเรียกว่า ปริมาตรรวม (total volume, Vt) โดยปริมาตรที่ถูกกวาดโดยลูกสูบระหว่างปริมาตรรวมและปริมาตรช่องว่างก็คือ ปริมาตรกระจัด (displaced volume หรือ swept volume, Vd) ซึ่งอัตราส่วนระหว่างปริมาตรสูงสุดและปริมาตรต่ำสุดก็คือ อัตราส่วนการอัด (compression ratio, rc) สำหรับระยะระหว่างตำแหน่งศูนย์บนและศูนย์ล่างก็คือ ระยะชัก หรือช่วงชัก หรือจังหวะการเคลื่อนที่ของลูกสูบ (stroke)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงกลไกของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ

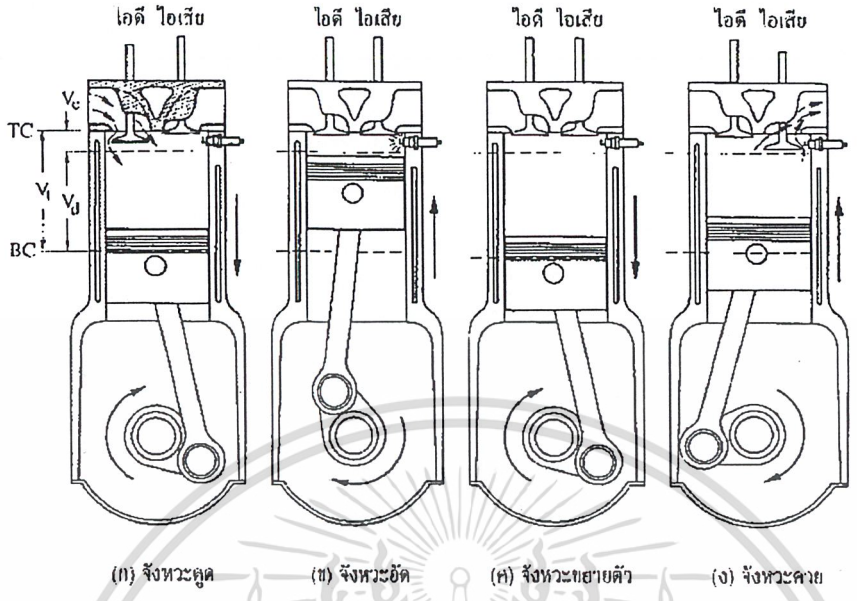
2.11 วัฏจักรการทำงานสี่จังหวะ

วัฏจักรการทำงานสี่จังหวะในแต่ละกระบอกสูบของเครื่องยนต์จะต้องใช้จังหวะการเคลื่อนที่ของลูกสูบ 4 จังหวะหรือ 2 รอบหมุนของเพลาข้เหวี่ยงเพื่อให้ลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นซึ่งได้จังหวะกำลัง 1 จังหวะนั้นสมบูรณ์หรือให้ครบ 1 วัฏจักรการทำงาน โดยมีการทำงานในทางทฤษฎีดังนี้

1) จังหวะดูด (intake stroke) หรือจังหวะเอาไอดีเข้า เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ TC และสิ้นสุดเมื่อลูกสูบอยู่ BC ไอดีจะถูกนำเข้าไปในกระบอกสูบโดยในระหว่างจังหวะดูดนี้วาล์วไอดีจะเปิดและวาล์วจะปิด
2) จังหวะอัด (compression stroke) สารผสมในกระบอกสูบถูกอัดให้ปริมาตรลดลงโดยลูกสูบเคลื่อนจาก BC ไปยัง TC ในขณะที่วาล์วทั้งสองปิดอยู่ และเมื่อลูกสูบอยู่ที่ TC จะมีการจุดระเบิดและการเผาไหม้ของสารผสมอากาศกับเชื้อเพลิง ทำให้ความดันกระบอกสูบเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว
3) จังหวะกำลังหรือจังหวะขยาย (power stroke หรือ expansion stroke) ซึ่งเริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ TC และสิ้นสุดเมื่อลูกสูบอยู่ที่ BC โดยแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ของอากาศกับเชื้อเพลิงซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงจะดันลูกสูบและไปทำให้เพลาข้อเหวี่ยงหมุน ในระหว่างจังหวะกำลังนั้นวาล์วไอดีและวาล์วไอเสียจะปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) จังหวะคาย (exhaust stroke) เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ BC และวาล์วไอเสียเปิด ส่วนวาล์วไอดียังคงปิดอยู่ แก๊สที่ขยายตัวแล้วถูกดันออกจากกระบอกสูบโดยลูกสูบเคลื่อนที่จาก BC ไปยัง TC



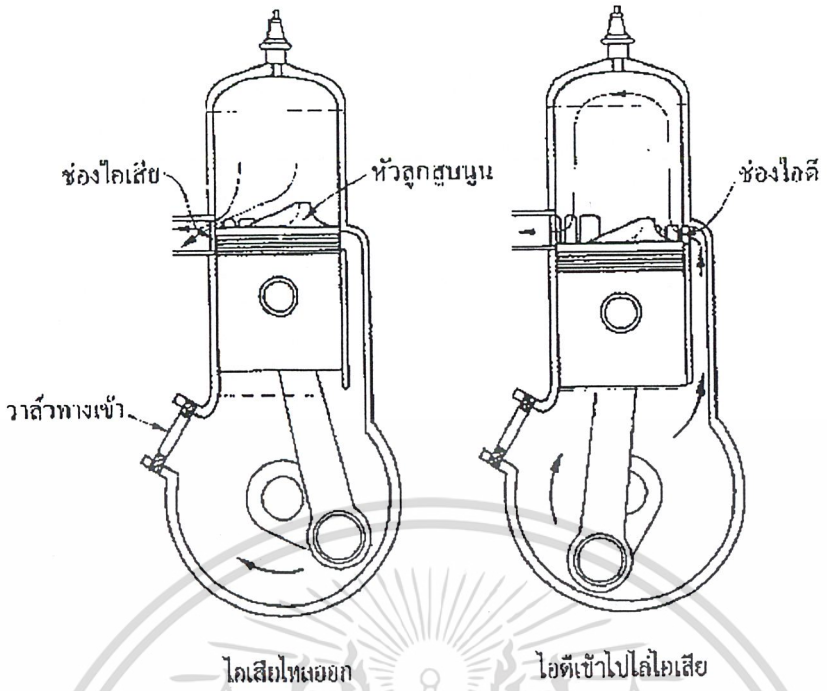
รูปที่ 2.20 แสดงวัฏจักรการทำงานสี่จังหวะ

2.12 วัฏจักรการทำงานสองจังหวะ

วัฏจักรการทำงานสองจังหวะในแต่ละกระบอกสูบของเครื่องยนต์จะต้องใช้จังหวะการเคลื่อนที่ของลูกสูบ 2 จังหวะหรือ 1 รอบหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงเพื่อให้ลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นซึ่งได้จังหวะกำลัง 1 จังหวะสมบูรณ์หรือให้ครบ 1 วัฏจักรการทำงาน จังหวะ 2 จังหวะนี้จะเรียกว่า

1) จังหวะอัด เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ BC ช่องไอดีและไอเสียยังเปิดอยู่ ทำให้ไอดีเข้าไปไล่ไอเสียออกจากกระบอกสูบ (scavenging) จนกระทั่งลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นไปปิดช่องไอดีและไอเสีย ลูกสูบก็อัดสารผสมในกระบอกสูบ และเมื่อลูกสูบอยู่ที่ TC การจุดระเบิดและการเผาไหม้ก็จะเกิดขึ้น
2) จังหวะกำลังหรือจังหวะขยาย เริ่มต้นเมื่อลูกสูบอยู่ที่ TC แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้ระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงซึ่งมีอุณหภูมิและความดันสูงจะดันลูกสูบลงและไปทำให้เพลาข้อเหวี่ยงหมุน เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ใกล้จะถึง BC ลูกสูบจะไปปิดช่องไอเสียก่อน ทำให้ไอเสีย (exhaust blowdown) แล้วช่องไอดีจึงจะถูกเปิดให้ไอดีเข้าไปไล่ไอเสียออกจนลูกสูบถึง BC ก็เริ่มจังหวะอัดของวัฏจักรต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 วัฏจักรการทำงานสองจังหวะ

แม้ว่าเครื่องยนต์สองจังหวะจะให้จังหวะกำลัง 1 จังหวะทุกหนึ่งรอบหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง ซึ่งตามหลักการแล้วด้วยขนาดของเครื่องยนต์เท่ากัน เครื่องยนต์สองจังหวะน่าจะให้กำลังเป็น 2 เท่าของเครื่องยนต์สี่จังหวะ แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะไม่เป็นเช่นนั้น ทั้งนี้ เนื่องจากเครื่องยนต์สองจังหวะนั้นมีข้อเสีย คือ การเติมไอดีให้เต็มกระบอกสูบจะเป็นเรื่องยาก และจะมีไอดีบางส่วนไหลออกจากกระบอกสูบในช่วงของการเอาไอดีเข้าไปไล่ให้ไอเสียออก

2.13 ส่วนประกอบของเครื่องยนต์

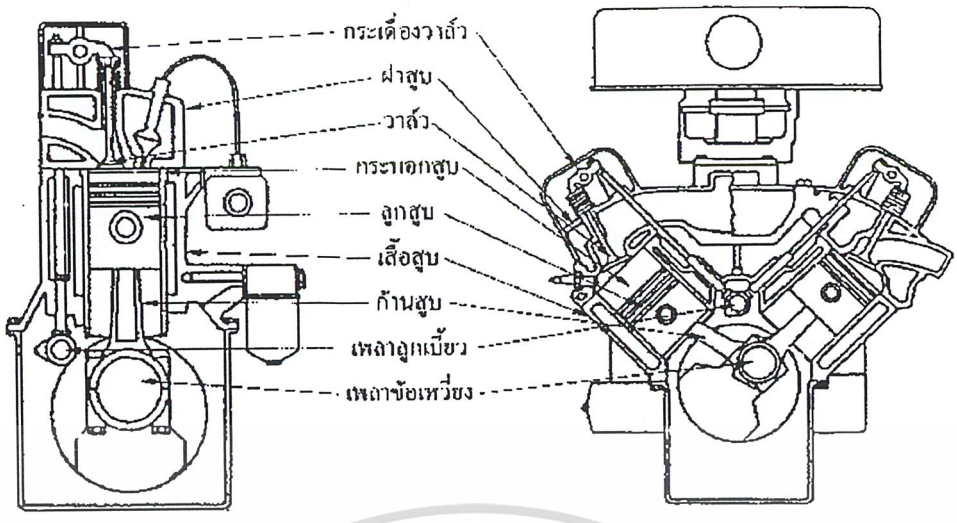
เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในแบบลูกสูบจะทำงานได้นั้นจะต้องประกอบด้วยชิ้นส่วนและระบบที่สำคัญดังมีลายละเอียดดังนี้

1. ตัวเครื่องยนต์ (basic engine) เป็นส่วนหลักของเครื่องยนต์ที่มีชิ้นส่วนซึ่งทำหน้าที่ปิดเปิดให้ไอดีเข้าและไอเสียออกจากกระบอกสูบตามกำหนดเวลา และชิ้นส่วนที่รับความดันที่เกิดจากการเผาไหม้ แล้วเปลี่ยนการเคลื่อนที่ขึ้นลงให้เป็นการหมุน ตัวเครื่องยนต์ประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญ คือ
    1) ฝาสูบ (cylinder head) เป็นส่วนที่ปิดด้านบนหรือด้านนอกสุดของกระบอกสูบเพื่อทำให้เกิดห้องเผาไหม้ โดยฝาสูบจะถูกยึดเข้ากับเสื้อสูบ ฝาสูบมักทำด้วยเหล็กหล่อหรืออะลูมิเนียม
    2) เสื้อสูบ (cylinder block) เป็นส่วนที่รองรับและหุ้มชิ้นส่วนต่างๆของตัวเครื่องยนต์ โดยทั่วไปทำด้วยเหล็กหล่อ และถ้าเป็นเครื่องยนต์แบบหล่อเย็นด้วยของเหลวหรือน้ำก็จะมีช่องทางน้ำอยู่ในเสื้อสูบด้วย
    3) กระบอกสูบ (cylinder) เป็นส่วนที่ให้ลูกสูบเคลื่อนที่กลับไปกลับมาภายใน มีทั้งแบบที่หล่อเป็นชิ้นเดียวกันในเสื้อสูบและแบบที่ใช้ปลอก (liner หรือ sleeve) สวมเข้าในเสื้อสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ลูกสูบ (piston) และแหวนลูกสูบ (piston ring) ซึ่งประกอบกันขึ้นเป็นส่วนที่เคลื่อนที่ขึ้นลงในกระบอกสูบ แหวนลูกสูบโดยทั่วไปมีอยู่สองชนิดคือ แหวนอัด (compression ring) ซึ่งมีหลายชิ้น (มักมี 2 ชิ้น) และแหวนน้ำมัน (oil-control ring) มักใช้ 1 ชิ้น ลูกสูบของเครื่องยนต์ขนาดเล็กมักทำด้วยอะลูมิเนียม ส่วนลูกสูบของเครื่องยนต์ขนาดใหญ่มักทำด้วยเหล็กหล่อ
5) ก้านสูบ (connecting rod) เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างลูกสูบและเพลาข้อเหวี่ยงโดยจะต่อเข้ากับลูกสูบด้วยสลักลูกสูบ ก้านสูบมักทำด้วยเหล็กกล้า
6) เพลาข้อเหวี่ยง (crankshaft) เป็นส่วนที่เปลี่ยนการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาของลูกสูบให้เป็นการหมุน เพลาข้อเหวี่ยงโดยทั่วไปทำด้วยเหล็กกล้า
7) แบริ่งหลัก (main bearing) และแบริ่งก้านสูบ (connecting-rod bearing) เป็นส่วนที่ใช้รองรับเพลาข้อเหวี่ยงและรองรับก้านสูบ แบริ่งโดยทั่วไปด้านหลังจะทำด้วยเหล็กกล้าเพื่อให้มีความแข็งแรง ส่วนด้านหน้าจะใช้โลหะที่ลื่นและมัน
8) วาล์ว (valve, หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ลิ้น) และกลไกของวาล์ว (valve mechanism) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ปิดและเปิดให้ไอดีและไอเสียเข้าและออกจากกระบอกสูบตามที่กำหนด วาล์วที่ปิดและเปิดให้ไอดีเข้าเรียกว่า วาล์วไอดี (intake valve) วาล์วที่ปิดและเปิดให้ไอเสียออกเรียกว่าวาล์วไอเสีย (exhaust valve) กลไกของวาล์วซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ให้วาล์วไอดีและวาล์วไอเสียปิดและเปิดตามกำหนดเวลาที่ต้องการนั้น สำหรับเครื่องยนต์ที่มีวาล์วอยู่ด้านบนและเพลาลูกเบี้ยวอยู่ในเสื้อสูบจะประกอบด้วย เพลาลูกเบี้ยว (camshaft) ลูกกระทุ้ง (follower) ก้านกระทุ้ง (push rod) และกระเดื่องกดวาล์ว (rocker valve) แต่ถ้าเป็นเครื่องยนต์แบบเพลาลูกเบี้ยวเหนือสูบ (overhead-camchaft engine) กลไกของวาล์วก็ไม่จำเป็นต้องมีก้านกระทุ้งและกระเดื่องกดวาล์ว
9) ล้อตุนกำลัง (flywheel) เป็นส่วนทีทำหน้าที่สะสมพลังงานเพื่อช่วยให้รอบหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงสม่ำเสมอ ล้อตุนกำลังจะถูกติดอยู่ที่ปลายของเพลาข้อเหวี่ยง
10) ชุดขัดเคลื่อนเพื่อกำหนดเวลา (timing drive) เป็นส่วนที่ถ่ายทอดกำลังจากเพลาข้อเหวี่ยงไปขับชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการทำงานของเครื่องยนต์เพื่อให้ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ทำงานตามเวลาที่กำหนด การถ่ายทอดกำลังนี้อาจใช้เฟืองโซ่หรือสายพานก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เครื่องยนต์แบบกระบอกสูบเรียง เครื่องยนต์แบบกระบอกสูบตัว V

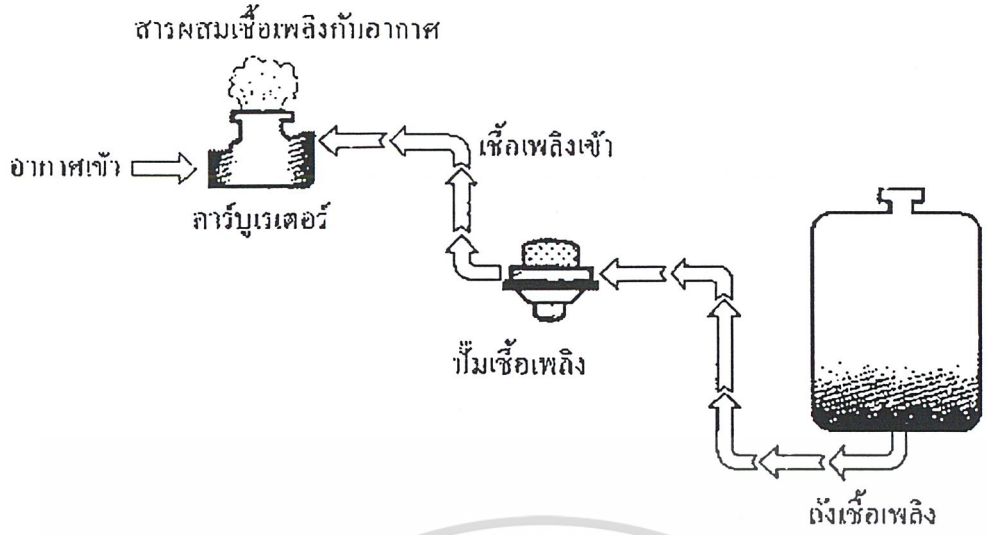
รูปที่ 2.22 แสดงชิ้นส่วนของเครื่องยนต์แบบลูกสูบ

