

การออกแบบระบบขับเคลื่อนรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็ก

DESIGN OF TRACTION SYSTEM FOR MINIATURE ELECTRIC LOCOMOTIVE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

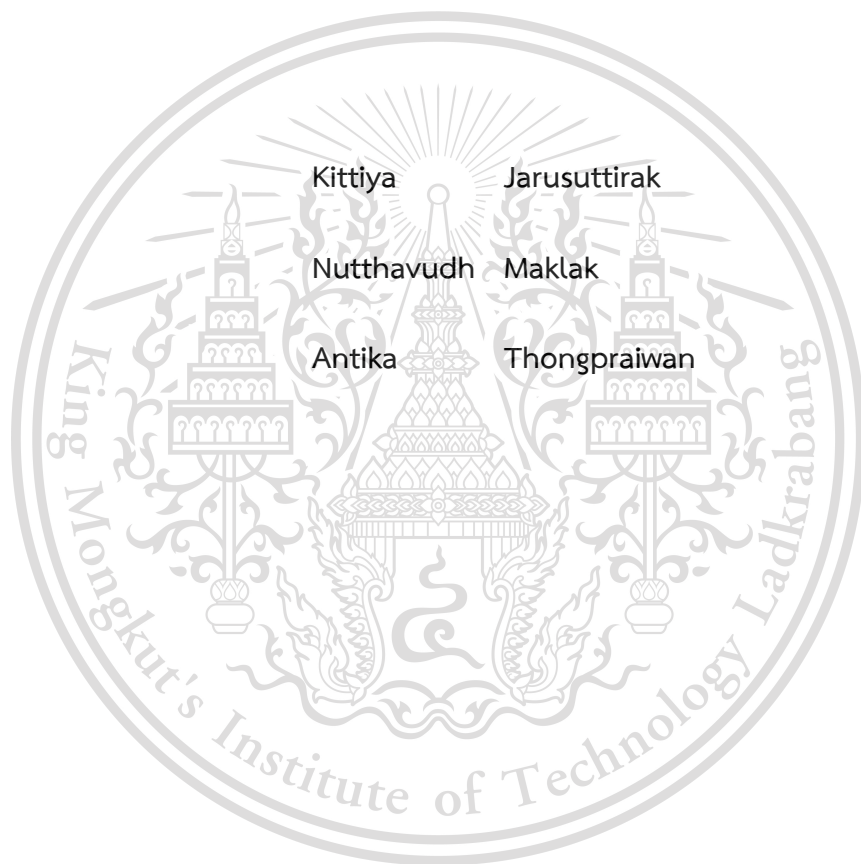
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2563

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

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

DESIGN OF TRACTION SYSTEM FOR MINIATURE ELECTRIC LOCOMOTIVE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN RAIL TRANSPORTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2020

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

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

ปริญญาโทปีการศึกษา 2563

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบระบบขับเคลื่อนรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็ก

DESIGN OF TRACTION SYSTEM FOR MINIATURE ELECTRIC LOCOMOTIVE

ผู้จัดทำ

1. นางสาว กิตติญา จารุสุทธิรักษ์ รหัสประจำตัว 60010064
2. นาย ณัฐวุฒิ มากรักษ์ รหัสประจำตัว 60010333
3. นางสาว อัญธิกา ทองไพรวรรณ รหัสประจำตัว 60011180

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร)

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.

การออกแบบระบบขับเคลื่อนรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็ก

นางสาว กิตติญา จารุสุทธิรักษ์ 60010064
นาย ณ์รัฐฉิม มากรัมย์ 60010333
นางสาว อัญธิกา ทองไพรวรรณ 60011180
ผศ.ดร. มนต์ศักดิ์ พิมสาร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

การเคลื่อนที่ของรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กนั้นจำเป็นต้องมีระบบขับเคลื่อน ซึ่งเป็นหัวใจหลักในการเคลื่อนที่ของรถจักร ในโครงการนี้ทำการออกแบบระบบขับเคลื่อนที่อยู่ในรถจักรไฟฟ้าภายใต้เงื่อนไขของกฎการแข่งขัน Railway Challenge 2020 ของประเทศไทย ขั้นตอนแรกทำการคำนวณหาขนาดกำลังสูงสุดของมอเตอร์ที่ต้องใช้ในการลากจูงรถไฟทั้งขบวนภายใต้เงื่อนไขการแข่งขัน ต่อมาทำการออกแบบระบบส่งกำลังและเลือกอุปกรณ์และชิ้นส่วนที่เหมาะสมกับการออกแบบ แล้วนำมาสร้างแบบจำลอง 3 มิติเพื่อนำมาออกแบบการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์และชิ้นส่วนในระบบขับเคลื่อน ซึ่งขั้นตอนนี้จะต้องร่วมมือทำกับระบบอื่น ๆ เพื่อดูความเหมาะสม แล้วทำการนำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมาวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนภายใต้แรงกระทำที่กำหนด จากนั้นทำการออกแบบวงจรไฟฟ้าระบบขับเคลื่อนเพื่อรองรับการทำงานของรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กได้ตามต้องการ และประเมินราคาของอุปกรณ์ทั้งหมดที่ต้องใช้ในระบบขับเคลื่อน

คำสำคัญ: ระบบขับเคลื่อน, รถจักรไฟฟ้าขนาดเล็ก, Railway Challenge 2020, วงจรไฟฟ้า

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.

DESIGN OF TRACTION SYSTEM FOR MINIATURE ELECTRIC LOCOMOTIVE

Kittiya	Jarusuttirak	60010064
Nutthavudh	Maklak	60010333
Antika	Thongpraiwan	60011180
Asst.Prof.Dr.Monsak	Pimsarn	Advisor
Year 2020		

ABSTRACT

The movement of a miniature electric locomotive requires a traction system, which is necessary for the locomotive. The object of this project is to design a traction system under the condition of the Railway Challenge 2020 competition rules of Thailand. Firstly, the maximum motor power required to tow a train and trailer car was theoretically calculated. Later, the design of the power transmission system was carried out and the appropriate parts and equipment were chosen. These parts and equipment were then brought to create 3D models and layout the traction system. Additionally, the strength analysis of those parts and equipment were numerically analyzed by using finite element method. After that, the electric circuit of the traction system was designed to support the miniature electric locomotive operation. Lastly, the cost of all parts and equipment required for this system was commercially investigated.

Keyword: Traction system, Miniature electric locomotive, Railway Challenge,
Electric circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ไปด้วยดีนั้น ทางผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์เพื่อการปรับปรุงแก้ไขปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้เหมาะสม มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอบพระคุณ คุณปรีชา จาตุรนต์รัศมี และครอบครัว เจ้าของธุรกิจรถไฟเล็ก [1] อ.สวนผึ้ง จ.ราชบุรี ที่กรุณาให้ความรู้และคำปรึกษาเรื่องการผลิตรถไฟขนาดเล็ก รวมถึงให้เข้าเยี่ยมชมสถานที่ในทุกขั้นตอนของการผลิต ซึ่งทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งใจเป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณบุคลากรและคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ ทุกท่านได้ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการต่าง ๆ อย่างดียิ่ง ตลอดจนเพื่อน ๆ นักศึกษาสาขาวิศวกรรมขนส่งทางราง ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและกระตุ้นให้เกิดความพยายามในการแก้ไขปัญหาที่เป็นอุปสรรคต่าง ๆ

สุดท้ายขอขอบคุณ พ่อ แม่ พี่ และน้องทุกคน รวมทั้งญาติ ๆ และบุคคลรอบข้างทุกคนที่คอยช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนในเรื่องต่าง ๆ แก่ผู้วิจัยด้วยดี เสมอมา และเข้าใจในสิ่งที่เป็นอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัยจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

นางสาว กิตติญา จารุสุทธิรักษ์
นาย ณัฐวุฒิ มากรัมย์
นางสาว อัญธิกา ทองไพรวรรณ

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.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 วิธีการดำเนินงาน.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.3 กฎการแข่งขัน Railway Challenge 2020 ของประเทศไทย.....	4
2.4 ทฤษฎี.....	8
2.4.1 การวิเคราะห์แรงขับเคลื่อนของรถไฟ.....	8
2.4.1.1 ปัจจัยแรงต้านทานการเคลื่อนที่ขณะวิ่งไปตามทาง.....	8
2.4.1.2 ตัวแปรและสมการ.....	9
2.4.2 ชนิดของระบบจ่ายไฟฟ้าในรถไฟ.....	10
2.4.3 ระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้า.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังต้องแบตเตอรี่ (Battery) ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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(ต่อ)

	หน้า
2.4.3.3 ประกับเพลลาในงานส่งกำลัง (Coupling)	21
2.4.3.4 เฟืองโซ่ (Sprockets)	23
2.4.3.5 โซ่ส่งกำลังแบบลูกกลิ้ง (Standard Roller Chain)	26
2.4.3.6 ลิ่ม (Key)	29
2.4.4 มาตรฐานเหล็กอุตสาหกรรมระบบเยอรมัน DIN (Deutsch Institute Norms)	31
2.4.5 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	34
3.1 บทนำ.....	34
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	34
3.3 อุปกรณ์การออกแบบระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้า.....	35
3.3.1 ภาพรวมแบบจำลองระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้า.....	35
3.3.2 การคำนวณเพื่อเลือกขนาดมอเตอร์.....	36
3.3.3 การคำนวณหาความจุแบตเตอรี่.....	39
3.3.4 การเลือกใช้ประกับเพลลา.....	41
3.3.5 วิธีการเลือกเฟืองโซ่.....	42
3.3.6 การเลือกขนาดโซ่ส่งกำลัง.....	45
3.3.7 การคำนวณหาความยาวของโซ่ส่งกำลัง.....	46
3.3.8 การเลือกลิ่มในการใช้งาน.....	46
บทที่ 4 การออกแบบและผลลัพธ์.....	48
4.1 บทนำ.....	48
4.2 วิธีการออกแบบ.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงเนื้อหา และดัดแปลงข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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(ต่อ)

	หน้า
4.2.2 การวิเคราะห์ความแข็งแรงและการเสีรูปของชิ้นส่วนต่าง ๆ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์.....	50
4.2.3 การออกแบบการต่อวงจรไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อน.....	60
4.3 ผลการออกแบบ.....	67
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 บทนำ.....	69
5.2 สรุปผล.....	69
5.3 ปัญหาจากการศึกษา.....	70
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	71
เอกสารอ้างอิง.....	72
ภาคผนวก (APPENDIX)	73
ภาคผนวก ก แบบอุปกรณ์และชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบขับเคลื่อน.....	74
ภาคผนวก ข กราฟคุณลักษณะของมอเตอร์และแบตเตอรี่.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงขนาดมาตรฐานลิมทรงขนาน DIN6885.....	30
3.1 ข้อกำหนดการออกแบบรถจักรเบื้องต้นจากกฎการแข่งขัน Railway Challenge 2020....	36
3.2 แสดงข้อมูลของมอเตอร์ รุ่น BLDC-108.....	38
3.3 แสดงข้อมูลโซ่ส่งกำลังแบบลูกกลิ้งแถบเดี่ยว (STRAIGHT SIDEBAR SINGLE STRAND ROLLER CHAIN) ขนาด 06B-1.....	45
3.4 แสดงขนาดมาตรฐานลิมทรงขนาน DIN6885.....	46
4.1 แสดงการสรุปอุปกรณ์และหน้าที่ของอุปกรณ์ในระบบขับเคลื่อน.....	61
4.2 แสดงการประเมินราคาและระบุสถานที่จัดจำหน่ายอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ ในระบบขับเคลื่อน.....	67



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.

