

รถสามล้อไฟฟ้า
ELECTRIC TRICYCLE



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

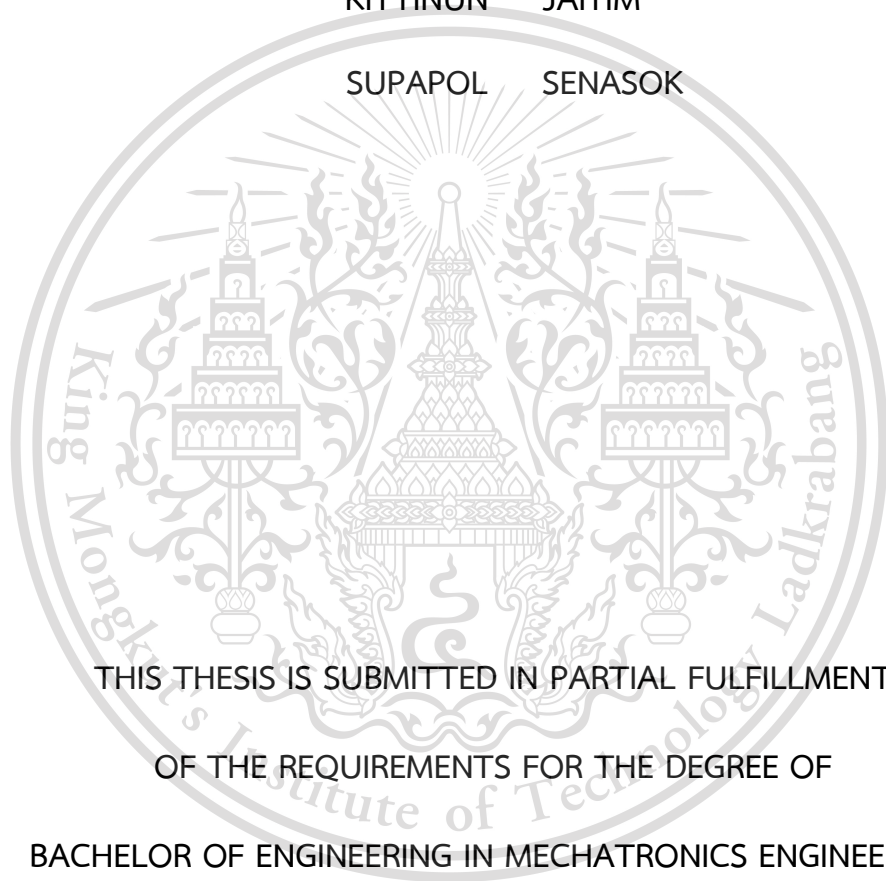
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ELECTRIC TRICYCLE

KITTINUN JAIYIM

SUPAPOL SENASOK



THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHATRONICS ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADAMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

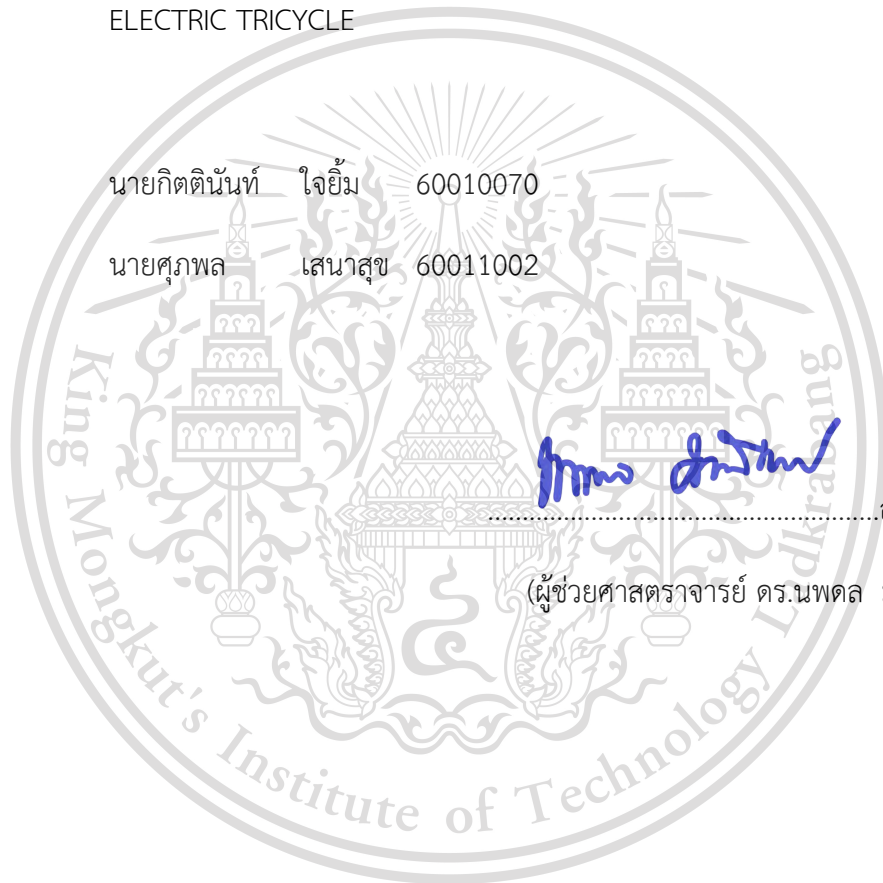
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถสามล้อไฟฟ้า

ELECTRIC TRICYCLE

ผู้จัดทำ นายกิตตินันท์ ใจยิ้ม 60010070

 นายศุภพล เสนาสุข 60011002



[Handwritten signature in blue ink]

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รถสามล้อไฟฟ้า

โดย

นายกิตตินันท์ ใจยิ้ม 60010070

นายศุภพล เสนาสุข 60011002

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการสร้างยานพาหนะคือ รถสามล้อขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ เนื่องจากในสังคมยุคปัจจุบันได้เข้าสู่การรวมวงจรลดการปล่อยก๊าซที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งส่งผลให้ในอนาคตการใช้งานยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์แบบสันดาปภายในลดลง และเปลี่ยนมาใช้ยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้ามากขึ้น เช่น รถสามล้อขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าที่มีความคล่องตัวและปลอดภัย แต่รถสามล้อตามท้องตลาดนั้น มีราคาค่อนข้างสูงและดูแลรักษายากอีกทั้งมีความทนทานน้อยในการใช้งานระยะยาว เป็นต้น ทำให้ทางผู้จัดทำต้องการที่จะสร้างรถสามล้อขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ เพื่อตอบสนองการใช้งาน โดยนำจักรยานที่ชำรุดหรือเสียหายมาดัดแปลงให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อลดต้นทุนในการสร้างรถสามล้อที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ มีประสิทธิภาพในการใช้งาน และเพื่อศึกษาการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดมีแปรงถ่านภายใน (Brushed DC Motor) โดยควบคุมด้วยคันเร่งเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้มอเตอร์ผ่านกล่องควบคุมมอเตอร์ (Motor Controller) เมื่อผู้จัดทำได้สร้างโครงการในการทดลองขับเคลื่อน พบว่าโครงสร้างชิ้นงานสามารถรับภาระได้ไม่มากและมีความเร็วที่ต่ำ ผู้จัดทำจึงหาวิธีแก้ปัญหา โดยในขั้นต้นแก้ปัญหาโดยการทดรอบเฟืองของมอเตอร์เพื่อเพิ่มแรงบิด (Torque) และเพิ่มขนาดเพลลา แบร์ริง พบว่าชิ้นงานมีความเร็วและรับภาระได้เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ELECTRIC TRICYCLE

By

Mr.Kittinun Jaiyim 60010070

Mr.Supapol Senasok 60011002

Advisor

Asst.Prof.Dr. Noppadol Maneerat

Academic Year 2020

ABSTRACT

This thesis presents how to create the electric tricycle because a present society is having a trend to reduce air pollution emissions. As a result, a combustion engine vehicle demand will be replaced by an electrical vehicle, such as the electric tricycle, which is more flexible and safe. However, electric tricycles available now in the market are expensive, hard to maintain, and less durable in the long term; therefore, we tried to create a battery-powered electric tricycle that has satisfied performance and repairing and modifying a broken tricycle to reduce the cost of the tricycle, to use up broken tricycles to achieve the greatest utility, to create an efficient electric tricycle, and to study about the operation of brushed DC motor controlled by throttle to increase and decrease voltage via the motor controller. As the thesis progress, during the driving test, we found our electrical tricycle cannot support a high load and has a low velocity. To solve this problem, we reduce the gear ratio to increases the torque and increase the size of bearings and shaft. It was found that the tricycle velocity has increased.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

||

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพตล มณีรัตน์ ซึ่งได้ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ในการดำเนินงาน อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นด้วย

ขอขอบพระคุณคณะอาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม รวมถึงเพื่อนที่ น้องสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำที่ดีมา โดยตลอด

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณผู้ปกครองและครอบครัว ซึ่งให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ และคอยเป็นกำลังใจมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่งสำหรับ ทุกความช่วยเหลือ และขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องมา ณ ที่นี้ด้วย



ผู้จัดทำ

กิตตินันท์

ศุภพล

ใจยิ้ม

เสนาสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญของปริญญาานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญาานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 แผนการดำเนินโครงการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดมีแปรงถ่าน (Brushed DC Motor)	3
2.1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ (Motor Action)	3
2.1.2 หลักการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Control)	4
2.1.3 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Efficiency)	5
2.1.4 กำลังสูญเสียในมอเตอร์ (Power Losses)	6
2.2 วงจรขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า (Drive Circuit)	7
2.2.1 วงจร PWM (Pulse Width Modulation)	7
2.2.2 ชุดคันเร่ง (Throttle)	8
2.3 แหล่งจ่ายพลังงานสำหรับรถที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า (Energy Sources)	9
2.3.1 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid Battery)	9
2.3.2 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO4 Battery)	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 แรงต้านที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ (Resistance Force)	11
2.4.1 แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance)	11
2.4.2 แรงต้านอากาศ (Air Resistance Force)	15
2.4.3 แรงต้านจากทางชัน (Grading Resistance)	16
2.5 ระบบส่งกำลัง (Power Transmission System)	17
2.5.1 การส่งกำลังแบบใช้โซ่ (Chain Drives)	17
2.5.2 จานโซ่ (Sprockets)	20
2.5.3 แบริ่ง (Bearing)	21
2.5.4 ประกับเพลา (Coupling)	22
2.5.5 เพลาขับ (Shafts)	22
2.5.6 การหาแรงในการขับเคลื่อน (Driving Force)	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 การออกแบบ (Design)	31
3.1.1 การออกแบบโครงรถ (Frame Design)	31
3.1.2 การออกแบบเพลา (Shaft Design)	32
3.1.3 การออกแบบแขนยึดเพลากับโครงรถ (Arm Design)	33
3.1.4 การออกแบบประกับเพลา (Coupling Design)	34
3.2 การคำนวณค่าที่ใช้ในการออกแบบ (Calculation for Design Factor)	36
3.2.1 การหาแรงต้านในการขับเคลื่อน (Resistance Force)	36
3.2.2 การหาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า (Power)	37
3.2.3 การหาความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า (Rated Speed)	37
3.2.4 การหาแรงบิด (Rated Torque)	37
3.3 การควบคุมมอเตอร์ด้วยวงจรไฟฟ้า (Controlling Motor with Electrical Circuit)	38
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 การสร้างและประกอบชิ้นงาน (Part and Assembly)	39
4.2 การเลือกอุปกรณ์สำหรับติดตั้ง (Selecting Equipment)	45
4.3 การต่อวงจรเพื่อขับเคลื่อนรถสามล้อไฟฟ้า (Drive Circuit Connection)	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	50
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก	53
ภาคผนวก ก แผนภาพการวิเคราะห์แรงที่มากกระทำต่อเพลลา	54
ประวัติคณะผู้จัดทำ	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพโครงสร้างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)	3
2.2 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action)	3
2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์ (n – T Diagram)	4
2.4 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (Motor Efficiency)	5
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า กำลังกล กำลังสูญเสีย และประสิทธิภาพของมอเตอร์	6
2.6 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ (Pulse Signal)	7
2.7 ลักษณะของเทียบสัญญาณที่ Duty Cycle 10%	8
2.8 ลักษณะของเทียบสัญญาณที่ Duty Cycle 50%	8
2.9 ลักษณะของเซนเซอร์สนามแม่เหล็ก (Hall Sensor)	8
2.10 ลักษณะของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid Battery)	9
2.11 ลักษณะของแบตเตอรี่แห้ง (Sealed Maintenance Free Car Battery)	10
2.12 ลักษณะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO ₄ Battery)	11
2.13 แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance)	12
2.14 แรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่แนวราบ	13
2.15 แรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ขึ้นทางชัน	13
2.16 แรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ลงทางลาด	13
2.17 รูปทรงและสัมประสิทธิ์แรงฉุดของอากาศ (Shape and Drag Coefficient)	15
2.18 แรงต้านที่เกิดจากการเคลื่อนที่ขึ้นทางชัน (Grading Resistance)	16
2.19 ลักษณะของโซ่ส่งกำลัง (Chain Drives)	18
2.20 ความเค้น (Stress) ในข้อต่อและสลักของโซ่	18
2.21 ลักษณะการแกว่งของโซ่ (Oscillation)	19
2.22 ลักษณะของจานโซ่แต่ละประเภท (Sprocket Types)	20
2.23 ส่วนประกอบของแบริ่ง (Bearing)	21
2.24 ลักษณะของประกบเพลลา (Coupling)	22
2.25 ลักษณะเพลลาแต่ละประเภท (Shafts)	22
2.26 ตำแหน่งของเกียร์ (Gear) และ ลูกปืน (Bearings)	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.27 ตัวอย่างแผนภาพแรงที่มากระทำต่อเพลลา (Free Body Diagram)	23
2.28 ตัวอย่างกราฟ Stress Concentration Factors	25
2.29 ตัวอย่างกราฟ Notch Sensivity ของเหล็กกล้า (Steels) และอลูมิเนียม (Alloy)	25
3.1 การออกแบบโครงรถสามล้อไฟฟ้า (Frame Design)	31
3.2 ขนาดของเพลลาที่ออกแบบ (Shaft)	32
3.3 แขนยึดเพลลาที่ออกแบบ (Arm)	33
3.4 ประกับเพลลาส่วนที่รับกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า (Coupling)	34
3.5 ประกับเพลลาส่วนที่ส่งกำลังจากเพลลาสู่อ้อ (Coupling)	35
3.6 ลักษณะวงจรภายในกล่องควบคุมมอเตอร์ (Circuit Diagram)	38
4.1 เพลลา (Shaft)	39
4.2 ประกับเพลลาส่วนที่รับกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า (Coupling)	40
4.3 ประกับเพลลาส่วนที่ส่งกำลังจากเพลลาสู่อ้อจักรยาน (Coupling)	40
4.4 แขนยึดเพลลา (Arm)	41
4.5 โครงจักรยานที่นำมาดัดแปลง	41
4.6 การเชื่อมแผ่นยึดมอเตอร์ไฟฟ้า (ด้านข้าง)	42
4.7 การเชื่อมแผ่นยึดมอเตอร์ไฟฟ้า (ด้านหลัง)	42
4.8 การติดตั้งตะกร้า	43
4.9 การติดตั้งประกับเพลลาที่ล้อ	43
4.10 การติดตั้งชุดขับเฟืองเพลลา (ด้านหลัง)	44
4.11 การติดตั้งชุดขับเฟืองเพลลา (ด้านข้าง)	44
4.12 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)	45
4.13 กล่องควบคุมมอเตอร์ (Control Box)	46
4.14 สายไฟที่ใช้ในวงจร (Wiring)	46
4.15 แบตเตอรี่แห้ง (SMF)	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.16 สวิตช์ (Key Switch)	47
4.17 แผนผังการต่อวงจรขับเคลื่อนรถจักรยานไฟฟ้า (Drive Circuit Diagram)	48
4.18 ลักษณะการต่อวงจรขับเคลื่อนรถจักรยานไฟฟ้า (Drive Circuit)	49
4.19 แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (Battery Voltage)	49