2.14 ระบบเชื้อเพลิง

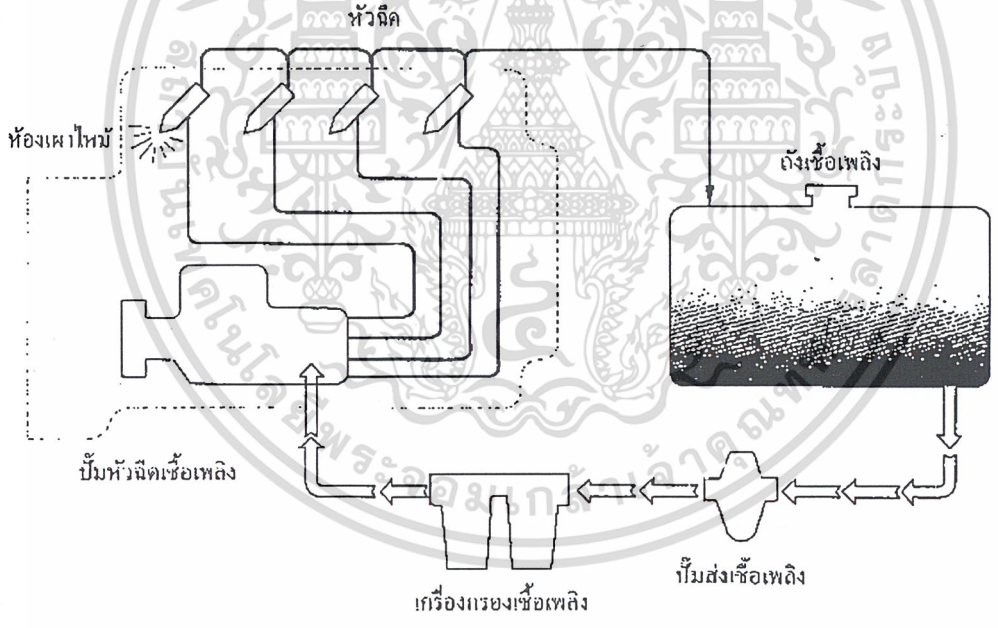
ระบบเชื้อเพลิง (fuel system) ทะหน้าที่ในการส่งเชื้อเพลิงที่สะอาดตามปริมาณที่ต้องการให้แก่เครื่องยนต์ โดยจะต้องมีการเก็บและการส่งที่เพียงพอและปลอดภัยในการใช้งาน ระบบเชื้อเพลิงที่นิยมใช้อยู่มี 2 ระบบ คือ

1) ระบบเชื่อเพลิงเบนซิน ทำหน้าที่ในการส่งสารผสมของน้ำมันเบนซินกับอากาศให้แก่เครื่องยนต์ ระบบนี้ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญ คือ ถังเชื้อเพลิง (fuel tank) ปั๊มเชื้อเพลิง (fuel pump) และคาร์บูเรเตอร์และหัวฉีด (fuel injection) ตามรูปที่2.23
2) ระบบเชื้อเพลิงดีเซล ทำหน้าที่ในการฉีดน้ำมันดีเซลเข้าไปในห้องเผาไหม้ด้วยปริมาณ อัตรา และจังหาะที่กำหนด ระบบนี้ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญ คือ ถังเชื้อเพลิง (fuel tank) ปั๊มส่งเชื้อเพลิง (fuel transfer pump) เครื่องกรองเชื้อเพลิง (fuel filter) ปั๊มหัวฉีด (injection punp) และหัวฉีด (fuel injection) ตามรูปที่2.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23ระบบเชื้อเพลิงเบนซินแบบใช้คาร์บูเรเตอร์



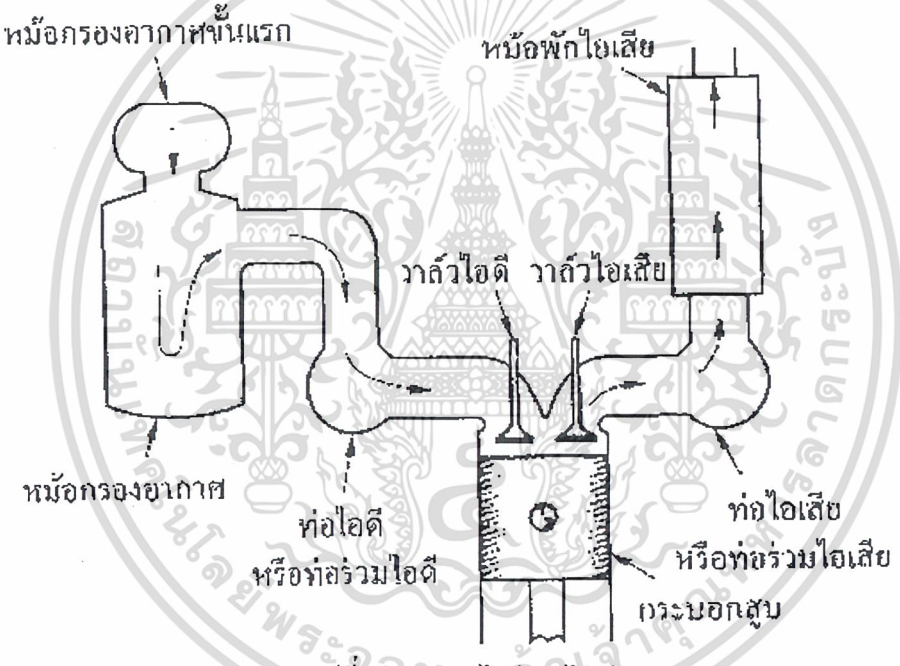
รูปที่ 2.24 ระบบเชื้อเพลิงดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 ระบบไอดีและไอเสีย

ระบบไอดีและไอเสีย (intake and exhaust system) ทำหน้าที่นำไอดี (ไอดีคืออากาศหรืออากาศกับเชื้อเพลิง) เข้าไปในเครื่องยนต์และนำไอเสีย (แก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้) ออกจากเครื่องยนต์

1) ระบบไอดี ทำหน้าที่ในการส่งอากาศที่สะอาดด้วยปริมาณและอุณหภูมิที่ถูกต้องให้แก่เครื่องยนต์ ระบบนี้ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญ คือ หม้อกรองอากาศ (carburator air tube) และลิ้นเร่ง (throttle valve) (ในกรณีของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ) ท่อร่วมไอดี (intake manifold) และวาล์วไอดี ตามรูปที่2.25
2) ระบบไอเสีย ทำหน้าที่ในการรวบรวมไอเสียและนำออกไป ระบบนี้ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญ คือ วาล์วไอเสีย ท่อร่วมไอเสีย (exhaust manifold) กังหัน (ถ้าใช้เทอร์โบชาร์จ) เครื่องฟอกไอเสียเชิงเร่งปฏิกิริยา (catalytic convertor) (ถ้าใช้) แล้หม้อพัก (muffler) หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าหม้อลดเสียง (silencer) ตามรูปที่2.25

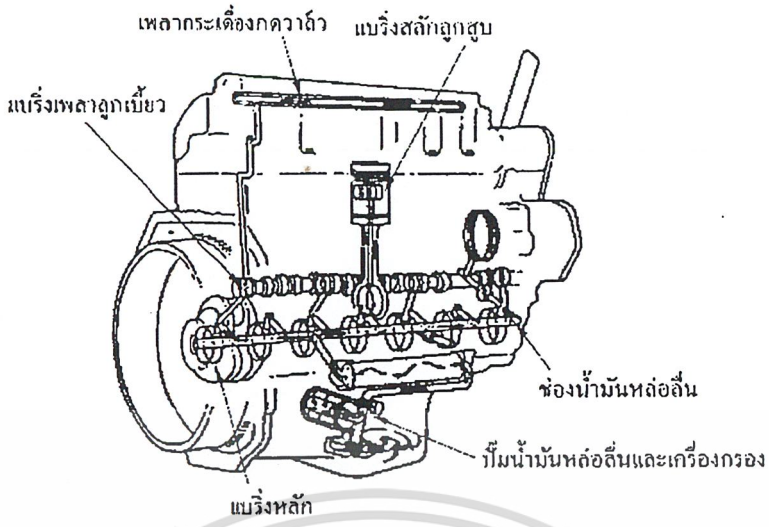


รูปที่ 2.25 ระบบไอดีและไอเสีย

2.16ระบบหล่อลื่น

ระบบหล่อลื่น (lubrication system) ทำหน้าที่ในการลดความเสียดทานระหว่างชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ ระบายความร้อน ป้องกันการรั่วของแก๊สระหว่างแหวนลูกสูบและผนังกระบอกสูบ ทำความสะอาดชิ้นส่วนและลดเสียงที่เกิดขึ้นในขณะที่เครื่องยนต์ทำงาน ระบบหล่อลื่นที่ใช้กันทั่วไปประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญ คือ ปั๊มน้ำมันเครื่อง (oil pump) เครื่องกรองน้ำมันเครื่อง (oil filter) วาล์วควบคุมความดัน (pressure regulating valve) และอ่างน้ำมันเครื่อง (oil pan) ตามรูปที่2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



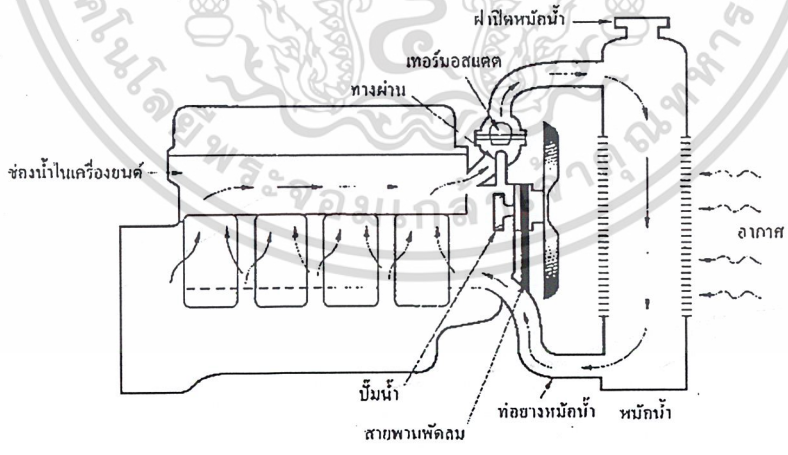
รูปที่ 2.26 ระบบหล่อลื่น

2.17 ระบบหล่อเย็น

ระบบหล่อเย็น (cooling system) ทำหน้าที่ 2 ประการ คือ ป้องกันไม่ให้เครื่องยนต์ร้อนเกินไป และควบคุมอุณหภูมิเครื่องยนต์ไว้ที่ระดับซึ่งเหมาะสมที่สุด ระบบหล่อเย็นที่นิยมนำมาใช้กันมี 2 ระบบ คือ

1) ระบบหล่อเย็นด้วยอากาศ จะใช้อากาศไหลผ่านโดยรอบเครื่องยนต์ในการระบายความร้อน ชิ้นส่วนที่สำคัญของระบบนี้ คือ พัดลม (fan)

ระบบหล่อเย็นด้วยของเหลว จะใช้ของเหลว (น้ำหรือน้ำผสมน้ำยา) ไหลโดยรอบเครื่องยนต์เพื่อระบายความร้อน ระบบนี้ประกอบด้วยชิ้นส่วนที่สำคัญ คือ หม้อน้ำ (radiator) ปั๊มน้ำ พัดลม และเทอร์มอสแตต (thermostat) ตามรูปที่2.27



รูปที่ 2.27 ระบบหล่อเย็นด้วยของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบอื่นๆ

นอกจากระบบต่างๆที่กล่าวมาแล้วยังมีระบบอื่นที่จำเป็นสำหรับการทำงานของเครื่องยนต์อีก เช่น ระบบจุดระเบิด (ignition system-สำหรับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ) และระบบควบคุมความเร็ว (governing system) เป็นต้น

2.18 การพัฒนาและอนาคตของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน

นับตั้งแต่มีการคิดค้นและผลิตเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในมา เครื่องยนต์เผาไหม้ภายในที่ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันก็คือ เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ (ประดิษฐ์โดยออตโต ในปี ค.ศ. 1867) และเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (ประดิษฐ์โดยดีเซล ในปี ค.ศ. 1897) ก็ได้มีการพัฒนามาโดยตลอด แม้ว่าหลักการทำงานไม่ได้เปลี่ยนแปลงไปแต่ก็มีการพัฒนาในด้านประสิทธิภาพ วัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วน และรูปแบบของชิ้นส่วน รวมถึงเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ทั้งสองแบบข้างต้นด้วย

ในระหว่าง 30 ปีที่ผ่านมามีปัจจัยใหม่ที่สำคัญ 2 ประการที่มีผลต่อการออกแบบและการทำงานของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ประการแรกก็คือความจำเป็นในการควบคุมมลพิษที่ออกมาจากรถยนต์ (ที่ใช้เครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน) ประการที่สองก็คือความจำเป็นในการปรับปรุงความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ทั้งนี้เนื่องจากพบว่าด้วยปริมาณของรถยนต์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตเมือง เป็นผลให้มลพิษที่ออกมาจากรรถยนต์มีส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษในเขตเมืองใหญ่ๆ และนอกจากนี้เชื้อเพลิงที่ใช้กันอยู่ก็มีราคาสูงขึ้นมาก รวมถึงปริมาณการสำรองเชื้อเพลิงที่มีอยู่ก็จะหมดไปในอนาคต สำหรับการควบคุมมลพิษและการปรับปรุงความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้มีการนำเอาระบบอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีความก้าวหน้ามากในระยะหลังนี้มาใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ทั้งเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟและจุดระเบิดด้วยการอัด

อนาคตเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ราคาเชื้อเพลิง และปริมาณเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในอนาคต และมีการพัฒนาต้นกำลังแบบอื่น เชื้อเพลิงที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันสำหรับเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในเกือบทั้งหมดจะใช้เชื้อเพลิงที่ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบ มีการคาดการณ์ไว้ว่าด้วยอัตราการใช้ในปัจจุบัน (ประมาณ 65 ล้านบาร์เรลต่อวัน) น้ำมันดิบที่มีสำรองอยู่ซึ่งได้สำรวจไว้แล้วจะหมดไปในราว ค.ศ. 2025-2030 แต่อย่างไรก็ตามยังมีการสำรวจหาแหล่งน้ำมันดิบใหม่ๆกันอยู่ ดังนั้นอาจพูดได้ว่าเชื้อเพลิงที่ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบอาจมีให้กันต่อไปจนถึงราวปี ค.ศ. 2050 แม้ว่าเชื้อเพลิงที่ใช้กันอยู่จะมีให้ใช้กันต่อไปอีกนานพอสมควร แต่ก็มีการคิดค้นพัฒนา และนำเอาเชื้อเพลิงทดแทนมาใช้ เช่น แกโซฮอล เป็นต้น

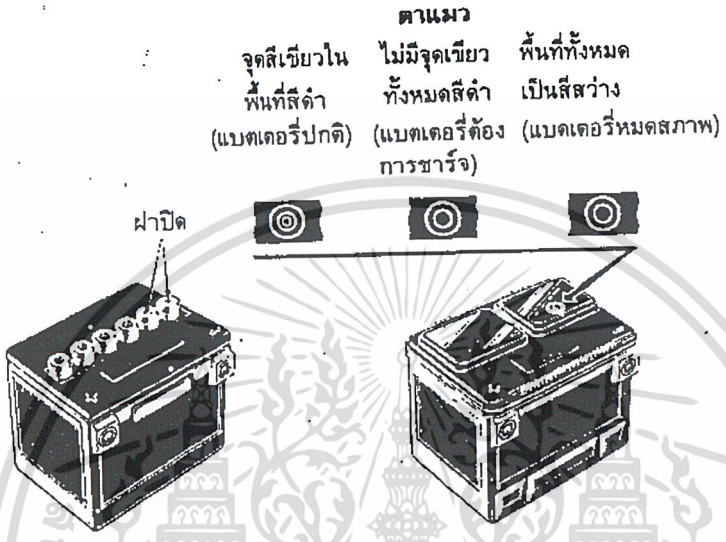
ในการพัฒนาเครื่องยนต์ต้นกำลังแบบอื่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่นำมาใช้ในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในที่ใช้กับรถยนต์นั้น ได้มีการพัฒนารถไฟฟ้าที่ใช้แบตเตอรี่ขึ้นมา แต่ก็ยังมีปัญหาอยู่พอสมควร คือ ยังไม่มีแบตเตอรี่ที่เหมาะสม เพราะแบตเตอรี่ที่ใช้กันทั่วไปนั้นจะเก็บพลังงานได้ไม่มากนัก (1 ตันของแบตเตอรี่จะเก็บพลังงานได้เท่ากับพลังงานเชื้อเพลิงเพียง 5 ลิตร) และสมรรถนะของเครื่องยนต์ยังไม่ดีพอ (ความเร็วสูงสุดประมาณ 75 กิโลเมตรต่อชั่วโมงและวิ่งได้ไกลประมาณ 75 กิโลเมตรต่อการประจุไฟแต่ละครั้ง) ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวทางหนึ่งก็คือ การพัฒนารถยนต์ลูกผสม (hybrid vehicle) ที่มีทั้งเครื่องยนต์เผาไหม้ภายในและมอเตอร์ไฟฟ้า (ที่ใช้แบตเตอรี่) แต่ยังคงเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่มีราคาแพงอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.19 แบตเตอรี่รถยนต์

แบตเตอรี่ทำหน้าที่ป้อนกระแสไฟฟ้าเพื่อการทำงานของมอเตอร์สตาร์ตและระบบจุดระเบิดเมื่อเริ่มสตาร์ตเครื่องยนต์ แบตเตอรี่ยังคงเป็นแหล่งป้อนพลังงานให้กับหลอดไฟ วิทยุ และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆ เมื่ออัลเทอร์เนเทอร์ไม่สามารถรับภาระได้

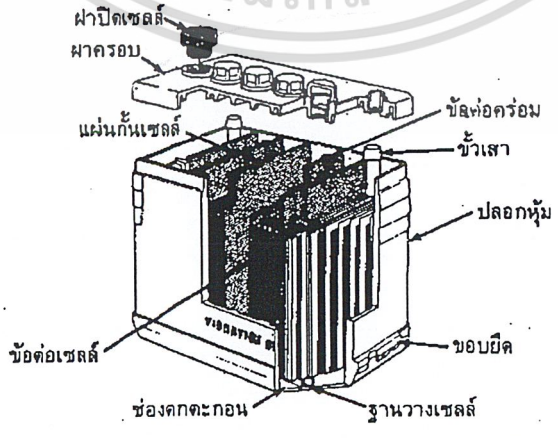
แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าเคมี ใช้ปฏิกิริยาเคมีในการผลิตไฟฟ้า ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตโดยแบตเตอรี่มีขนาดจำกัด เมื่อสารเคมีในแบตเตอรี่ถูกใช้หมดแล้ว แบตเตอรี่จะหมดพลังงาน ดังนั้นต้องชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ใหม่โดยใช้เครื่องชาร์จหรืออัลเทอร์เนเตอร์



รูปที่ 2.28 แสดงแบตเตอรี่ 2 แบบคือ แบบทั่วไปกับแบบปิดผนึก

2.20 โครงสร้างแบตเตอรี่

แผ่นธาตุในแบตเตอรี่มี 2 ชนิด ชนิดแรกรวมกันเป็นขั้วบวก(ตะกั่วเปอร์ออกไซด์) ชนิดที่สองรวมกันเป็นขั้วลบ(ตะกั่วพรุน) แผ่นธาตุบวกและลบมีแผ่นกั้นแทรกอยู่ตรงกลาง เพื่อไม่ให้แผ่นธาตุทั้งสองชนิดสัมผัสกัน แต่ละแผ่นกั้นจะมีรูพรุนเพื่อให้ของเหลวภายในไหลผ่านไปได้ แต่ละเซลล์ของเบตเตอรี่ต่อกันอย่างอนุกรม และจะมีฝาปิดช่องเซลล์พร้อมรูหายใจ ฝานี้สามารถเปิดออกได้สำหรับเติมน้ำกลั่น ส่วนแบตเตอรี่อีกแบบหนึ่งมีฝาปิดผนึกไม่ต้องเติมน้ำกลั่น (ดูรูปที่ 2.28)