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แรงที่มีผลกระทบต่อการทำงานของรถไฟเมื่ออยู่บนพื้นเอียง.....	9
2.2 ส่วนประกอบของสเตเตอร์ (Stator).....	13
2.3 ส่วนประกอบของโรเตอร์ (Rotor).....	14
2.4 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน.....	14
2.5 แผนภาพแสดงการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน.....	15
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller).....	15
2.7 กล่องอีซียู (Electronic control unit) ในรถยนต์.....	16
2.8 เครื่องตัดไฟรั่ว RCCB (Residual-Current Circuit Breaker) และเครื่องตัดไฟรั่ว RCD (Residual-Current Device).....	16
2.9 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนขณะอัดและคายประจุ.....	18
2.10 แบตเตอรี่จากโทรศัพท์มือถือ.....	19
2.11 แบตเตอรี่ที่ใช้ในเครื่องมือไฟฟ้า.....	19
2.12 แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ Tesla Model S.....	20
2.13 แบตเตอรี่ LiFePO ₄ ที่ใช้ในยานพาหนะไฟฟ้า.....	20
2.14 แบตเตอรี่ในรถยนต์ยี่ห้อมิตซูบิชิรุ่น i-MiEV (Mitsubishi In-wheel motor Electric Vehicle).....	21
2.15 แบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ หรือ NMC ที่ใช้ในจักรยานไฟฟ้า.....	21
2.16 ประกับเพลลาเขียวที่มียางหรือยางสังเคราะห์เป็นส่วนประกอบ.....	22
2.17 ประกับเพลลาแผ่นดิสก์และประกับเพลลาเบลโลว์ที่ไม่ต้องการสารหล่อลื่น.....	22
2.18 ประกับเพลลาสปริงแถบขดและประกับเพลลาโซ่ที่ต้องการสารหล่อลื่น.....	22
2.19 ประกับเพลลาไฮดรอลิก ประกับเพลลาฟลูอิด และประกับเพลลาจำกัดแรงบิด.....	23
2.20 เฟืองโซ่แผ่นเรียบ.....	24
2.21 เฟืองโซ่คัมยีนหนึ่งข้าง.....	24
2.22 เฟืองโซ่คัมยีนสองข้าง.....	25
2.23 เฟืองโซ่สแตนเลส.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Forbidden to modify the content, a VIII cite the document when use.

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.24 เฟืองโซ่ฟันสองชั้น.....	26
2.25 ส่วนประกอบหลักของโซ่.....	27
2.26 รูปแบบของโซ่เดี่ยว โซ่คู่ โซ่สามเส้น.....	27
2.27 ระยะพิทช์ของโซ่.....	28
2.28 มาตรฐานลิ้มทรงขนานและลักษณะการใช้งานลิ้มขนาน.....	29
2.29 สัญลักษณ์มาตรฐานเหล็กอุตสาหกรรมระบบเยอรมัน DIN.....	31
3.1 แบบจำลองระบบขับเคลื่อนรถจักรไฟฟ้าจากโปรแกรม SolidWorks.....	35
3.2 มอเตอร์รุ่น BLDC-108.....	38
3.3 แบตเตอรี่ LiFePO ₄ ขนาด 48 โวลต์ 50 แอมแปร์ชั่วโมง.....	40
3.4 แบบจำลองประกอบเพลลาจากโปรแกรม SolidWorks.....	41
3.5 ภาพเขียนแบบหน้าตัดประกอบเพลลา.....	41
3.6 ภาพเขียนแบบหน้าตัดล้อจากโปรแกรม SolidWorks.....	42
3.7 ภาพเขียนแบบเพลลาขับจากโปรแกรม SolidWorks.....	42
3.8 แบบจำลองเฟืองโซ่ตัวขับ จำนวน 12 ฟัน ขนาด 06B-1 จากโปรแกรม SolidWorks.....	43
3.9 แสดงข้อมูลเฟืองโซ่ตัวขับจากสมุดแจ้งราคาสินค้า (Catalog) ที่พิจารณา.....	43
3.10 แบบจำลองเฟืองโซ่ตัวตาม จำนวน 72 ฟัน ขนาด 06B-1 จากโปรแกรม SolidWorks..	44
3.11 แสดงข้อมูลเฟืองโซ่ตัวตามจากสมุดแจ้งราคาสินค้า (Catalog) ที่พิจารณา.....	44
3.12 แบบจำลองโซ่เดี่ยวขนาด 06B-1 จากโปรแกรม SolidWorks.....	45
3.13 ภาพเขียนแบบลิ้มทรงขนานจากโปรแกรม SolidWorks.....	47
4.1 แบบจำลองระบบขับเคลื่อนจากโปรแกรม SolidWorks.....	48
4.2 แบบจำลองการติดตั้งระบบส่งกำลังเข้ากับระบบโครงกระดูกจากโปรแกรม SolidWorks....	49
4.3 แสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวขับ.....	50
4.4 แสดงค่าระยะเสียรูปที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวขับ.....	50
4.5 แสดงค่าความเครียด ที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวขับ.....	51
4.6 แสดงค่าความปลอดภัยที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวขับ.....	51
4.7 แสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวตาม.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ โดยอนุญาตให้ใช้ฟรีโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 แสดงค่าระยะเสียรูปที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวตาม.....	52
4.9 แสดงค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวตาม.....	53
4.10 แสดงค่าความปลอดภัยที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวตาม.....	53
4.11 แสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในเพลากลาง.....	54
4.12 แสดงค่าระยะเสียรูปที่เกิดขึ้นในเพลากลาง.....	54
4.13 แสดงค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในเพลากลาง.....	55
4.14 แสดงค่าความปลอดภัยที่เกิดขึ้นในเพลากลาง.....	55
4.15 แสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในโซ่ส่งกำลังส่วนข้อต่อตัวนอก.....	56
4.16 แสดงค่าระยะเสียรูปที่เกิดขึ้นในโซ่ส่งกำลังส่วนข้อต่อตัวนอก.....	56
4.17 แสดงค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในโซ่ส่งกำลังส่วนข้อต่อตัวนอก.....	57
4.18 แสดงค่าความปลอดภัยที่เกิดขึ้นในโซ่ส่งกำลังส่วนข้อต่อตัวนอก.....	57
4.19 แสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในโซ่ส่งกำลังส่วนข้อต่อตัวใน.....	58
4.20 แสดงค่าระยะเสียรูปที่เกิดขึ้นในโซ่ส่งกำลังส่วนข้อต่อตัวใน.....	58
4.21 แสดงค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในโซ่ส่งกำลังส่วนข้อต่อตัวใน.....	59
4.22 แสดงค่าความปลอดภัยที่เกิดขึ้นในโซ่ส่งกำลังส่วนข้อต่อตัวใน.....	59
4.23 วงจรไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อน.....	60
4.24 แผนผังแสดงการทำงานในระบบขับเคลื่อน.....	63
4.25 แผนผังแสดงการทำงานของไฟและแตร.....	64
4.26 ภาพแสดงวิธีการต่อแบตเตอรี่หลาย ๆ เซลล์รวมกัน.....	65
4.27 ภาพแสดงไดอะแกรมการต่อชุดควบคุมมอเตอร์ (Controller).....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โครงการการแข่งขัน Railway Challenge 2020 จัดตั้งโดยกองการรถไฟแห่งประเทศไทย [2] เป็นการแข่งขันที่มีความต้องการให้ทีมนักศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโทของแต่ละมหาวิทยาลัยและผู้ที่กำลังฝึกงานกับอุตสาหกรรมและผู้ที่เรียนจบให้ทำการคิด ออกแบบ และทำการผลิตรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กที่ใช้ทางรถไฟที่มีความกว้าง 10.25 นิ้ว (อัตราส่วน 1:6 ต่อขนาดจริง) เพื่อแข่งขันกับทีมอื่น ๆ และได้มีข้อกำหนดจำเพาะทางเทคนิคของการแข่งขันเพื่อให้รถจักรของแต่ละทีมมีประสิทธิภาพการทำงานตามจุดประสงค์ของการแข่งขัน

เนื่องจากในประเทศไทยได้มีการจัดการแข่งขัน Railway Challenge 2020 ซึ่งจัดโดยคณะกรรมการวิศวกรรมระบบรางวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วทส.) [3] โดยมีมหาวิทยาลัยเข้าร่วม 7 มหาวิทยาลัย และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังก็เป็นหนึ่งในมหาวิทยาลัยที่เข้าร่วมในครั้งนี้ด้วย ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงเกิดความสนใจที่จะทำการออกแบบระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งระบบขับเคลื่อนจะเป็นหัวใจหลักในการเคลื่อนที่ของรถจักรไฟฟ้าที่ใช้ในการแข่งขัน โดยการดำเนินการนี้จะอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า รถจักรไฟฟ้านี้จะมีคุณสมบัติการเคลื่อนที่ ตัวเก็บพลังงาน การเร่งความเร็ว และการควบคุมขับเคลื่อน เป็นไปตามกฎการแข่งขัน ซึ่งต้องมีการเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับการออกแบบและคำนวณ มาตรฐานแบบจำลอง 3 มิติจากโปรแกรมเขียนแบบเพื่อวางโครงสร้างของระบบขับเคลื่อนให้เหมาะสม และนำไปวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในระบบขับเคลื่อน

เมื่อได้ต้นแบบจากแบบจำลอง 3 มิติที่เหมาะสมแล้วจึงออกแบบการต่อวงจรไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อนเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการจัดซื้อและสร้างรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กแล้วสามารถนำไปเข้าร่วมการแข่งขัน Railway Challenge ที่จะมีในอนาคต และรถจักรไฟฟ้านี้ยังสามารถใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาเรื่องการทำงานของระบบขับเคลื่อนและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในรถจักรไฟฟ้าได้อีกด้วย

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.

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็ก
2. ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการหาขนาดระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็ก
3. ทำการออกแบบระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้าขนาดย่อส่วน (1:6) ที่มีคุณสมบัติตามกฎการแข่งขัน Railway Challenge 2020
4. ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
5. ทำการศึกษาและออกแบบวงจรไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็ก
6. สร้างแผนการจัดซื้ออุปกรณ์และชิ้นส่วนอื่น ๆ ในระบบขับเคลื่อน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ทำการออกแบบระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กภายใต้เงื่อนไขกฎการแข่งขัน Railway Challenge 2020 ของประเทศไทย ซึ่งมีขนาดทางวิ่ง 12 นิ้ว (1:6)
2. ระบบขับเคลื่อนที่ทำให้รถจักรวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดไม่เกิน 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในระบบขับเคลื่อนด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
2. สามารถนำแบบจำลอง 3 มิติของระบบขับเคลื่อนไปสร้างและพัฒนาหรือเพิ่มฟังก์ชันเพื่อนำไปเข้าร่วมในการแข่งขัน Railway Challenge ในอนาคต
3. สามารถเป็นแหล่งข้อมูลเพื่อการศึกษาเกี่ยวกับขั้นตอนการออกแบบระบบขับเคลื่อนได้

1.5 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบขับเคลื่อน
2. นำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมาคำนวณขนาดของระบบขับเคลื่อนภายใต้เงื่อนไขกฎการแข่งขัน Railway Challenge 2020
3. ออกแบบวิธีการส่งกำลังที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา 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. นำอุปกรณ์ต่าง ๆ มาจำลองในโปรแกรมเขียนแบบ ซึ่งต้องจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์และชิ้นส่วนโดยคำนึงถึงระบบอื่น ๆ ในรถจักรด้วย เช่น ระบบโครงกระดูก
6. ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงและการเสีรูปร่างของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในระบบขับเคลื่อนด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
7. ออกแบบการต่อวงจรไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อน
8. วางแผนการจัดซื้ออุปกรณ์และชิ้นส่วนในการสร้างแบบจำลองรถจักรไฟฟ้า โดยทำการประเมินราคาและระบุสถานที่จัดจำหน่าย
9. สรุปผลและจัดทำรูปเล่มรายงาน



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.