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IX

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงการ	2
2.1 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในสภาพผิวต่าง ๆ	14
2.2 ตัวอย่างวัสดุแต่ละชนิด วิธีการขึ้นรูป และค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณ	24
3.1 ข้อมูลการออกแบบรถจักรยานไฟฟ้า	36
4.1 ค่าพิชิตการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าที่เลือกใช้งาน	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
X

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

จากการที่มีการรณรงค์ลดการปล่อยมลพิษสู่อากาศที่เกิดจากการใช้ยานพาหนะที่มีการสันดาปภายในเครื่องยนต์ ทำให้ในปัจจุบันรถจักรยานไฟฟ้านั้นมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากจักรยานไฟฟ้าแบบสำเร็จรูปนั้นมีราคาค่อนข้างสูง อีกทั้งมีความยากในการบำรุงรักษา จึงเล็งเห็นความสำคัญในการนำจักรยานที่ชำรุดหรือเสียหายมาดัดแปลงเพื่อสร้างรถสามล้อไฟฟ้าที่มีต้นทุนในการสร้างต่ำ มีความปลอดภัย ง่ายต่อการบำรุงรักษาและสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน (Brushed DC Motor)
2. เพื่อศึกษาการออกแบบชิ้นส่วนที่รับภาระจากการคำนวณทางทฤษฎี
3. เพื่อสร้างรถสามล้อไฟฟ้า จากการดัดแปลงจักรยานที่ชำรุดหรือเสียหาย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. สามารถออกแบบพาหนะที่มีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัย
2. สามารถควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยปรับแรงดันไฟฟ้าผ่านกล่องควบคุมมอเตอร์

1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์

เนื้อหาที่จะกล่าวในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึง วัตถุประสงค์ ขั้นตอนการศึกษาและขอบเขตการศึกษาและการจัดทำ

โครงการพร้อมทั้งรายละเอียดของปริญญานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ การส่งกำลังทางกล หลักการทำงานของ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน และการควบคุมความเร็วของมอเตอร์

บทที่ 3 หลักการออกแบบโครงสร้างของชิ้นงาน และการคำนวณหาค่าที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 4 การประกอบชิ้นงาน และอุปกรณ์ที่เลือกใช้จากการคำนวณ

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการ และแนวทางการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจการออกแบบโครงสร้างและชิ้นส่วนรับภาระของรถสามล้อไฟฟ้า
2. เข้าใจระบบวงจรและการทำงานของมอเตอร์รถสามล้อไฟฟ้า
3. ได้รับความรู้และทักษะในการทำงานอย่างเป็นระบบ

1.6 แผนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ ระหว่างเดือนสิงหาคม 2563 ถึงเดือนเมษายน 2564

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2563					2564			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	■	■	■						
2. ศึกษาวิธีส่งกำลังของรถสามล้อไฟฟ้า	■	■	■	■					
3. ศึกษาการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า	■	■	■	■	■				
4. ออกแบบโครงสร้างรถสามล้อไฟฟ้า	■	■	■	■	■				
5. สั่งซื้ออุปกรณ์สำหรับทำโครงการ		■	■	■	■	■	■		
6. ศึกษาการต่อวงจรควบคุมมอเตอร์		■	■	■	■	■	■		
7. ประกอบชิ้นส่วนโครงการ		■	■	■	■	■	■		
8. ทดสอบโครงการ		■	■	■	■	■	■		
9. ตรวจสอบและแก้ไขปัญหา		■	■	■	■	■	■	■	■
10. สรุปผลการดำเนินงาน		■	■	■	■	■	■	■	■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

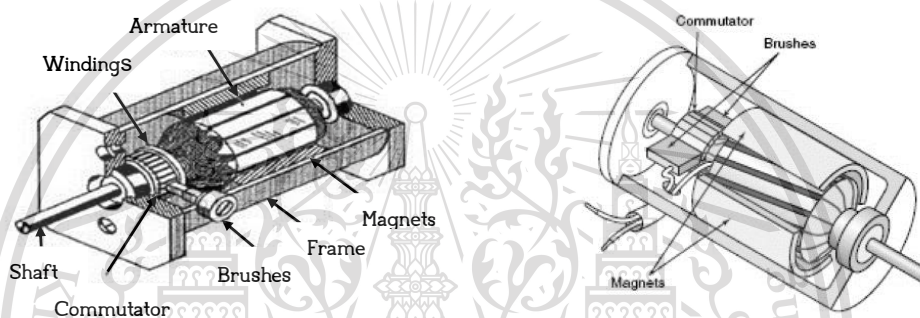
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

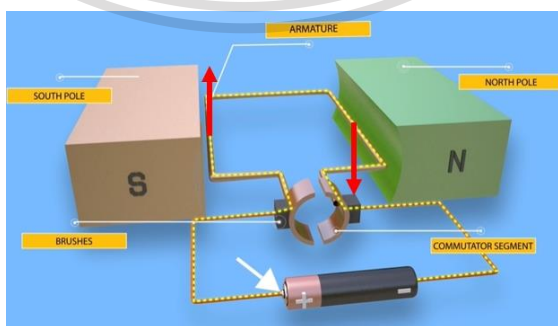
2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดมีแปรงถ่าน (Brushed DC Motor)

มอเตอร์ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งเป็นส่วนที่หมุนหรือเคลื่อนที่ได้และอีกส่วนหนึ่งคือสเตเตอร์ (Stator) เป็นส่วนที่อยู่กับที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ซึ่งมีขดลวดพันล้อมอยู่บนแกนเหล็ก โดยมีลักษณะโครงสร้างดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ภาพโครงสร้างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

2.1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action) เป็นการทำงานร่วมกันระหว่าง “สนามแม่เหล็ก” โดยเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าจ่ายเข้ามอเตอร์ จะผ่านแปรงถ่าน (Brushes) ที่มีหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายส่งให้คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) และส่งต่อแรงดันไฟฟ้าไปยังขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) ซึ่งแรงดันไฟฟ้าอีกส่วนจะไหลเข้าขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กและผลัดกันทำให้เกิดการหมุนของโรเตอร์ (Rotor) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไข ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.2 หลักการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Control) การควบคุมมอเตอร์จะมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะการใช้งาน แต่ในกรณีมอเตอร์ของรถไฟฟ้าจะเป็นการควบคุมขนาดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ ซึ่งควบคุมด้วยคันเร่ง (Throttle) ผ่านกล่องควบคุม ซึ่งข้อดีคือสามารถควบคุมความเร็วรอบได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงพิกัดที่มอเตอร์ระบุ ดังสมการที่ (2.1)

$$N = \frac{V_t - (I_a R_a + 2V_b)}{k\Phi} \quad (2.1)$$

เมื่อ V_t คือ แรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย

I_a คือ กระแสไฟฟ้าในขดลวดอาร์มาเจอร์

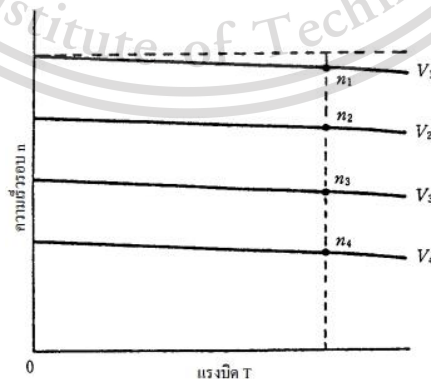
R_a คือ ความต้านทานของขดลวดอาร์มาเจอร์

V_b คือ แรงดันที่ตกคร่อมแปรงถ่าน

k คือ ค่าคงที่ ที่ได้จากจำนวนขั้วและจำนวนตัวนำ

Φ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก

ถ้าควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กและความต้านทานของขดลวดอาร์มาเจอร์ให้คงที่ แล้วควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามอเตอร์จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของมอเตอร์ (n) และแรงบิด (T) ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีความชันของกราฟเกือบคงที่เป็นแนวระดับในทุกพิกัดแรงดัน ทำให้เมื่อป้อนแรงดันที่พิกัดต่าง ๆ การเดินเครื่องจะมีเสถียรภาพดี

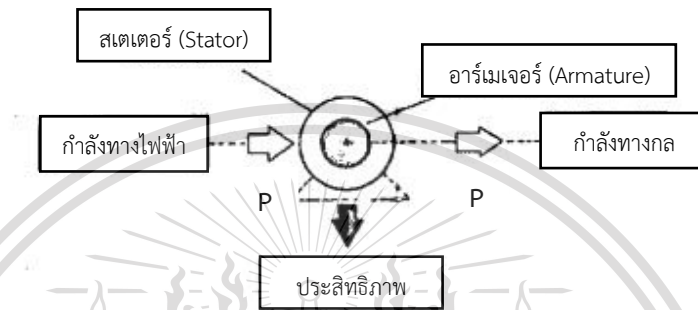


เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงบิดของมอเตอร์ ($n-T$ Diagram) ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.3 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Efficiency) การเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าให้เป็นกำลังกลเพื่อใช้ขับมอเตอร์นั้น ต้องสูญเสียกำลังไฟฟ้าไปส่วนหนึ่ง ทำให้กำลังกล (กำลังจ่ายออกหรือกำลังหมุนขับที่แกนมอเตอร์ : Output) น้อยกว่ากำลังไฟฟ้า (กำลังรับเข้า : Input) อัตราส่วนระหว่างกำลังกลกับกำลังไฟฟ้าเรียกว่า ประสิทธิภาพ (Efficiency) ดังนั้นประสิทธิภาพของมอเตอร์ก็คือ สมรรถนะในการทำงานของมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.5 และสมการที่ (2.5)



รูปที่ 2.4 ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (Motor Efficiency)

- เมื่อ η คือ ประสิทธิภาพของมอเตอร์
 P_1 คือ กำลังไฟฟ้า (กำลังรับเข้า : Input)
 P_2 คือ กำลังกล (กำลังจ่ายออกหรือกำลังหมุนขับที่แกนมอเตอร์ : Output)
 ΔP คือ กำลังสูญเสียระหว่างการเปลี่ยนรูปกำลังจากกำลังไฟฟ้าเป็นกำลังกล

$$\Delta P = P_2 - P_1 \quad (2.2)$$

$$P_1 = \frac{\eta \times 100 [\%]}{\eta} \quad (2.3)$$

$$P_2 = \frac{\eta \times P_1}{100 [\%]} \quad (2.4)$$

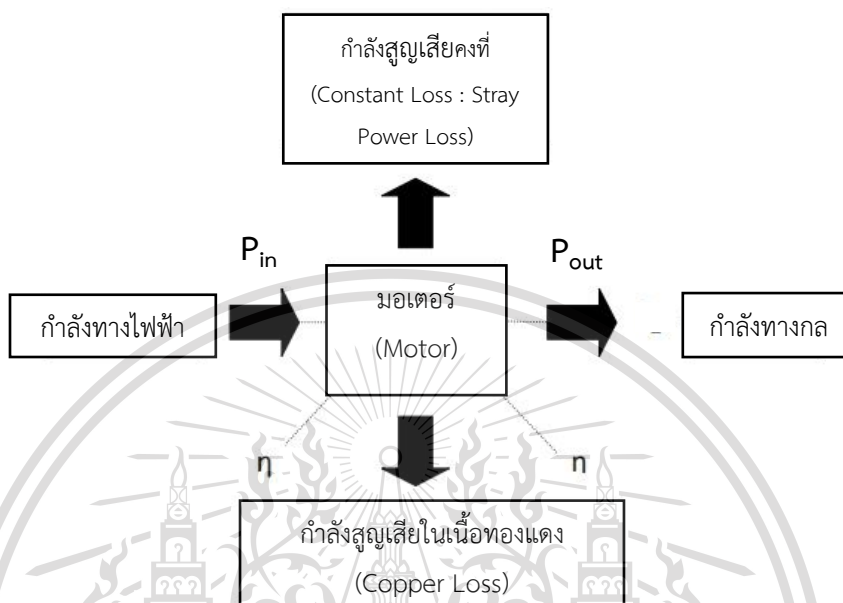
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 [\%] \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.4 กำลังสูญเสียในมอเตอร์ (Power Losses) โดยมี 2 ชนิด ได้แก่ กำลังสูญเสียในเนื้อทองแดง (Copper Loss) และกำลังสูญเสียคงที่ (Constant Loss : Stray Power Loss)



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า กำลังกล กำลังสูญเสีย และประสิทธิภาพของมอเตอร์

กำลังสูญเสียที่คงที่ (Constant loss) เป็นกำลังสูญเสียบนแกนเหล็ก (Core loss) และความเสียดทาน (Friction loss) ของมอเตอร์โดยเฉพาะ โหลดจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง กำลังสูญเสียจะคงที่ตลอดเวลา จึงเรียกกำลังสูญเสียนี้ว่า “Stray Power Loss” หรือ “Mechanical Loss” ส่วนกำลังไฟฟ้าสูญเสียในเนื้อทองแดง (Copper loss) เป็นกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในขดลวดทองแดง เนื่องจากกระแสไหลผ่านความต้านทานของขดลวดทองแดง ทำให้เกิดกำลังสูญเสียโดยเฉพาะและมีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับกระแสของโหลดยกกำลังสอง (I^2) สามารถหาลำดับกำลังไฟฟ้าขาเข้า (P_{in}) และกำลังไฟฟ้าขาออก (P_{out}) จากความสัมพันธ์ดังสมการ (2.6) และ (2.7)

$$P_{in} = (E_b \times I_a) + \text{Copper Losses} \quad (2.6)$$

$$P_{out} = P_{in} - \text{Copper Losses} - \text{Stray power losses} \quad (2.7)$$

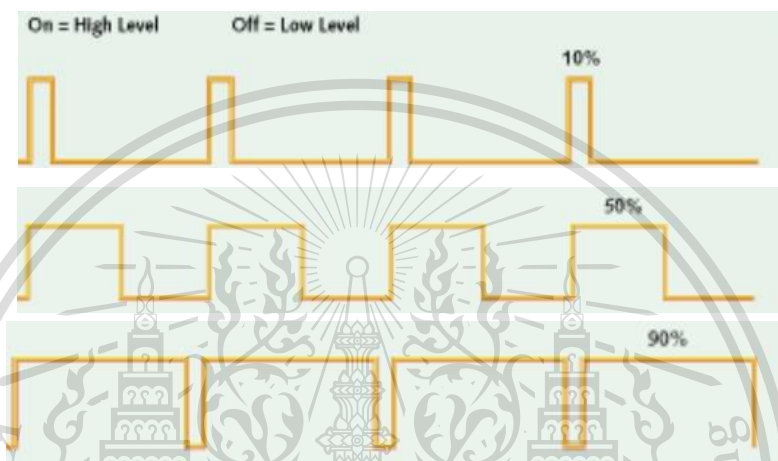
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 วงจรขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า (Drive Circuit)

2.2.1 วงจร PWM (Pulse Width Modulation) รถสามล้อไฟฟ้าหรือรถจักรยานไฟฟ้า โดยทั่วไปนิยมใช้งาน เนื่องจากสามารถทำงานได้ดีกว่าวงจรควบคุมมอเตอร์แบบลิเนียร์ (Linear Control Circuit) ซึ่งสูญเสียพลังงานต่ำ ความร้อนน้อย โดยการทำงานจะเป็นลักษณะสัญญาณพัลส์ (Pulse Signal) คลื่นสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 2.6 ปรับช่วง On – Off ได้ซึ่งเรียกว่า Duty Cycle



รูปที่ 2.6 ลักษณะของสัญญาณพัลส์ (Pulse Signal)

ถ้าหาก Duty Cycle ลดเหลือ 50% สัญญาณช่วง On จะเป็นครึ่งหนึ่งของสัญญาณทั้งหมด ในช่วง 1 คาบเวลา ส่งผลให้แรงดันออก (Output) ลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่าย การทำงานลักษณะนี้ กำลังงานสูญเสียจะน้อย เพราะภาคจ่ายไฟไม่ต้องทำงานตลอดเวลา โดยชุดควบคุมจะแบ่งออกเป็น