รูปที่ 2.29 แสดงโครงสร้างของแบตเตอรี่ 12 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวในแบตเตอรี่เรียกว่า อิเล็กทรอไลต์ ซึ่งเกิดจากส่วนผสมของกรดซัลฟูริก 40 % และน้ำกลั่น 60 %(ตอนชาร์จเต็มที่) กรดซัลฟิวริกจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี อิเล็กตรอนจากกลุ่มแผ่นธาตุหนึ่งจะเคลื่อนย้ายไปสะสมบนกลุ่มของอีกแผ่นธาตุหนึ่ง สิ่งนี้จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วของเซลล์แบตเตอรี่ ถ้าขั้วทั้งสองไม่ได้ต่อกับวงจรใดๆปฏิกิริยาก็จะไม่เกิดต่อไป

อย่างไรก็ตามเมื่อขั้วทั้งสองต่อกับวงจรไฟฟ้า กระแสจะไหล ตะกั่วพรุนและตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะถูกเปลี่ยนเป็นตะกั่วซัลเฟต อิเล็กโทรไลต์จะสูญเสียกรดแต่จะได้น้ำมาแทน เพราะซัลเฟตในกรดจะเปลี่ยนไปอยู่ในแผ่นธาตุทั้งสอง

ในขณะที่ประจุไฟเข้าแบตเตอรี่(ชาร์จแบตเตอรี่) ตะกั่วซัลเฟตที่แผ่นธาตุทั้งสองจะเปลี่ยนสภาพกลับสู่สภาพเดิมคือ เปลี่ยนกลับเป็นตะกั่วพรุนที่ขั้วลบ และตะกั่วเปอร์ออกไซด์ที่ขั้วบวก และจะได้กรดซัลฟูริกกลับคืนมาด้วย

2.21 เซลล์แบตเตอรี่

แบตเตอรี่รถยนต์โดยทั่วไปมี 12 โวลต์ ซึ่งประกอบด้วย 6 เซลล์ แต่ละเซลล์ต่อกันแบบอนุกรม แรงดันไฟฟ้าของแต่ละเซลล์ที่อุณหภูมิ 26.7 °C จะมีค่าประมาณ 2.1 โวลต์เมื่อชาร์จเต็มที่ โดยทั่วไปมักใช้เท่ากับ 2 โวลต์ ดังนั้น 6 เซลล์จะมีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 12 โวลต์แทนที่จะเป็น 12.6 โวลต์

2.22พิกัดแบตเตอรี่

ปัจจัยที่มีผลต่อคาพาซิตีของแบตเตอรี่คือ จำนวนแผ่นธาตุต่อเซลล์ ขนาดและความหนาของแผ่นธาตุ ขนาดเซลล์ และปริมาณของสารละลาย

1. *คาพาซิตีสำรอง (reserve capacity)* คือ ช่วงความยาวของเวลาเป็นนาทีซึ่งแบตเตอรีที่ประจุไฟเต็มที่สามารถจ่ายไฟออกมา 25 แอมแปร์ที่อุณหภูมิ 26.7 °C พิกัดที่เป็นมาตรฐานควรได้เวลา 125 นาที สิ่งนี้บอกให้ท่านทราบได้ว่าแบตเตอรี่สามารถจ่ายไฟได้เป็นระยะเวลานานเท่าใดในกรณีที่อัลเทอเนเทอร์เสีย
2. *คาพาซิตีแอมแปร์-ชั่วโมง (ampere-hour capacity)* วิธีเก่าที่ใช้กำหนดพิกัดของแบตเตอรี่คือ พิกัด 20 ชั่วโมง ซึ่งมักเรียกว่า คาพาซิตีแอมแปร์-ชั่วโมง สิ่งนี้คือ จำนวนกระแสไฟฟ้าซึ่งแบตเตอรี่สามารถจ่ายออกมาได้เป็นเวลา 20 ชั่วโมง โดยแรงดันไฟฟ้าของเซลล์จะตกลงไม่ต่ำกว่า 1.75 โวลต์เมื่ออุณหภูมิของสารลายอิเล็กโทรไลต์เท่ากับ 26.7 °C เช่น แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 5 แอมแปร์เป็นเวลา 20 ชั่งโมง จะมีพิกัดเท่ากับ 100 แอมแปร์-ชั่วโมง
3. *พิกัดการสตาร์ตเย็น* คือ จำนวนกระแสไฟฟ้าซึ่งแบตเตอรี่สามารถจ่ายออกมาได้เป็นเวลา 30 วินาที เมื่ออุณหภูมิเท่ากับ –17.8 °C โดยแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไม่ตกลงต่ำกว่า 1.2 โวลต์ ส่วนพิกัดสตาร์ตเย็นอีกแบบหนึ่งจะวัดที่อุณหภูมิ –28.9 °C โดยแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ลดลงเหลือ 1 โวลต์ต่อเซลล์

2.23 ประสิทธิภาพแบตเตอรี่

ความสามารถของแบตเตอรี่ในการจ่ายกระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงภายในขีดจำกัดที่กว้างซึ้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและอัตราการใช้กระแสไฟฟ้า ปฏิกิริยาทางเคมีจะลดลงอย่างมากเมื่ออุณหภูมิต่ำ กรดซัลฟิวริกไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้ดีบนแผ่นธาตุ ไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากและเป็นเวลานาน (ที่อุณหภูมิของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ 26.7 °C แบตเตอรี่จะมีประสิทธิภาพการทำงาน 100 %) การจ่ายด้วยกระแสสูง ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นเฉพาะบนผิวหน้าของแผ่นธาตุ โดยไม่มีเวลาในการเจาะเข้าไปภานในแผ่นธาตุเพื่อที่จะใช้เนื้อภายในแผ่นธาตุให้เกิดประโยชน์

2.24 การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วแบตเตอรี่

1. แรงดันไฟฟ้าในขณะที่แบตเตอรี่ถูกชาร์จจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อ

1.1 อัตราการชาร์จเพิ่มขึ้น

1.2 สถานะการชาร์จเพิ่มขึ้น เช่น ต้องใช้แรงดันไฟฟ้าประมาณ 2.6 โวลต์ต่อเซลล์ในการที่จะดันให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแบตเตอรี่ที่มีประจุเต็มที่ สิ่งนี้คือเหตุผลที่จะต้องตั้งเรกูเลเตอร์ให้ทำงานที่ 15 โวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ประจุเต็มที่เล็กน้อย เพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ถูกชาร์จมากเกินไป

1.3 อุณหภูมิลดลง เมื่อแบตเตอรี่มีอุณหภูมิต่ำลง จะต้องใช้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาอัตราการชาร์จไว้ให้คงเดิม

2. แรงดันไฟฟ้าในขณะที่แบตเตอรี่ถูกชาร์จจะมีค่าลดลงเมื่อ

2.1 อัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เพราะปฏิกิริยาเคมีเพิ่มขึ้นและไม่สามารถเจาะเข้าไปภายในแผ่นธาตุ

ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง

2.2 สถานะการชาร์จลดลง เมื่อแผ่นธาตุและกรดซัลฟิวริกลดน้อยลง ปฏิกิริยาเคมีก็จะเกดน้อย แรงดันไฟฟ้า

ก็จะลดลง

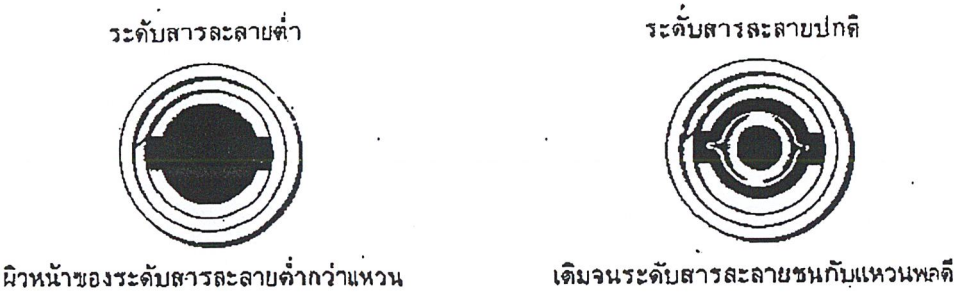
2.3 อุณหภูมิลดลง เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ปฏิกิริยาทางเคมีจะไม่สามารถเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง

2.25 การบำรุงรักษาแบตเตอรี่ประกอบด้วย

1. การตรวจสอบด้วยตาเปล่า เช่น ดูการรั่วไหล การแตกร้าว การกัดกร่อนที่ขั้ว การอุดตันที่รูหายใจของฝาปิดเซลล์ และการหลวมหรือหลุดของตัวยึดแบตเตอรี่

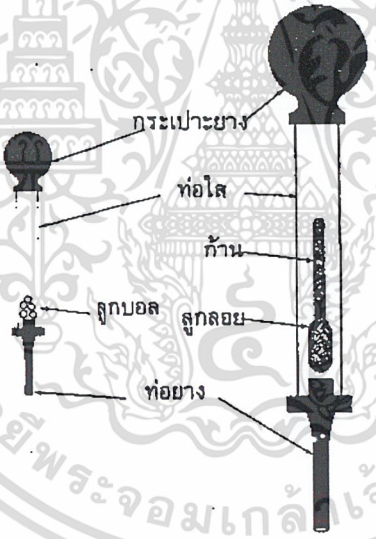
2. ตรวจสอบระดับสารละลายภายในแบตเตอรี่ ซึ่งอาจทำได้โดยเปิดฝาปิดเซลล์ออก แบตเตอรี่บางแบบมีวงแหวนแสดงระดับสารละลาย(ดังรูปที่ 2.30) ถ้าระดับต่ำกว่าก็ควรเติมให้ได้ระดับปรกติ แต่อย่าเติมน้ำกลั่นมากเกินไป เพราะจะทำให้ระดับสารละลายสูงเกินไปและอาจกระฉอกออกมาภายนอกได้ และทำการกัดกร่อนขั้วแบตเตอรี่หรือสิ่งอื่นๆที่อยู่ใกล้เคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 การมองเห็นของสารละลายและแหวนแสดงระดับของสารละลาย เมื่อระดับต่ำหรือเหมาะสม

3. ทำความสะอาดขั้วแบตเตอรี่และส่วนบนของแบตเตอรี่
4. ตรวจสอบสภาพแบตเตอรี่ เช่น ทดสอบด้วยไฮโดรไดมิเตอร์ซึ่งทดสอบความถ่วงจำเพาะของสารละลายในแบตเตอรี่โดยทั่วไปมี 2 แบบ แบบแรกใช้ลูกบอลพลาสติกขนาดเล็กหลายลูก แบบที่สองใช้ลูกลอยพร้อมก้านซึ่งมีขีดแสดง เมื่อดูดสารละลายเข้ามาในท่อใส จำนวนลูกบอลที่ลอยตัวขึ้นในท่อใสจะบอกท่านเกี่ยวกับสภาพการชาร์จของแบตเตอรี่ ถ้าลูกบอลลอยตัวสูงขึ้นทั้งหมดแสดงว่าเซลล์ช่องนั้นมีประจุเต็มที่ ถ้าไม่มีลูกบอลขึ้นมาเลยแสดงว่าเซลล์ช่องนั้นหมดพลังงาน(ดังรูปที 2.31)



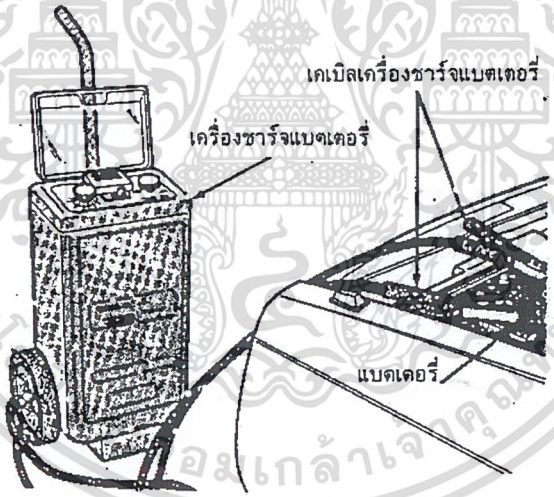
รูปที่ 2.31 ไฮโดรไดนามิเตอร์สำหรับวัดความถ่วงจำเพาะของสารละลายในแบตเตอรี่

5. ถ้าจำเป็นก็ให้ชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ
   1. *การชาร์จแบตเตอรี่อย่างช้า* ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ
      1.1 <u>วิธีกระแสไฟฟ้าคงที่</u> กระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าแบตเตอรี่จะเป็นไปตามค่าที่กำหนดโดยผู้ผลิต การขาร์จจะดำเนินต่อไปจนกระทั้งแบตเตอรี่เกิดก๊าซอย่างอิสระและค่าความถ่วงจำเพาะไม่เปลี่ยนแปลงเป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 <u>วิธีแรงดันไฟฟ้าคงที่</u> แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการชาร์จจะมีค่าคงที่ ในขณะที่แบตเตอรี่ถูกชาร์จนั้น ความต้านทานของแบตเตอรี่จะค่อยๆเพิ่มขึ้นทีละน้อย ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าแบตเตอรี่จะค่อยๆลดลง เมื่อแบตเตอรี่ถูกชาร์จเต็มที่ กระแสไฟฟ้าจะลดลงจนเหลือน้อย อุณหภูมิของสารละลายจะต้องอยู่ในขีดจำกัด ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างมาก ความต้านทานของแบตเตอรี่จะยังคงต่ำ เป็นเหตุให้เกิดการชาร์จมากเกินไปจนทำให้แบตเตอรี่เสียหายได้ ถ้าไม่ปลดเครื่องชาร์จออกจากแบตเตอรี่

2. *เครื่องชาร์จเร็ว* สามารถเคลื่อนย้ายไปที่รถยนต์ได้ และต่อเข้ากับแบตเตอรี่รถยนต์(ดังรูปที่2.32) มีข้อสังเกตที่จะต้องสนใจเมื่อใช้เครื่องชาร์จเร็วคือ เครื่องชาร์จแบตเตอรี่นี้สามารถให้การชาร์จเร็วด้วยการป้อนกระแสสูงถึง 100 แอมแปร์ โดยปกติแล้วท่านควรตั้งกระแสไฟฟ้าไว้ที่ 40 ถึง 50 แอมแปร์และชาร์จแบตเตอรี่เป็นเวลา 30 ถึง 45 นาที สิ่งนี้จะช่วยเสริมให้แบตเตอรี่มีประจุสูงถึง 38 แอมแปร์/ชั่วโมง แบตเตอรี่โดยทั่วไปสามารถทนต่อการชาร์จเร็วได้โดยไม่เสียหาย ถ้าอุณหภูมิของสารละลายไม่สูงกว่า 52 °C การชาร์จเร็วไม่สามารถทำให้แบตเตอรี่มีประจุเต็มที่ได้ในเวลาอันสั้น การที่จะทำให้แบตเตอรี่มีประจุไฟเต็มที่ได้นั้น จะต้องใช้การชาร์จอย่างช้าๆ หลังจากการชาร์จเร็ว



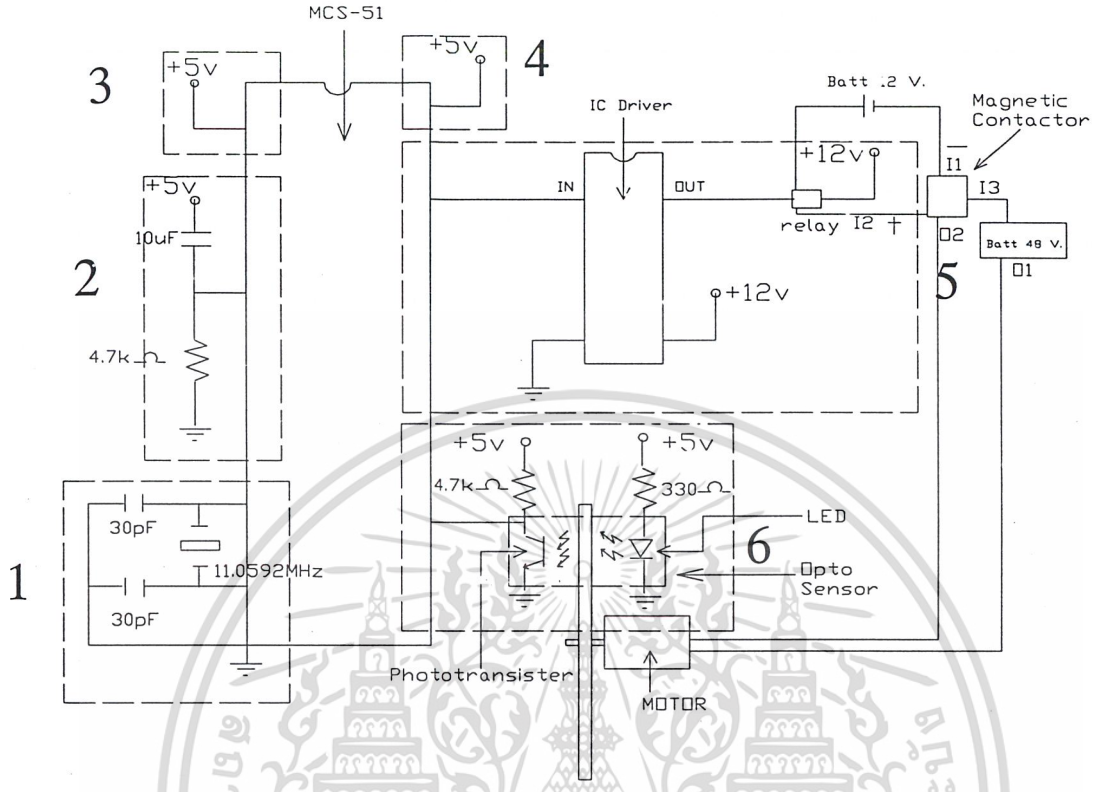
รูปที่ 2.32การใช้เครื่องชาร์จเร็วต่อเข้ากับแบตเตอรี่ในรถยนต์ก่อน

2.26 การเก็บรักษาแบตเตอรี่

หลังจากที่หยุดใช้แบตเตอรี่แล้ว และเก็บไว้เป็นเวลานาน แบตเตอรี่จะปล่อยประจุภายในตัวเอง ทำให้ประจุภายในค่อยๆหมดไปทีละน้อย เพื่อป้องกันๆไม่ให้แบตเตอรี่เสื่อมสภาพควรชาร์จแบตเตอรี่ทุกๆ 30 วัน และอย่าวางแบตเตอรี่ซ้อนกัน เพราะน้ำหนักของแบตเตอรี่อันบนอาจทำให้แบตเตอรี่ข้างล่างเสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.27 วงจรควบคุมการทำงานในรถไฟฟ้าไฮบริด



รูปที่2.33 วงจรควบคุมการทำงานในรถไฟฟ้าไฮบริด

ส่วนที่ 1

<u>ประกอบด้วย</u> 1. Cytal 1 ตัว

2. ตัวเก็บประจุ 2 ตัว

<u>ทำหน้าที่</u> เป็นตัวกำหนดว่าจะให้ตัวออสซิลเลเตอร์ใน MCS 51 กำเนิดสัญญานความถี่ออกมาเท่าใดซึ่งจะมีการกำกับโดยใช้ตัว Cytal ซึ่งในที่นี้เราใช้ 11.0592 Hz

ส่วนที่ 2

<u>ประกอบด้วย</u> 1. ตัวเก็บประจุ

2. ตัวต้านทาน

<u>ทำหน้าที่</u> เป็นชุด Power on Reset ทำหน้าที่ Reset Program ให้เริ่มทำงานที่จุดแรกของโปรแกรม โดยหากไม่มีชุดนี้โปรแกรมอาจจะเกิดความสับสนขึ้นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3

ทำหน้าที่ เป็นตัวกำหนดว่าจะเลือกใช้หน่วยความจำจากที่ใด ซึ่งหากจะใช้หน่วยความจำจากที่อื่นด้วยเราจะต่อส่วนนี้ลงกราวด์ แต่ในกรณีนี้เราจะใช้หน่วยความจำเฉพาะในตัว MCS 51 เท่านั้น จึงต่อไฟเลี้ยงส่วนนี้จำนวน 5 V.