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

สำหรับการศึกษาและออกแบบระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้า จำเป็นต้องศึกษาข้อมูลส่วนประกอบของระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า และใช้ความรู้ในเรื่องสมการการเคลื่อนที่ของรถไฟจากกฎข้อที่ 2 ของนิวตันเพื่อคำนวณหาขนาดของแรงขับเคลื่อน แล้วนำไปหาขนาดของระบบขับเคลื่อนที่เหมาะสม และเลือกอุปกรณ์เพื่อนำมาวางแผนการจัดซื้อชิ้นส่วนและอุปกรณ์เพื่อนำมาสร้างระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้าในอนาคต

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Railway Challenge [2] เป็นการแข่งขันการให้ทำการคิด ออกแบบ และทำการผลิตรถจักรที่ใช้ทางรถไฟที่มีความกว้าง 10.25 นิ้ว เพื่อแข่งขันกับทีมอื่นๆ โดยทีม PUTrain จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีปอซนาน (Poznan University of Technology) ประเทศโปแลนด์ เป็นผู้ชนะการแข่งขัน Railway Challenge 2020 [4] ซึ่งเป็นการออกแบบระบบขับเคลื่อนไฟฟ้าโดยใช้โซลาร์เซลล์และเฟืองโซ่ในการส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังล้อ

2.3 กฎการแข่งขัน Railway Challenge 2020 ของประเทศไทย

กฎการแข่งขันที่เกี่ยวข้องกับระบบขับเคลื่อน

1. รถจักรต้องวิ่งไปตามทางรถไฟที่มีการไล่ระดับที่ความชัน 2 เปอร์เซ็นต์ได้
2. รถจักรที่ต่อพ่วงและขนภาระเรียบร้อยแล้วจะต้องขับเคลื่อนผ่านจุดที่กำหนดด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และรักษาความเร็วให้คงที่
3. รถจักรจะต้องวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดไม่เกิน 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตลอดเวลาการแข่งขัน

กฎการแข่งขันทั่วไป

1. จุดมุ่งหมายของการแข่งขัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเป็นการแข่งขันที่มีความต้องการให้ทีมนักศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโทของแต่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยและผู้ที่กำลังฝึกงานกับอุตสาหกรรมและผู้ที่ยื่นจบแล้วให้ทำการคิดไปใช้

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

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

ออกแบบ และทำการผลิตหัวรถจักรที่ใช้ทางรถไฟที่มีความกว้าง 12 นิ้ว เพื่อแข่งขันกับทีมอื่น ๆ ในเรื่องของการแข่งขันบนเส้นทางรถไฟ และการนำเสนอผลงาน

- 1.1 เพื่อให้แต่ละทีมมีความยืดหยุ่นในการออกแบบอย่างสูงสุดและอิสระในการแสดงความคิดสร้างสรรค์และแสดงถึงจินตนาการจึงมิได้มีการกำหนดข้อจำกัดในการออกแบบหัวรถจักรมากนัก ความท้าทายของแต่ละทีม คือ การพัฒนาหัวรถจักรที่สามารถประสบความสำเร็จกับทุกหัวข้อการแข่งขันได้
- 1.2 แต่ละทีมสามารถใช้สิ่งอำนวยความสะดวกที่มีอยู่ในโรงปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยหรือบริษัทอุตสาหกรรมการผลิตขนาดเล็กได้
- 1.3 แต่ละทีมสามารถปรึกษาและรับคำแนะนำจากอาจารย์ผู้ดูแลหรือที่ปรึกษา หรือจากแหล่งอื่น ๆ ได้ แต่สมาชิกทีมจะต้องเป็นผู้ตัดสินใจออกแบบจุดสำคัญทั้งหมดด้วยตนเอง

2. วัตถุประสงค์การออกแบบรถไฟ

สำหรับจุดประสงค์ของการแข่งขัน แต่ละทีมจะถูกสมมติว่าเป็นทีมที่ทำงานเป็นที่ปรึกษาการออกแบบ คอยสร้างข้อเสนอของการออกแบบและต้นแบบสำหรับหัวรถจักรขนาดเล็กให้กับบริษัทขนาดใหญ่ หัวรถจักรจะต้องถูกออกแบบเพื่อให้ใช้งานกับทางรถไฟที่มีความกว้าง 12 นิ้วได้ แต่ควรมีการพิจารณาในแง่มุมมองของการใช้งานเชิงพาณิชย์และความสามารถในการเปลี่ยนแปลงไปเป็นรถไฟเชิงพาณิชย์เช่นกัน

- 2.1 หัวรถจักรควรมีประสิทธิภาพการทำงานที่สูงมาก ๆ ในเรื่องของแรงฉุดลาก ตัวเก็บพลังงาน การเร่งความเร็ว การเบรกและการควบคุมขับเคลื่อน และมีความทนทานที่เพียงพอต่อการแข่งขันบนเส้นทางรถไฟทุกหัวข้อ
- 2.2 หัวรถจักรจำเป็นต้องถูกควบคุมผ่านเคเบิลหรือการเชื่อมต่อผ่านวิทยุ
- 2.3 ปัจจัยในการออกแบบเพิ่มเติมที่ควรถูกพิจารณาได้แก่ ต้นทุน การยศาสตร์ การบำรุงรักษา ความสามารถในการผลิตและความน่าเชื่อถือได้
- 2.4 นอกเหนือจากการทดสอบบนทางรถไฟแล้วแต่ละทีมจะต้องนำเสนอการออกแบบให้กับบริษัทใหญ่ที่จะทำการพิจารณาการผลิตหัวรถจักรสำหรับแข่งขันและการยื่นประกวดราคาต่อข้อกำหนดอื่น ๆ สำหรับการประเมิน
- 2.5 การออกแบบแต่ละครั้ง และการส่งมอบและการนำเสนอที่เกี่ยวข้อง จะได้รับการตัดสิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนและประเมินผลกับการออกแบบของผู้เข้าแข่งขันทีมอื่น ๆ เพื่อทำหัวรถจักรที่ดีที่สุด การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังรวมให้ตัดแปลงเนื้อหา 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. การแข่งขัน

ในการแข่งขันจะประกอบไปด้วยหัวข้อการแข่งขันการแข่งขันต่าง ๆ จำนวนหนึ่ง เพื่อประเมินแง่มุมต่างๆ ของการออกแบบ

4. ขนาดของทีม

ทีมจะต้องประกอบด้วยสมาชิกในทีมไม่เกิน 15 คน

5. ความเหมาะสมของผู้เข้าแข่งขัน

5.1 อายุสมาชิกทุกคนในทีมต้องมีอายุอย่างน้อย 18 ปี ในช่วงเวลาของการแข่งขัน

5.2 สมาชิกเก่าของทีมจะต้องกลับมาไม่มากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสมาชิกจากทีมดั้งเดิมที่ทำการแข่งขันจากครั้งก่อน

6. ผู้ดูแลของทีม

แต่ละทีมได้ถูกคาดหวังว่าจะมีผู้ดูแลที่ได้รับการแต่งตั้งจากมหาวิทยาลัยหรือบริษัท ในช่วงการแข่งขันผู้ดูแลของทีมได้ถูกคาดหวังว่าจะมาพร้อมกับทีมในการแข่งขันและจะได้รับการพิจารณาให้เป็นตัวแทนอย่างเป็นทางการของมหาวิทยาลัยหรือบริษัท ในช่วงระยะเวลาของการแข่งขัน

6.1 หน้าที่ของผู้ดูแลของทีม : ผู้ดูแลของทีมอาจให้คำแนะนำทีมของพวกเขาเกี่ยวกับทฤษฎีทางวิศวกรรมทั่วไปและทฤษฎีการบริหารจัดการทางวิศวกรรมได้ แต่จะไม่สามารถร่วมออกแบบส่วนใดส่วนหนึ่งของหัวรถจักรหรือมีส่วนร่วมโดยตรงกับการพัฒนาของงานเอกสารหรืองานนำเสนอได้

7. ผู้ช่วยชำนาญการเฉพาะทาง

ทีมอาจรับคำแนะนำจากวิศวกรมืออาชีพ ผู้เชี่ยวชาญ และแหล่งที่มาจากข้อมูลอื่น ๆ ได้ แต่ข้อมูลที่รับมาจะต้องอยู่ในหมวดของข้อมูลเงื่อนไขทั่วไป มิใช่เป็นมาตรการแก้ไขความท้าทายนั้น ๆ ที่ปรึกษามืออาชีพไม่มีสิทธิ์ตัดสินใจออกแบบหรือวาดภาพได้ จึงเป็นความรับผิดชอบของทีมในการอธิบายข้อจำกัดแต่ละอย่างต่อที่ปรึกษา และผู้ดูแลทีมอาจจำเป็นต้องลงนามในข้อตกลงนี้

8. ความปลอดภัย

8.1 ผู้ดูแลด้านความปลอดภัยของทีม

แต่ละทีมจะต้องแต่งตั้งหนึ่งในสมาชิกของทีมขึ้นเป็นผู้ดูแลด้านความปลอดภัยของทีม ซึ่งจะเป็นผู้คอยรับผิดชอบในการสร้างความแน่ใจว่ากิจกรรมทั้งหมดที่ทีมของพวกเขาดำเนินการในระหว่างการแข่งขันจะเป็นไปด้วยความปลอดภัย โดยพยายามหลีกเลี่ยง

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

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

ความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายขึ้นกับสมาชิกของทีมเองหรือผู้เข้าร่วมคนอื่น ๆ ผู้ดูแลด้านความปลอดภัยของทีมจะคอยรับผิดชอบในการชี้แนะสมาชิกคนอื่น ๆ ในทีมของพวกเขาเกี่ยวกับความปลอดภัยรวมถึงการเน้นย้ำถึงความเสี่ยงด้านความปลอดภัยและการให้คำแนะนำ (เช่น การหยุดทำและประเมินความเสี่ยงของงานใหม่)

8.2 กิจกรรมการดำเนินงานที่มีความเสี่ยงจำเพาะ

กิจกรรมในระหว่างการแข่งขันต่อไปนี้ ได้รับการประเมินว่าสามารถลดความเสี่ยงและเพิ่มความปลอดภัยของกิจกรรมได้

8.2.1 การขนย้าย ถ่ายของ ด้วยยานพาหนะสำหรับเคลื่อนย้ายหั่วรถจักรบนท้องถนน

8.2.2 งานที่ทำกับหั่วรถจักรในช่วงระหว่างการแข่งขันและการเคลื่อนขยับของหั่วรถจักรทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับผู้ที่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของการทดสอบหรือการแข่งขัน

8.2.3 การแข่งหั่วข้อการบำรุงรักษาหั่วรถจักรรวมถึงการใช้แม่แรงหั่วรถจักร

ทีมจะต้องจัดทำมาตรการรวมถึงการประเมินความเสี่ยงสำหรับแต่ละกิจกรรมข้างต้น มีไว้ควบคุมเพื่อให้มั่นใจว่าทุกอย่างปลอดภัยต่อการทำงาน ผู้ดูแลความปลอดภัยของทีมจะต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าทุกขั้นตอนและการควบคุมรายละเอียดในมาตรการของพวกเขาจะถูกปฏิบัติตามตลอดช่วงของการแข่งขัน

การไม่จัดทำมาตรการสำหรับกิจกรรมข้างต้นอาจหมายถึงทีมจะไม่สามารถเข้าร่วมการแข่งขันได้ รวมถึงการห้ามขนย้ายหั่วรถจักรมายังการแข่งขันด้วย การจัดทำและดำเนินการตามมาตรการไม่ได้หมายความว่า จะลดความเสี่ยงได้ทุกอย่าง ดังนั้นทีมควรปฏิบัติตามคำแนะนำเรื่องความปลอดภัยต่าง ๆ ที่เจ้าหน้าที่การแข่งขันมอบให้ด้วย

ผู้ดูแลด้านความปลอดภัยของทีมควรมีการตรวจสอบกิจกรรมการดำเนินงานที่ระบุไว้ข้างต้น แต่ไม่ให้มีส่วนร่วมในการปฏิบัติงาน เพื่อควบคุมการปฏิบัติงานให้ปลอดภัยนี้เป็นข้อบังคับตามการแข่งขันหั่วข้อการบำรุงรักษาหั่วรถจักร

ห้ามสมาชิกทีมเกิน 10 คน ทำการทำงานกับหั่วรถจักรของทีมได้ในเวลาเดียวกัน ในช่วงการแข่งขัน อย่างไรก็ตาม มาตรการของทีมอาจกำหนดจำนวนคนมากที่สุดไม่เกิน 10 คนสำหรับกิจกรรมบางอย่างหรือทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับหั่วรถจักร

8.3 กรรมการผู้ตัดสินขอสงวนสิทธิ์ในการกำหนดบทลงโทษกับทีมสำหรับทุก ๆ การฝึกซ้อมหรือพฤติกรรมใด ๆ ในช่วงระหว่างการแข่งขันสร้างความเสี่ยงต่อความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในการกำหนดบทลงโทษกับทีมสำหรับทุก ๆ การฝึกซ้อมหรือพฤติกรรมใด ๆ ในช่วงระหว่างการแข่งขันสร้างความเสี่ยงต่อความปลอดภัย