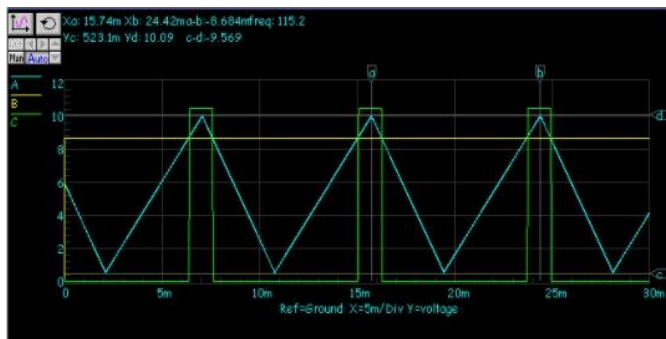
1. ภาคขับเคลื่อน (Driver) จะทำหน้าที่สร้างสัญญาณ Pulse width Modulation (PWM) ส่งต่อไปยังภาคกำลังงาน (Power) เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ มักใช้ Op-amp เพื่อกำเนิดสัญญาณฟันเลื่อย และใช้ Op-amp อีกตัวมาเทียบ (Compare) แรงดันกันเพื่อให้ได้ สัญญาณ PWM ดังรูปที่ 2.7 และ 2.8

2. ภาคกำลังงาน (Power) เป็นส่วนที่ต่อกับมอเตอร์โดยตรง ทำหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้า เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ให้ทำงานได้ มีการต่อชุด Feedback กลับมายังส่วนของการควบคุม (Control) เพื่อสามารถควบคุมการทำงานให้เสถียรขึ้นได้ ส่วนใหญ่ใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด Power Mosfet

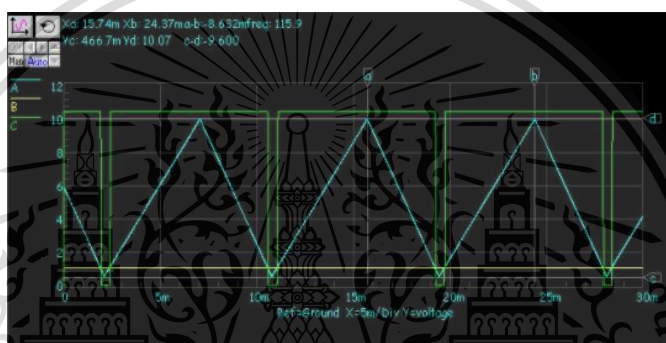
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

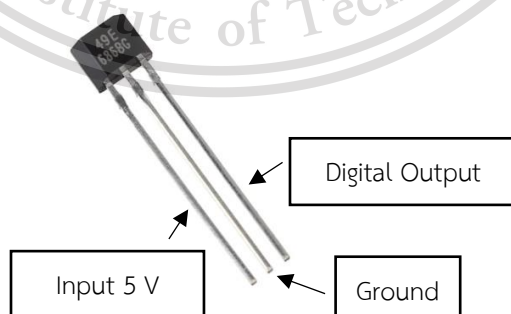


รูปที่ 2.7 ลักษณะของเทียบสัญญาณที่ Duty Cycle 10%



รูปที่ 2.8 ลักษณะของเทียบสัญญาณที่ Duty Cycle 50%

2.2.2 ชุดคันเร่ง (Throttle) หลักการทำงานคือ สามารถปรับแรงดันขาออก (Output) ได้ ในช่วง 1-4 V โดยใช้ เซนเซอร์สนามแม่เหล็ก (Hall Sensor) ลักษณะเหมือนทรานซิสเตอร์มี 3 ขา โดย แบ่งออกเป็นขาไฟเลี้ยง ขากราวด์ และขาไฟออก มีลักษณะดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะของเซนเซอร์สนามแม่เหล็ก (Hall Sensor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

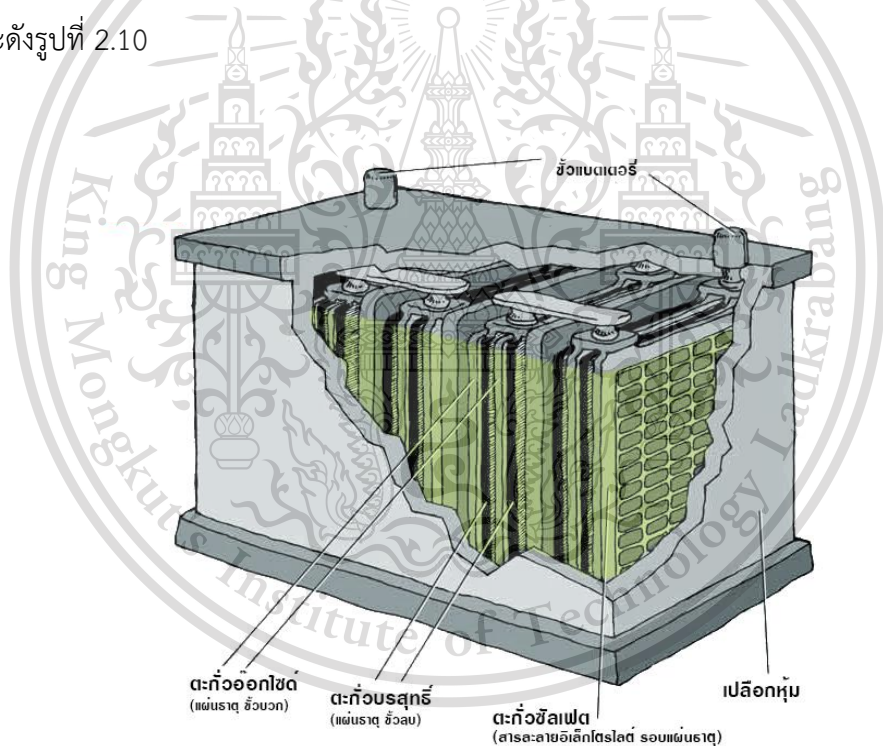
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 แหล่งจ่ายพลังงานสำหรับรถที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า (Energy Sources)

แหล่งจ่ายพลังงานสำหรับรถที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าที่นิยมใช้กันคือ แบตเตอรี่ (Battery) ซึ่งสามารถทำการอัดประจุและเก็บไว้ใช้งานเมื่อกระแสไฟฟ้าหมด โดยจะมีแผ่นธาตุ (Element) ขั้วบวก และขั้วลบ ซึ่งทำหน้าที่รับและจ่ายกระแสไฟฟ้า

2.3.1 แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid Battery) เป็นแบตเตอรี่ชนิดเซลล์ทุติยภูมิ สามารถประจุไฟฟ้าเพื่อให้ปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ของแบตเตอรี่ผันกลับได้ โดยประกอบไปด้วยตะกั่ว ออกไซด์ กรดซัลฟิวริก และแผ่นกั้นแบบมีรูพรุนอยู่ภายในกล่องพลาสติกชนิด ABS โดยจะแบ่งออกเป็น เซลล์ ซึ่งเซลล์แต่ละเซลล์จะให้แรงดันไฟฟ้า 2 V โดยทางขั้วลบคือ ตะกั่วซัลเฟตจะปลดปล่อยอิเล็กตรอน ออกมา ส่วนทางขั้วบวกคือ ตะกั่วเปอร์ออกไซด์จะแตกตัวเป็นไอออนของตะกั่ว ส่งผลให้มีความเป็นประจุ บวกสูง จึงทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้นที่ขั้วทั้งสองข้าง ลักษณะภายในแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-acid Battery)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แบตเตอรี่แห้ง (Sealed Maintenance Free Car Battery – SMF) เป็นแบตเตอรี่แบบกรด ตะกั่วอีกประเภทหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดขั้นตอนในการดูแลรักษาแบตเตอรี่ ไม่มีช่องสำหรับเปิด-ปิด เพื่อเติมน้ำกลั่นแบบที่มีในแบตเตอรี่ที่นิยมทั่วไป ซึ่งจะช่วยลดโอกาสที่น้ำกรดภายในแบตเตอรี่จะรั่วไหล ออกมา ตลอดจนอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แห้งที่มากกว่าแบตเตอรี่น้ำ ทำให้แบตเตอรี่ประเภทนี้มีราคา สูงกว่าแบตเตอรี่ทั่วไป แบตเตอรี่แห้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. แบตเตอรี่แห้งแบบ AGM (Absorbent Glass Mat) จัดเป็นแบตเตอรี่ตะกั่วกรดชนิด พิเศษที่มีเทคโนโลยีแผ่นกั้นใยแก้วพิเศษ ช่วยลดการระเหยของน้ำและช่วยดูดซับน้ำกรดได้ประมาณ 95% ในกรณีที่อยู่ในสภาวะสั่นมาก หรือกรณีที่แบตเตอรี่แตก น้ำกรดจะถูกดูดซับเอาไว้และไม่ไหลออกมา

2. แบตเตอรี่แห้งแบบเจล (Gel Battery, Gel Cell) มีอิเล็กโทรไลต์ลักษณะเป็นเจล (Gel) ใช้เจลเป็นตัวดูดซับกรด มักจะละลายเมื่ออยู่ในสภาพที่อากาศร้อน ตัวเจลจะเปลี่ยนสถานะเป็นสารที่มีความเหนียวที่เรียกว่า วอยด์ (Void) ซึ่งจะไปเกาะอยู่ที่แผ่นธาตุ (Element) ทำให้การแลกเปลี่ยนประจุ ระหว่างอิเล็กโทรไลต์กับแผ่นธาตุผิดปกติ เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดลง โดยลักษณะของ แบตเตอรี่แห้ง (SMF) มีลักษณะดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะของแบตเตอรี่แห้ง (Sealed Maintenance Free Car Battery)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.2 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO₄ Battery) โครงสร้างทางเคมีเหมือนกับแบตเตอรี่ลิเทียมทั่วไป แต่เปลี่ยนวัสดุที่ใช้จาก Cobalt Dioxide (LiCoO₂) มาเป็นโลหะที่อึดและทนต่อความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี สามารถให้พลังงานที่สูงกว่า มีอายุการใช้งานที่มากกว่าแบตเตอรี่รุ่นเก่า สามารถประจุไฟใหม่โดยการใช้ตัวแปลง (Adaptor) เหมือนกับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด แต่ใช้ระยะเวลาในการประจุไฟใหม่น้อยกว่าแบตเตอรี่แบบเก่า โดยมีลักษณะดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO₄ Battery)

2.4 แรงต้านที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ (Resistance Force)

2.4.1 แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance) เป็นแรงที่จำเป็นมากที่สุดสำหรับการส่งกำลัง เนื่องจากทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ออกไปได้ โดยอาศัยแรงเสียดทาน (Friction) ที่ล้อกระทำกับพื้นเพื่อทำให้รถสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ โดยปัจจัยที่มีผลต่อแรงต้านการหมุนของล้อคือ

1. สภาพของยางล้อรถ ซึ่งหมายถึงวัสดุที่นำมาทำยาง รูปทรงของยาง ความกว้างและขนาดของยาง ความดันของลมยาง รวมถึงดอกยาง ซึ่งยางที่มีขนาดดวงล้อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ จะมีแรงต้านการหมุนของล้อที่น้อยกว่ายางที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก
2. สภาพพื้นผิวของถนน บริเวณที่พื้นผิวขรุขระจะทำให้แรงต้านการหมุนของล้อมาก และบริเวณที่มีพื้นผิวเรียบจะทำให้แรงต้านการหมุนมีค่าน้อย

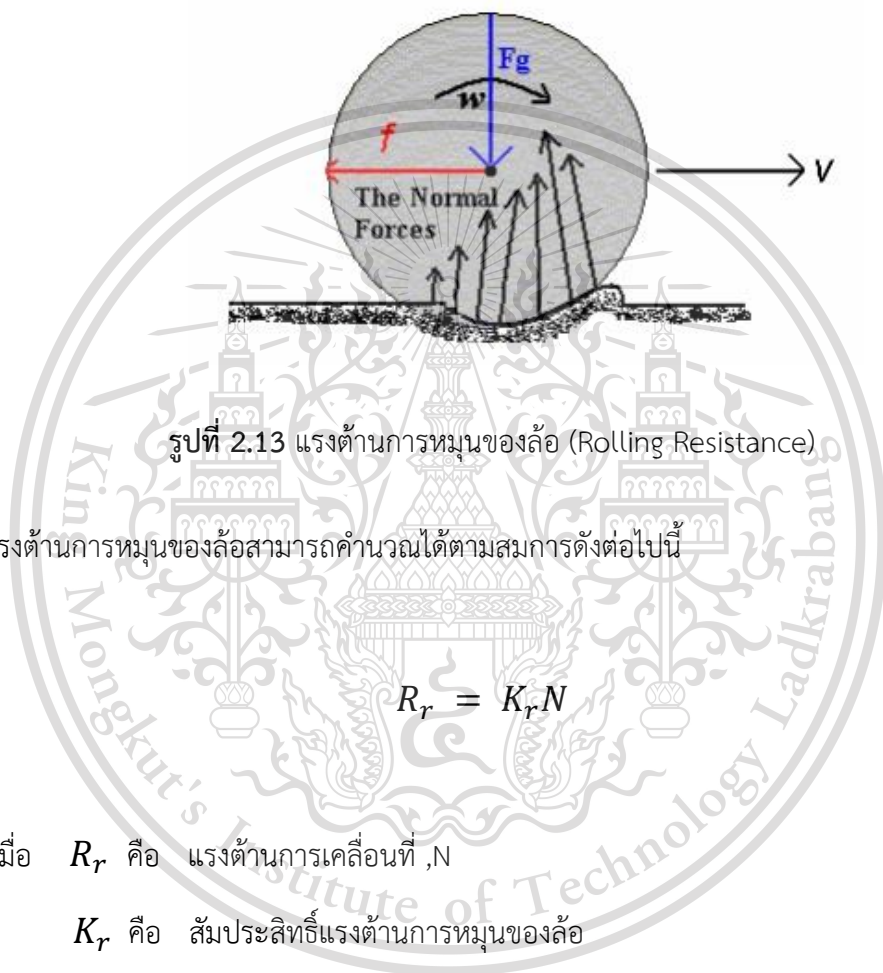
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. น้ำหนักของรถและผู้ขับขี่ เป็นปัจจัยที่มีผลมากในการขับเคลื่อนของรถไฟฟ้า ซึ่งถ้ารถและผู้ขับขี่มีน้ำหนักมาก จะส่งผลให้แรงต้านการหมุนมากขึ้นตามด้วย

4. อัตราเร็วของรถ แรงต้านการหมุนของล้อจะมากที่สุดในช่วงเริ่มเคลื่อนที่ เนื่องจากต้องเอาชนะแรงต้านความเฉื่อย (Inertia Resistance) และจะมีแรงต้านการหมุนน้อยลงเมื่ออัตราเร็วเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.13 แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling Resistance)

แรงต้านการหมุนของล้อสามารถคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$R_r = K_r N \quad (2.8)$$

เมื่อ R_r คือ แรงต้านการเคลื่อนที่, N

K_r คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ

N คือ แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับล้อจักรยาน, N

โดยที่ค่า $N = mg$ ถ้ารถจักรยานเคลื่อนที่ในแนวราบ

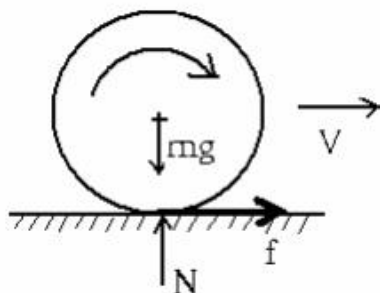
$N = mg \cos\theta$ ถ้ารถจักรยานเคลื่อนที่ในพื้นเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การเคลื่อนที่ในแนวราบ



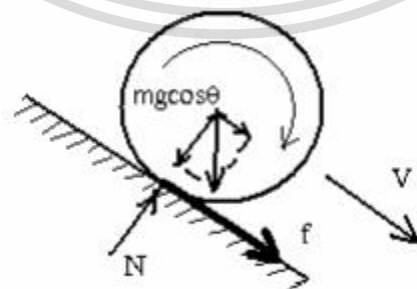
รูปที่ 2.14 แรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่แนวราบ