ส่วนที่ 4

ทำหน้าที่ เป็นไฟเลี้ยงวงจร 5 V.

ส่วนที่ 5

ประกอบด้วย 1. IC Driver

2. Relay

ทำหน้าที่ ตัว IC Driver จะทำหน้าที่กลับสัญญานที่เข้ามาทางขา Input ให้เป็นสัญญานที่มีลักษณะตรงกันข้ามที่ขา Output (โดยภายในจะเป็นน็อตเกท) และจะมีไฟเลี้ยง 12 V. โดยในขณะปกติที่ความเร็วรอบของเพลากลางยังไม่อยู่ในช่วงที่เราต้องการ ขา Input จะไม่มีไฟเลี้ยง ทำให้ขา Output มีไฟ 12 V. ไหลออกมา แต่หากความเร็วรอบอยู่ในช่วงที่เราต้องการ คือ 2100 - 2600 rpm ตัว MCS 51 จะส่งไฟไหลเข้าขา Input ของ IC Driver เป็นปริมาณ 12 V. ทำให้ขา Output มีค่าเป็น 0 V.

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

ส่วนที่ 6

ประกอบด้วย 1. Opto Sensor

2. ตัวต้านทาน

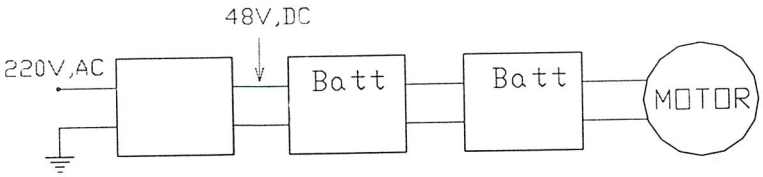
ทำหน้าที่ ตัว Opto Sensor ประกอบด้วยตัว LED ข้างหนึ่งและตัว Photo Transistor อีกข้างหนึ่ง โดยแต่ละขาจะต่อตัวต้านทานเพื่อ Drop Volt. ที่สูงเกินไป โดยตัว Opto Sensor จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณเป็น Pulse Signal ไปประมวลผลที่ตัว MCS-51

2.28 หลักการทำงานของวงจรควบคุม

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

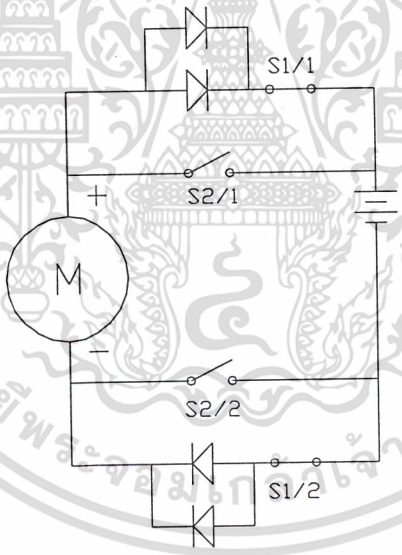


รูปที่ 2.34 หลักการทำงานของวงจรควบคุม

2.29 ชุดหม้อแปลงชาร์ตแบตเตอรี่

เราจะใช้หม้อแปลงในกรณีชาร์ตแบตเตอรี่จากไฟบ้านเพื่อความสะดวก เมื่อไฟของชุดแบตเตอรี่ 4 ลูก ซึ่งใช้เลี้ยงมอเตอร์มีไฟไม่เพียงพอที่จะขับเคลื่อนมอเตอร์ได้

2.30 วงจรประจุไฟ



รูปที่ 2.35 แสดงวงจรชาร์จไฟกลับ

วงจรนี้ในขณะที่ชุดควบคุมยังไม่สั่งให้มอเตอร์ทำงานลักษณะของสวิทซ์จะเป็นดังรูปคือจะไม่มีไฟไปเลี้ยงมอเตอร์และไฟชาร์ตแบตเตอรี่ไม่ได้ แต่เมื่อเราเหยียบเบรคจะทำให้รีเลย์ทำงานโดยใช้ไฟจากการต่อพ่วงกับสายไฟเบรคและมีไฟไปชาร์ตที่แบตเตอรี่ได้(หรือถ้าหากต้องการชาร์ตแบตเตอรี่โดยไม่ต้องเหยียบเบรคก็ทำได้ดดยการควบคุมที่สวิทซ์ S_5 บริเวณหน้าปัดรถได้) โดยไฟจะไหลไปชาร์ตแบตเตอรี่เพียงทิศทาง

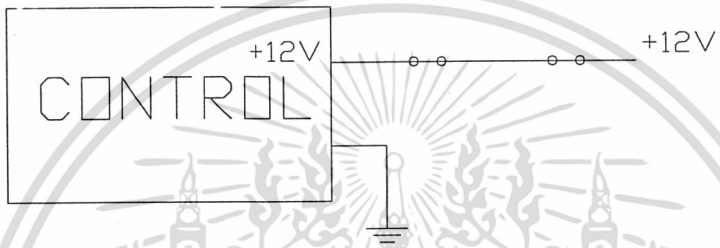
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียว โดยจะมีตัวไดโอดควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า (เราใช้ไดโอด 2 ตัวต่อขนานกันเพื่อแบ่งกระแสปริมาณมากที่ไหลจากแบตเตอรี่ เพื่อพยายามจะไหลไปเลี้ยงมอเตอร์ได้)

แต่หากชุดควบคุมสั่งให้มอเตอร์ทำงานลักษณะของสวิทซ์ทั้งหมดจะตรงกันข้ามกับรูปข้างต้น โดยสวิทซ์ S_2 และ S_3 จะปิดลง ส่วนสวิทซ์ S_1 กับ S_4 จะเปิดออก ทำให้มีไฟไหลเข้าไปเลี้ยงทำให้มอเตอร์หมุนส่งกำลังได้ โดยจะไม่มีการชาร์ตไฟกลับเข้าไปเก็บไว้ที่แบตเตอรี่เลย

โดยสรุปคือ หากชุดควบคุมไม่ได้สั่งให้มอเตอร์ทำงาน ก็จะไม่มี Load เกิดขึ้นที่ตัวมอเตอร์เลย จนกระทั่งหากมีการเหยียบเบรคจึงจะทำให้มีการชาร์ตเกิดขึ้นและทำให้มี Load เกิดขึ้นที่จังหวะการทำงานนี้

2.31 ระบบตัดต่อการทำงานของวงจรควบคุม



รูปที่ 2.36 แสดงวงจรตัดการทำงานของชุดวงจรควบคุม

ในกรณีที่มีการใส่เกียร์ถอยหลังจะทำให้ไฟถอยติดและมีไฟไปเลี้ยงที่ตัว Relay ส่งผลให้มีสถานภาพเป็น NO วงจรควบคุมจะหยุดการทำงานทันทีเนื่องจากไม่มีไฟส่งไปเลี้ยงที่ตัววงจร

และในกรณีที่เราเหยียบเบรค สวิทซ์ที่ขาเหยียบเบรคจะถูกเปิดออก จึงอยู่ในสถานะ NO ทำให้วงจรควบคุมหยุดทำงานทันทีเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการออกแบบรถไฮบริด

3.1ระบบของรถยนต์ไฮบริด

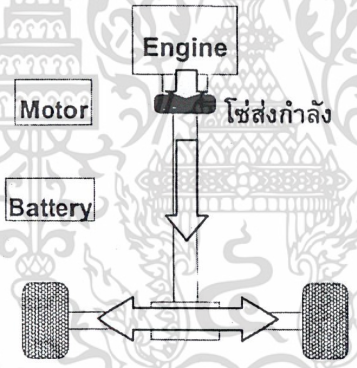
ระบบของรถยนต์ไฮบริดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

3.1.1 ระบบอนุกรม(Series System) ระบบนี้จะมีการทำงาน 2 mode

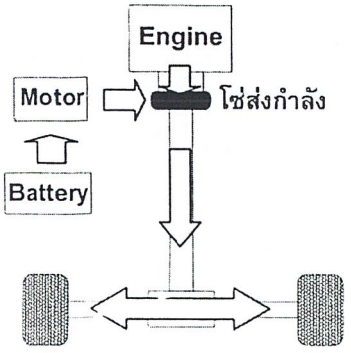
- Electronic Mode จะเป็นการใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาขับอย่างเดียวโดยที่เครื่องยนต์จะยังไม่ทำงาน
- Hybrid Mode ระบบนี้จะนำเอากำลังจากเครื่องยนต์ไปปั่นเจนเนอเรเตอร์โดยเจนเนอเรเตอร์จะทำหน้าที่ปั่นไฟ กระแสไฟที่ได้จะถูกนำไปใช้ในการขับมอเตอร์ถ้ากระแสไฟที่ได้มีเกินความต้องการก็จะนำไปเก็บไว้ในแบตเตอรี่แต่ถ้ากระแสไฟไม่เพียงพอจะมีการนำกระแสจากแบตเตอรี่มาใช้ร่วมกัน

3.1.2 ระบบขนาน(Parallel System)

- Engine Mode การใช้กำลังจากเครื่องยนต์ ในการขับเคลื่อนใช้ในการขับขี่ที่ระยะทางไกลและความเร็วคงที่

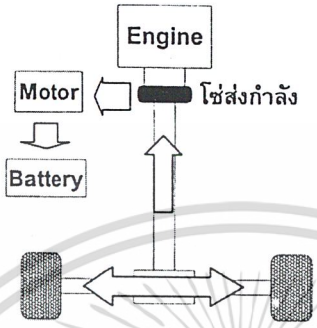


- Hybrid Mode การนำเอาพลังงานจากทั้งเครื่องยนต์และมอเตอร์มาใช้ร่วมกัน

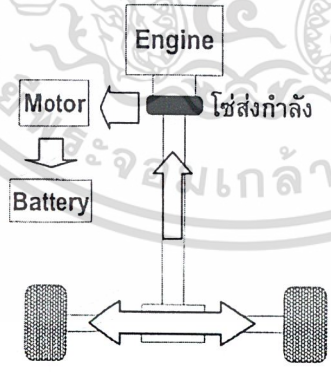


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Charge Mode การนำเอากำลังจากเครื่องยนต์ไปปั่นเจนเนอเรเตอร์ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นแล้วนำไปเก็บไว้ที่แบตเตอรี่



- Regenerative Breaking การนำเอาพลังงานที่เกิดขึ้นระหว่างการเบรคไปปั่นเจนเนอเรเตอร์ประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบระบบส่งกำลังของรถไฮบริด

3.2.1 การส่งกำลังโดยใช้โซ่

การขับด้วยโซ่มีใช้อยู่มากทางด้านงานเครื่องจักรกล เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับการขับด้วยสายพาน โซ่จะต้องคล้องอยู่กับล้อโซ่หรือเฟืองโซ่ (sprocket) ซึ่งติดอยู่บนเพลาขับและเพลาตาม อัตราทดของการขับจะขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองโซ่ทั้งสอง และการขบด้วยโซ่นี้จะไม่มีการสลิปเกิดขึ้นระหว่างโว่กับเฟืองโซ่

การขับด้วยโซ่มีข้อดีอยู่ระหว่างการขับด้วยสายพานและการขับด้วยเฟือง ทางด้านราคา สมรรถนะในการส่งกำลังและการบำรุงรักษา โซ่สามารถขับได้ในระยะทางที่ไกลกว่าสายพาน และขับได้พร้อมกันหลายๆ เพลา ซึ่งมีทิศทางหมุนตามกันหรือสวนทางกันก็ได้

ข้อดีของการขับด้วยเฟืองโซ่

1. ในการติดตั้งไม่ต้องการความเที่ยงตรงเท่ากับเฟือง
2. ไม่จำเป็นต้องมีแรงดึงชั้นต้นในโซ่ด้านตึงเหมือนกับสายพาน ทำให้อายุการใช้งานของแบริ่งที่รองรับเพลาเพิ่มมากขึ้น
3. ไม่มีการสลิปในขณะส่งกำลังเหมือนสายพาน ทำให้ได้อัตราทดที่แน่นอน
4. มีขนาดกะทัดรัดกว่าสายพาน เมื่อใช้งานด้วยอัตราทดเท่ากัน เฟืองโซ่จะมีขนาดเล็กกว่าล้อสายพาน และถ้าต้องการส่งกำลังเท่ากัน ความกว้างของโซ่จะน้อยกว่าสายพาน
5. ติดตั้งง่ายกว่าสายพาน เพราะเพียงแต่คล้องเข้ากับเฟืองโซ่แล้วสอดสลักเข้าไปเท่านั้น
6. ใช้งานได้กับอุณหภูมิสูง บริเวณที่มีความชื้นและฝุ่นละออง

ข้อเสียของการขับด้วยเฟืองโซ่

1. มีเสียงดัง
2. เนื่องจากความเร็วขอบสูงจะมีอันตรายเมื่อโซ่ขาด
3. ไม่มีการอ่อนตัวในการส่งกำลัง เพลาจะต้องขนานกัน
4. ส่งกำลังแบบครอสไดรว์ไม่ได้
5. มีราคาแพงกว่าการขับด้วยสายพาน
6. ต้องมีการหล่อลื่น

3.2.2 การออกแบบโซ่

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

ดังนั้นจำนวนฟันบนเฟืองโซ่ $Z = 16 * 1.8 = 28.8$ เลือก 29 ฟัน (3.1)

2. หากำลังที่ใช้เลือกโซ่ (P)

$$P = Wp * Ns \quad (3.2)$$

โดยที่ Wp = กำลังที่ต้อการส่ง(กำลังของมอเตอร์เท่ากับ 3.7285 kW)

Ns = ตัวประกอบใช้งาน(การถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์แรงกระทำมีการกระตุกมาก Ns= 2.68)

ดังนั้นกำลังที่ใช้เลือกโซ่ $P = 3.7285 * 2.68$

$= 10$ kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เลือกใช้โซ่ 1 ชั้นมีระยะพิตช์ p=15.875 mm ให้ชื่อมาตราฐานว่า โซ่ โรลเล่อร์ ISO/R606 10B-1 ซึ่งมีแรงแตกหัก F_b=22.27 KN (ตาราง11.1ก)

4. ตรวจสอบความสามารถในการรับแรงของโซ่

ความเร็วโซ่ $v = pZn$,โดย n =ความเร็วรอบของเพลารอบสูง(ที่มาจากเครื่องยนต์) (3.3)

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

$= 21.17$ m/s

แรงในแนวเส้นสัมผัส $F_t = Wp/v$ (3.4)

$= 3.7285 / 21.17$

$= 0.176$ KN

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

จากตาราง11.1ข $w / g = 0.85$ kg/m

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

$= 0.381$KN

แรงดึงในโซ่ $F = F_t + F_{ct}$ (3.6)

$= 0.176+0.381$

$= 0.557$KN

แรงดึงชั้นต้น(แรงที่เหลืออยู่ในด้านโซ่หย่อน) มีค่าน้อยมากละทิ้งได้

ค่าความปลอดภัย $N_b = F_b / F$ (3.7)

$= 22.27 / 0.557 = 16$ ใช้งานได้

ตาราง11.7 โซ่ระยะพิตช์ 12.70 mm ควรใช้ระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง(C) 600 mm

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

$= 123.1$ ข้อ

ดังนั้นเลือกใช้โซ่โรลเลอร์ ISO/ R606 10B-1 จำนวน 124 ข้อ

3.2.3 การออกแบบเครื่องยนต์

กำลังขับเคลื่อนของรถยนต์

รถยนต์เคลื่อนที่ได้ต้องอาศัยกำลังจากเครื่องยนต์ซึ่งส่งผ่านระบบส่งกำลังที่ขับมาที่ล้อขับเคลื่อนและอาศัยอาศัยความฝืดระหว่างยางและผิวถนนทำให้เกิดแรงขับเคลื่อน รถยนต์จึงเคลื่อนที่ได้

ในขณะที่รถยนต์กำลังเคลื่อนที่อยู่นั้น จะมีแรงต้านการเคลื่อนที่และมีทิศทางสวนกับแรงขับเคลื่อนถ้ารถยนต์เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ และอาศัยกฎข้อที่หนึ่งของนิวตัน จะได้ว่า

แรงขับเคลื่อน = แรงต้านทั้งหมด

แต่ถ้าแรงขับเคลื่อนมากกว่าแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น รถยนต์จะมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้น เช่น เหยียบคันเร่งเพิ่มน้ำมันเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์จะทำให้แรงขับเคลื่อนที่ล้อมากขึ้น และมากกว่าแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น จึงทำให้อัตราเร็วของรถเพิ่มขึ้น ในขณะที่อัตราเร็วของรถเพิ่มขึ้นนั้นแรงต้านทั้งหมดก็จะเพิ่มตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนในที่สุดแรงขับเคลื่อนมากกว่าแรงต้านทั้งหมดอีกครั้ง รถยนต์จึงวิ่งด้วยอัตราเร็วคงที่อีกครั้งหนึ่ง เช่น เดิมมีอัตราเร็ว 60 km/h เพิ่มเป็น 80 km/h

แต่ถ้าแรงขับเคลื่อนน้อยกว่าแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น รถยนต์จะมีอัตราเร็วลดลง ในขณะที่อัตราเร็วลดลงนั้น แรงต้านทั้งหมดก็จะลดลงด้วย จนในที่สุดแรงขับเคลื่อนเท่ากับแรงต้านทั้งหมด รถยนต์จะวิ่งด้วยอัตราเร็วคงที่ต่อไป เช่น เดิมมีอัตราเร็วที่ 80 km/h เมื่อถอนคันเร่งลง ปริมาณน้ำมันเชื่อเพลิงที่เข้าเครื่องยนต์ แรงขับเคลื่อนจะลดลง รถยนต์จะวิ่งด้วยความหน่วง จนมีอัตราเร็ว 40 km/h

กำลังของเครื่องยนต์ที่ส่งไปยังล้อขับเคลื่อนจะใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่เพราะว่ามีบางส่วนสูญเสียไปในระบบส่งกำลัง เรียกว่า การสูญเสียในการส่งกำลัง (Transmission Losses) กำลังส่วนที่เหลือที่ขับเคลื่อนจะใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านต่างๆ เพื่อให้รถยนต์เคลื่อนที่ได้ แรงต้านเหล่านี้ได้แก่

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

นอกจากนี้ในขณะแร่งเครื่องยนต์ กำลังบางส่วนต้องสูญเสียไปเพื่อเอาชนะความเฉื่อยของรถยนต์เรียกว่าแรงต้านความเฉื่อย (Inertia Resistance)

3.2.4 การสูญเสียในการส่งกำลัง (Transmission Losses)

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

1. ความฝืดของส่วนต่างที่หมุน
2. ความหนืดของน้ำมันในห้องส่งกำลังและเฟืองท้าย
3. แรงต้านอากาศในขณะที่ชิ้นส่วนต่างๆกำลังหมุน