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 ทฤษฎี

2.4.1 การวิเคราะห์แรงขับเคลื่อนของรถไฟ

ในขบวนรถไฟนั้นจะประกอบด้วยรถจักรไฟฟ้า (Electric Locomotive) และรถพ่วงโดยสารหรือรถพ่วงสินค้า (Trailer car) ซึ่งระบบขับเคลื่อนในรถจักรไฟฟ้าจะทำหน้าที่ลากจูงรถพ่วงให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า และเพื่อให้มั่นใจว่าขบวนรถไฟจะสามารถขับเคลื่อนได้ แรงขับเคลื่อน (Tractive force) ที่ล้อจึงจำเป็นต้องมีกำลังอย่างเพียงพอ เพื่อที่จะเอาชนะแรงต้านการเคลื่อนที่ต่าง ๆ ได้ โดยจะพูดถึงปัจจัยที่มีผลต่อการขับเคลื่อน และการคำนวณแรงที่ต้องใช้ในการทำให้รถไฟเคลื่อนที่ได้

2.4.1.1 ปัจจัยแรงต้านทานการเคลื่อนที่ขณะวิ่งไปตามทาง ประกอบด้วย

1. แรงต้านจากการเคลื่อนที่ของขบวนรถไฟ (Running resistance, R_L) ซึ่งเป็นแบบทั้งทางกลและอากาศพลศาสตร์ ในส่วนทางกล เช่น แรงเสียดทานการกลิ้งของล้อบนราง
2. แรงต้านทานที่มีสาเหตุจากความโค้งของทาง (Resistance caused by track, R_c) ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการสัมผัสกันระหว่างบังใบล้อกับราง ในขณะที่รถไฟเคลื่อนที่บนทางโค้งทำให้เกิดแรงเสียดทานเกิดขึ้น
3. แรงต้านทานจากทางลาดชัน (Grade resistance, R_g) ซึ่งมีสาเหตุมาจากแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงที่กระทำกับ ตัวรถเมื่อมีการเคลื่อนที่บนทางลาดชัน แรงนี้มีค่าเป็นบวกเมื่อรถเคลื่อนที่ขึ้นทางชันและมีค่าเป็นลบเมื่อมีรถไฟเคลื่อนที่ลงทางลาดชัน
4. แรงต้านจากความเฉื่อย (Inertia resistance, R_{in}) ซึ่งมีสาเหตุจากการเร่งให้มีความเร็วมากขึ้น แรงนี้อาจเรียกอีกอย่างว่าเป็นแรงต้านการเร่งทำความเร็ว

จากแรงต้านทั้งหมด เมื่อนำมารวมกันเรียกว่า แรงต้านทานการเคลื่อนที่รวม (Total resistance, R) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

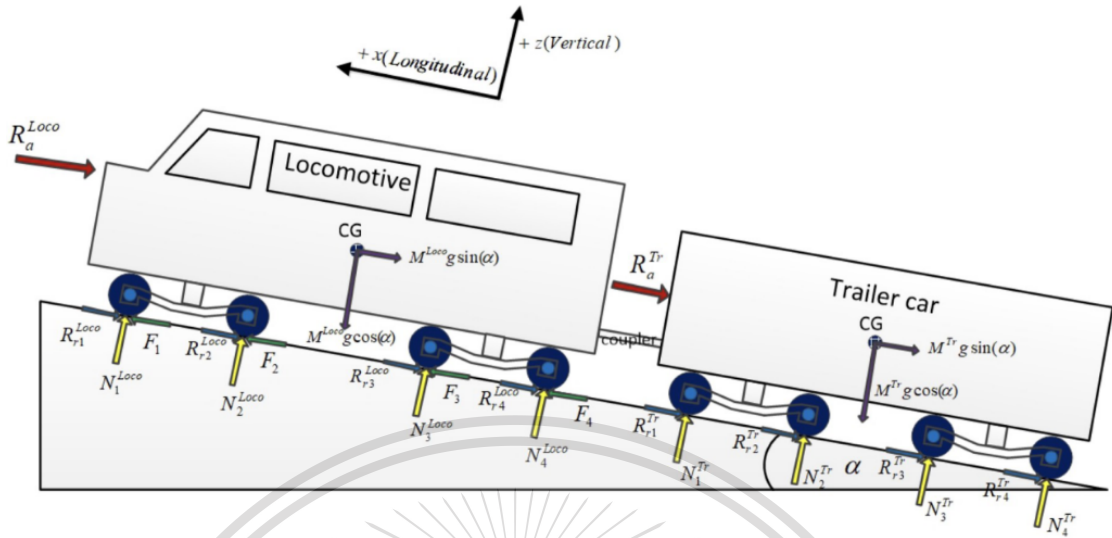
$$R = R_L + R_c + R_g + R_{in} \quad (2.1)$$

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.

2.3.1.2 ตัวแปรและสมการ



รูปที่ 2.1 แรงที่มีผลกระทบต่อเคลื่อนที่ของรถไฟเมื่ออยู่บนพื้นเอียง

$$\leftarrow \sum F_x = ma_x \quad (2.2)$$

$$(M^{Loco} + M^{Tr})a_x = (F_1 + F_2 + F_3 + F_4) - (R_{r1}^{Loco} + R_{r2}^{Loco} + R_{r3}^{Loco} + R_{r4}^{Loco}) \\ - (R_{r1}^{Tr} + R_{r2}^{Tr} + R_{r3}^{Tr} + R_{r4}^{Tr}) - M^{Loco}g\sin(\alpha) - M^{Tr}g\sin(\alpha) - R_a^{Loco} - R_a^{Tr} \quad (2.3)$$

โดยที่ $F \leq \mu N$ คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างล้อกับราง หรือแรงขับที่ล้อ มีหน่วยเป็น นิวตัน

$R_r = \mu_r N$ คือ แรงต้านระหว่างล้อกับรางจากการกลิ้งของล้อ มีหน่วยเป็น นิวตัน

$R_a = \frac{1}{2} \rho_{air} C_D A V^2$ คือ แรงต้านจากอากาศ มีหน่วยเป็น นิวตัน

$R_g = Mg\sin(\alpha)$ คือ แรงต้านจากทางชัน มีหน่วยเป็น นิวตัน

จากการแทนค่านิยามของแรงต้านแต่ละค่า จะได้สมการการเคลื่อนที่สุทธิ ดังนี้

สมมติให้ $F = \mu N$ ที่ทุกชุดล้อขับ

$$(M^{Loco} + M^{Tr})a = (\mu - \mu_r)M^{Loco}g\cos(\alpha) - \mu_r M^{Tr}g\cos(\alpha) - (M^{Loco} + M^{Tr})g\sin(\alpha) \\ - \frac{1}{2} \rho_{air} (C_D^{Loco} A^{Loco} + C_D^{Tr} A^{Tr}) V^2 \quad (2.4)$$

หรือแรงขับที่ชุดล้อทั้งสิ้น (F) มีค่ารวมกันต้องเท่ากับ (กรณีนี้ $F \leq \mu N$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$F = (M^{Loco} + M^{Tr})a + \mu_r M^{Loco}g\cos(\alpha) + \mu_r M^{Tr}g\cos(\alpha) + (M^{Loco} + M^{Tr})g\sin(\alpha)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$+ \frac{1}{2} \rho_{air} (C_D^{Loco} A^{Loco} + C_D^{Tr} A^{Tr}) V^2 \quad (2.5)$$

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

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

โดย

M^{Loco} คือ มวลของรถจักร มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

M^{Tr} คือ มวลของรถพ่วง มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

μ_r คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานกลิ้ง ควรมีค่าระหว่าง $0.001 \leq \mu_r \leq 0.0025$

g คือ ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วง มีค่าเท่ากับ 9.81 เมตรต่อ(วินาที)²

α คือ มุมความลาดชันของทาง มีหน่วยเป็น องศา

ρ_{air} คือ ความหนาแน่นของอากาศ มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อ(เมตร)³

C_D^{Loco} คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของรถจักร

C_D^{Tr} คือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศของรถพ่วง

A^{Loco} คือ พื้นที่ที่รับแรงต้านอากาศของรถจักร มีหน่วยเป็น (เมตร)²

A^{Tr} คือ พื้นที่ที่รับแรงต้านอากาศของรถพ่วง มีหน่วยเป็น (เมตร)²

V คือ ความเร็วของรถไฟ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

2.4.2 ชนิดของระบบจ่ายไฟฟ้าในรถไฟ

เป็นระบบที่ใช้สำหรับจ่ายไฟให้รถไฟไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนขบวนรถ แบ่งการจ่ายไฟฟ้าเป็น

3 ประเภท คือ

1. ระบบไฟฟ้าแบบสายส่งเหนือหัว (Overhead Catenary)

เป็นระบบการจ่ายไฟฟ้าแก่ทางรถไฟประเภทหนึ่ง ประกอบด้วยสายลวดตัวนำเปลือย แขนงไว้กับลูกถ้วยฉนวนซึ่งยึดตรึงที่เสากระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านขารับกระแสไฟฟ้าเหนือหัวที่เรียกว่า สาลี่ เข้าสู่ระบบขับเคลื่อนขบวนรถ เพื่อให้ครบวงจรไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านรางรถไฟหรือราวเหล็กเส้นที่สี่ซึ่งต่อสายดินไว้ ระบบจ่ายไฟฟ้าเหนือหัวมักต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าแรงสูง เพื่อลดการสูญเสียจากการส่งไฟฟ้าเป็นระยะทางไกล สำหรับประเทศไทยรถไฟไฟฟ้าที่ใช้การจ่ายไฟแบบนี้ เช่น รถไฟฟ้าแอร์พอร์ตเรลลิงค์ ซึ่งประกอบด้วย สถานีไฟฟ้าย่อย (Sub-Power-Station), รถไฟฟ้า (Electric Multiple Unit), สาลี่ (Pantograph), สายส่งเหนือหัว (Catenary Wire)

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. ระบบไฟฟ้าแบบใช้รางที่สาม (Third Rail)

ระบบรางที่สาม หมายถึง การจ่ายพลังงานการฉุดลากไฟฟ้าให้แก่รถไฟโดยการใช้อุปกรณ์เพิ่มอีกหนึ่งราง (เรียกว่า "รางตัวนำ") ในระบบส่วนใหญ่ รางตัวนำถูกวางอยู่นอกรางคู่แต่บางครั้งก็อยู่ระหว่างรางคู่ รางตัวนำถูกยึดด้วยฉนวนเซรามิกหรือฉนวนกัมพู โดยทั่วไปแล้วทุก ๆ ระยะ 10 ฟุต (3.0 เมตร) หรือมากกว่านั้น

รถจักรจะมีบล็อกหน้าสัมผัสโลหะที่เรียกว่า "รองเท้า" (หรือ "รองเท้าหน้าสัมผัส" หรือ "รองเท้ารับไฟ") ซึ่งแตะกับรางตัวนำ กระแสไฟฟ้าจะไหลจากรางตัวนำจ่ายให้มอเตอร์กระแสตรงที่เป็นเครื่องยนต์ขับเคลื่อนขบวนรถไฟและถูกส่งกลับให้ครบวงจรไปยังสถานีผลิตไฟฟ้าผ่านทางรางวิ่ง รางตัวนำมักจะทำจากเหล็กการนำไฟฟ้าสูงและรางวิ่งแต่ละช่วงจะต้องถูกเชื่อมต่อทางไฟฟ้าโดยใช้การลอมติดกันด้วยลวดหรืออุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อลดความต้านทานในวงจรไฟฟ้า

3. ระบบไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่ (Stand Alone)

การเคลื่อนที่ของรถไฟที่ขับเคลื่อนด้วยตัวเองจากมอเตอร์ โดยรับพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของรถไฟจะขึ้นอยู่กับรูปแบบการต่อวงจรไฟฟ้า

2.4.3 ระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้า

ระบบขับเคลื่อนเป็นสิ่งที่ทำให้รถจักรเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ ในทำนองเดียวกันกับรถยนต์ที่มีเครื่องยนต์สันดาปภายใน ชุดเกียร์ และเพลลาที่เป็นการขับเคลื่อน โดยวิธีการแปลงพลังงานที่เก็บไว้นั้นให้กลายเป็นพลังงานหลัก ในกรณีของระบบขับเคลื่อนของรถจักรนั้นจะมีส่วนประกอบหลัก ๆ คือ แบตเตอรี่ มอเตอร์ ชุดควบคุมมอเตอร์ ประกับเพลลา เฟืองโซ่ โซ่ส่งกำลัง ลิ้ม และเพลลาขับ