การเคลื่อนที่ขึ้นทางชัน



รูปที่ 2.15 แรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ขึ้นทางชัน

การเคลื่อนที่ลงทางลาด



รูปที่ 2.16 แรงต้านที่เกิดขึ้นในการเคลื่อนที่ลงทางลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ค่า K_r เป็นค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพพื้นผิวถนนที่ขั้วซี่ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในสภาพผิวต่าง ๆ

ชนิดพื้นผิวของถนน	K_r (เฉลี่ย)
ถนนลาดยางและคอนกรีต	
สภาพดี	0.014 – 0.018
สภาพพอใช้	0.018 – 0.020
ถนนปูพื้น	0.023 – 0.030
ถนนลูกรัง	0.020 – 0.025
ถนนดิน	
ถนนดินอัดแน่น	0.025 – 0.035
ถนนเปียกหลังฝนตก	0.050 – 0.150
ถนนทราย	0.1 – 0.3

ในการวิเคราะห์เราจะนำค่า K_r มาคิดที่ค่าเฉลี่ยโดยทั่วไป และเนื่องจากอัตราเร็วของรถจักรยานไฟฟ้ามีผลกับแรงต้านของการหมุนของล้อเช่นกัน จึงสามารถนำมาคำนวณหาค่า K_r โดยใช้สมการที่ (2.9)

$$K_r = 0.015 + 0.00016V \quad (2.9)$$

เมื่อ K_r คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านของล้อ

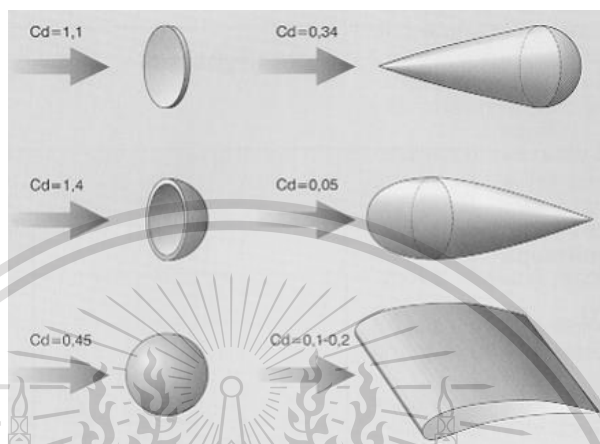
V คือ อัตราเร็วของรถจักรยานไฟฟ้า , km/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4.2 แรงต้านอากาศ (Air Resistance Force) เป็นแรงที่เกิดจากการที่วัตถุเคลื่อนที่ผ่านอากาศด้วยความเร็ว ทำให้เมื่อเคลื่อนที่ไปจะมีอัตราเร็วสัมพัทธ์ของอากาศมากระทำกับวัตถุที่เคลื่อนที่นั้น ซึ่งค่าแรงต้านอากาศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัด และรูปทรงของพาหนะ ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 รูปทรงและสัมประสิทธิ์แรงฉุดของอากาศ (Shape and Drag coefficient)

การออกแบบรูปทรงตามหลักอากาศพลศาสตร์ จะส่งผลให้แรงต้านอากาศลดลงได้ซึ่งเป็นผลให้เกิดข้อดีคือ ทำให้อัตราเร็วสูงสุดของยานพาหนะเพิ่มขึ้น และยังทำให้ประหยัดพลังงานมากขึ้นอีกด้วย โดยปัจจัยที่มีผลต่อแรงต้านอากาศคือ

1. ความเร็วลม (Wind Speed) กรณีลมมีทิศทางสวนทางกับการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดแรงต้านและในทางกลับกันถ้ามีทิศทางของลมเป็นทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดแรงเสริมการเคลื่อนที่

2. รูปร่างของพาหนะ (Shape) เป็นรูปทรงที่อากาศมากระทบ ซึ่งแรงต้านอากาศที่เกิดขึ้นเกิดจากการที่เกิดความดันระหว่างด้านหน้า และด้านหลังของรถแตกต่างกัน ทำให้เกิดแรงกระทำจากบริเวณที่มีความดันสูงกว่า ผลักต้านการเคลื่อนที่ของรถเอาไว้

สำหรับการหาแรงต้านของอากาศสำหรับการเคลื่อนที่ของรถสามล้อไฟฟ้านั้น พื้นที่หน้าตัดหรือรูปทรงของรถไม่สามารถออกแบบได้ เราสามารถคำนวณค่าแรงต้านจากอากาศได้โดยประมาณ จากสมการที่ (2.10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$R_a = \frac{1}{2} \rho C_D A V^2 \quad (2.10)$$

เมื่อ R_a คือ แรงต้านอากาศ ,N

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ ,kg/m³ ($\rho_{air} = 1.2 \text{ kg/m}^3$)

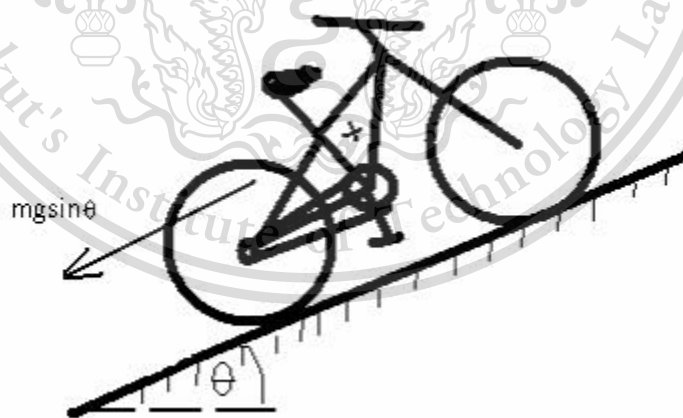
C_D คือ สัมประสิทธิ์แรงดูดของอากาศ (Drag Coefficient)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของ ,m²

V คือ อัตราเร็วของรถ ,km/hr

2.4.3 แรงต้านจากทางชัน (Grading Resistance) เกิดจากการที่รถเคลื่อนที่ขึ้นทางที่มีความชัน แล้วทำให้มีความจำเป็นต้องใช้กำลังบางส่วนเพื่อเอาชนะ ซึ่งแรงต้านเกิดจากน้ำหนักของตัวรถไฟฟ้าและผู้ขับขี่เอง เพื่อให้รถสามารถเคลื่อนที่ขึ้นทางชันได้ แต่ในกรณีการเคลื่อนที่ลงทางลาดนั้นจะเป็นกรณีตรงข้ามกันเนื่องจากการเคลื่อนที่ลงทางลาดจะทำให้เกิดแรงเสริม

การคำนวณแรงต้านจากทางชันนั้นเกิดจากการแตกแรงออกเป็น 2 แรง คือ แรงที่ตั้งฉากกับพื้นผิวและแรงที่ขนานกับการเคลื่อนที่ของรถ



รูปที่ 2.18 แรงต้านที่เกิดจากการเคลื่อนที่ขึ้นทางชัน (Grading resistance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แรงที่ขนานกับการเคลื่อนที่ของรถนั้น สามารถนำมาคำนวณหาแรงต้านการเคลื่อนที่จากทางชันได้จากสมการที่ (2.11)

$$R_g = W \sin\theta \quad (2.11)$$

แรงที่ตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ สามารถนำมาคำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับล้อจักรยานไฟฟ้าได้จากสมการที่ (2.12)

$$N = W \cos\theta \quad (2.12)$$

จากสมการที่ (2.11) กรณีที่มุมของความชันมีค่าน้อย จะได้ว่า $\sin\theta \approx \tan\theta$ ดังนั้นจะได้สมการใหม่ดังสมการที่ (2.13)

$$R_g = \frac{WG}{100} \quad (2.13)$$

เมื่อ R_g คือ แรงต้านจากการเคลื่อนที่ขึ้นทางชัน ,N

W คือ น้ำหนักรถยนต์ ,N

G คือ เปอร์เซ็นต์ของความชัน ,%

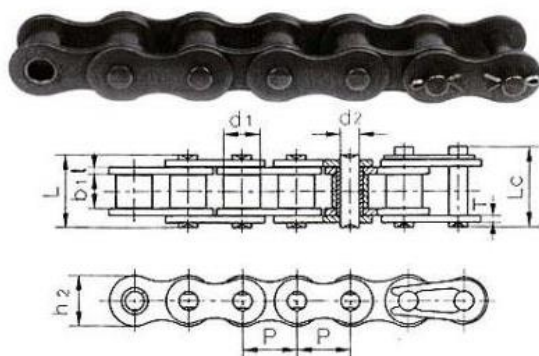
2.5 ระบบส่งกำลัง (Power Transmission System)

2.5.1 การส่งกำลังแบบโซ่โซ่ (Chain Drives) โดยทั่วไปโซ่เป็นส่วนที่ส่งกำลังให้กับล้อผ่านเฟืองขับ รับแรงดึงได้ดี ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่พร้อมข้อต่อซึ่งทำหน้าที่เป็นแบริง ลักษณะดังรูปที่ 2.19 โซ่จะอยู่ภายใต้แรงดึง (Tensile Force) และทำให้เกิดความเค้น (Stress) ของโซ่ขึ้น ลักษณะดังรูปที่ 2.20 ซึ่งทำให้แบริงของโซ่เกิดความสึกหรอและอาจเกิดอันตรายได้

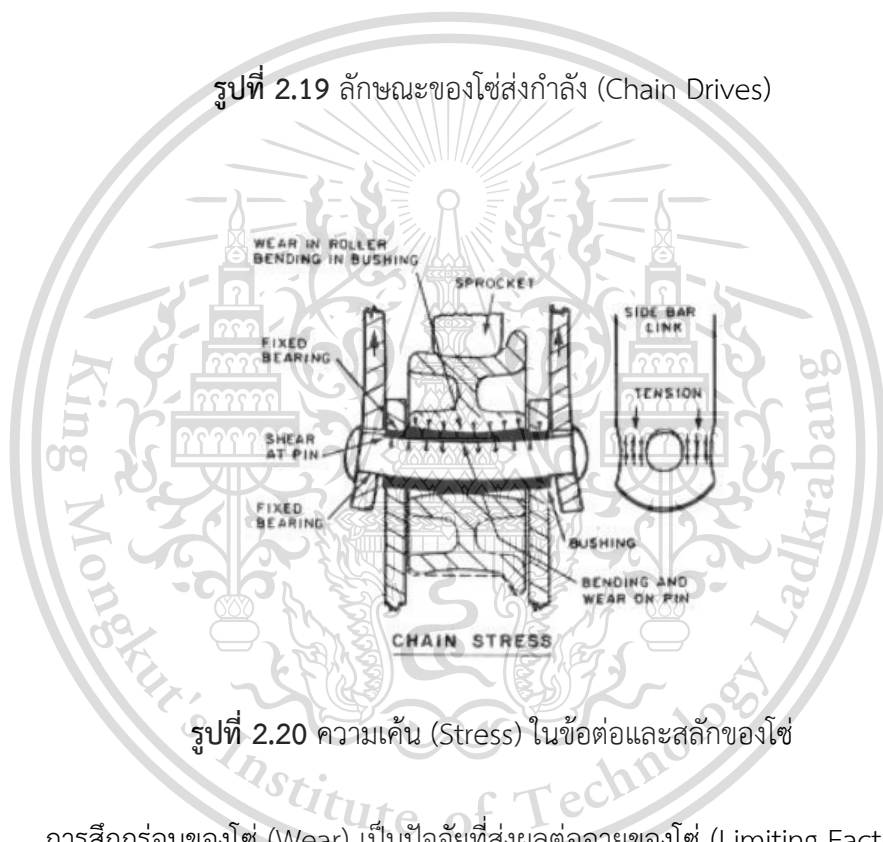
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.19 ลักษณะของโซ่ส่งกำลัง (Chain Drives)



รูปที่ 2.20 ความเค้น (Stress) ในข้อต่อและสลักของโซ่

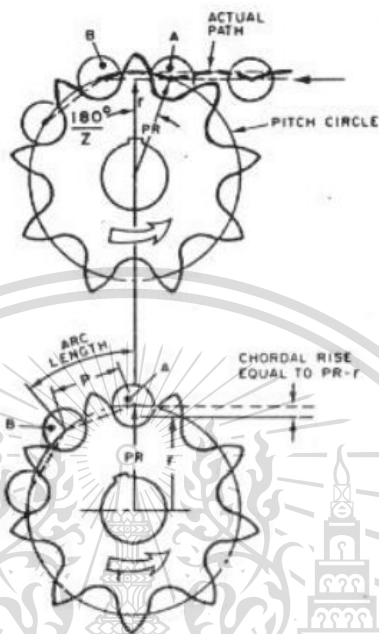
การสึกกร่อนของโซ่ (Wear) เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุของโซ่ (Limiting Factor) ดังนั้นการสึกกร่อนมีผลทำให้โซ่ยืดออก ระยะพิท (Pitch) ของโซ่จะเพิ่มขึ้นซึ่งต้องเพื่อสำหรับให้โซ่ยังสามารถอยู่บนฟันเฟืองของล้อได้ขณะขับขี่ เมื่อพิทยืดเกินขนาดต้องเปลี่ยนโซ่ก่อนที่จะคร่อมข้ามฟันของเฟืองล้อ ซึ่งการหล่อลื่นบนผิวหน้าของแปรงที่เป็นข้อต่อ สามารถช่วยลดการสึกหรอได้

การแกว่งของโซ่ขณะแล่นผ่านล้อฟันเฟือง (Oscillation of Chain speed at Sprockets) ขณะที่โซ่ถูกม้วนไปบนฟันเฟือง จุดศูนย์กลางของข้อต่อโซ่ที่วางนอนไปบนเส้นโค้งพิท (Pitch Circle) ของฟันเฟืองและเส้นศูนย์กลาง (Centerline) ของข้อต่อแต่ละอันจะอยู่ในรูปของเส้นตรงตัดเส้นโค้ง (Chord) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อลูกกลิ้งเคลื่อนเข้าใกล้ฟันเฟือง โดยไม่เคลื่อนไปตามเส้นสัมผัสกับเส้นโค้งพิต แต่จะเคลื่อนเป็นส่วนโค้งที่ต่อเนื่องกันแทน จะเกิดการแกว่งขึ้น (Oscillation) ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ลักษณะการแกว่งของโซ่ (Oscillation)

ความเร็วโซ่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.10)

$$V = \frac{\pi D n}{12} = \frac{N p n}{12} \quad (2.10)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วของโซ่ , m/s