การสูญเสียในห้องส่งกำลังโดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 15-20 % ที่เกียร์ต่ำ และประมาณ 10 % ที่เกียร์สูง

3.2.5 แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance)

กำลังของเครื่องยนต์ที่ล้อขับเคลื่อนจะถูกใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านการหมุนของล้อ การหาแรงต้านการหมุนของล้ออาจทำได้ดังนี้ ออกแรงดันรถยนต์ให้เคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร็วคงที่ค่าหนึ่งโดยใส่เกียร์ว่าง แรงที่ใช้ในการดันรถยนต์จะมีค่าเท่ากับแรงต้านการหมุนของล้อจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสิ่งต่างไต่อไปนี้

1. สภาพของผิวถนน แรงต้านการหมุนของล้อจะน้อยถ้าผิวถนนเรียบและจะมากถ้าผิวถนนขรุขระ
2. สภาพของยางรถยนต์ และความดันลมในยาง ตลอดจนรูปทรงของยาง ยางที่มีดอกยางละเอียดจะมีแรงต้านการหมุนของล้อน้อยกว่าดอกยางหยาบ ถ้าความดันลมในยางต่ำกว่าที่กำหนดแรงต้านการหมุนของล้อจะเพิ่มขึ้น และยางที่มีเส้นผ่านศูนยกลางโตจะมีแรงต้านการหมุนของล้อน้อยกว่ายางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางสั้น
3. น้ำหนักของรถยนต์ แรงต้านการหมุนของล้อจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักของรถเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อัตราเร็วของรถยนต์ แรงต้านการหมุนของล้อจะเพิ่มขึ้นถ้าอัตราเร็วของรถยนต์เพิ่มขึ้น แรงต้านการหมุนของล้อสามารถหาโดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$R_r = K_r W \quad (3.9)$$

เมื่อ R_r = แรงต้านการหมุนของล้อ , N

K_r = สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ

W = น้ำหนักของรถยนต์ , N

ค่าของ K_r มีค่าต่างๆกันตามสภาพของถนนดังนี้

$K_r = 0.0095$ สำหรับถนนที่เรียบดีมาก

$K_r = 0.18$ สำหรับถนนที่เป็นทราย

$K_r = 0.015$ สำหรับค่าเฉลี่ยที่ใช้กันทั่วไป

ทั้งนี้เนื่องจากอัตราเร็วของรถยนต์มีผลต่อแรงต้านการหมุนของล้อ จึงมักนิยมใช้สูตรดังต่อไปนี้

$$K_r = 0.015 + 0.00016V \quad (3.10)$$

เมื่อ V = อัตราเร็วของรถยนต์ , km/h

3.2.6 แรงต้านอากาศ (Air Resistance)

กำลังของเครื่องยนต์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนส่วนมากใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อัตราเร็วสูงๆ แรงต้านอากาศจะเกิดขึ้นเมื่อรถยนต์มีการเคลื่อนที่และจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับรูปทรง อัตราเร็ว และพื้นที่หน้าตัดของรถยนต์

รถยนต์ในปัจจุบันมักออกแบบให้ลู่ลมตามหลักอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic) เพื่อลดแรงต้านอากาศและทำให้อัตราเร็วสูงสุดของรถยนต์เพิ่มขึ้น ตลอดจนช่วยประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง

ในบางครั้งต้องออกแบบให้รถยนต์ใช้งานได้สะดวกสบายซึ่งมีความจำเป็นมากกว่าการลดแรงต้านอากาศ รถยนต์พวกนี้จะมีรูปทรงต้านลมจึงทำให้แรงต้านอากาศสูงมาก รถยนต์เหล่านี้ได้แก่ รถเมล์ รถตู้ และรถบรรทุก

แรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นในขณะที่รถยนต์เคลื่อนที่นั้นมาจากความแตกต่างระหว่างความดันด้านหน้ากับด้านหลังรถยนต์และแรงฉุดที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสของรถยนต์กับอากาศ

การเคลื่อนไหวของอากาศผ่านรถยนต์ในขณะรถยนต์เคลื่อนที่นั้นแสดงให้เห็นในรูป (1) ,(2) และ(3) บริเวณท้ายรถยนต์จะมีอากาศหมุนซึ่งมีความเร็วสูงกว่าอากาศบริเวณหน้ารถ จึงทำให้เกิดความแตต่างของความดันซึ่งทำให้เกิดแรงต้านอากาศขึ้น

รูปที่ (1) แสดงลักษณะของรถยนต์ทั่วๆไป อากาศหมุนท้ายรถมีจำนวนปานกลาง

รูปที่ (2) แสดงลักษณะของรถตู้ อากาศหมุนท้ายรถตู้มีจำนวนมาก

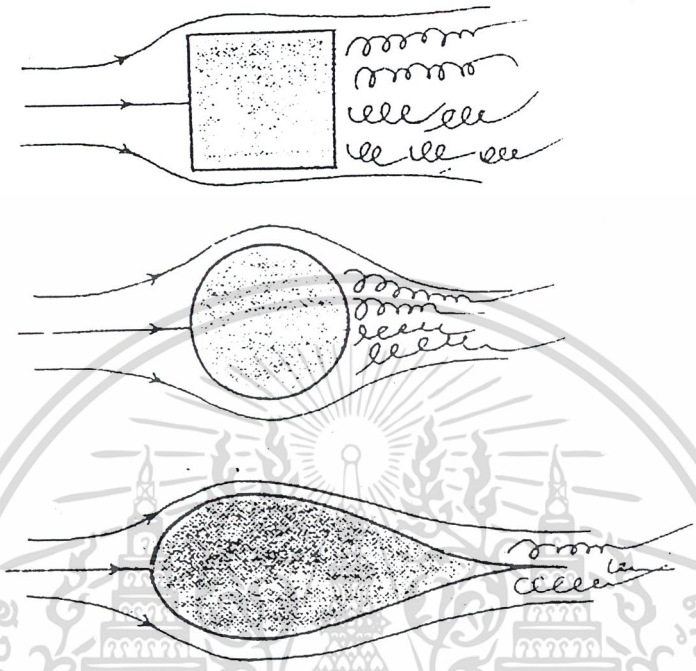
รูปที่ (3) แสดงลักษณะของรถบรรทุกซึ่งจะมีอากาศหมุนจำนวนมากกว่ารถตู้

รูปที่ (4) แสดงอากาศหมุนจำนวนน้อยของรถยนต์ในอุดมคติ

ดังนั้นในการออกแบบรูปทรงของรถยนต์ เพื่อลดแรงต้านอากาศจะต้องพยายามลดอากาศหมุนบริเวณท้ายรถยนต์เพื่อให้เหลือน้อยที่สุด

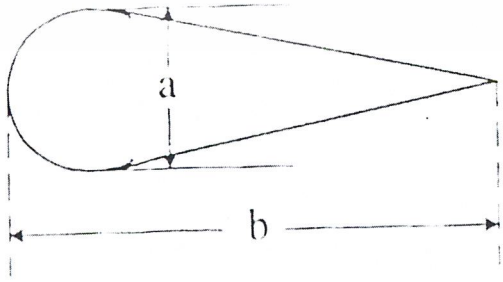
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบรูปทรงต่างๆ เพื่อหาแรงต้านอากาศ พบว่า วัตถุที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันแต่รูปทรงต่างๆกัน จะมีแรงต้านอากาศไม่เท่ากัน เช่น แท่งทรงกระบอก ทรงกลม ทรงหยดน้ำ ตามแสดงในรูป วัตถุทรงลูกน้ำจะมีอากาศหมุนน้อยมาก จึงทำให้วัตถุทรงหยดน้ำมีแรงด้านอากาศน้อยมากและน้อยกว่ารูปทรงอื่น ๆ ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน



รูปที่ 3.1 การเคลื่อนของอากาศผ่านรูปทรงต่าง ๆ ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากัน

วัตถุทรงหยดน้ำที่ยาวเกินไปถึงแม้จะลดอากาศหมุนจนเหลือน้อยมากก็ตามแต่จะเพิ่มแรงฉุดที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสของทรงหยดน้ำกับอากาศ จึงทำให้แรงต้านอากาศรวมเพิ่มขึ้น แต่วัตถุทรงหยดน้ำที่สั้นเกินไปจะมีอากาศหมุนบริเวณส่วนท้ายมาก ถึงแม้ว่าแรงฉุดที่บริเวณผิวสัมผัสจะน้อยก็ตาม แต่แรงด้านอากาศรวมจะเพิ่มขึ้น ค่าที่เหมาะสมสำหรับวัตถุทรงหยดน้ำที่ให้แรงต้านอากาศน้อยที่สุด คือ a/b = ½.5



รูปที่ 3.2 สัดส่วนที่เหมาะสมของวัตถุทรงหยดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่ใช้คำนวณเพื่อหาแรงต้านอากาศคือ

$$R_a = K_a A V'' \qquad (3.11)$$

เมื่อ R_a = แรงต้านอากาศ , N

K_a = สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ

A = พื้นที่หน้าตัดของรถยนต์ , m''

V = อัตราเร็วรถยนต์ ,km/h

จากการทดลองพบว่าค่า Ka ขึ้นอยู่กับรูปทรงของรถยนต์ที่ออกแบบ ถ้าออกแบบได้ลู่ลม ค่า Ka ก็จะน้อย แต่ถ้าต้านลมค่า Ka ก็จะมาก ค่า Ka นิยมใช้กันมีดังนี้

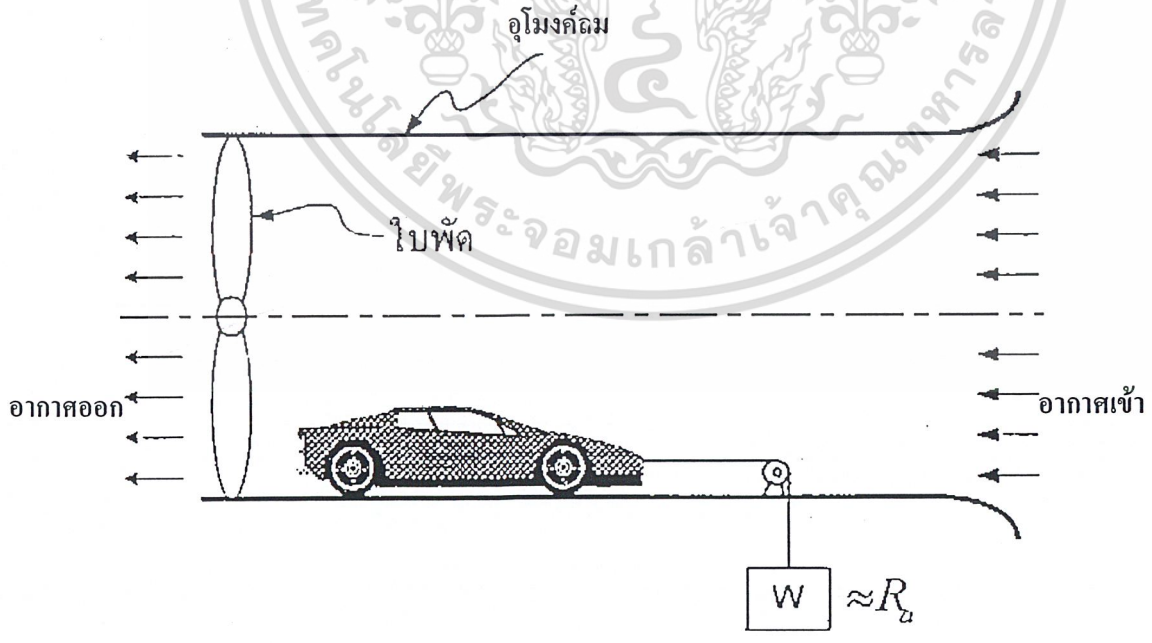
Ka = 0.023 สำหรับรถยนต์ที่ออกแบบดีมาก

Ka = 0.031 สำหรับรถยนต์ทั่ว ๆ ไป

Ka = 0.045 สำหรับรถบรรทุกและรถเมล์

การหาค่า Ka หรือแรงต้านอากาศอาจทำได้โดยการสร้างหุ่นจำลองรถยนต์ขนาดเล็กแล้ววางในอุโมงค์ลม ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณการไหลของอากาศภายในได้ หรือถ้ามีอุโมงค์ลมขนาดใหญ่ก็อาจใช้รถยนต์จริงในการทดสอบก็ได้

รูปที่ 3.3 แสดงการทดสอบเพื่อหาแรงต้านอากาศของรถยนต์โดยใช้หุ่นจำลองซึ่งวางไว้ในอุโมงค์ลม ด้านหน้าของหุ่นจำลองมีเชือกผูกไว้โดยคล้องกับรอกหรือห้อยตุ้มน้ำหนัก น้ำหนัก W ที่ใช้ในการดึงไม่ให้หุ่นจำลองเคลื่อนที่ถอยหลัง จะมีค่าใกล้เคียงกับแรงต้านอากาศ R



รูปที่3.3 การทดลองหาแรงต้านอากาศโดยใช้หุ่นจำลองและอุโมงค์ลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของรถยนต์นั้นไม่เป็นสี่เหลี่ยม คือ มีส่วนเว้าส่วนโค้งตามความสวยงามของการออกแบบ จึงทำให้ไม่สามารถหาพื้นที่หน้าตัดของรถยนต์ได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงหาได้โดยวิธีประมาณดังนี้

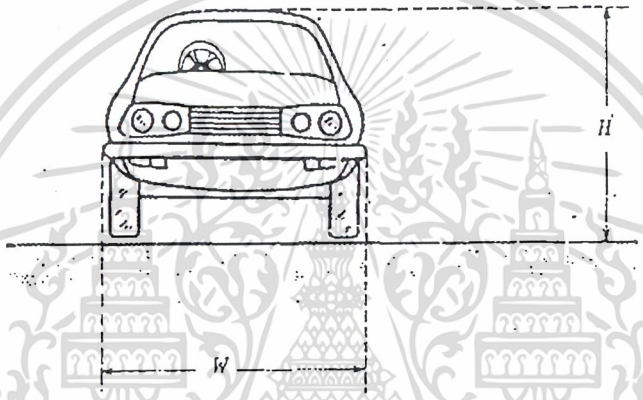
$$A = 0.8WH \tag{3.12}$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดของรถยนต์ , m^2

w = ความกว้างของรถยนต์ , m

H = ความสูงของรถยนต์ , m

ความกว้างของรถยนต์วัดจากขอบตัวถังด้านซ้ายไปยังของตัวถังด้านขวา ความสูงของรถยนต์วัดจากพื้นถนนถึงจุดสูงสุดของหลังคาดรถยนต์ ตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ความกว้างและความสูงของรถยนต์

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

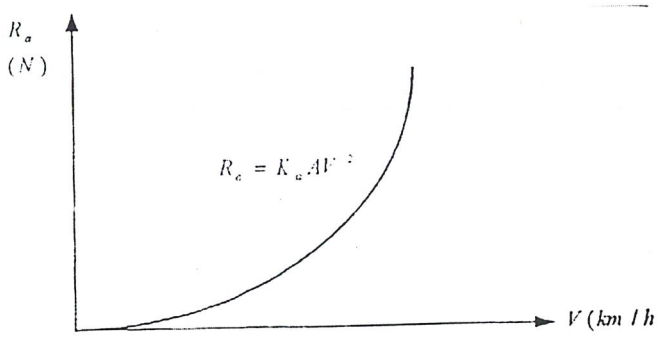
รถยนต์วิ่งทวนลม , ใช้ V = อัตราเร็วรถยนต์ + อัตราเร็วลม

รถยนต์วิ่งตามลม ใช้ V = อัตราเร็วรถยนต์ – อัตราเร็วลม

รถยนต์วิ่งในลมสงบ ใช้ V = อัตราเร็วรถยนต์

เมื่อนำค่า Ra และ V มาเขียนกราฟ จะได้กราฟลักษณะตามรูปที่ 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านอากาศกับอัตราเร็วรถยนต์

รูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านอากาศกับอัตราเร็วรถยนต์ จะเห็นได้ว่าแรงต้านอากาศจะเพิ่มขึ้นอย่างมากที่อัตราเร็วสูง ๆ แรงต้านอากาศจึงเป็นตัวการสำคัญอย่างยิ่งในการกำจัดอัตราเร็วสูงสุดของรถยนตี ดังนั้นเพื่อลดแรงต้านอากาศให้น้อยลงจึงต้องพยายามลดค่า Ka ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดเท่ากัน ค่า Ka จะลดลงก็ต่อเมื่อรูปทรงขอรถยนต์ต้องลู่ลมตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

3.2.7 แรงต้านทางชัน

ในขณะที่รถยนต์วิ่งขึ้นทางชัน กำลังจากเครื่องยนต์บางส่วนต้องถูกใช้ไปเพื่อเอาชนะแรงต้านทางชัน ทำให้เครื่องยนตีต้องทำงานหนักมากขึ้นกว่าวิ่งบนถนนระดับแต่ในทางกลับกันรถยนต์วิ่งลงทางลาด เครื่องยนต์จะทำงานเบาขึ้นเพราะมีแรงเสริม เนื่องจากน้ำหนักรถยนต์ทำให้รถยนต์เคลื่อนที่ได้เอง

แรงต้านทางชันเกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ

1. น้ำหนักรถยนต์
2. ความชันของถนน

น้ำหนัก W ของรถยนต์ (ดูรูปที่ 2.24) สามารถแตกออกเป็นสองแนวตามรูปได้แก่ W sin θ และ W cos θ แรงต้านทางชันเกิดจากค่า W sin θ

ดังนั้น $R_g = W \sin \theta$ (3.13)

ในกรณีที่ θ มีค่าน้อย (น้อยกว่า 20 $^\circ$) จะได้ว่า tan θ = sin θ

และให้ G = % ความชัน = tan θ x 100

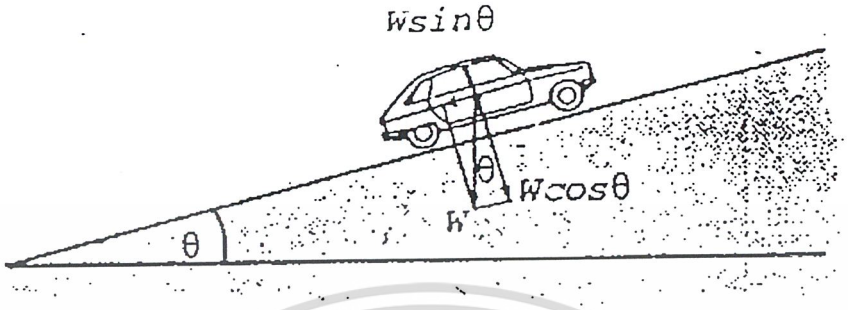
ดังนั้น $R_g = WG/100$ (3.14)

เมื่อ R_g = แรงต้านทางชัน , N

W = น้ำหนักรถยนต์ ,N

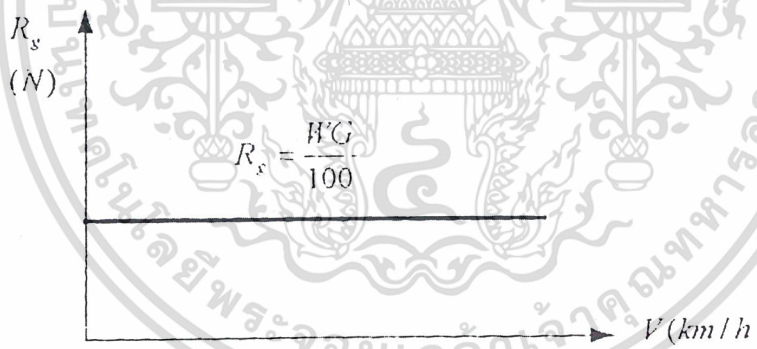
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G = ความชัน %