2.4.3.1 มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric motor)

เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานกล ประกอบด้วยขดลวดที่พันรอบแกนโลหะที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก โดยเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังขดลวดที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก จะทำให้ขดลวดหมุนไปรอบแกน และเมื่อสลับขั้วไฟฟ้า การหมุนของขดลวดจะหมุนกลับทิศทางเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แบ่งได้ 2 ประเภทหลัก ๆ คือ
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. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC motor)

เรียกอีกอย่างว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำ เป็นมอเตอร์ที่ไม่จำเป็นต้องมีชุดขับเคลื่อนเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โครงสร้างของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ประกอบด้วยขดลวดที่อยู่กับที่ (Stator) และตัวนำอยู่ที่โรเตอร์ สนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ (Stator) จะเหนี่ยวนำให้กระแสไหลและเกิดสนามแม่เหล็กที่โรเตอร์ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวนำทั้งสองชุดดึงดูดกันทำให้เกิดการหมุน

2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor)

ใช้หลักการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าทั้งขดลวดที่อยู่กับที่และที่เคลื่อนที่ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผลักดันขึ้นส่งผลให้มอเตอร์เกิดการหมุน สำหรับมอเตอร์กระแสตรงนั้นจะสามารถควบคุมความเร็วรอบได้อย่างแม่นยำจึงใช้ในการควบคุมความเร็วรอบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับเครื่องจักรขนาดใหญ่

จากการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการเลือกมอเตอร์ที่ใช้กับรถจักรไฟฟ้า และเนื่องจากมอเตอร์กระแสตรงมีความแม่นยำในการควบคุมความเร็วรอบมากกว่ามอเตอร์กระแสสลับ จึงเลือกศึกษาการส่งกำลังด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 2 ประเภทย่อย คือ

มอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน (Brushed DC motor) คือ มอเตอร์ที่ต้องใช้แปรงถ่านสัมผัสกับอุปกรณ์ภายในตลอดเวลาที่ใช้งานทำให้เมื่อใช้งานไปนาน ๆ ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพและต้องเปลี่ยนแปรงถ่าน

ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่าน มีดังนี้

1. สเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วย

1.1 โครง (Frame) เป็นโครงสร้างภายนอกที่มีหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่น ๆ ให้แข็งแรง จะออกแบบให้มีลักษณะเป็นครีบเพื่อช่วยให้ระบายความร้อนได้ดี

1.2 ขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วยขั้วแม่เหล็กและขดลวด

1.2.1 ส่วนขั้ว (Pole core) ทำด้วยเหล็กแผ่นบาง ๆ กั้นด้วยฉนวนประกบกัน

เป็นแท่งยึดติดกับเฟรมส่วนปลายทำเป็นรูปโค้งรูปตัวโรเตอร์เรียกว่า

ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) ทำให้ที่เพื่อให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ชิดกันมาก

ที่สุดเพื่อให้มีช่องอากาศน้อยที่สุดที่จะส่งผลเส้นแรงแม่เหล็กจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้... This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่ตแล้วทำให้เกิดแรงหรือกำลังบิดที่มากที่สุดของโรเตอร์

- 1.2.2 **ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil)** จะพันอยู่รอบ ๆ แกนขั้วแม่เหล็ก ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้นและจะเกิดการจะหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาร์มาเจอร์ทำให้เกิดแรงบิด



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของสเตเตอร์ (Stator)

(รูปจาก: <http://www.windingline.com/bldc-motor-stator-winding-machine/38280125.html>)

2. โรเตอร์ (Rotor) ประกอบด้วย

2.1 **แกนเพลลา (Shaft)** เป็นตัวยึดคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) และแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature core) จะวางอยู่บนแบร์ริงเพื่อบังคับให้หมุนอยู่นิ่ง

2.2 **แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core)** ทำด้วย Laminated sheet steel เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์

2.3 **คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)** ทำด้วยทองแดงเป็นซี่ แต่ละซี่มีฉนวน mica คั่นระหว่างซี่ ส่วนหัวมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์มาเจอร์ คอมมิวเตเตอร์จะอัดแน่นติดกับแกนเพลลา

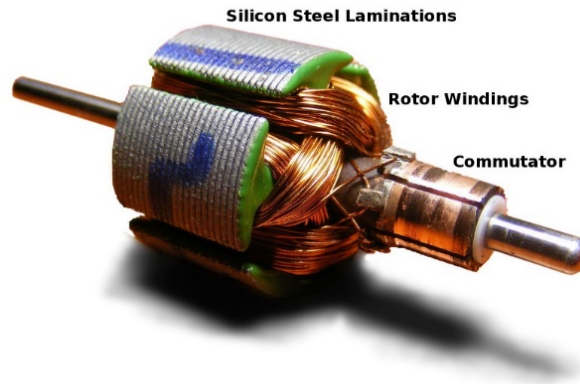
2.4 **ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature winding)** เป็นขดลวดที่พันอยู่ในร่องของแกนอาร์มาเจอร์

2.5 **แปรงถ่าน (Brushes)** เป็นแท่งคาร์บอนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าภายในช่องแปรงมีสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้ศึกษาด้านบนเพื่อให้ถ่านสัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาเพื่อรับและส่งกระแสไฟฟ้า การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งระหว่างขดลวดอาร์มาเจอร์กับขั้วแม่เหล็กภายนอกถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

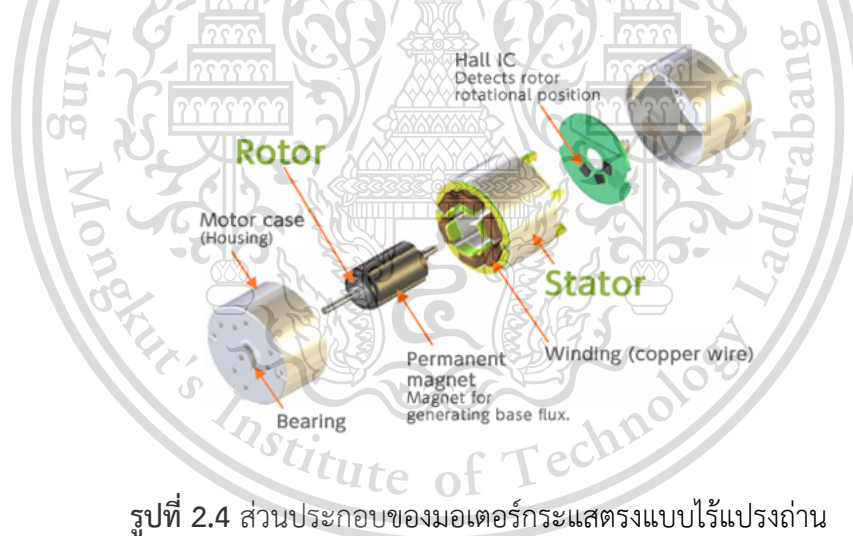
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของโรเตอร์ (Rotor)

(รูปจาก: https://www.cs.uaf.edu/2015/fall/cs480/lecture/09_11_motor_control.html)

มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC motor) [10] คือ มอเตอร์ที่ไม่ต้องใช้แปรงถ่านในการทำงาน และมีประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์แบบมีแปรงถ่าน แต่จะมีวงจรในการควบคุมที่ซับซ้อนยิ่งกว่า ทำให้ยากแก่การขับและการควบคุมความเร็ว



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

(รูปจาก: <https://www.nidec.com/en/technology/capability/brushless/?prt=1>)

จะเห็นว่าส่วนประกอบของมอเตอร์ชนิดนี้จะคล้าย ๆ กับมอเตอร์กระแสตรงแบบมีแปรงถ่านแต่จะต่างกันตรงที่ไม่มีแปรงถ่านและจะมีเซนเซอร์ตำแหน่ง (Hall Sensors) เพิ่มขึ้นเพราะว่ามอเตอร์ชนิดนี้จะถูกควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเซนเซอร์

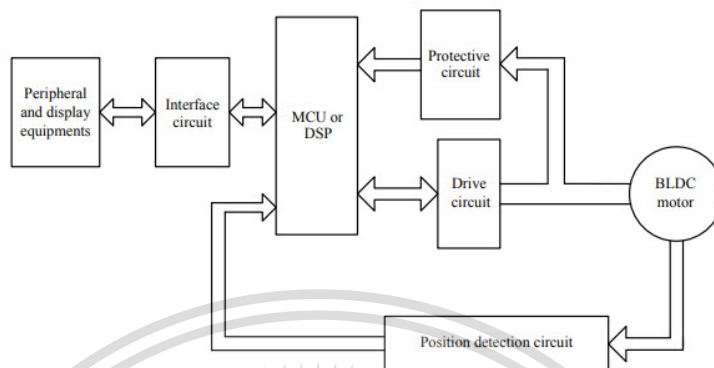
ตำแหน่ง (Hall sensors) นั้นจะทำหน้าที่ตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์และเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เซนเซอร์ตำแหน่ง (Hall sensors) 3 ตัวรวมกันถึงจะไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าแบบไร้แปรงถ่าน

จากที่บอกไว้ข้างต้น การควบคุมมอเตอร์ชนิดนี้นั้นจะมีความซับซ้อนในการควบคุม ดังนั้นจะแสดงให้เห็นผ่านไดอะแกรมด้านล่างนี้



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน

(รูปจาก: <https://www.electronicshub.org/brushless-dc-motor-bldc-motor/>)

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ MCU คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก มีความสามารถคล้ายกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่คอยคุมการทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่ได้ทำการตั้งโปรแกรมเอาไว้



รูปที่ 2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

(รูปจาก: http://www.sbt.ac.th/new/sites/default/files/TNP_Unit_1.pdf)

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.

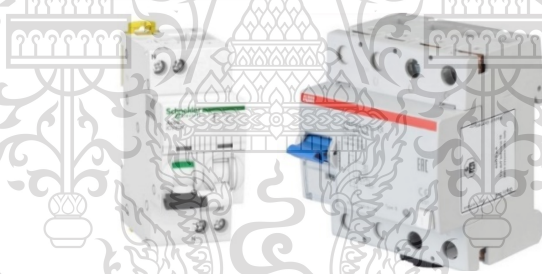
2. **หน่วยควบคุม** คือ ชุดควบคุมที่ทำหน้าที่รับ-ส่งสัญญาณให้กับชุดวงจรต่าง ๆ ให้ทำงานได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน



รูปที่ 2.7 กล่องอีซียู (Electronic control unit) ในรถยนต์

(รูปจาก: <https://futuremobility.blog/2020/04/27/what-is-an-electronic-control-unit/>)

3. **วงจรป้องกัน** คือ วงจรควบคุมกระแสไฟเพื่อไม่ให้ไหลมากเกินไปหรือไหลย้อนกลับ ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่ออุปกรณ์และผู้ใช้ได้ เช่น เบรกเกอร์, เครื่องตัดไฟรั่ว RCCB หรือ เครื่องตัดไฟรั่ว RCD



รูปที่ 2.8 เครื่องตัดไฟรั่ว RCCB (Residual-Current Circuit Breaker)
และเครื่องตัดไฟรั่ว RCD (Residual-Current Device)

(รูปจาก: <https://www.distrelec.de/en/rcd-circuit-breaker-16-abb-fi-f202pvb-16-03/p/30076733>)

การเลือกขนาดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

การเลือกมอเตอร์ คือ การเลือกสิ่งที่จะมาออกแรงขับให้ภาระทางกลหมุนได้ตามความเร็วที่ต้องการ ดังนั้นสิ่งที่ต้องคำนึงอันดับแรกคือ มอเตอร์ที่เลือกนั้นสามารถออกแรงบิดได้เพียงพอกับที่ต้องการหรือไม่ เนื่องจากว่าถ้ามีแรงบิดไม่พอ มอเตอร์นั้นก็จะมีแรงบิดไม่พอที่จะไปทำให้ภาระทางกลหมุนได้ นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงด้วยว่าต้องการให้ภาระ

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

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

ทางกลออกตัวได้อย่างรวดเร็วเพียงใด ซึ่งแน่นอนว่ามอเตอร์จะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะสร้างแรงบิดส่วนเกินนี้ได้อีกส่วนหนึ่ง จากนั้นจึงค่อยพิจารณาว่าต้องการให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบเท่าใด เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการเลือกขนาดมอเตอร์

ในกรณีของการหาขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้าจะต้องทราบค่าแรงบิดสูงสุด (Torque) ที่ล้อต้องทำได้ก่อน ซึ่งค่าแรงบิดนี้สามารถหาได้จากผลคูณของแรงขับเคลื่อนสูงสุดของรถไฟกับรัศมีของล้อ โดยแรงขับเคลื่อนสูงสุดสามารถหาได้จากสมการ (2.5)

แรงบิดสูงสุดที่ล้อทำได้

$$T_{\max} = F_{\max} \cdot R \quad (2.6)$$

เมื่อทราบค่าแรงบิดสูงสุดแล้วจึงสามารถหากำลังมอเตอร์ได้จากสมการดังนี้

กำลังมอเตอร์

$$P = T_{\max} \left(\frac{V_{\text{avg}}}{R} \right) \quad (2.7)$$

โดย

F_{\max} คือ แรง มีหน่วยเป็น นิวตัน

P คือ กำลังมอเตอร์ มีหน่วยเป็น วัตต์

V_{avg} คือ ความเร็วเฉลี่ย มีหน่วยเป็น เมตรต่อ(วินาที)²

T_{\max} คือ แรงบิด มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร

R คือ รัศมีของล้อ มีหน่วยเป็น เมตร

จากนั้นจึงนำค่าแรงบิดและกำลังของมอเตอร์ที่ได้มาพิจารณาขนาดมอเตอร์ที่เหมาะสม

2.4.3.2 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ (Battery) คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ต่อไป ถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมี ให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte solution)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ได้ผลิตไฟฟ้า สามารถประจุไฟฟ้า การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น เข้าไปใหม่ (recharge) ได้หลายครั้งและประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ที่

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

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

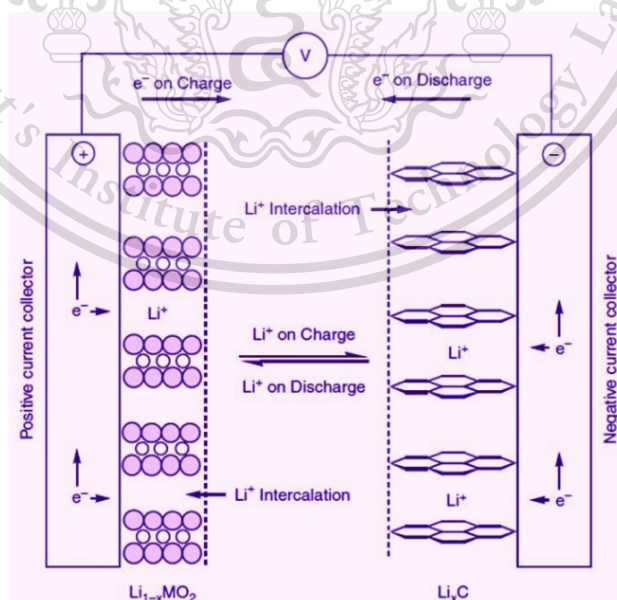
ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการจ่ายประจุตัวเอง แบตเตอรี่จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง และเสียหายได้ง่าย หากดูแลรักษาไม่ดี หรือใช้งานผิดวิธี รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เนื่องด้วยวิธีการใช้การบำรุงรักษา การประจุ และอุณหภูมิ ฯลฯ

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน [8] เป็นแบตเตอรี่ที่พัฒนาโดยบริษัท Asahi Chemicals จุดเด่นของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือความจุของพลังงานและมีกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่าแบตเตอรี่ตระกูลอื่น เกิดและกรดตะกั่ว นอกจากนี้ยังมีค่าศักย์ไฟฟ้าสูง มีอัตราการสูญเสียประจุระหว่างที่ไม่ใช้งานต่ำและมีความปลอดภัยสูงกว่าแบตเตอรี่ที่ใช้โลหะลิเทียมเป็นขั้ว

ส่วนประกอบสำคัญ

ขั้วบวกจะเป็นลิเทียมเมทัลออกไซด์เคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียม ส่วนขั้วลบจะมีคาร์บอนที่มีรูพรุนเป็นองค์ประกอบหลัก เคลือบบนแผ่นทองแดง ภายในมีสารอิเล็กโทรไลต์ซึ่งประกอบด้วยเกลือของลิเทียม เช่น LiPF_6 หรือ LiBF_4 ในตัวทำละลาย เช่น เอทิลีนคาร์บอนเนต, ไดเอทิลคาร์บอนเนต หรือไดเมทิลคาร์บอนเนต และจะมีเยื่อเลือกผ่านกั้นระหว่างขั้วทั้งสอง ซึ่งทำมาจากโพลีพรอพิลีน (PP) หรือโพลีเอทิลีน (PE)

หลักการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุที่แบตเตอรี่ที่ แบตเตอรี่ที่ยังคงใช้งานได้ทั้งที่นำเข้าไปใช้

(รูปจาก: https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/298_63.pdf)

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

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

เมื่อมีการอัดประจุ (Charge) ไอออนของลิเทียมจะเคลื่อนออกจากโครงสร้างของขั้วบวก ผ่านเยื่อเลือกผ่าน และเข้าสู่ขั้วลบ เกิดเป็นสารประกอบของลิเทียมและคาร์บอน ในขณะที่เดียวกันอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่จะเคลื่อนที่จากขั้วบวกไปยังขั้วลบโดยผ่านวงจรภายนอก และในขณะที่เกิดการคายประจุ (Discharge) จะทำให้เกิดปฏิกิริยาในทิศทางตรงกันข้าม

ประเภทของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

1. ขั้วบวกทำมาจากลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ (LiCoO_2 , LCO) และขั้วลบเป็นแกรไฟต์ ส่วนใหญ่ใช้งานในโทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต แล็บท็อป และกล้องดิจิทัล



รูปที่ 2.10 แบตเตอรี่จากโทรศัพท์มือถือ

(รูปจาก: <https://th.aliexpress.com/item/32870268388.html>)

2. ขั้วบวกทำมาจากลิเทียมแมงกานีสออกไซด์ (LiMn_2O_4 , LMO) และขั้วลบเป็นแกรไฟต์ ใช้ในเครื่องมือไฟฟ้า อุปกรณ์ทางการแพทย์ และระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า



รูปที่ 2.11 แบตเตอรี่ที่ใช้ในเครื่องมือไฟฟ้า

(รูปจาก: <https://uk.rs-online.com/web/p/power-tool-batteries/8741049/>)

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. ขั้วบวกทำมาจากลิเทียมนิกเกิลโคบอลต์ออลูมิเนียมออกไซด์ ($\text{Li}(\text{Ni}, \text{Co}, \text{AlO}_2, \text{NCA})$) และขั้วลบเป็นแกรไฟต์ ใช้ในอุปกรณ์ทางการแพทย์ และระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (Tesla Model S) ระบบสำรองไฟฟ้า



รูปที่ 2.12 แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์ Tesla Model S

(รูปจาก: www.mut.ac.th/research-detail-110?hcb=1)

4. ขั้วบวกทำมาจากลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LiFePO_4 , LFP) [9] และขั้วลบเป็นแกรไฟต์ ใช้ในระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า หรือแทนแบตเตอรี่ตะกั่วในรถยนต์ (Start Lighting Ignition battery) ระบบที่ต้องการกระแสและความทนทานสูง



รูปที่ 2.13 แบตเตอรี่ LiFePO_4 ที่ใช้ในยานพาหนะไฟฟ้า

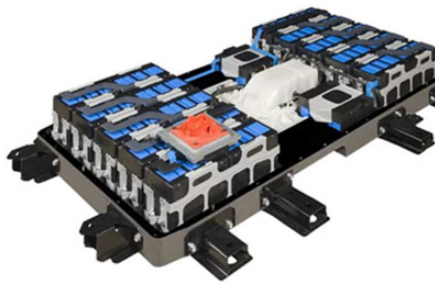
(รูปจาก: <http://www.ctsbattery.com/LiFePO4-Battery-24V-100AH-200AH-for-AGV-pd92069416.html>)

5. ขั้วบวกทำมาจากแกรไฟต์หรือ LMO ส่วนขั้วลบเป็นลิเทียมไททาเนต ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, LTO) ใช้ในระบบสำรองไฟฟ้า ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (Mitsubishi i-MiEV, Honda Fit EV) [5]

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 2.14 แบตเตอรี่ในรถยนต์ยี่ห้อมิซูบิชิรุ่น i-MiEV
(Mitsubishi In-wheel motor Electric Vehicle)

(รูปจาก: <https://www.mitsubishi-motors.co.uk/company/environmental/recycle>)

6. ขั้วบวกทำมาจากลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Li(Ni, Mn, Co)O₂, NMC, NCM) และขั้วลบเป็นแกรไฟต์ ใช้ในจักรยานไฟฟ้า อุปกรณ์ทางการแพทย์ ระบบส่งกำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (ส่วนใหญ่ในรถไฮบริดจ์) ระบบสำรองไฟฟ้า



รูปที่ 2.15 แบตเตอรี่ลิเทียมนิกเกิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ หรือ NMC ที่ใช้ในจักรยานไฟฟ้า
(รูปจาก: <https://th.ainbattery.com/electric-bike-bicycle-24-volt-lithium-battery-24v-40ah-nmc-li-ion-battery-pack-rechargeable-battery-ion-lithium.html>)

2.4.3.3 ประกับเพลานในงานส่งกำลัง (Coupling)

ประกับเพลาน หรือยอย คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อเพลาน 2 เพลานเข้าด้วยกันเพื่อส่งผ่านแรงบิดจากเพลานต้นกำลังสู่เพลานเครื่องจักร รองรับการทำงานภายใต้ภาวะเยื้องศูนย์และชดเชยระยะการเคลื่อนตัวระหว่างปลายเพลาน ซึ่งในการใช้งานมีปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบต่อการใช้งานเช่นอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้มีการยืดหรือหดตัวของวัสดุ และการยุบตัวของพื้นที่ที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์ ซึ่งในความเป็นจริงของการส่งกำลังทางกล ไม่สามารถหลีกเลี่ยงสภาวะการทำงานที่อยู่ภายใต้การเยื้องศูนย์ของแกนเพลานได้ จึงมีการเลือกใช้งานประกับเพลาน ซึ่งมีหลากหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน และระดับการยอมรับการเยื้องศูนย์ สามารถแบ่งประเภทของประกับเพลานตามลักษณะโครงสร้างได้ดังนี้

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

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

ประเภทของประกับเพลามีดังนี้

1. แบบอิลาสโตเมอร์ หมายถึง ประกับเพลามีส่วนยึดหยุ่นทำด้วยยางหรือยางสังเคราะห์



รูปที่ 2.16 ประกับเพลายึดหยุ่นที่มียางหรือยางสังเคราะห์เป็นส่วนประกอบ

(รูปจาก: <https://www.indiamart.com/proddetail/cast-iron-jaw-couplings-2755123462.html>)

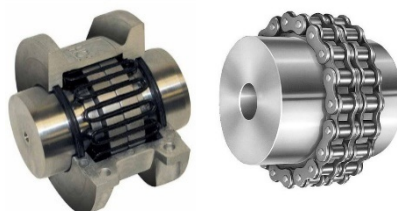
2. แบบโลหะไม่มีการหล่อลื่น หมายถึง ประกับเพลามีส่วนยึดหยุ่นทำด้วยโลหะและไม่ต้องการสารหล่อลื่น



รูปที่ 2.17 ประกับเพลาดิสก์และประกับเพลาเบลโลว์ที่ไม่ต้องการสารหล่อลื่น

(รูปจาก: <https://www.indiamart.com/proddetail/flexible-disc-coupling-7138089397.html>)

3. แบบมีการหล่อลื่น หมายถึง ประกับเพลที่เป็นโลหะและต้องใช้สารหล่อลื่น



รูปที่ 2.18 ประกับเพลาสปริงแถบขดและประกับเพลาโซ่ที่ต้องการสารหล่อลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นใบเซอร์วิสโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุที่เปลี่ยนแปลงได้ และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่นำไปใช้

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. แบบที่ทำขึ้นมาเพื่อจุดประสงค์โดยเฉพาะ