D คือ รัศมีของงานโซ่ , m

n คือ ความเร็วรอบของงานโซ่ , rev/s

N คือ จำนวนฟันบนงานโซ่

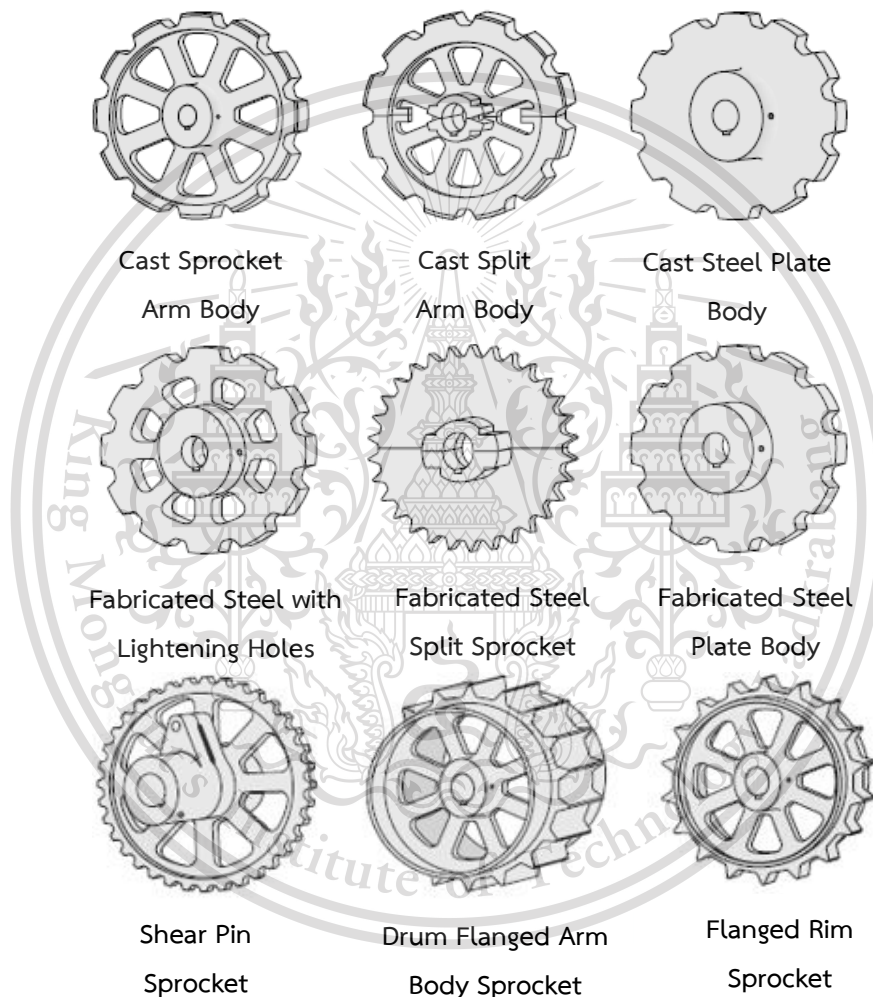
p คือ ระยะพิตของโซ่ , m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.2 จานโซ่ (Sprockets) อาศัยแรงหมุนจากโซ่ เป็นระบบส่งกำลังที่นิยมของรถจักรยาน ซึ่งจานโซ่โดยทั่วไปมีอยู่ 2 มาตรฐาน คืออเมริกา (ANSI) และ อังกฤษ (BS) ทำขึ้นจากวัสดุหลายชนิดและมีหลายประเภท ดังรูปที่ 2.22 ขึ้นอยู่กับการใช้งานซึ่งการดูแลรักษาจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละประเภท ซึ่งจานโซ่ส่วนมากทำมาจากเหล็กหล่อสีเทา (Gray Iron) และเหล็กแปรรูป (Fabricated Steel) ที่มีความแข็งแรง มีความต้านทานการสึกหรอ



รูปที่ 2.22 ลักษณะของจานโซ่แต่ละประเภท (Sprocket types)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

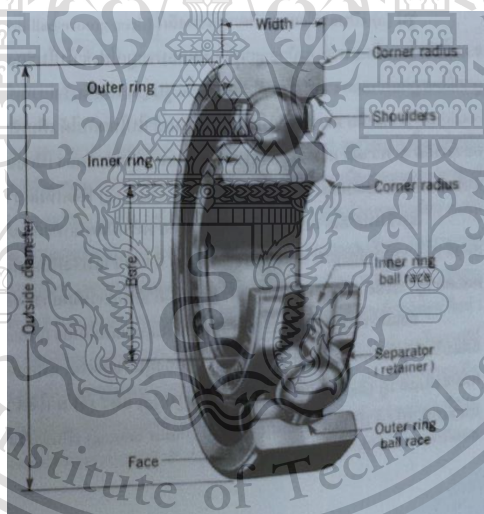
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

งานโซ่ ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีแบ่งเป็น 6 ประเภท คือ

1. งานโซ่ชนิดแผ่นเรียบ
2. งานโซ่ชนิดมีดุม ยื่นข้างเดียว
3. งานโซ่ชนิดดุมยื่นสองข้าง หรือมีดุมทั้งสองข้าง
4. งานโซ่ชนิดฟันสองชั้น
5. งานโซ่ชนิดมีดุมฟันสองชั้น
6. งานโซ่ชนิดฟันสามชั้นพร้อมดุม

2.5.3 แบริ่ง (Bearing) เป็นชิ้นส่วนของระบบส่งกำลังของเครื่องจักรกล ใช้รองรับและยึดเพลลาให้เที่ยงตรงทั้งแนวรัศมีและแนวแกน มีหน้าที่หลักในการรับน้ำหนักของโหลดที่มากระทำและถ่ายทอดแรงที่เกิดขึ้นจากเพลลาไปสู่อุปกรณ์ส่งกำลังต่าง ๆ ของเครื่องจักรที่มีการหมุน ช่วยลดแรงเสียดทานหรือลดความฝืด (Friction) ระหว่างการหมุนหรือการเลื่อน แบริ่งเป็นส่วนที่ต้องมีการเสียดสีอยู่ตลอดเวลา ต้องถูกหล่อลื่นด้วยสารหล่อลื่น (Lubricant) ซึ่งทำให้การหมุนคล่องตัว มีลักษณะภายใน ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ส่วนประกอบของแบริ่ง (Bearing)

แบริ่ง (Bearing) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. แบริ่งกวาง (Plain Bearing) มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงโดยมีแกนหมุนอยู่ภายใน ส่วนของแกนหมุนหรือเพลลาที่หมุนอยู่ภายในแบริ่ง เรียกว่า เจอร์นอล (Journal) ส่วนรูปทรงกระบอกกลวง เรียกว่า เจอร์นอลแบริ่ง (Journal Bearing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. แบริ่งลูกปืน (Ball Bearing) ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ช่วยการหมุนเคลื่อนที่อยู่ระหว่างวงแหวนชั้นในและชั้นนอก เช่น ลูกปืนที่ทำด้วยโลหะแข็ง โดยมีลักษณะกลมเหมือนลูกบอล

2.5.4 ประกับเพลลา (Coupling) หน้าที่หลักคือ ส่งแรงบิดจากเพลลาต้นกำลังสู่เพลลาเครื่องจักรรองรับการทำงานภายใต้ภาวะเยื้องศูนย์ของเพลลา (Shaft Misalignment) และชดเชยระยะการเคลื่อนตัวระหว่างปลายเพลลา และทำหน้าที่ยึดเพลลาสองเพลลาให้เข้าด้วยกัน มีลักษณะดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 ลักษณะของประกับเพลลา (Coupling)

2.5.5 เพลลาขับ (Shafts) เป็นอุปกรณ์ส่งกำลังแบบเคลื่อนที่เชิงมุม มีลักษณะการเคลื่อนที่แบบหมุนโดยส่วนใหญ่ต้องประกอบกับอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเพื่อส่งกำลังให้ส่วนต่าง ๆ ซึ่งเพลลาทำหน้าที่เป็นส่วนยึดโยงกับกลไกอื่นด้วยเช่นกัน โดยเพลลานั้นทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำถึงปานกลาง โดยผ่านการหล่อหรือการกลึง ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ลักษณะเพลลาแต่ละประเภท (Shafts)

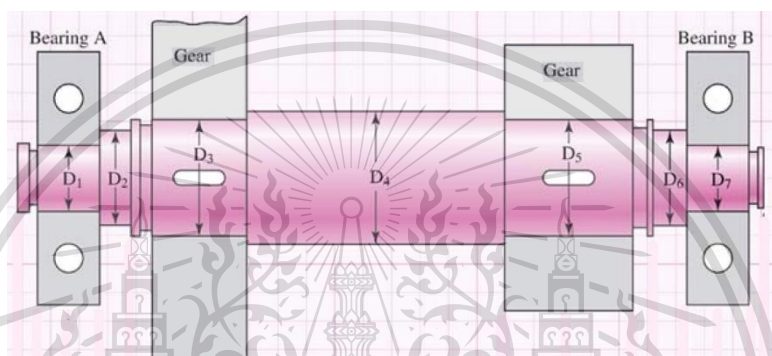
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

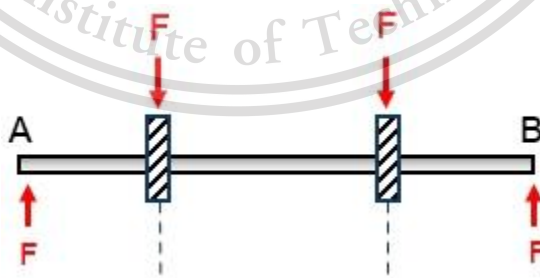
หลักการออกแบบเพลลา โดยเพลารับแรงบิดเป็นหลักทำให้เกิดความเค้นเฉือน (Shear Stress) บนเพลลาและมีแรงมากระทำต่อเพลลาในทิศทางต่าง ๆ เกิดเป็น โมเมนต์ดัด (Bending Moment) ขึ้นโดยมีจุดเริ่มต้นของความเสียหายจากแรงที่มากระทำคือส่วนของร่องลึ้ม ร่องแหวน ซึ่งมีขั้นตอนการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาที่เหมาะสม ดังนี้

1. พิจารณาตำแหน่งชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่มาประกอบกับเพลลา ดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ตำแหน่งของเกียร์ (Gear) และ ลูกปืน (Bearings)

2. วิเคราะห์แรงที่มากระทำในตำแหน่งต่าง ๆ ของเพลลาในรูปแบบของการเขียนแผนภาพแสดงแรงที่มากระทำต่อเพลลา (Free Body Diagram) ดังรูปที่ 2.27 เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาจุดที่เกิดการเสียหายหรือการเกิดการโก่งงอของเพลลา (Bending Moment)



รูปที่ 2.27 ตัวอย่างแผนภาพแรงที่มากระทำต่อเพลลา (Free Body Diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. ออกแบบรูปร่าง ลักษณะเกลียว และเลือกวัสดุที่ใช้ทำเพลลา วิธีการขึ้นรูปจากตารางที่ 3.1 เพื่อนำค่าต่าง ๆ ในทางทฤษฎีของวัสดุ ไปใช้ในการคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างวัสดุแต่ละชนิด วิธีการขึ้นรูป และค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณ

Number	Material	Condition	Strength (Tensile)			
			Yield , S_y (MPa)	Ultimate , S_u (MPa)	Strain Strength	Fracture Strain
1018	Steel	Annealed	220	341	0.25	1.05
1212	Steel	HR	193	424	0.24	0.85
303	Stainless steel	Annealed	241	601	0.51	1.16
304	Stainless steel	Annealed	276	568	0.45	1.67
400	Stainless steel	HR	245	510	0.36	1.84

4. หาค่าคงที่ fatigue stress-concentration จากสมการที่ (2.11) และ (2.12)

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (2.11)$$

$$K_{fs} = 1 + q_{shear}(K_{ts} - 1) \quad (2.12)$$

เมื่อ K_f , K_{fs} คือ ค่าคงที่ fatigue stress-concentration

K_t , K_{ts} คือ ค่าความเข้มของความเครียด (stress concentration)

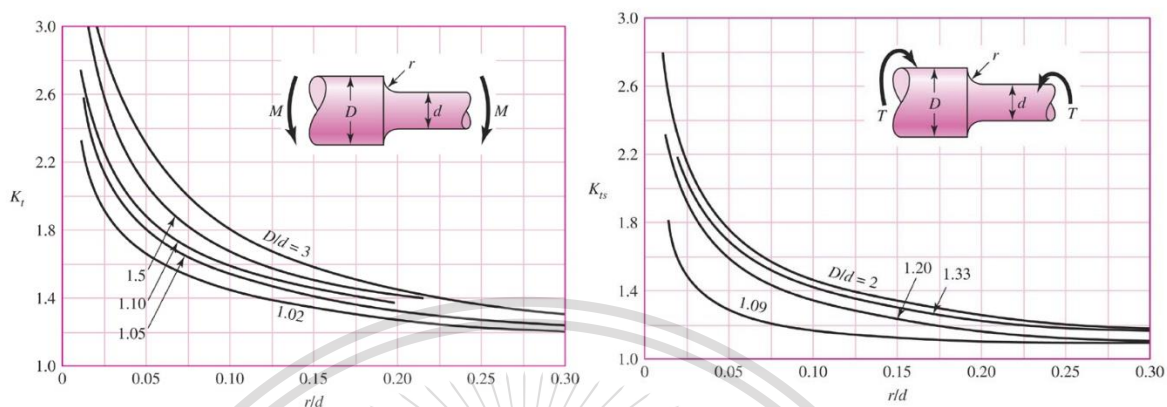
q , q_{shear} คือ ค่า Notch Sensitivity ที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

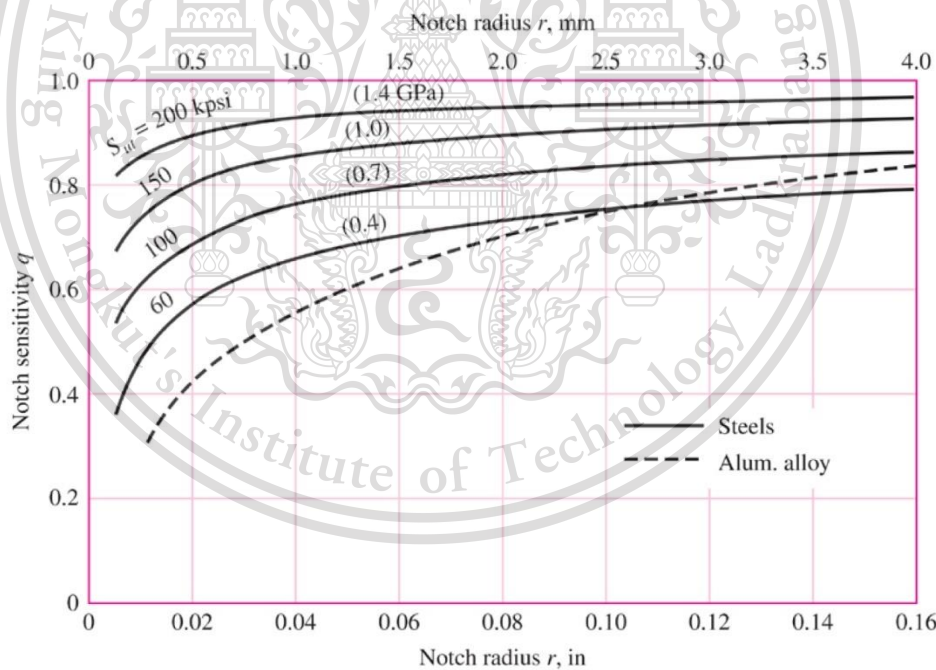
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยสามารถหาค่าที่ใช้ในสมการได้จากกราฟดังรูปที่ 2.28 และ 2.29



รูปที่ 2.28 ตัวอย่างกราฟ Stress Concentration Factors



รูปที่ 2.29 ตัวอย่างกราฟ Notch Sensivity ของเหล็กกล้า (Steels) และอลูมิเนียม (Alloy)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5. หาค่าขีดจำกัดความคงทนของเพลลา (Endurance Limit , S_e) เป็นค่าที่ได้จากผลกระทบบาง ภายภาพของชิ้นส่วนภายใต้ความล้าที่เกิดจากตัวแปรต่าง ๆ (Factor) สามารถหาได้จากสมการที่ (2.13)

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (2.12)$$

เมื่อ S_e คือ ค่าขีดจำกัดความคงทนของเพลลา (Endurance Limit)

k_a คือ ค่าสภาพพื้นผิวของเพลลา (Surface condition factor)

k_b คือ ค่าขนาดของเพลลา (Size factor)

k_c คือ ค่าของภาระที่มากระทำต่อเพลลา (Load factor)

k_d คือ ค่าของอุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อเพลลา (Temperature factor)

k_e คือ ค่าที่ยอมรับได้ของเพลลา (Reliability factor)

k_f คือ ค่าอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อเพลลา (Miscellaneous factor)

S'_e คือ ค่าตัวอย่างขีดจำกัดความคงทนของเพลลา (Specimen Endurance Limit)

โดยมีเงื่อนไข $S'_e = 0.5S_{ut}$ เมื่อ $S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi} (1400 \text{ MPa})$

$S'_e = 100 \text{ kpsi}$ เมื่อ $S_{ut} > 200 \text{ kpsi}$

$S'_e = 700 \text{ Mpa}$ เมื่อ $S_{ut} > 1400 \text{ MPa}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

6. กำหนดค่าความปลอดภัย (Safety factor) ในการออกแบบ หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา ภายใต้แรงบิด (Torque) และ โมเมนต์ดัด (Bending Moment) ตามทฤษฎี modified-Goodman ตามสมการที่ (2.13)

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right) \quad (2.13)$$

เมื่อ d คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของเพลา , mm

n คือ ค่าความปลอดภัย (Safety factor)