รูปที่ 3.6 แรงต้านทางชัน

จะเห็นได้ว่า แรงต้านทางชันมีค่าคงที่สม่ำเสมอตราบเท่าที่น้ำหนักรถยนต์และความชันของถนนไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อเขียนกราฟระหว่างแรงต้านทางชันกับอัตราเร็วรถยนตีจะได้กราฟเส้นตรงตามรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทางชันกับอัตราเร็วของรถยนต์

เมื่อรวมแรงต้านการหมุนของล้อ แรงต้านอากาศ และแรงต้านทางชัน จะได้แรงต้านทั้งหมดของรถยนตีในขณะที่กำลังวิ่งขึ้นทางชัน (ถ้ารถยนต์วิ่งบนถนนระดับ แรงต้านทั้งหมดจะมีเพียงแรงต้านการหมุนของล้อและแรงต้านอากาศ) ดังนั้นจะได้

$$R_t = R_r + R_a + R_g \qquad (3.15)$$

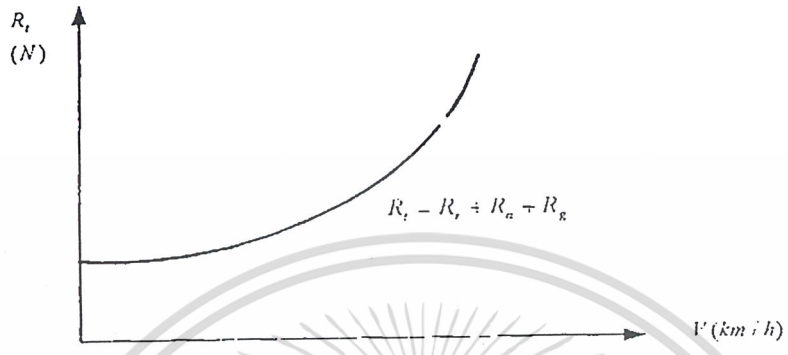
เมื่อ R_t = แรงต้านทั้งหมด , N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_r = แรงต้านการหมุนของล้อ , N

R_a = แรงต้านอากาศ ,N

R_g = แรงต้านทางชัน , N



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทั้งหมดกับอัตราเร็วรถยนต์

3.2.8 แรงขับเคลื่อน

ในขณะที่รถยนต์กำลังวิ่งด้วยอัตราเร็วใด ๆ เครื่องยนต์จะต้องส่งกำลังขับเคลื่อนที่ยังล้อขับเคลื่อน แรงขับเคลื่อนที่ล้อจะต้องเท่ากับแรงต้านทั้งหมดในขณะนั้น เพื่อรักษาอัตราเร็วรถยนต์ให้คงที่แรงขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างยางกับถนน ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างยางกับถนนต้องสูงมากพอที่จะไม่ทำให้เกิดการลื่นไถลบริเวณผิวสัมผัส

แรงขับเคลื่อนที่ล้อสามารถหาได้จากกำลังเครื่องยนต์ หรือในทางกลับกันก็สามารถหากำลังเครื่องยนต์ได้ตามแรงขับเคลื่อนที่ล้อ โดยใช่ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเครื่องยนต์กับแรงบิดใช้สูตร

$$P_e = 2\pi NT_e \tag{3.16}$$

เมื่อ P_e = กำลังเครื่องยนต์ , W

π = 3.1416

N = อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ ,rps

T_e = แรงบิดเครื่องยนต์ , N, m

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดที่ล้อขับเคลื่อนกับแรงบิดเครื่องยนต์ใช้สูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_w = \eta_t i_g i_f T_e /100 \quad (3.17)$$

เมื่อ T_w = แรงบิดที่ล้อ ,N . m

η_t = ประสิทธิภาพการส่งกำลัง , %

i_g = อัตราทดเฟืองเกียร์

i_f = อัตราทดเฟืองท้าย

T_e = แรงบิดเครื่องยนต์ ,N.m

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับเคลื่อนและแรงบิดที่ล้อใช้สูตร

$$F = T_w /r \quad (3.18)$$

เมื่อ F = แรงขับเคลื่อน , N

T_w = แรงบิดที่ล้อ

r = รัศมีของยางที่ล้อขับเคลื่อน , m

หรือ $$F = \eta_t i_g i_f T_e /100r \quad (3.19)$$

หรือ $$F = \eta_t i_o T_e /100r \quad (3.20)$$

เมื่อ $i_o = i_g i_f$ = อัตราทดเฟืองทั้งหมด

3.2.9 อัตราเร็วรถยนต์

ในขณะที่ขับขี่รถยนต์ อัตราเร็วรถยนต์จะมีความสัมพันธ์กับอัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ โดยขึ้นอยู่กับอัตราทดเฟืองทั้งหมดขณะนั้น

การหาอัตราเร็วรถยนต์ทำได้ดังนี้

ให้อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ = N rps (3.21)

ดังนั้น อัตราเร็วรอบล้อขับเคลื่อน = N/ i_o rps (3.22)

เส้นรอบวงของยางรถยนต์ = $2\pi r$ m (3.23)

ดังนั้น อัตราเร็วรถยนต์ = $(2\pi r) N/ i_o$ m/s (3.24)

หรือ = $(2\pi r) N/ i_o [3600/1000]$ km/h (3.25)

หรือ $V = 3.6(2\pi r)N/ i_o$ (3.26)

เมื่อ V = อัตราเร็วรถยนต์ , km/h

r = รัศมียางรถยนต์ , m

N = อัตราเร็วรอบเครื่องยนต์ ,rps

i_o = อัตราทดเฟืองทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.10 กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์

เมื่อคำนวณแรงต้านทั้งหมดของรถยนต์ได้แล้ว แรงขับเคลื่อนจะต้องมีค่าเท่ากับแรงต้านทั้งหมด เพื่อรักษาอัตราเร็วรถยนต์ได้คงที่

ดังนั้นกำลังขับเคลื่อนที่ล้อในขณะที่รถยนต์มีอัตราเร็ว = V หาได้จากสูตร

$$P_w = FV/3.6 \quad (3.27)$$

และ กำลังเครื่องยนต์ในขณะนั้นคำนวณได้จาก

$$P_e = 100\,P_w / \eta_t = 100FV / 3.6\eta_t \quad (3.28)$$

เมื่อ P_w = กำลังขับเคลื่อนที่ล้อ , W

F = แรงขับเคลื่อน , N

V = อัตราเร็วรถยนต์ , km/h

P_e = กำลังเครื่องยนต์ , W

η_t = ประสิทธิภาพการส่งกำลัง , %

3.2.11 การเลือกขนาดของเครื่องยนต์และมอเตอร์

ข้อมูลการออกแบบ

- น้ำหนักรถรวม 730.5 กก.
  - ตัวรถ 500 กก.
  - คนขับ 65 กก.
  - มอเตอร์ 15 กก.
  - แบตเตอรี่ 9 ก้อนๆละ 6 กิโลกรัม รวม 144 กก.
  - เครื่องชาร์จไฟ 5 กก.
  - ชุดควบคุม 1.5 กก.
- ความเร็วรถที่ออกแบบ 20 กก./ชม.
- รัศมีที่ล้อขับเคลื่อน 0.48 ม.
- ความกว้างของรถ 1.37 ม.
- ความสูงของรถ 1.78 ม.
- อัตราทดรวม
  - ระบบเครื่องยนต์ 13.24 : 1
  - ระบบไฟฟ้า 9.52 : 1
- ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า 0.8
- ประสิทธิภาพของระบบเครื่องยนต์ 0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

- แรงต้านการขับเคลื่อน

- แรงต้านการหมุนของล้อ

$$R_r = K_r W$$

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

- พื้นที่หน้าตัดรถ

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

$$= 0.8*1.37*1.78$$

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

- แรงต้านอากาศ

$$R_a = K_a A V''$$

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

$$= 24.19 \text{ N}$$

- ไม่คิดแรงต้านทางชัน

แรงต้านทั้งหมด $R_t = R_r + R_a + R_g$

$= 130.42+24.19 = 154.61$ N

- แรงขับเคลื่อน

แรงขับเคลื่อน(F) = แรงต้านอากาศ(R_t)

$F = 154.61$ N

- แรงบิดที่ล้อขับเคลื่อน

$$T_w = F.r$$

$$T_w = 154.61*0.48 = 74.21 \text{ N.m}$$

- กำลังขับเคลื่อนที่ล้อ

$$P_w = FV/3.6$$

$$= (154.61*20)/3.6 = 858.94 \text{ W}$$

- กำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์

$$P_e = P_w / \eta_t$$

$$= 858.94 / 0.7 = 1227.06 \text{ W}$$

- แรงบิดของเครื่องยนต์

$$T_e = T_w / \eta_t . i_t$$

$$= 74.21 / (0.7*13.24) = 8.01 \text{ N.m}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความเร็วรอบของเครื่องยนต์

$$N = (V*i_t) / (2\pi r*3.6)$$

$$= (20*13.24) / (2\pi*0.48*3.6)$$

$$= 24.39 \text{ rps} = 1463.34 \text{ rpm}$$

- กำลังขับเคลื่อนของมอเตอร์

$$P_m = P_w / \eta_t$$

$$= 858.94 / 0.8 = 1073.67 \text{ W}$$

- แรงบิดของมอเตอร์

$$T_m = T_w / \eta_t . i_t$$

$$= 74.21 / (0.8*9.52)$$

$$= 9.74 \text{ N.m}$$

- ความเร็วรอบของมอเตอร์

$$N = (V * i_t) / (2\pi r*3.6)$$

$$= (20*9.52) / (2\pi*0.48*3.6)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 วัตถุประสงค์

- เพื่อทำการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของแต่ละระบบการทำงานของรถยนต์ไฮบริด
- เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และพัฒนาต่อไปในอนาคต

4.2 วิธีการทดสอบ

4.2.1การทดสอบเครื่องยนต์

การทดสอบเครื่องยนต์เป็นการนำรถไฮบริดมาทดสอบสมรรถนะในส่วนการทำงานของเครื่องยนต์ในสภาวะต่างๆเพื่อหาค่ากำลังที่รถยนต์ให้ออกมาในช่วงความเร็วต่างๆและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน โดยในการทดสอบครั้งนี้ใช้เครื่องทดสอบ CHASSIS DYNAMOMETER ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- ขับรถให้ล้อที่จะทำการทดสอบอยู่กลางลูกกลิ้งในขณะที่ลิฟท์ยกรถถูกยกขึ้นรอไว้โดยกด PUSH BUTTON ที่REMOTE CONTROL
- กดปุ่มให้ลิฟท์ลงให้ล้อสัมผัสลูกกลิ้งตรวจดูให้มั่นใจว่าล้อรถสัมผัสเฉพาะลูกกลิ้งเท่านั้น
- เข้าเกียร์ 1 และเร่งเครื่องให้วิ่งช้าๆบนลูกกลิ้ง ลูกกลิ้งจะเป็นตัวปรับให้รถอยู่ในตำแหน่งตรง
- ปรับค่าน้ำหนักรถ ความต้านทานของลมปะทะรถเวลาวิ่งจริง และความต้านทานของยางรถ
- ลูกกลิ้งจะถูกล็อคโดยอัตโนมัติในกรณีที่กดปุ่มยกลิฟท์ขึ้นเพื่อให้ขับรถออกจากลูกกลิ้งได้ หากขับรถบนลูกกลิ้งเกินกว่าความเร็ว 5 กม./ชม. ปุ่มยกลิฟท์จะไม่ทำงานเพื่อป้องกันรถเลื่อนออกจากลูกกลิ้งในขณะทำการทดสอบอยู่
- ปรับโปรมแกรมการทดสอบ Km/h ไฟที่ Cabinet จะติดขณะนี้ Eddy current brake จะทำงานโดยอัตโนมัติ
- ในขณะที่รถวิ่งอยู่บนลูกกลิ้งจะไม่สามารถเปลี่ยนโปรแกรมการทดสอบได้ต้องให้ลูกกลิ้งหยุดก่อนจึงจะเปลี่ยนโปรแกรมได้
- ตั้งค่าภาระของเครื่องทดสอบที่ความเร็วต่างๆ
- เร่งความเร็วของเครื่องยนต์จนกระทั่งค่าความเร็วของเครื่องยนต์บนเครื่องทดสอบเพิ่มขึ้นจนไม่มีการเปลี่ยนแปลง ณ ที่ความเร็วที่ตั้งไว้
- อ่านค่าและบันทึกผลลงในตาราง

4.2.2 การทดสอบการใช้น้ำมัน

- กำหนดระยะทางการวิ่งของรถยนต์เป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร
- กำหนดความเร็วของรถยนต์ให้คงที่ในช่วง 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง(คลาดเคลื่อนได้ 1 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)
- เติมน้ำมันในกระบอกตวงขนาด 160 ซีซี
- ทำการวิ่งในช่วงระยะทางและความเร็วของรถยนต์ในช่วงที่กำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระหว่างการทดลองในกรณีที่ใช้ระบบไฮบริดให้วัดกระแสไฟฟ้าด้วย
- สังเกตปริมาณน้ำมันที่ใช้ไปเมื่อวิ่งครบตามระยะทางที่กำหนด
- บันทึกค่าที่ได้

4.2.3 การทดสอบมอเตอร์

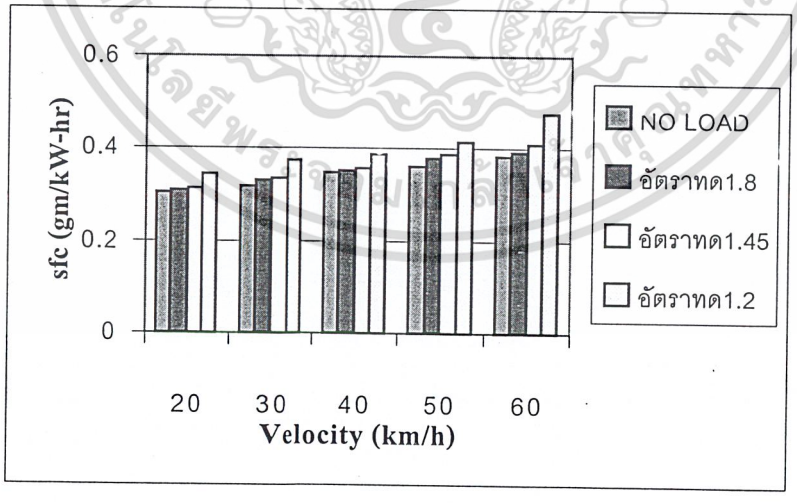
- วัดกระแสไฟฟ้าที่เข้ามอเตอร์โดยใช้แอมป์มิเตอร์แล้วบันทึกค่ากระแสที่ทำได้
- วัดค่าความเร็วรอบที่ทำได้โดยใช้เครื่องวัดรอบแล้วบันทึกค่าความเร็วรอบที่ทำได้

4.3 ผลการทดสอบระบบเครื่องยนต์ (โดยใช้เครื่องทดสอบ CHASSIS DYNAMOMETER)

4.3.1 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะ

ความเร็ว km/h	SFC NO LOAD gm/kW-hr	SFC ที่อัตราทด1.8 gm/kW-hr	SFC ที่อัตราทด1.45 gm/kW-hr	SFC ที่อัตราทด1.2 gm/kW-hr
20	0.3060	0.310	0.312	0.344
30	0.3197	0.329	0.336	0.377
40	0.3504	0.355	0.359	0.389
50	0.3635	0.378	0.389	0.416
60	0.3841	0.392	0.409	0.478

ตารางที่4-1 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะที่สภาวะต่างๆ



กราฟที่4-1 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉพาะที่สภาวะต่างๆ

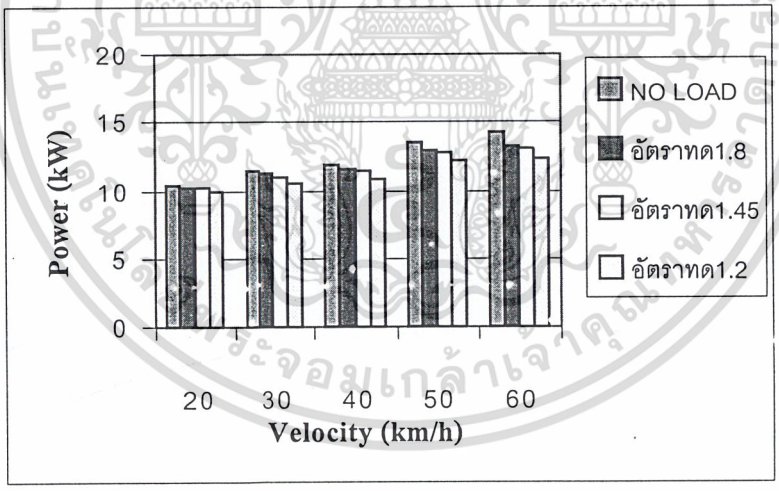
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบของเครื่องยนต์แสดงให้เห็นว่าที่อัตราทด 1.8 เป็นอัตราทดที่มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะต่ำกว่าที่อัตราทด 1.45 และอัตราทด 1.2 ตามลำดับ แต่สูงกว่าที่สภาวะ NO LOAD เล็กน้อยที่อัตราเร็วเดียวกันจึงเลือกใช้อัตราทด 1.8 เป็นอัตราทดที่ใช้ในรถยนต์ไฮบริด

4.3.2 กำลังของรถยนต์

ความเร็ว km/h	กำลังของรถ NO LOAD kW	กำลังของรถ ที่อัตราทด1.8 kW	กำลังของรถ ที่อัตราทด1.45 kW	กำลังของรถ ที่อัตราทด1.2 kW
20	10.40	10.30	10.25	9.90
30	11.45	11.35	11.00	10.50
40	11.95	11.60	11.45	10.80
50	13.55	13.00	12.85	12.25
60	14.35	13.30	13.10	12.40

ตารางที่4-2 แสดงกำลังของรถยนต์ที่สภาวะต่างๆ



กราฟที่4-2แสดงการเปรียบเทียบกำลังของรถยนต์ที่สภาวะต่างๆ

จากผลการทดสอบของเครื่องยนต์แสดงให้เห็นว่าที่อัตราทด 1.8 เป็นอัตราทดที่มีกำลังของรถยนต์มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่อัตราทด 1.45 และอัตราทด 1.2 ที่อัตราเร็วเดียวกันจึงเลือกใช้อัตราทด 1.8 เป็นอัตราทดที่ใช้ในรถยนต์ไฮบริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ผลการทดสอบระบบเครื่องยนต์ (วิ่งบนถนนจริงระยะทาง 1 กิโลเมตร)

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

ตารางที่4-3 แสดงผลการทดสอบของระบบเครื่องยนต์

จากผลการทดสอบเครื่องยนต์มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันอยู่ที่ 7.94 กิโลเมตรต่อลิตรและมีกำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ที่ 10650 วัตต์