รูปที่ 2.19 ประกับเพลลาไฮดรอลิก ประกับเพลลาฟลูอิด และประกับเพลลาจำกัดแรงบิด

(รูปจาก: <https://www.indiamart.com>)

วิธีการเลือกประกับเพลลา มีดังนี้

1. เลือกประเภทของประกับเพลลาที่เหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องการ โดยพิจารณาความสำคัญของคุณสมบัติที่สำคัญ เช่น
 - 1.1 การดูดซับการสั่นสะเทือน (Vibration Absorption)
 - 1.2 ความแข็งบิด (Torsional stiffness)
 - 1.3 แรงบิด (Torque)
 - 1.4 การเยื้องศูนย์ที่ยอมรับได้ (Allowable Misalignment)
2. เลือกวัสดุของประกับเพลลาให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมการใช้งาน
3. เลือกขนาดของประกับเพลลาที่พอดีกับแรงบิด พื้นที่การใช้งาน และขนาดของรูที่ต้องการ
4. เลือกวิธีการยึดระหว่างเพลลา กับประกับเพลลา

2.4.3.4 เฟืองโซ่ (Sprockets)

เป็นส่วนประกอบชิ้นหนึ่งที่ใช้ในระบบโซ่ส่งกำลัง มีลักษณะเป็นทรงกลมคล้ายล้อ มีรูตรงกลาง ตรงส่วนขอบโดยรอบเป็นฟันเฟือง

หลักการทำงานคือ ส่งถ่ายความเร็วและแรงบิดจากอุปกรณ์หนึ่งไปสู่อีกอุปกรณ์หนึ่ง เฟืองโซ่ถูกนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของยานพาหนะต่าง ๆ เช่น จักรยาน จักรยานยนต์ รถยนต์ รถบรรทุก เครื่องจักรอื่น ๆ และยังใช้แทนสายพานในการเคลื่อนย้ายขนส่ง ลำเลียงวัสดุได้เพราะมีคุณสมบัติที่กันสนิม

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.

ประเภทของเฟืองโซ่ มีดังนี้

1. เฟืองโซ่แผ่นเรียบ (Sprocket No Hub Extension)

มีลักษณะเป็นทรงกลม หน้าแผ่นเรียบ มีรูตรงกลางไม่มีดุม ตรงส่วนขอบโดยรอบเป็นฟันเฟือง ทำจากเหล็ก ใช้สำหรับติดหน้าแปลนหรือดุมล้อเพื่อเป็นกลไกในการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ มีหลายขนาด การเลือกใช้ควรเลือกให้เหมาะกับขนาดของโซ่และลักษณะของชิ้นงาน

รูปที่ 2.20 เฟืองโซ่แผ่นเรียบ

(รูปจาก: https://th.misumi-ec.com/th/pr/recommend_category/sprockets201904/)

2. เฟืองโซ่ดุมยื่นหนึ่งข้าง (Sprocket One Side Hub Extension)

มีลักษณะเป็นทรงกลม มีรูตรงกลาง ส่วนขอบเป็นฟันเฟือง ทำจากเหล็ก มีดุมยื่นออกมาด้านหนึ่ง ช่วยให้สามารถติดตั้งเฟืองโซ่เข้ากับเครื่องจักรได้แน่นหนาขึ้น เหมาะสำหรับนำไปใช้ในงานที่มีความเร็วต่ำไปจนถึงงานที่มีความเร็วสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.21 เฟืองโซ่ดุมยื่นหนึ่งข้าง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(รูปจาก: https://th.misumi-ec.com/th/pr/recommend_category/sprockets201904/)

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. เฟืองโซ่ดุมยื่นสองข้าง (Sprocket Two Side Hub Extension)

มีลักษณะเป็นทรงกลม มีรูตรงกลาง ส่วนขอบเป็นฟันเฟือง มีดุมยื่นออกมาสองข้าง ทำจากเหล็ก แข็งแรง ทนทาน โดยทั่วไปจะใช้กับเฟืองโซ่ตัวตาม (Driven Sprocket) ช่วยให้สามารถรับน้ำหนักได้มาก เหมาะสำหรับนำไปใช้ในงานภาระหนัก ความเร็วสูง แรงบิดสูง เช่น เครื่องจักรกลในอุตสาหกรรมต่าง ๆ



รูปที่ 2.22 เฟืองโซ่ดุมยื่นสองข้าง

(รูปจาก: https://th.misumi-ec.com/th/pr/recommend_category/sprockets201904/)

4. เฟืองโซ่สแตนเลส (Stainless Steel Sprocket)

มีลักษณะเป็นทรงกลม มีรูตรงกลาง ส่วนขอบเป็นฟันเฟือง ทำจากสแตนเลสจึงมีคุณสมบัติในการกันสนิมได้ มีให้เลือกใช้หลายแบบ ทั้งแบบแผ่นเรียบ แบบมีดุม หรือแบบฟันสองชั้น ทนความร้อนและทนการกัดกร่อนได้ดี เหมาะสำหรับใช้กับเครื่องจักรกลในอุตสาหกรรมต่าง ๆ หรือใช้กับเครื่องจักรที่ต้องทำงานในน้ำ



รูปที่ 2.23 เฟืองโซ่สแตนเลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(รูปจาก: https://th.misumi-ec.com/th/pr/recommend_category/sprockets201904/)

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. เฟืองโซ่ฟันสองชั้น (Duplex Sprocket)

มีลักษณะเป็นทรงกลม มีรูตรงกลาง ส่วนขอบมีฟันเฟืองเป็นเกลียวสองชั้นทำจากเหล็ก มีทั้งแบบแผ่นเรียบและแบบมีดุม ใช้กับโซ่สองเส้นที่ทำงานร่วมกันในทิศทางต่างกัน นิยมใช้กับโซ่ที่อยู่ในระบบสายพานลำเลียง ช่วยให้สิ่งของที่อยู่บนสายพานเคลื่อนที่เร็วขึ้น และใช้กับเครื่องจักรกลในอุตสาหกรรม ข้อดี คือ มีเสียงเบา



รูปที่ 2.24 เฟืองโซ่ฟันสองชั้น

(รูปจาก: https://th.misumi-ec.com/th/pr/recommend_category/sprockets201904/)

2.4.3.5 โซ่ส่งกำลัง (Standard Roller Chain)

เป็นชิ้นส่วนทางกลที่ใช้ทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลัง โดยจะถ่ายทอดกำลังจากชุดขับ (ต้นกำลัง) ไปยังชุดตาม (รับกำลัง) สามารถถ่ายทอดกำลังจากเครื่องได้โดยตรง ทนแรงกระชากหรือแรงดึงได้มากที่สุด การบำรุงรักษาทำได้ง่าย ราคาไม่สูง มีการทำงานคู่กับเฟืองโซ่ซึ่งจะยึดอยู่กับเพลาชับเคลื่อนและส่งต่อกำลังไปที่อุปกรณ์ชิ้นอื่น ทำให้อุปกรณ์นั้นสามารถขับเคลื่อนหรือเคลื่อนที่ต่อไปได้

ส่วนประกอบหลักของโซ่ มีดังนี้

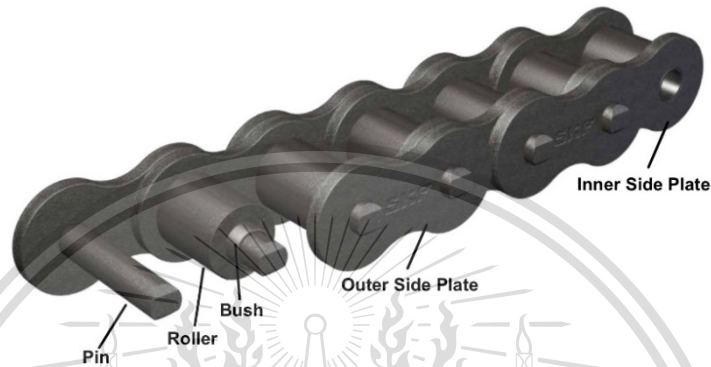
1. สลัก (Pin) มีลักษณะเป็นแท่งกลม ทำหน้าที่ยึดแผ่นประกบด้านในและแผ่นประกบด้านนอกไว้ด้วยกัน
2. ปลอกสลัก (Bush) มีลักษณะเป็นแท่งกลม ภายในกลวง ทำหน้าที่รับแรงในขณะที่ลูกกลิ้งหมุน
3. ลูกกลิ้ง (Roller) มีลักษณะเป็นแท่งกลม ภายในกลวง มีขนาดเล็กกว่าปลอกสลัก ทำหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์
 อดแรงกระแทก อดแรงเสียดทาน
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา 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.

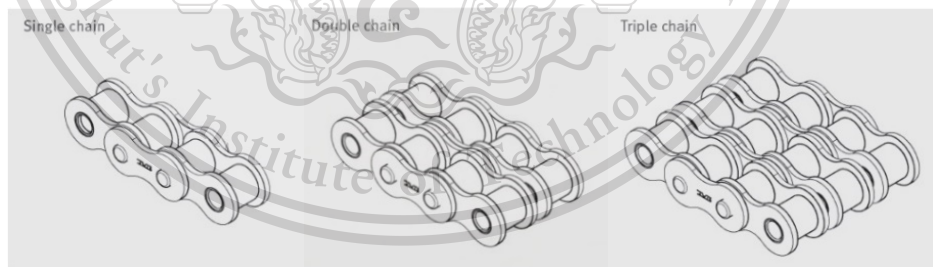
4. **แผ่นประกบ (Link Plate)** ประกอบด้วย แผ่นประกบด้านใน (Inner Side Plate) และแผ่นประกบด้านนอก (Outer Side Plate) ทำหน้าที่รับแรงดึง และรับน้ำหนักจากสิ่งของที่บรรทุกทุกบนโซ่ ในการประกอบโซ่ เริ่มจากการนำสลัก ปลายสลัก ลูกกลิ้งมาประกอบเข้าด้วยกันจากนั้นประกบด้วยแผ่นประกบด้านในให้รูของแผ่นประกบตรงกับสลัก และใช้แผ่นประกบด้านนอกเป็นตัวเชื่อมปิดระหว่างข้อโซ่



รูปที่ 2.25 ส่วนประกอบหลักของโซ่

(รูปจาก: https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d1968029da6b-SKF-Transmission-Chains---13747-EN_tcm_12-242150.pdf)

โดยแบ่งรูปแบบของโซ่ ได้ดังนี้



รูปที่ 2.26 รูปแบบของโซ่เดี่ยว โซ่คู่ โซ่สามเส้น

(รูปจาก: <https://www.techtransfer.com/blog/chain-drives/>)

เมื่อต้องการส่งแรงบิดโดยโซ่เดี่ยวกับเฟืองโซ่ที่มีจำนวนฟันน้อยกว่า 15 ฟัน ควรใช้โซ่

จำนวนหลายเส้นแทน เพราะมีพิทช์ที่เล็กกว่า ส่งผลให้มีจำนวนฟันมากขึ้นและมีเส้นผ่าน

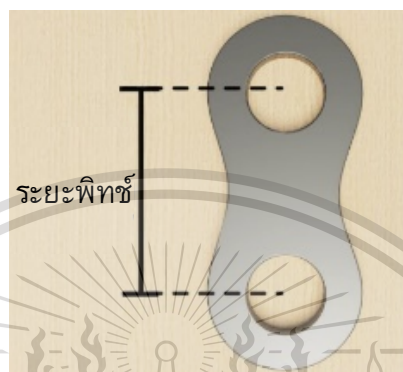
ศูนย์กลางเดียวกันกับเฟืองโซ่ซึ่งช่วยในเรื่องการสิ้นเปลืองของโซ่ และลดความเร็วในการกระแทก

ระหว่างลูกกลิ้งบนฟัน

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

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

ดังนั้นโซ่ส่งกำลังที่ใช้โซ่หลายเส้นที่มีพิทช์ที่เล็กกว่าจะทำงานได้เงียบกว่าโซ่เดี่ยวที่มีพิทช์ขนาดใหญ่กว่า ซึ่งโซ่ชนิดแบบหลายเส้นต้องระมัดระวังในเรื่องของการจัดเรียงโซ่ใส่ในเฟืองโซ่ และในด้านของความทนทานไม่แนะนำให้ใช้โซ่เกินสามเส้น ในกรณีที่โซ่สามเส้นไม่เพียงพอ ให้ใช้โซ่คู่หลายเส้นหรือโซ่สามเส้นหลายชุดแทนซึ่งในกรณีนี้ ควรใช้ความระมัดระวังเพื่อให้แน่ใจว่าโซ่สามารถทำงานร่วมกันได้



รูปที่ 2.27 ระยะพิทช์ของโซ่

(รูปจาก: <https://www.techtransfer.com/blog/chain-drives/>)

ความยาวของโซ่ส่งกำลัง

หาจำนวนข้อต่อของโซ่ (X)

$$X = 2 \frac{a}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{A \cdot p}{a} \quad (2.8)$$

โดยที่ตัวประกอบชดเชย (A) คือ

$$A = \frac{(z_2 - z_1)^2}{2\pi} \quad (2.9)$$

ดังนั้น

$$X = 2 \frac{a}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{(z_2 - z_1)^2}{2\pi} \frac{p}{a} \quad (2.10)$$

เมื่อ p = ระยะพิทช์ของโซ่ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

z_1 = จำนวนฟันบนเฟืองขับ มีหน่วยเป็น ฟัน

z_2 = จำนวนฟันบนเฟืองตาม มีหน่วยเป็น ฟัน

a = ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของเฟือง มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

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.