M_a, M_m คือ แรงบิด (Torque) , Nm

T_a, T_m คือ โมเมนต์ดัด (Bending Moment) , .Nm

K_f, K_{fs} คือ ค่าคงที่ fatigue stress-concentration

S_{ut} คือ ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength)

S_e คือ ค่าขีดจำกัดความคงทนของเพลา (Endurance Limit)

7. เพลาอาจจะเสียหายจากการเสียรูปภายใต้ขีดจำกัดจากการเกิด คราก (Yield strength , S_y) จึงต้องพิจารณาความเสียหายซ้ำ จากทฤษฎี von Mises ตามสมการที่ (2.14)

$$\sigma'_{max} = [(\sigma_m + \sigma_a)^2 + 3(\tau_m + \tau_a)^2]^{1/2} \quad (2.14)$$

เมื่อ σ'_{max} คือ ความเค้นสูงสุดของเพลา (Maximum Stress)

σ_m, σ_a คือ ความเค้นที่เกิดจากการโก่งงอ (Bending Stress)

τ_m, τ_a คือ ความเค้นที่เกิดจากการแรงเฉือน (Shear Stress)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5.6 การหาแรงในการขับเคลื่อน (Driving Force) เป็นการคำนวณหา กำลังงานที่ต้องใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ เพื่อให้ได้ความเร็วที่ต้องการ ความสัมพันธ์ระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้ากับทอร์ก (Torque) ที่เกิดขึ้นนั้น จะได้ดังสมการที่ (2.15)

$$P_m = 2\pi NT_m \quad (2.15)$$

เมื่อ P_m คือ กำลังของมอเตอร์ ,W

N คือ อัตราเร็วของมอเตอร์ ,rev/s

T_m คือ แรงบิดของมอเตอร์ ,Nm

หาความสัมพันธ์ระหว่างทอร์กของล้อและทอร์กของมอเตอร์ไฟฟ้า ได้ดังสมการที่ (2.16)

$$T_w = \eta_t \times i_g \times i_f \times T_m \quad (2.16)$$

เมื่อ T_w คือ แรงบิดของล้อรถ ,Nm

η_t คือ ประสิทธิภาพของการส่งกำลัง

i_g คือ อัตราการทดระหว่างเฟืองขับมอเตอร์กับเฟืองท้ายของรถ

i_f คือ อัตราทดระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองท้ายกับล้อหลัง

T_m คือ แรงบิดของมอเตอร์ ,Nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงขับเคลื่อนและทอร์กของล้อ ได้ดังสมการที่ (2.17)

$$F = \frac{T_w}{r} \quad (2.17)$$

เมื่อ F คือ แรงขับเคลื่อนที่ต้องเอาชนะแรงต้าน ,N

T_w คือ แรงบิดของล้อรถ ,Nm

r คือ รัศมีของล้อ ,m

จากสมการที่ (2.16) และ (2.17) สามารถสรุปได้ดังสมการ (2.18)

$$F = \frac{\eta_t \times i_o \times T_m}{r} \quad (2.18)$$

เมื่อ F คือ แรงขับเคลื่อนที่ต้องเอาชนะแรงต้าน ,N

i_o คือ อัตราทดของระบบส่งกำลัง ($i_g \times i_f$)

T_m คือ แรงบิดที่ของมอเตอร์ ,Nm

η_t คือ ประสิทธิภาพของการส่งกำลัง

r คือ รัศมีของล้อ ,m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หาความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า ได้ดังสมการที่ (2.19)

$$N = \frac{V \times i_o}{3.6(2\pi r)} \quad (2.19)$$

เมื่อ N คือ ความเร็วรอบ ,rev/s

V คือ อัตราเร็วของรถ ,km/hr

i_o คือ อัตราทดของระบบส่งกำลัง

เนื่องจากการส่งกำลังโดยทั่วไปนั้น เราไม่สามารถส่งกำลังไปสู่ชิ้นส่วนอื่นได้ 100% ดังนั้นเราจะมาวิเคราะห์หากำลังของมอเตอร์ที่ใช้โดยการใช้ค่าประสิทธิภาพในการส่งกำลัง ดังสมการที่ (2.19)

$$P_m = \frac{FV}{3.6\eta_t} \quad (2.20)$$

เมื่อ P_m คือ กำลังในการขับเคลื่อน ,W

F คือ แรงขับเคลื่อนที่ ,N

V คือ อัตราเร็วของรถ ,km/hr

η_t คือ ประสิทธิภาพของการส่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบ (Design)

3.1.1 การออกแบบโครงรถ (Frame Design) จากการศึกษาโครงสร้างของรถสามล้อ โดยทั่วไป ทำให้ทราบถึงวิธีการดัดแปลง ต่อเติมโครงสร้างใหม่จากจักรยานสองล้อ ผู้จัดทำจึงออกแบบ โดยคำนึงถึงความแข็งแรงของโครงสร้างเป็นหลัก เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพ ของการทำงาน และความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การออกแบบโครงรถสามล้อไฟฟ้า (Frame design)

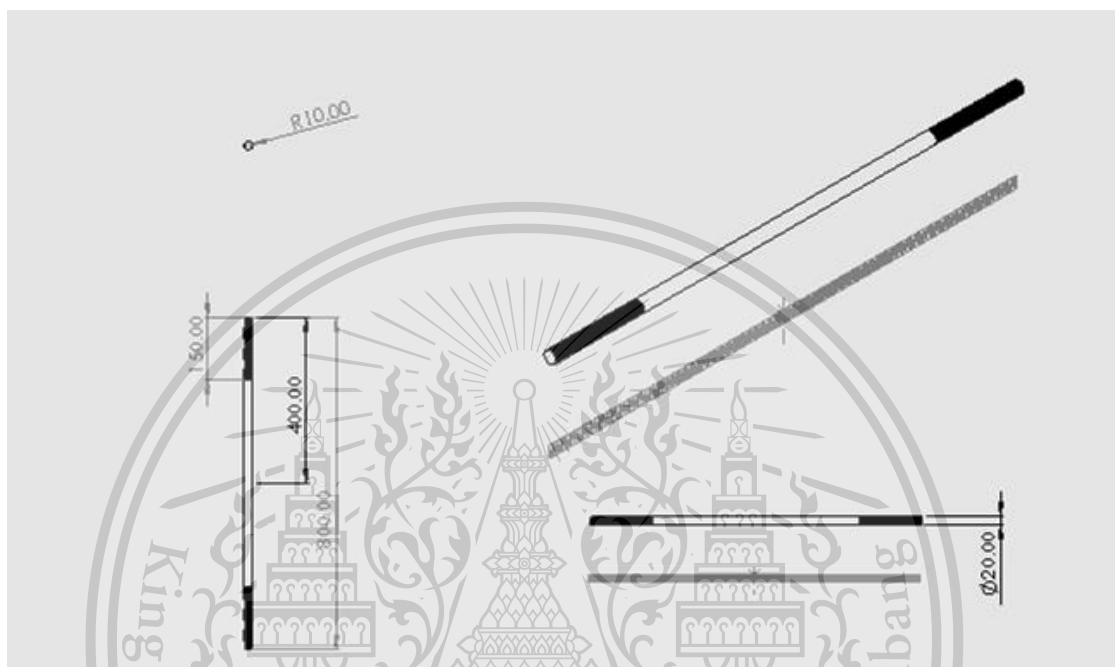
โดยในการดัดแปลงจากจักรยานสองล้อเป็นสามล้อ จำเป็นต้องมีแกนเพลลา (Shafts) ที่ยาวเพื่อสวมใส่ล้อทั้งสองข้างได้ อีกทั้งต้องมีลูกปืน (Bearings) หลายตัว เพื่อรองรับการหมุนของเพลลา และแผ่นยึดเพลลา (Arm) ซึ่งวัสดุส่วนใหญ่ของชิ้นส่วนที่ถูกออกแบบ เป็นเหล็กชนิดสแตนเลส 400 (Stainless Steel) ซึ่งเป็นเหล็กที่ใช้สำหรับโครงสร้างทั่วไป มีความแข็งแรง มีตำแหน่งการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้าที่มั่นคงและทนต่อแรงสั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2 การออกแบบเพลา (Shaft Design) เนื่องจากทฤษฎี modified-Goodman ว่าด้วยเรื่องการออกแบบเพลาเบื้องต้น ที่วิเคราะห์จากความเค้น (Stress) และตัวแปร (Factor) ที่มีผลต่อความเสียหายที่เกิดขึ้นบนเพลา จากสมการที่ (2.13) สามารถออกแบบขนาดของเพลาได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขนาดของเพลาที่ออกแบบ (Shaft)

เส้นผ่านศูนย์กลางเพลาที่คำนวณได้จากสมการคือ 20 mm. (6 หุน) ออกแบบให้มีความยาวทั้งหมด 800 mm. ที่ค่าความปลอดภัย (Safety Factor) เท่ากับ 0.77 ทำเกลียวมิลชนิดละเอียดด้านละ 150 mm. เพื่อให้สามารถใส่ น็อต (Nut) ยึดล๊อคกับเพลาได้

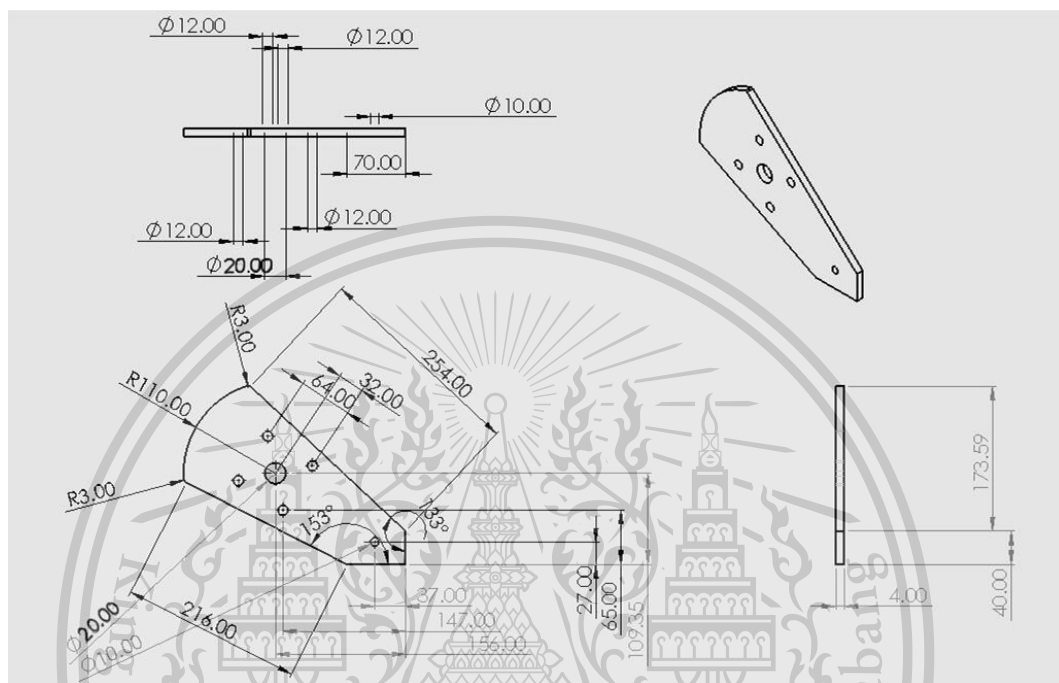
* แผนภาพการวิเคราะห์แรงที่มากกระทำต่อเพลา เพิ่มเติมที่ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.3 การออกแบบแขนยึดเพลากับโครงรถ (Arm Design) จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลาที่ออกแบบได้ในหัวข้อที่ 3.1.2 การออกแบบเพลลา สามารถออกแบบแขนยึดเพลลาที่สอดคล้องกับขนาดของเพลลาได้ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แขนยึดเพลลาที่ออกแบบ (Arm)

แขนยึดเพลามีรูตรงกลาง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. เพื่อใส่เพลลา และมีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm. เป็นมุมทั้ง 4 ด้าน เพื่อให้สามารถใส่สกรู (Screw) ขนาด M10 ยึดกับตัลบลูกปืนตุ๊กตา (Housing Bearing) ได้ ส่วนรูด้านล่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. เพื่อใส่สกรูยึดกับโครงของรถ โดยรูปร่างของแขนยึดจะมีลักษณะเฉียงขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของล้อ

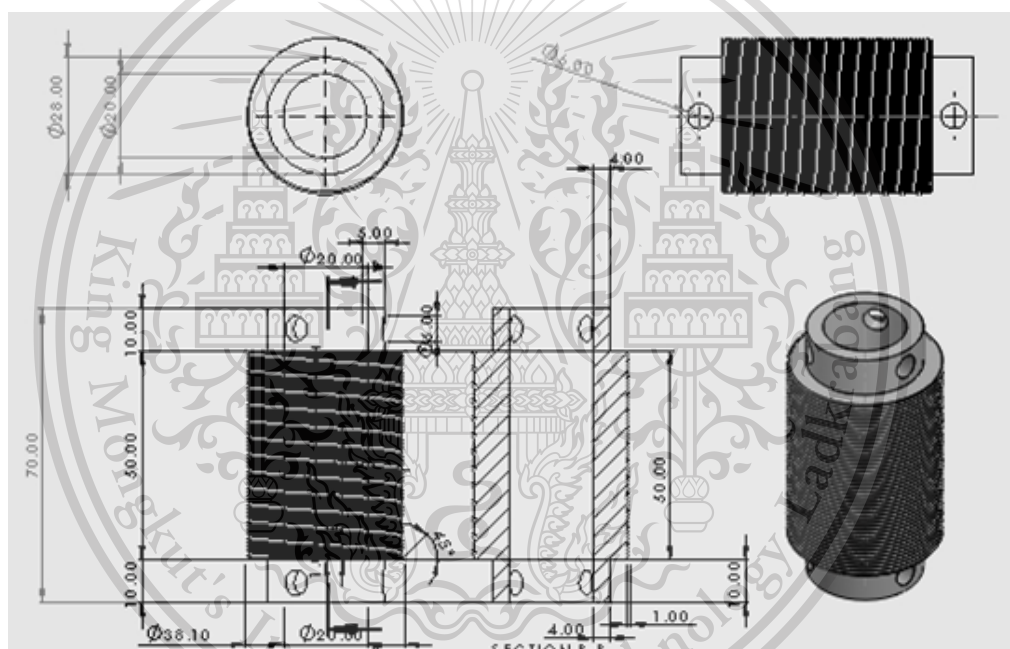
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.4 การออกแบบประกบเพลลา (Coupling Design) เป็นส่วนยึดติดกับเพลลาขับ (Shaft) เพื่อทำหน้าที่รับและส่งกำลังไปยังชิ้นส่วนอื่น ๆ ในระบบได้ จึงออกแบบประกบเพลลาที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยมี 2 ลักษณะ คือ

1. ประกบเพลลาส่วนที่รับกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อทำให้เพลลาหมุน เป็นส่วนที่ยึดเพลลาขับ กับเฟืองฟรีวีลล์ (Freewheel) เข้าด้วยกัน โดยมีรูในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. เพื่อสวมใส่เพลลา และมีรูด้านปลายทั้งสองด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm. เพื่อใช้สกรูขนาด M6 ยึดกับเพลลา เมื่อโซ่คล้องเข้ากับเฟืองฟรีวีลล์ จะทำให้เพลลาหมุนตามการส่งกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้า โดยประกบเพลลา มีลักษณะดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ประกบเพลลาส่วนที่รับกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า (Coupling)