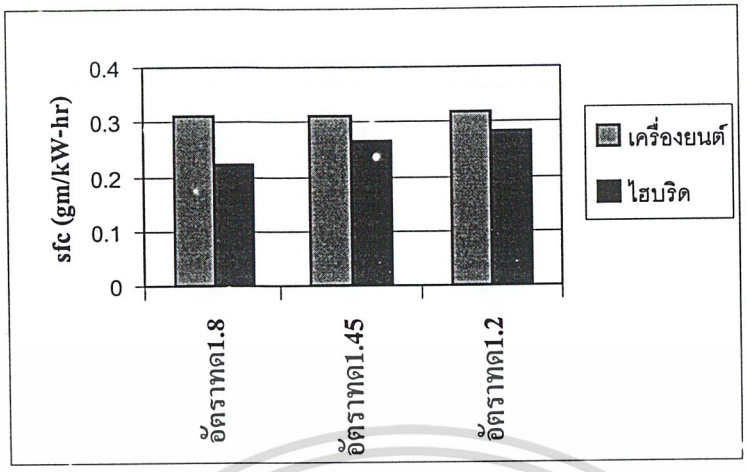
4.5 ผลการทดสอบระบบไฮบริด(โดยใช้เครื่องทดสอบ CHASSIS DYNAMOMETER)

4.5.1 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะ

อัตราทด	SFC เครื่องยนต์ gm/kW-hr	SFC ไฮบริด gm/kW-hr
1.8	0.310	0.224
1.45	0.313	0.265
1.2	0.317	0.283

ตารางที่4-4 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเฉพาะของระบบเครื่องยนต์และระบบไฮบริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่4-3 เปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉพาะในระบบเครื่องยนต์และระบบไฮบริด

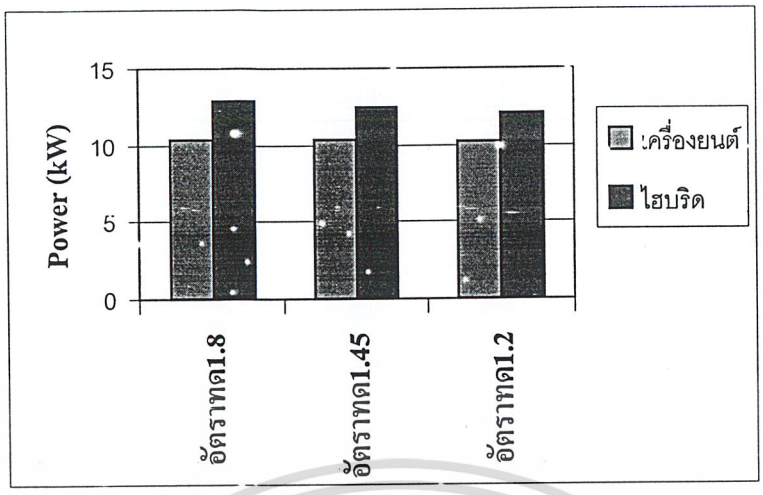
จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำพลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้ร่วมกับเครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนรถยนต์แล้วสามารถลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเฉพาะลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับใช้เครื่องยนต์อย่างเดียว

4.5.2 กำลังของรถยนต์

อัตราทด	เครื่องยนต์ kW	ไฮบริด kW
1.8	10.30	12.85
1.45	10.40	12.50
1.2	10.20	12.05

ตารางที่ 4-5 แสดงกำลังของรถยนต์ของระบบเครื่องยนต์และระบบไฮบริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่4-4 เปรียบเทียบกำลังของรถยนต์ในระบบเครื่องยนต์และระบบไฮบริด

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำพลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้ร่วมกับเครื่องยนต์ในการขับเคลื่อนรถยนต์แล้วสามารถเพิ่มกำลังของรถยนต์ให้สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับใช้เครื่องยนต์อย่างเดียว

4.6 ผลการทดสอบระบบไฮบริด(วิ่งบนถนนจริงระยะทาง 1 กิโลเมตร)

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

ตารางที่4-6 แสดงผลการทดสอบของระบบไฮบริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบความเร็วของระบบไฮบริดอยู่ที่ 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันอยู่ที่ 13.34 กิโลเมตรต่อลิตร และใช้กระแสไฟฟ้า 36 แอมป์ กำลังขับเคลื่อนรวมอยู่ที่ 11628 วัตต์ จำนวนเงินที่สูญเสียไปกับกระแสไฟฟ้าและน้ำมันอยู่ที่ 0.129 บาทและ 0.975 บาทตามลำดับ

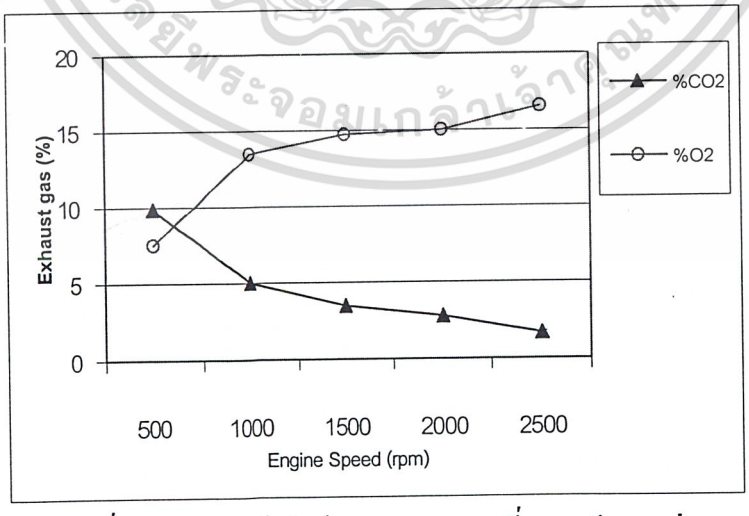
4.7ผลการทดสอบมอเตอร์ไฟฟ้า

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

ตาราง4-7 แสดงการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า

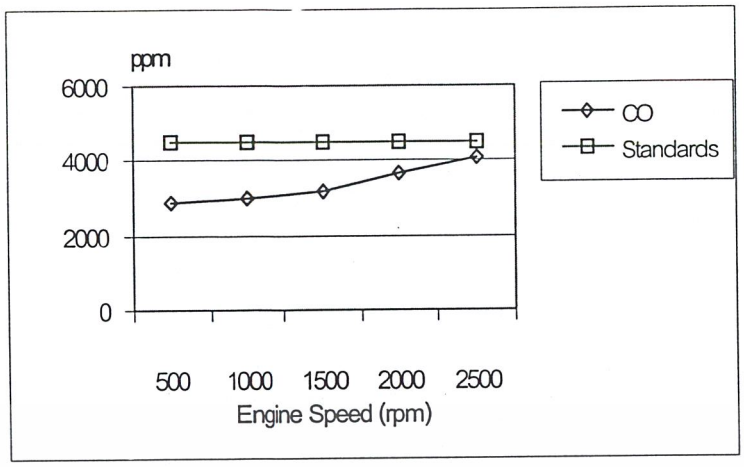
จากผลการทดสอบที่อัตราทด1.8 ซึ่งเป็นอัตราทดที่เลือกใช้ในรถยนต์ไฮบริด มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถทำความเร็วได้ 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง มีความเร็วรอบ 2550 รอบต่อนาที โดยกินกระแสไฟฟ้าที่ 105 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า 48 โวลท์

4.8 ผลการทดสอบก๊าซไอเสีย



กราฟที่4-5 แสดงเปอร์เซ็นต์ (CO_2) และ (O_2) ที่ความเร็วรอบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่4-6 แสดงปริมาณ CO เปรียบเทียบกับค่ามาตราฐาน

การทดสอบหาปริมาณก๊าซต่างๆของไอเสียสามารถทำการวัดได้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ก๊าซไอเสียวัดหาปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) ออกซิเจน(O_2) และคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) ที่ความเร็วรอบต่างๆซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2)มีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบมากขึ้น แต่ปริมาณออกซิเจน(O_2)จะลดลงเมื่อความเร็วรอบมากขึ้น ส่วนปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์(CO)นั้นจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบมากขึ้นแต่ยังต่ำกว่าค่ามาตราฐานที่กำหนดไว้ในกฎหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และสรุป

5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการดำเนินงานรถยนต์ไฮบริดเราพบว่าสามารถนำเอาพลังงาน2ชนิดคือเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้ในการขับเคลื่อนรถยนต์ร่วมกันได้โดยไม่เกิดการหน่วงกันขึ้นได้ แต่ยังมีปัญหาอยู่หลายประการที่เกิดขึ้นทำให้เราไม่สามารถได้ผลการทดสอบตามต้องการซึ่งประกอบด้วย

- ในระบบCharge mode นั้นสามารถผลิตกระแสไฟฟ้านำกลับมาเก็บแบตเตอรี่ได้ แต่มีปริมาณน้อยไม่เพียงพอกับความต้องการของระบบ
- การใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้ายังมีขีดจำกัดคือสามารถทำงานได้เพียงความเร็วรอบช่วงเดียวเท่านั้นเนื่องจากไม่มีชุดควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้าจึงสามารถนำพลังงานจากมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้งานได้ที่ความเร็วช่วงหนึ่งเท่านั้นและไม่สามารถออกตัวด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าได้
- ในระบบส่งกำลังนั้นใช้โซ่ในการส่งกำลังทำให้เกิดเสียงดังขณะที่โซ่ทำงาน
- เครื่องยนต์มีอายุการใช้งานที่นานทำให้มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงค่อนข้างสูง

5.2 สรุปผลการทดลอง

โครงการรถยนต์ไฮบริดนี้จัดทำขึ้นเพื่อนำเอาพลังงานจากเครื่องยนต์และมอเตอร์ไฟฟ้ามาใช้งานร่วมกันในการขับเคลื่อนรถยนต์ซึ่งทำให้พบว่าเราสามารถนำแหล่งพลังงานทั้งสองมาใช้งานร่วมกันโดยไม่เกิดการหน่วงกันขึ้นและสามารถเพิ่มกำลังของรถยนต์และลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงลงได้เมื่อมีการใช้งานแบบไฮบริด รวมทั้งยังทำการทดสอบการทำงานของระบบต่างๆของรถอีกด้วยซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

1. รถยนต์วิ่งด้วยระบบไฮบริด เปรียบเทียบกับ รถยนต์ที่วิ่งด้วยระบบเครื่องยนต์ ที่ความเร็วประมาณ 20 km/h (ใช้เครื่องทดสอบ CHASSIS DYNAMOMETER)
   - สามารถเพิ่มกำลังของรถยนต์ได้ 24.75 % ในขณะใช้งานแบบไฮบริด
   - สามารถลดอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงได้ 27% ในขณะใช้งานแบบไฮบริด

2.รถยนต์วิ่งด้วยระบบไฮบริด เปรียบเทียบกับ รถยนต์ที่วิ่งด้วยระบบเครื่องยนต์ ที่ความเร็วประมาณ 20 km/h (วิ่งบนถนนจริงระยะทาง 1 กิโลเมตร)
   - สามารถประหยัดน้ำมันประมาณ 40% แต่กินกระแสไฟฟ้า 36 A
   - สามารถประหยัดเงินได้กิโลเมตรละ 0.534 บาท
   - มีกำลังเพิ่มขึ้น 978 W (ประมาณ 8%) ดังนั้นจะมีแรงในการแซงหรือขึ้นเขาได้ดีกว่า

5.2.1 ข้อมูลจำเพาะของรถยนต์ไฮบริด

- ความเร็วสูงสุดของรถยนต์โดยใช้เครื่องยนต์ในการขับเคลื่อน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความเร็วของรถยนต์ในการใช้งานแบบไฮบริด 20 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- กำลังของรถยนต์เมื่อใช้เครื่องยนต์ (ที่ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) 13.3 กิโลวัตต์
- กำลังของรถยนต์เมื่อใช้งานแบบไฮบริด 12.85 กิโลวัตต์
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ (ที่ 60กิโลเมตรต่อชั่วโมง) 0.392 กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง
- อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการใช้งานแบบไฮบริด 0.224 กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง
- เวลาที่สามารถใช้มอเตอร์ไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง 1 hour

5.2.2 ข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์ไฟฟ้า

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

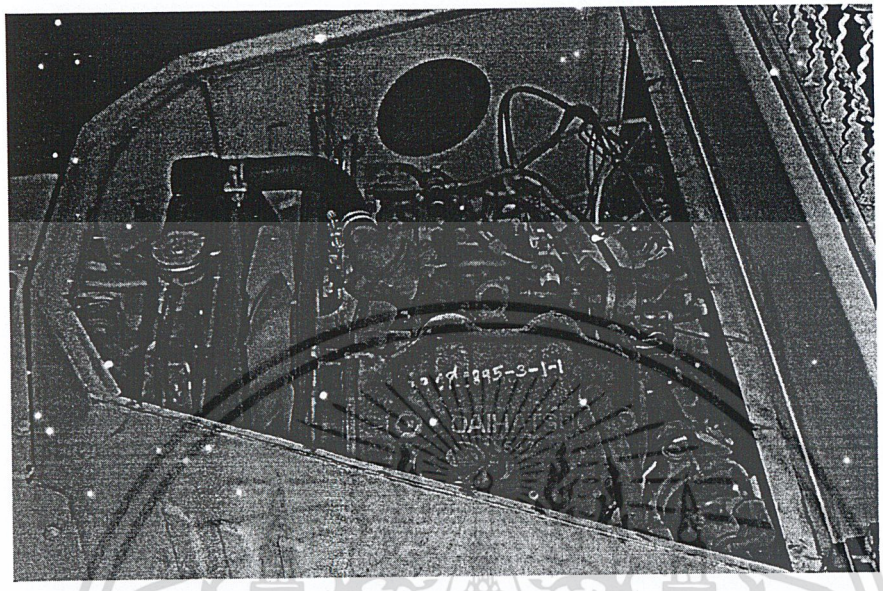
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

- การใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้าควรจัดหา ตัวController มาควบคุมให้มอเตอร์สามารถเปลี่ยนแปลงความเร็วได้และสัมพันธ์กับความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพในทุกช่วงการขับขี่
- ในระบบการประจุกระแสไฟฟ้าควรมีการใช้เจนเนอเรเตอร์มาผลิตกระแสไฟหรือใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้
- ใช้สายพานในการส่งกำลังเพื่อลดปัญหาการเกิดเสียงดังในขณะใช้งาน

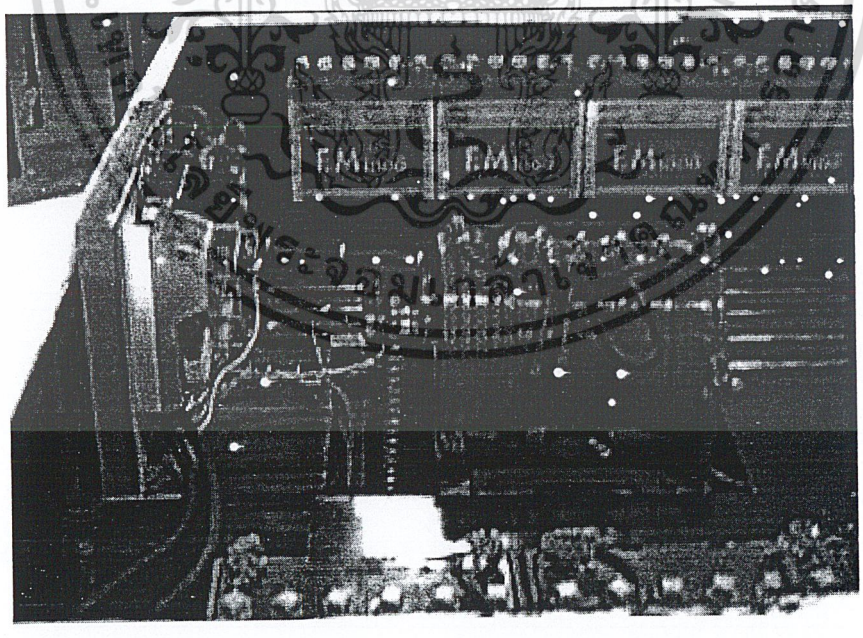
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