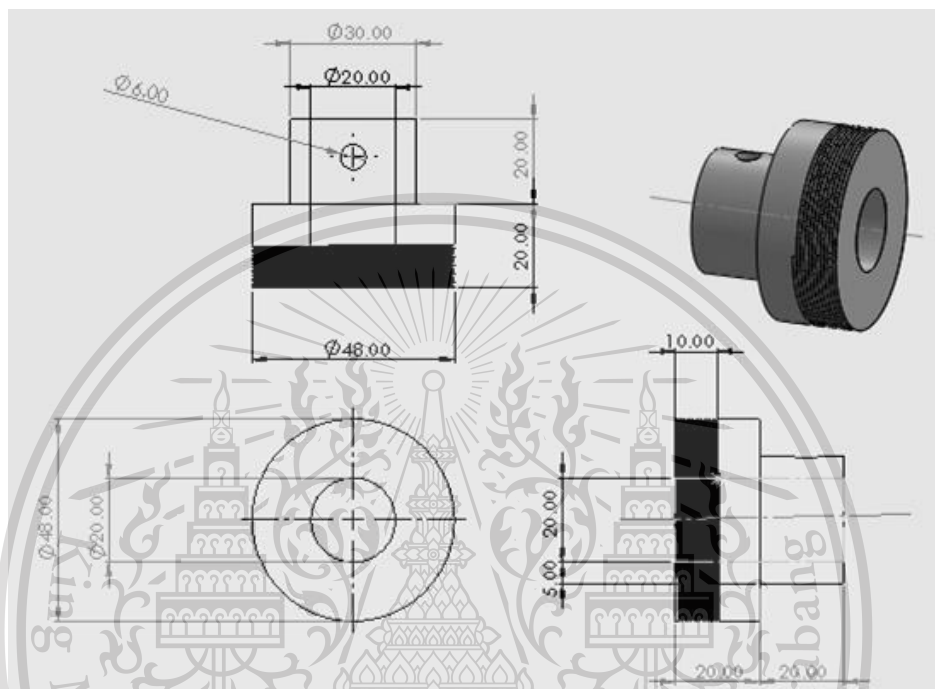
ส่วนตรงกลางของประกบเพลลาจะออกแบบให้เป็นเกลียวที่สามารถใส่ตัวเฟืองฟรีวีลล์ได้ด้วยการสวมโดยใช้เกลียวหมุนเข้า เพื่อให้สามารถเลื่อนตัวเฟืองได้อย่างอิสระและหาตำแหน่งที่สอดคล้องกับเฟืองของมอเตอร์ให้สามารถใส่โซ่ระหว่างเฟืองทั้งสองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. ประกับเพลาส่วนที่ส่งกำลังจากเพลาสู่ล้อ ออกแบบให้สามารถสวมใส่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเข้าล้อได้ โดยมีรูในขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. เพื่อสวมใส่เพลาส่วนปลายด้านหนึ่ง มีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm. เพื่อใช้สกรูขนาด M6 ยึดกับเพลาส่วนเพื่อไม่ให้เลื่อน มีลักษณะดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ประกับเพลาส่วนที่ส่งกำลังจากเพลาสู่ล้อ (Coupling)

ปลายอีกด้านหนึ่งมีลักษณะเป็นเกลียวขวา เพื่อหมุนยึดเข้ากับเข้าล้อได้โดยตรง ความยาวเกลียวทั้งหมด 10 mm. เป็นเกลียวชนิดละเอียด ออกแบบเพื่อส่งกำลังให้ล้อทางด้านซ้ายด้านเดียว เนื่องจาก หากมีการหมุนของเพลาส่วนจะทำให้เกลียวของประกับเพลาส่วนหมุนเข้ากับเกลียวล้อแน่นและล้อจะสามารถหมุนตามเพลาส่วนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 การคำนวณค่าที่ใช้ในการออกแบบ (Calculation for Design Factor)

การสร้างรถจักรยานไฟฟ้าจำเป็นต้องคำนวณหาพิกัดกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนหรือกำหนด ความเร็วที่ต้องการเพื่อสร้างปัจจัยหรือขอบเขตที่มีผลในการสร้างโครงงานและการออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ โดยในงานวิจัยนี้จะกำหนดขอบเขตของการโครงงานเพื่อใช้ในการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลการออกแบบรถจักรยานไฟฟ้า

ข้อมูล	ตัวแปร	ปริมาณ	หน่วย
น้ำหนักของรถและผู้ขี่	W	60	kg
รัศมีของล้อ	r	0.2	m
พื้นที่หน้าตัดของรถ	A	0.55	m ²
สัมประสิทธิ์แรงฉุดของอากาศ	C_D	0.05	-
สัมประสิทธิ์แรงต้านการหมุนของล้อ	K_r	0.0182	-
อัตราเร็วของจักรยาน	V	20	km/hr
ประสิทธิภาพของการส่งกำลัง	η_t	90	%
จำนวนฟันเฟืองขับเคลื่อนมอเตอร์	N_m	9	ฟัน
จำนวนฟันเฟืองฟรีวีลส์	N_s	16	ฟัน
อัตราทดของระบบส่งกำลัง	i_o	6.6	-

3.2.1 การหาแรงต้านในการขับเคลื่อน (Resistance Force) เพื่อหาแรงที่ทำให้รถสามล้อไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนได้ โดยต้องมีแรงที่สามารถชนะแรงต้านทานที่เกิดจากหลายปัจจัยได้ ซึ่งหาแรงต้านจากการหมุนของล้อ (Rolling Resistance) ได้จากการแทนค่าในสมการที่ (2.8) ได้ค่าดังนี้

$$R_r = 10.7 \text{ N} \quad (\text{สำหรับการเคลื่อนที่ในแนวราบ})$$

หาแรงต้านของอากาศ (Air Resistance Force) ได้จากการแทนค่าในสมการที่ (2.10) ได้ค่าดังนี้

$$R_a = 6.6 \text{ N}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เนื่องจากออกแบบเป็นการเคลื่อนที่แบบแนวราบ แรงต้านจากทางชั้น ในสมการที่ (2.11) จึงมีค่าดังนี้

$$R_g = 0 N$$

ดังนั้นแรงต้านการเคลื่อนที่ของจักรยานไฟฟ้าทั้งหมด จะมีค่า

$$R_t = R_r + R_a + R_g = 17.3 N$$

3.2.2 การหาขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า (Power) เพื่อทำการเลือกพิกัดกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้เพื่อส่งกำลังให้เพียงพอต่อการออกแบบ จากการแทนค่าในสมการที่ (2.20) ได้ค่าดังนี้

$$P_m = 106.7 W$$

3.2.3 การหาความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า (Rated Speed) โดยอัตราเร็วของรถสามล้อไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบของมอเตอร์ ขึ้นอยู่กับอัตราทดเฟืองซึ่งสามารถวิเคราะห์หาอัตราเร็วของรถสามล้อไฟฟ้า จากการแทนค่าในสมการที่ (2.19) ได้ค่าดังนี้

$$N = 1750 RPM$$

3.2.4 การหาแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้าและล้อ (Rated Torque) โดยแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสามารถหาได้จากการแทนค่าในสมการที่ (2.15) ได้ค่าดังนี้

$$T_m = 0.58 Nm$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

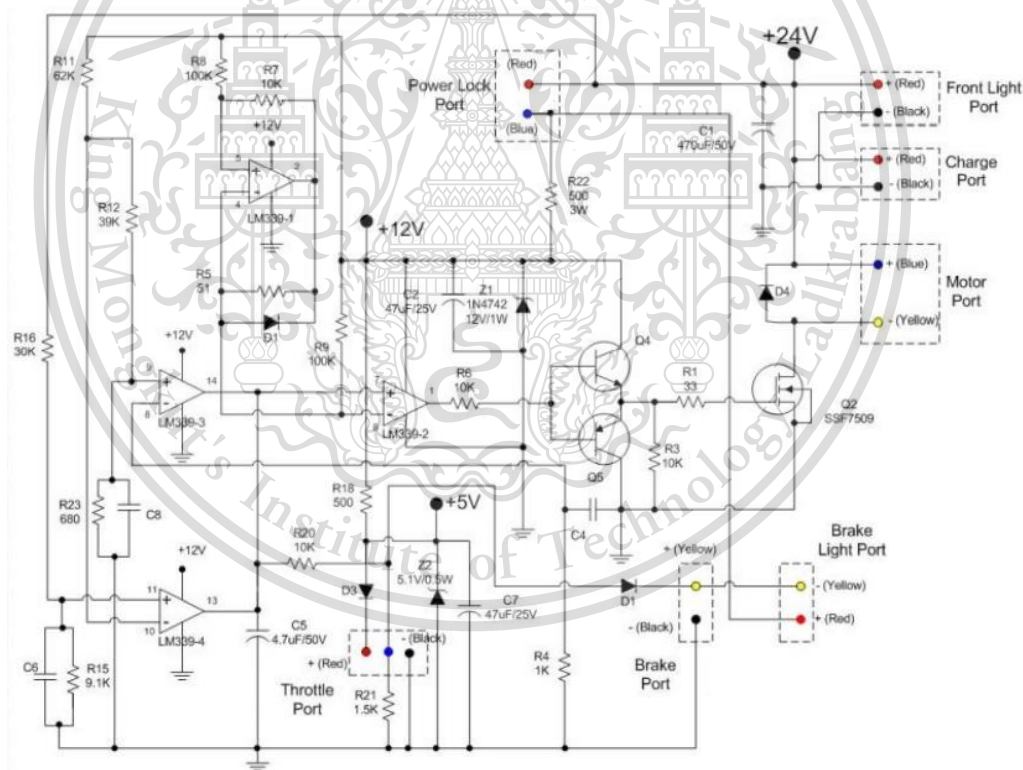
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หาแรงบิดของล้อได้จากการแทนค่าในสมการที่ (2.16) ได้ค่าดังนี้

$$T_w = 3.44 \text{ Nm}$$

3.3 การควบคุมมอเตอร์ด้วยวงจรไฟฟ้า (Controlling Motor with Electrical Circuit)

โครงการนี้จะเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 24 V 250 W ที่ได้จากการคำนวณในหัวข้อที่ 3.2 การควบคุมมอเตอร์เพื่อให้ได้ความเร็วที่เหมาะสมกับการขับขึ้นเนิน เป็นการควบคุมความเร็วรอบโดยการปรับสัญญาณพัลส์ (Pulse Signal) ของวงจร โดยปรับค่าของความกว้างการปล่อยกระแสไฟฟ้า ได้จากการตัวต้านทานปรับค่าได้ (Variable Resistor) หรือก็คือชุดปรับระดับคันเร่ง ต่อเข้ากับกล่องควบคุมมอเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์แบบ Mosfet โดยลักษณะวงจรภายในกล่องควบคุมมอเตอร์ มีลักษณะดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ลักษณะวงจรภายในกล่องควบคุมมอเตอร์ (Circuit Diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

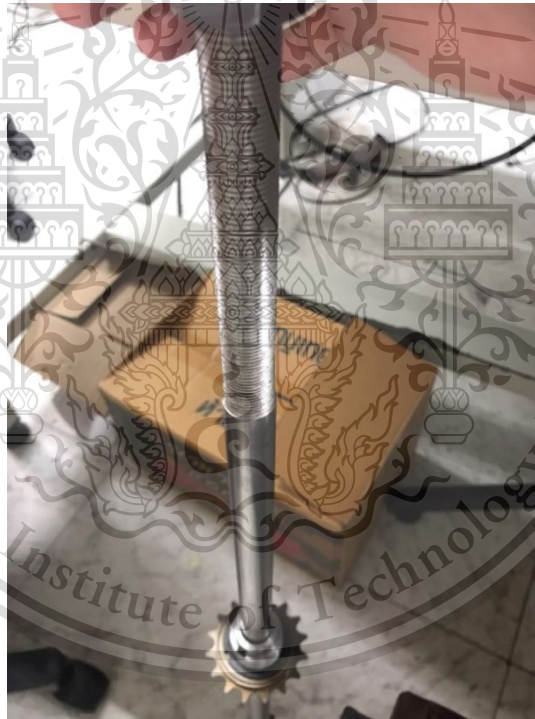
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 การสร้างและประกอบชิ้นงาน (Part and Assembly)

โครงรถสามล้อไฟฟ้า (Frame) ดัดแปลงมาจากจักรยานที่ชำรุดเสียหาย โดยจะทำการประกอบกับชิ้นส่วนที่ออกแบบขึ้นมาใหม่ ในขั้นตอนการดำเนินงาน ที่ 3.1 เรื่องการออกแบบ (Design) สั่งทำชิ้นงานด้วยการกลึง (Lathe) และการตัดเลเซอร์ (Laser Cut) ซึ่งวัสดุใช้เป็น Stainless Steel 400 สำหรับงานโครงสร้างทั่วไป ตามที่ได้ออกแบบจะได้ชิ้นงานจริงดังนี้

1. เพลา (Shaft) ที่ผ่านการกลึงมีลักษณะดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เพลา (Shaft)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. ประกับเพลลา (Coupling) ที่ผ่านการกลึง มีลักษณะดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 ประกับเพลลาส่วนที่รับกำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า (Coupling)



รูปที่ 4.3 ประกับเพลลาส่วนที่ส่งกำลังจากเพลลาสู่อจักรยาน (Coupling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. แขนยึดเพลลา (Arm) ที่ผ่านการตัดด้วยเลเซอร์ มีลักษณะดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แขนยึดเพลลา (Arm)

4. โครงจักรยานที่ชำรุดเสียหาย ซึ่งนำมาดัดแปลง มีลักษณะดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 โครงจักรยานที่นำมาดัดแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การประกอบชิ้นงานจะเริ่มจากการติดตั้งแผ่นยัดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อน ซึ่งตำแหน่งการติดตั้งจะตรงกับตำแหน่งของเฟืองขับเพลลา (Freewheel) โดยใช้วิธีการเชื่อม ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.6 การเชื่อมแผ่นยัดมอเตอร์ไฟฟ้า (ด้านข้าง)



รูปที่ 4.7 การเชื่อมแผ่นยัดมอเตอร์ไฟฟ้า (ด้านหลัง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ติดตั้งตะกร้าด้านหน้า โดยการยึดด้วยสกรูเกลียวปล่อย ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การติดตั้งตะกร้า

นำประกับเพลาสวมเข้ากับแฮบล้อโดยการหมุนเกลียว ดังรูปที่ 4.9



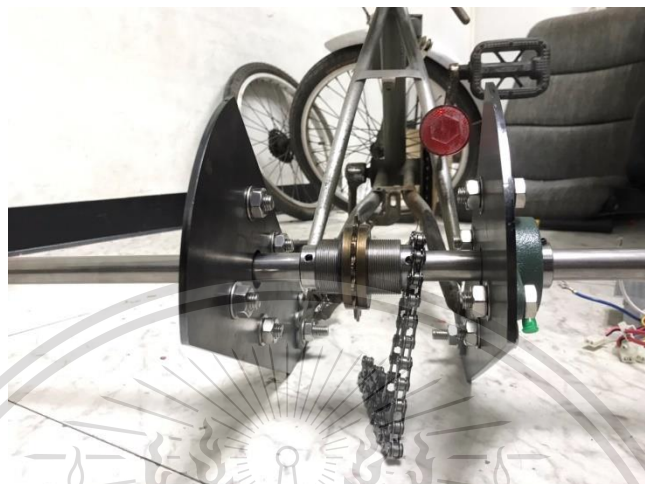
รูปที่ 4.9 การติดตั้งประกับเพลากับล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนบุคคลเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

นำชิ้นงานที่ออกแบบ และตลับลูกปืน (Bearing Housings) ประกอบเข้าด้วยกัน ยึดด้วยสกรู ขนาด M10 และ M6 จะมีลักษณะดังรูปที่ 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.10 การติดตั้งชุดขับเฟืองเพลา (ด้านหลัง)



รูปที่ 4.11 การติดตั้งชุดขับเฟืองเพลา (ด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

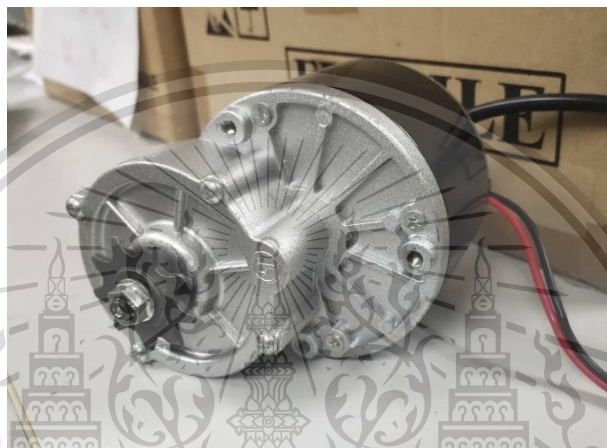
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 การเลือกอุปกรณ์สำหรับติดตั้ง (Selecting Equipment)

อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรของรถสามล้อไฟฟ้า เลือกโดยใช้การคำนวณจากสมการ ในขั้นตอนการดำเนินงานที่ 3.2 เรื่องการคำนวณหาค่าที่ใช้ในการออกแบบ (Calculation for Design Factor) จะได้ค่าที่สามารถนำมาเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมได้ดังนี้

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ลักษณะดังรูปที่ 4.12 พิกัดการทำงานดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.12 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

ตารางที่ 4.1 ค่าพิกัดการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าที่เลือกใช้งาน

ชนิดของมอเตอร์ (Type)	กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน (Brush DC Motor)
แรงดันไฟฟ้า (Voltage)	24 V _{DC}
ประสิทธิภาพ (Efficiency)	78 %
อัตราทด (Ratio)	9:78:1
กำลังงาน (Power)	250 W
พิกัดกระแส (Rated current)	7.82 A
พิกัดแรงบิด (Rated torque)	10.8 N.m

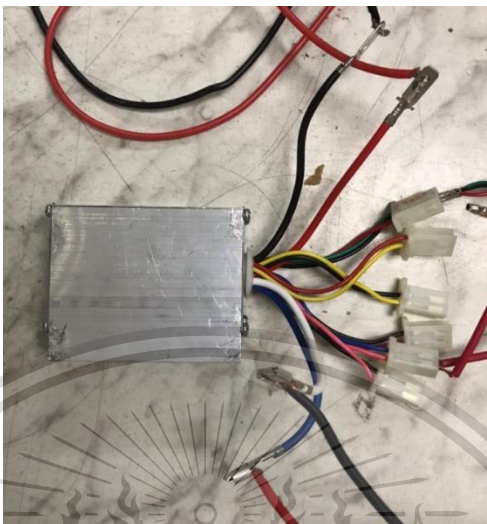
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. กล่องควบคุมมอเตอร์ (Control box) ขนาด 24 V 250 W มีลักษณะดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กล่องควบคุมมอเตอร์ (Control box)

3. สายไฟ (Wiring) ตัวนำทองแดงขนาด 1.5 ตร.มม. ทนกระแสไฟฟ้า 16 A ลักษณะดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 สายไฟที่ใช้ในวงจร (Wiring)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. แบตเตอรี่แห้ง (SMF) ขนาด 12 V 21 Ah จำนวน 2 ลูก ทำการต่ออนุกรมเป็น 24 V สำหรับจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กล่องควบคุมมอเตอร์ มีลักษณะดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แบตเตอรี่แห้ง (SMF)

5. สวิตช์ (Key Switch) ทำหน้าที่เปิดหรือปิดวงจรการจ่ายไฟให้มอเตอร์ มีลักษณะดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 สวิตช์ (Key switch)

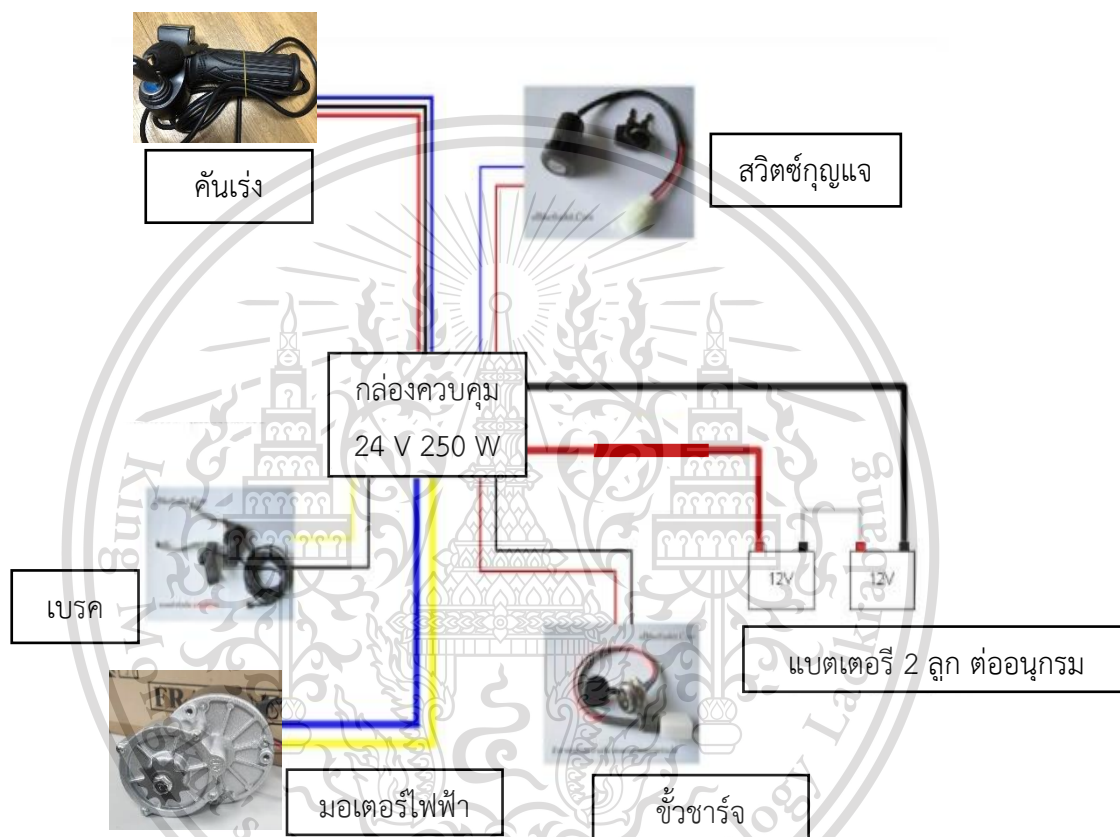
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 การต่อวงจรเพื่อขับเคลื่อนรถสามล้อไฟฟ้า (Drive Circuit Connection)

โดยลักษณะวงจรภายในกล่องกล่องควบคุม ในขั้นตอนการดำเนินงานที่ 3.3 เรื่องการควบคุมมอเตอร์ด้วยวงจรไฟฟ้า (Controlling Motor with Electrical Circuit) สามารถออกแบบแผนผังการต่อวงจร เพื่อขับเคลื่อนรถสามล้อไฟฟ้า ได้ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แผนผังการต่อวงจรขับเคลื่อนรถสามล้อไฟฟ้า (Drive Circuit Diagram)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

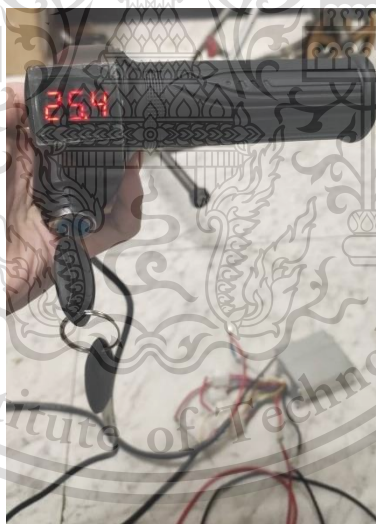
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากแผนผังการต่อวงจรในรูปที่ 4.17 สามารถนำมาต่อวงจรเพื่อใช้งานจริง ได้ดังรูปที่ 4.18 ซึ่งผลลัพธ์คือสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าได้ตามต้องการ โดยการบิดคันเร่งเพื่อปรับความเร็ว อีกทั้งยังสามารถเช็คสถานะแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ของแบตเตอรี่ได้ มีลักษณะดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.18 ลักษณะการต่อวงจรขับเคลื่อนรถจักรยานไฟฟ้า (Drive Circuit)



รูปที่ 4.19 แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (Battery Voltage)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ปฏิญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการสร้างรถสามล้อไฟฟ้า ที่ดัดแปลงมาจากจักรยานที่ชำรุดเสียหาย โดยคำนวณและออกแบบชิ้นงานที่เกี่ยวข้องกับการส่งกำลัง และนำมาประกอบเข้ากับโครงรถของจักรยาน ซึ่งในด้านการออกแบบพบว่า การออกแบบโครงรถสามารถใช้งานได้จริง มีความสวยงาม แต่รับน้ำหนักของผู้ขับขี่ได้น้อย การออกแบบเพลลาจากการคำนวณ มีขนาดที่เหมาะสม สอดคล้องกับขนาดของอุปกรณ์ทางกลอื่น ๆ วัสดุที่ใช้ทำมีน้ำหนักเบาและทนทาน การออกแบบแขนยึดเพลลา มีตำแหน่งการยึดที่แม่นยำทำให้สกรูสามารถยึดชิ้นงานได้ดีและแน่นหนา การออกแบบประกับเพลลา มีลักษณะของเกลียวแน่นทำให้มีการส่งกำลังไปยังชิ้นส่วนอื่นได้ดี การเลือกขนาดมอเตอร์จากการคำนวณ พบว่ามีความเหมาะสมในการใช้งานแต่ให้ความเร็วในการขับขี่ไม่สูง ในส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ มีความสอดคล้องกับขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งการต่อวงจรควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อส่งกำลังไปยังเพลลา พบว่าสามารถทำให้มอเตอร์หมุนเพื่อส่งกำลังไปยังเพลลาได้ โดยมีเบรคช่วยทำให้การหมุนมีความเสถียรและช่วยในการรับน้ำหนักของผู้ขับขี่ ในด้านการประกอบชิ้นงาน ส่วนของการส่งกำลังมีความเสถียรและประกอบเข้ากันได้ดี โดยใช้สกรูและน็อตยึดชนิดเกลียวมิลที่มีคุณภาพ แต่ไม่สามารถประกอบส่วนอื่นให้เสร็จสมบูรณ์ได้ ทำให้ไม่สามารถทดสอบประสิทธิภาพในการขับขี่และระยะทางที่สามารถวิ่งได้ต่อการชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งครั้งได้ เนื่องด้วยสถานการณ์ปัจจุบันที่เกิดการแพร่ระบาดของ COVID-19

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

หากต้องการความเร็วในการขับขี่มากขึ้น ต้องทำการเปลี่ยนมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีพิกัดกำลังงานสูงขึ้นรวมถึงขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้งานให้เพียงพอ และควรมีกถ่วงที่เก็บอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กั้นน้ำและทนต่อสภาพอากาศ เพื่อป้องกันน้ำและสิ่งสกปรกที่จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดการชำรุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

- [1] David, H. 2012. **MACHINES & MECHANISMS : Applied Kinematic Analysis**. 4th ed.
New York : Pearson
- [2] Richard, G. and Keith, J. 2017. **Shingley’s Mechanical Engineering Design**. 9th ed.
New York : McGraw-Hill.
- [3] “**Bearings.**” [Online]. Available :
<http://www.sgl1.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=539375428>
- [4] “**Coupling.**” [Online]. Available :
<http://www.ssprubber.com/index.php/ves-blog/coupling.html>
- [5] “**DC Motor.**” [Online]. Available :
<https://th.element14.com/motor-control-brushed-dc-bdc-technology>
- [6] “**E-bike.**” [Online]. Available :
<https://www.ebikethaikit.com/>
- [7] “**Electrical motor.**” [Online]. Available :
<https://naichangmashare.com/2020/02/18/electrical-motor-ep01/>
- [8] “**Lead-acid battery.**” [Online]. Available :
https://en.wikipedia.org/wiki/Lead%E2%80%93acid_battery

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [9] “Lithium iron phosphate battery.” [Online]. Available :
https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_iron_phosphate_battery
- [10] “Motor speed control.” [Online]. Available :
<http://www.kroo-suchat.com/files/Unit5-04.pdf>
- [11] “Resistance force.” [Online]. Available :
http://www.pattayatech.ac.th/files/150511088485246_15110613130551.pdf
- [12] “Rolling resistance.” [Online]. Available :
https://en.wikipedia.org/wiki/Rolling_resistance
- [13] “Shaft.” [Online]. Available :
<https://engineerknowledge.blogspot.com/2008/10/shaft.html>
- [14] “Shaft Design.” [Online]. Available :
http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~rchanat/2103320%20Des%20Mach%20Element/CRW07_Shaft_2.pdf
- [15] “Sprocket.” [Online]. Available :
<https://www.brandexdirectory.com/Store/blogDetail/14479/1419>
- [16] “Standard roller chain.” [Online]. Available :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรที่ออกหนังสือขอยืมเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปอย่างอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



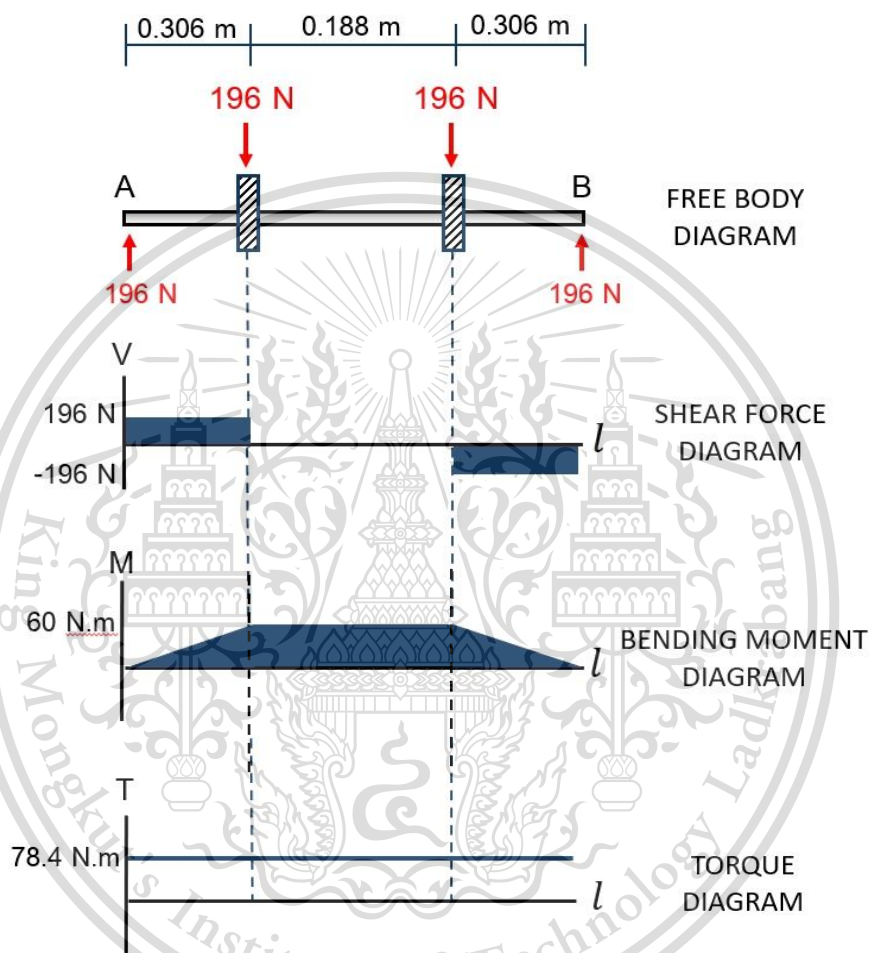
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

แผนภาพการวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อเพลา



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงการวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อเพลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประวัติคณะผู้จัดทำ

ชื่อ-นามสกุล	นายกิตตินันท์ ใจยิ้ม
วัน เดือน ปีเกิด	3 กรกฎาคม 2541
ที่อยู่	261/1 หมู่ 1 ซอยรัตนราช 1 ตำบลบางบ่อ อำเภอบางบ่อ จังหวัดสมุทรปราการ 10560
เบอร์โทร	093-9180423
E-mail	kittinun.yim@gmail.com
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2560	หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประวัติคณะผู้จัดทำ

ชื่อ-นามสกุล	นายศุภพล เสนาสุข
วัน เดือน ปีเกิด	4 มิถุนายน 2542
ที่อยู่	53 ซอยพัฒนาเวศม์ 1 ถนนสุขุมวิท 71 แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
เบอร์โทร	089-6126611
E-mail	supapol9993@hotmail.co.th
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2560	หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.