รูประบบต่างๆในรถยนต์ไฮบริด

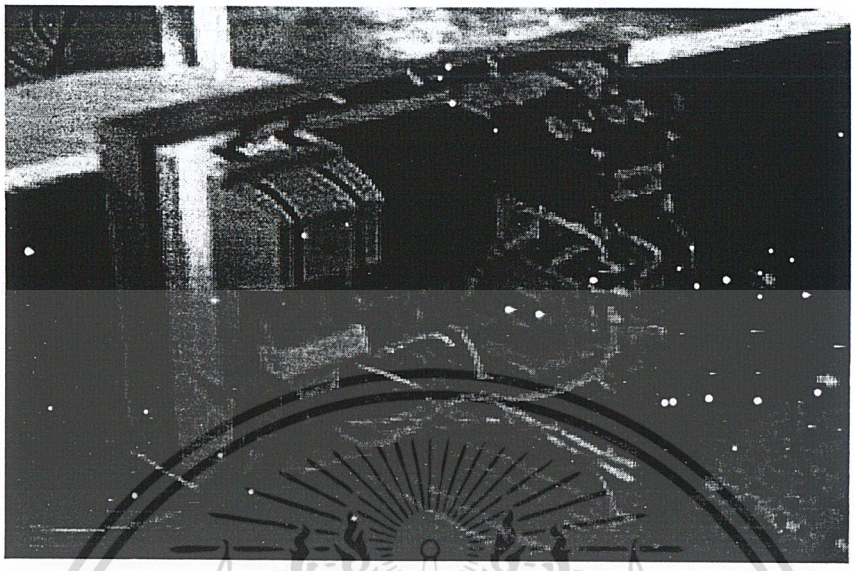


รูปที่ ก-1 ระบบเครื่องยนต์

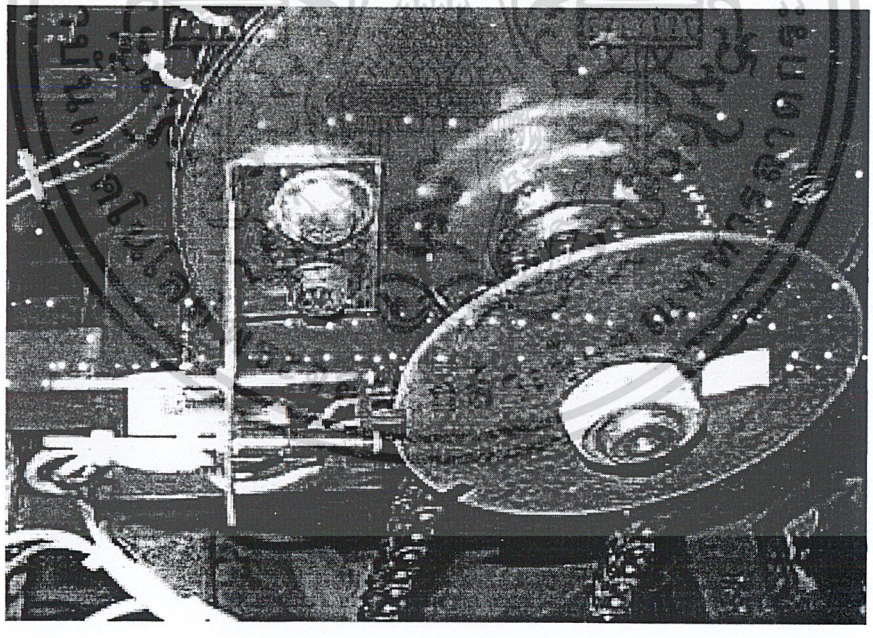


รูปที่ ก-2 มอเตอร์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

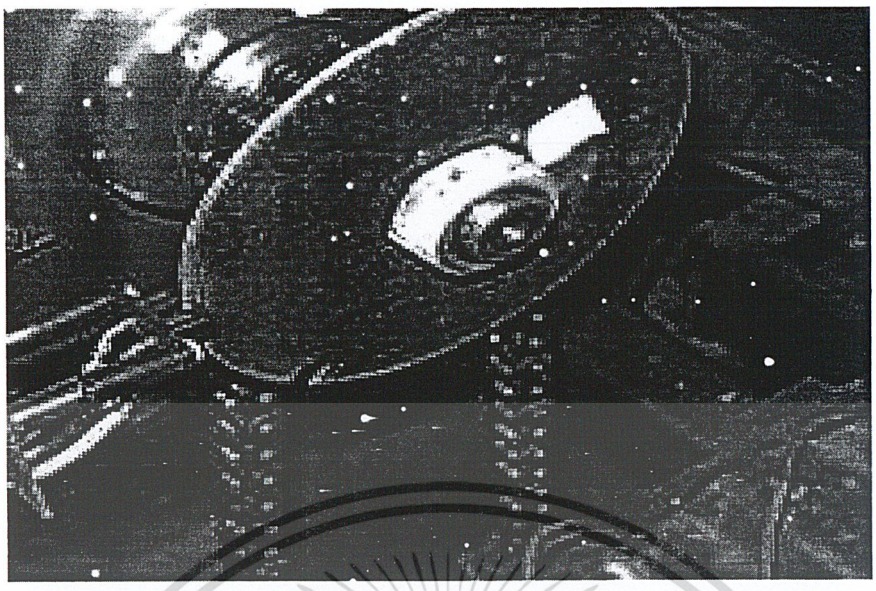


รูปที่ ก-3 ชุดควบคุมการเปิดปิดของมอเตอร์ไฟฟ้า

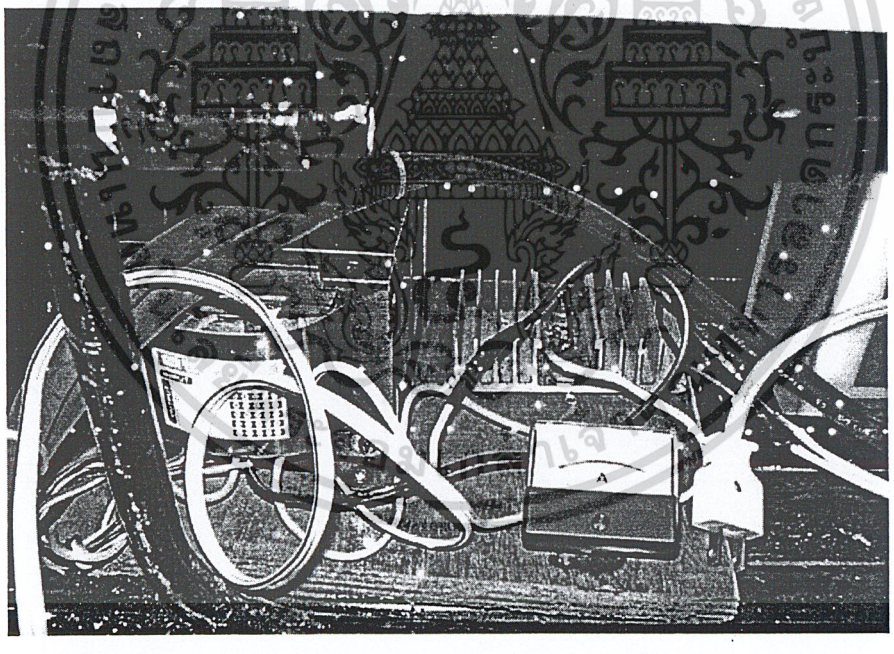


รูปที่ ก-4 ออปโตเซ็นเซอร์วัดความเร็วรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

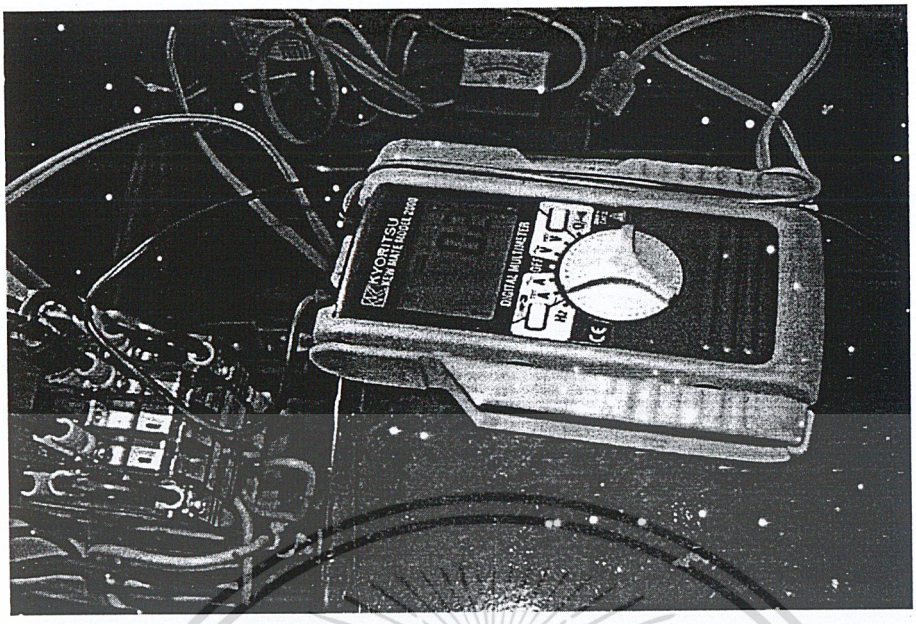


รูปที่ ก-5 การส่งกำลังด้วยโซ่

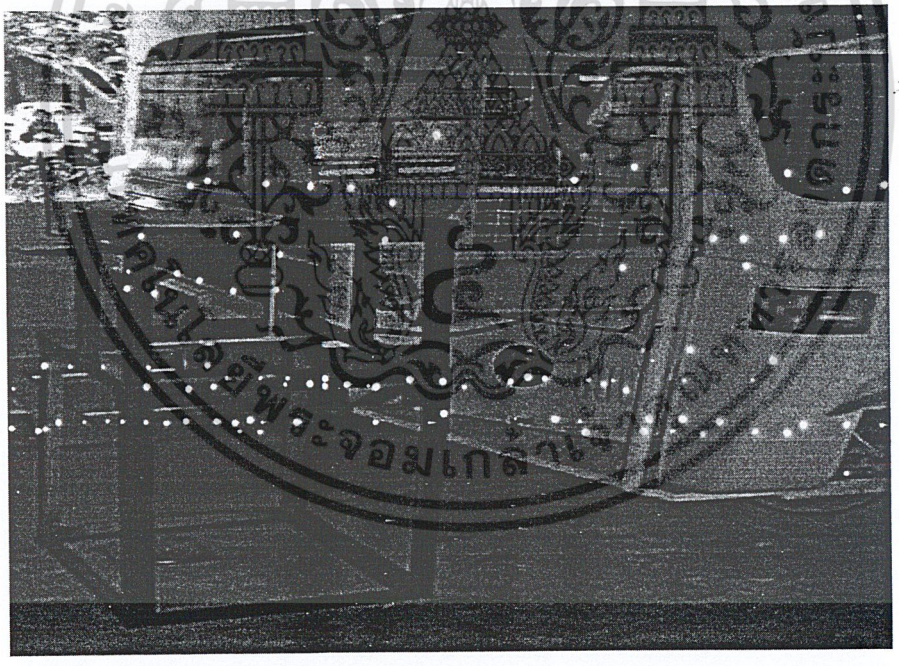


รูปที่ ก-6 ชุดชาร์จแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

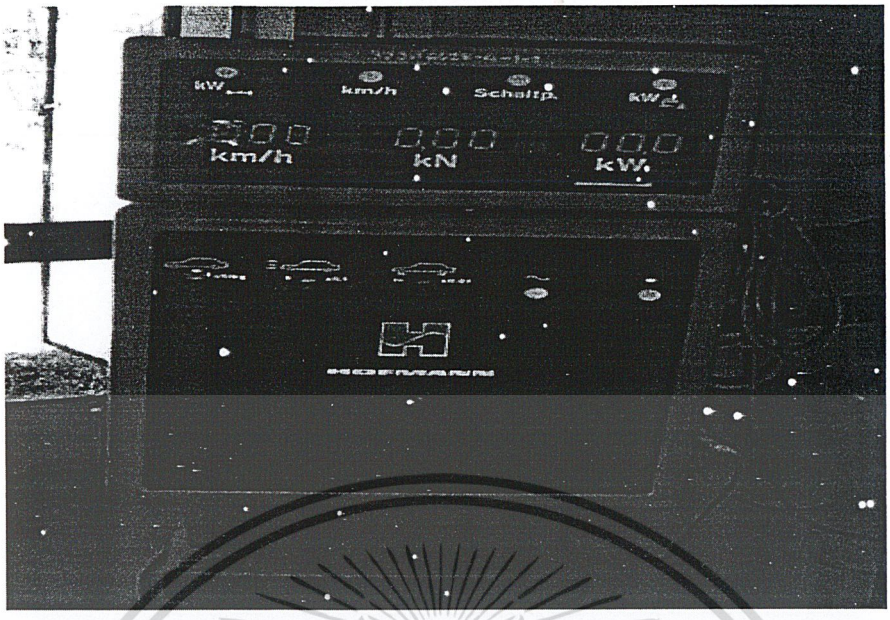


รูปที่ ก-7 แอมป์มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า

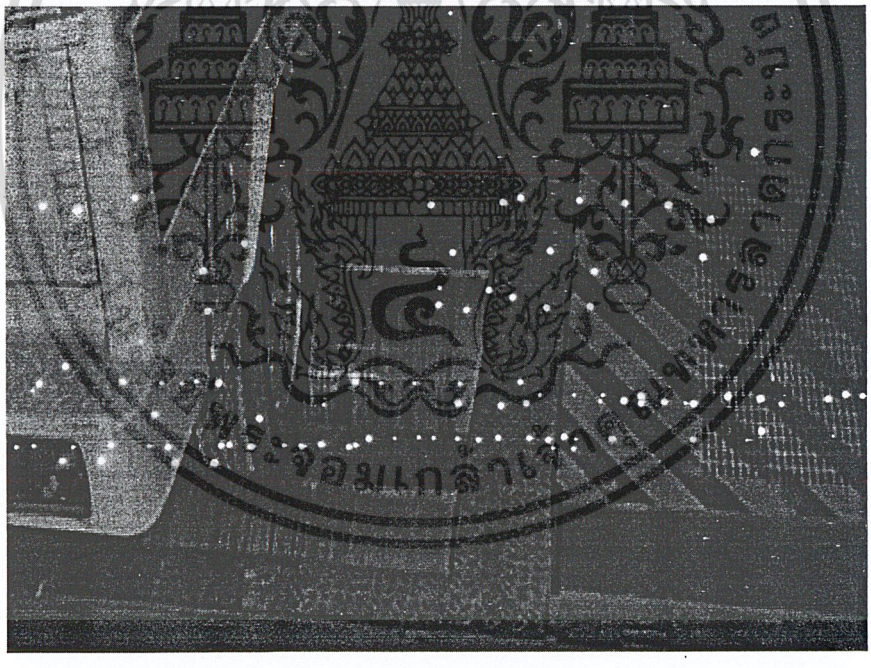


รูปที่ ก-8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

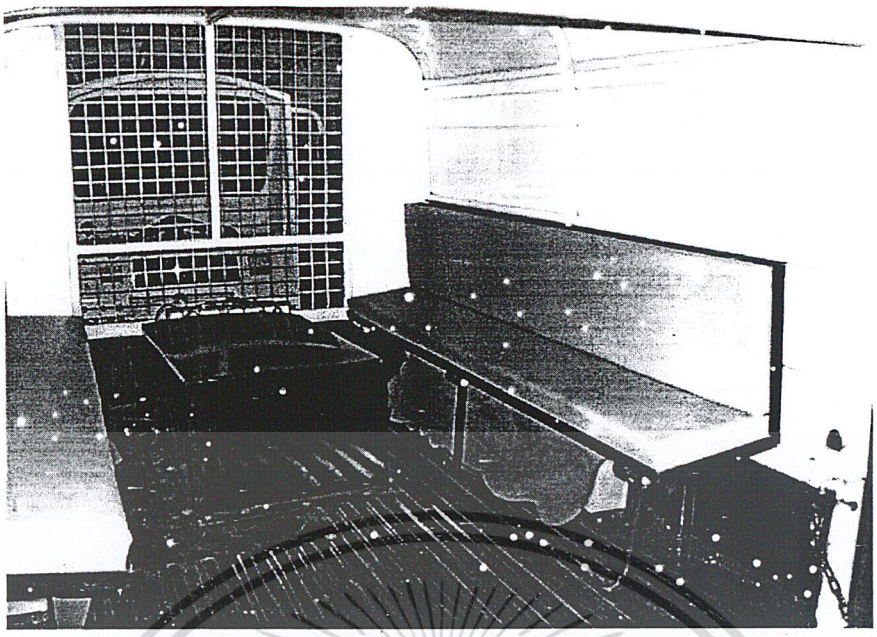


รูปที่ ก-9 CHASSIS DYNAMOMETER

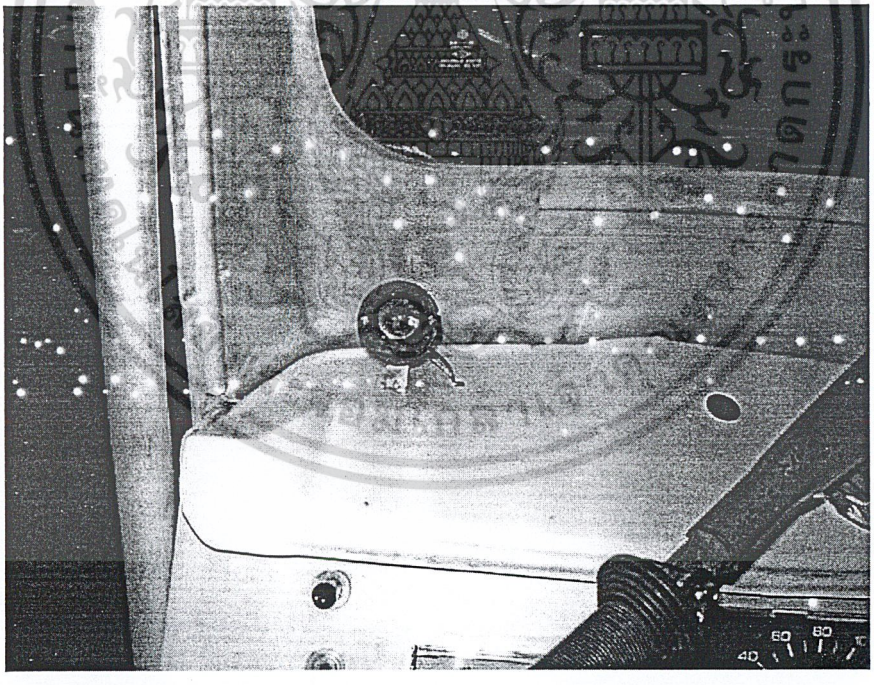


รูปที่ ก-9 ลูกกลิ้งของ CHASSIS DYNAMOMETER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

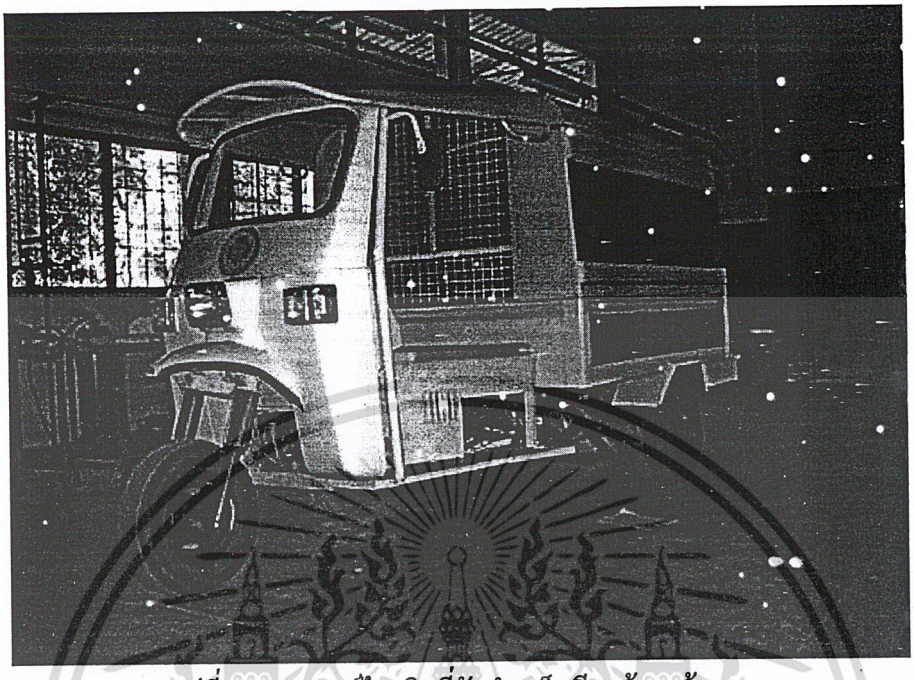


รูปที่ ก-10 พื้นที่การใช้งานด้านหลังรถ



รูปที่ ก-11 หลอดไฟแสดงการทำงานของระบบไฮบริด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-12 รถยนต์ไฮบริดที่จัดทำเสร็จเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] จอห์น บี.เฮย์วูด,หนังสือเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน, กรุงเทพฯ, วิทยพัฒน์ , 2543

[2] Willard W. Pulkrabek , Engineering Fundamentals of Internal Combustion Engine

[3] ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ ชาญ ฉนัดงาน, การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1-2, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2541

[4] วิลเลียม เอช. เคราส์ โดนัลด์ แอล.แองลิน, หนังสือหลักการทำงานและการซ่อมบำรุงเครื่องรถยนต์, ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2541

[5] คอลัมน์ " รถต้นแบบ" นิตยสารยานยนต์วันนี้

[6] คอลัมน์ " ROAD TEST" นิตยสารGRAND PRIX

[7] วันชัย ริจิรวนิช ขอุ่ม พลอยมีค่า , หนังสือเศรษฐศาสตร์ วิศวกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543

[8] พงศ์ สุวรรณปิฎก , หนังสือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสสลับ , กรุงเทพฯ , 2525

[9] โยธิน เปรมปราณีรัชน์ , หนังสือการวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุมมอเตอร์, ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[10] ธีรยุทธ สุวรรณประทีป , วิศวกรรมยานยนต์ภาคคำนวณ, กรุงเทพฯ, ฟิสิกส์เซ็นเตอร์

[11] บัณฑิต บัวบูชา , ทฤษฎีและการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า เล่ม 1 , ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้