2.4.3.6 ลิ่ม (Key)

เป็นชิ้นส่วนที่ใช้สวมยึกระหว่างเพลลา เกียร์ เฟืองหรือรอกของมอเตอร์เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของชิ้นส่วนและหมุนไปพร้อมกันอย่างต่อเนื่อง ลิ่มส่งกำลังผลิตจากเหล็กกล้าหรือสแตนเลสที่มีลักษณะเป็นแท่งกลมหรือแท่งสี่เหลี่ยม ขนาดกะทัดรัด น้ำหนักเบา สามารถถอดประกอบได้ง่ายโดยใส่ไว้ในร่องของชิ้นส่วนสองชิ้นที่ยึดกันอยู่ ทั้งนี้เนื่องจาก ลิ่มส่งกำลังมีหลายรูปทรงให้เลือกใช้งาน ซึ่งรูปทรงของลิ่มส่งกำลังจะขึ้นอยู่กับลักษณะของ ร่องลิ่ม ดังนั้นจึงต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ชนิดและการใช้งานของลิ่ม

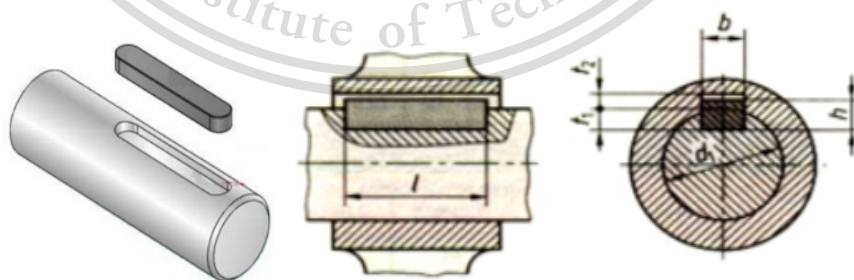
การใช้งานของลิ่มมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน จึงมีการออกแบบลิ่มหลากหลาย ลักษณะเพื่อตอบสนองต่อการใช้งานซึ่งสามารถแบ่งชนิดของลิ่มได้ดังนี้

1. ลิ่มทรงขนาน
2. ลิ่มทรงเรียว
3. ลิ่มวงเดือน

ซึ่งชนิดของลิ่มที่เหมาะสมที่สุดที่เลือกนำมาใช้กับเพลลาของรถจักรไฟฟ้า คือ ลิ่มทรงขนาน

ลิ่มทรงขนาน ลักษณะจะมีความขนานกันตลอดหน้าตัดลิ่ม และมีความหนาเท่ากันตลอด ใช้รับแรงบิดสูง และความเร็วรอบสูง

โดยการหาขนาดลิ่ม จะพิจารณาจากขนาดมาตรฐานของลิ่ม



รูปที่ 2.28 มาตรฐานลิ่มทรงขนานและลักษณะการใช้งานลิ่มขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

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.

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดมาตรฐานลิ้มทรงขนาน DIN6885

เส้นผ่านศูนย์กลาง กลางเพลลา, d_1 (มิลลิเมตร)	ความกว้างลิ้ม, b (มิลลิเมตร)	ความสูงลิ้ม, h (มิลลิเมตร)	ความลึกร่อง ที่เพลลา, t_1 (มิลลิเมตร)	ความลึกร่อง ที่ตุ่มล้อ, t_2 (มิลลิเมตร)	ความยาวลิ้ม, l (มิลลิเมตร)
6-8	2	2	1.2	1	6-20
8-10	3	3	1.8	1.4	6-36
10-12	4	4	2.5	1.8	8-45
12-17	5	5	3	2.3	10-56
17-22	6	6	3.5	2.8	14-70
22-30	8	7	4	3.3	18-90
30-38	10	8	5	3.3	20-110
38-40	12	8	5	3.3	28-140
44-50	14	9	5.5	3.8	36-160
50-58	16	10	6	4.3	45-180
58-65	18	11	7	4.4	50-200
65-75	20	12	7.5	4.9	56-220
75-85	22	14	9	5.4	63-250
85-95	25	14	9	5.4	70-280
95-110	28	16	10	6.4	80-320

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.

2.4.4 มาตรฐานเหล็กอุตสาหกรรมระบบเยอรมัน DIN (Deutsch Institute Norms)



รูปที่ 2.29 สัญลักษณ์มาตรฐานเหล็กอุตสาหกรรมระบบเยอรมัน DIN

(รูปจาก: <https://www.zubbsteel.com/knowledge/>)

คือ มาตรฐานจากสถาบันเพื่อการรับรองมาตรฐานอุตสาหกรรม เป็นองค์กรเอกชนที่จดทะเบียนเป็นสมาคมที่ไม่แสวงหากำไรจากประเทศเยอรมัน เพื่อกำหนดมาตรฐานของเหล็กทั้งหมดในเยอรมัน จะนำหน้าด้วย DIN และตามด้วยชื่อ หรือหมายเลข เช่น DIN6885

แบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. เหล็กกล้าคาร์บอนหรือเหล็กไม่ผสม แบ่งได้อีก 2 ประเภท

1.1 เหล็กที่ใช้งานได้เลยโดยไม่ต้องผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้ความร้อน โดยจะนำหน้าด้วยตัวอักษร ST และตามด้วยตัวเลขซึ่งบอกความสามารถทนแรงดึงสูงสุดได้ มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อมิลลิเมตร

1.2 เหล็กที่ต้องผ่านการปรับปรุงคุณสมบัติโดยใช้ความร้อนก่อนนำไปใช้งาน โดยจะนำหน้าด้วยตัวอักษร C และตามด้วยตัวเลขที่แสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนซึ่งจะต้องการด้วย 100 เสมอ

2. เหล็กกล้าประสมต่ำ (Low alloy steel) โดยจะนำหน้าด้วยตัวเลขหมู่แรกคือ

เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนที่ผสมอยู่ในเนื้อเหล็ก โดยหารด้วย 100 เสมอ ตัวอักษรหมู่ถัดมาคือบอกชนิดของสารที่ผสมอยู่ซึ่งจะแสดงเป็นชื่อย่อของธาตุตามตารางธาตุ ตัวเลขหมู่ถัดมาจะบอกเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่ผสมอยู่ในเหล็กเรียงตามลำดับ คำนวณโดยนำค่าแฟกเตอร์ของโลหะประสมแต่ละชนิดไปหาร ซึ่งค่าแฟกเตอร์ของโลหะประสมชนิดต่าง ๆ มีดังนี้

หารด้วย 4 ได้แก่ Co, Cr, Mn, Ni, Si, W

หารด้วย 10 ได้แก่ Al, Cu, Mo, Pb, Ti, V

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ข้อมูลเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ หารด้วย 100 ได้แก่ C, N, P, S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

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

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

ไม่ต้องการ ได้แก่ Zn, Sn, Mg, Fe

เช่น 25 CrMo 4 หมายความว่า เป็นเหล็กกล้าประสมต่ำที่มีปริมาณคาร์บอนประสมอยู่ 0.25 เปอร์เซ็นต์ (25/100) มีโครเมียมประสมอยู่ 1 เปอร์เซ็นต์ (4/4) มีโมลิบดีนัมผสมอยู่เล็กน้อย (ไม่มีตัวเลข)

3. **เหล็กกล้าผสมสูง (High allow steel)** คือ เหล็กกล้าที่มีวัสดุผสมอยู่ในเนื้อเหล็กเกินกว่า 8 เปอร์เซ็นต์ โดยจะมีอักษร X นำหน้าซึ่งหมายถึงเหล็กกล้าผสมสูง เลขหมู่ถัดมาจะเป็นตัวเลขที่แสดงปริมาณเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนซึ่งจะต้องการด้วย 100 เสมอ อักษรหมู่ถัดมาจะเป็นชนิดของสารที่นำไปผสม ตัวเลขตัวถัดไปจะบอกเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่ผสมอยู่ในเหล็กเรียงตามลำดับ โดยไม่ต้องการค่าแฟกเตอร์เหมือนเหล็กกล้าผสมต่ำ [6]
4. **เหล็กหล่อ** จะมีสัญลักษณ์ต่าง ๆ คือ GS เหล็กเหนียวหล่อ, GG เหล็กหล่อสีเทา, GGG เหล็กหล่อแกรไฟต์ก้อนกลม, GT เหล็กหล่อเหนียว, GTS เหล็กหล่อเหนียวสีดำ, GH เหล็กหล่อแข็ง, GTW เหล็กหล่อเหนียวสีขาว
ซึ่งมีวิธีการเขียน 2 แบบ คือ

4.1 เขียนบอกความสามารถทนแรงดึงสูงสุดได้ มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อมิลลิเมตร

4.2 เขียนบอกปริมาณเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนที่อยู่ภายในซึ่งจะต้องการด้วย 100 เสมอ มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์

2.4.5 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นวิธีการเชิงตัวเลขเพื่อหาค่าโดยประมาณของตัวแปรที่ไม่ทราบค่า โดยการแบ่งลักษณะรูปร่างของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อยที่เรียกว่า เอลิเมนต์ และในแต่ละชิ้นส่วนย่อยจะเชื่อมกันที่จุดต่อเรียกว่า Nodes ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ต้องการหาค่าผลเฉลยโดยประมาณ วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีเชิงตัวเลขที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาเชิงอนุพันธ์และกำลังเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางอย่างมากในการนำมาวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรม ซึ่งสามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านกลศาสตร์ของแข็ง และโครงสร้างที่ซับซ้อนประกอบด้วยส่วนเว้าส่วนโค้งต่าง ๆ ทำให้พื้นที่หน้าตัดไม่สม่ำเสมอ จึงมีผลทำให้ไม่สามารถหาผลเฉลยแม่นยำตรงจากสมการอนุพันธ์ได้ ดังนั้นจึงได้ประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่สามารถประมาณค่าผลเฉลยโดยการแก้สมการพีชคณิต แทนการแก้สมการอนุพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มิได้มีเหตุที่ประสงค์ และต้องจ่ายของเอกสารทุกสิ่งที่มีนำไปใช้

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

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

ขั้นตอนพื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน

1. ขั้นตอนของการเตรียมแบบจำลอง (Preprocessing phase)

- 1.1 การสร้างรูปร่างของแบบจำลอง (Geometric construction)
- 1.2 การแบ่งโดเมนของแบบจำลองออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆต่อกัน โดยแต่ละเอลิเมนต์จะประกอบไปด้วยโนด (Discretization)
- 1.3 การกำหนด shape function ซึ่งแสดงถึงพฤติกรรมทางกายภาพของเอลิเมนต์ หรือผลเฉลยของเอลิเมนต์ (ค่าประมาณ)
- 1.4 สร้างสมการสำหรับเอลิเมนต์
- 1.5 กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น สภาวะโหดและสภาวะขอบให้กับปัญหา
- 1.6 กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ (Material properties)

2. ขั้นตอนการหาคำตอบ (Solution phase)

การแก้หาคำตอบของสมการซึ่งอยู่ในรูปสมการเชิงเส้นหรือสมการไม่เชิงเส้น ซึ่งคำตอบคือค่าการกระจัดที่โนดต่างๆ

3. การวิเคราะห์ผลลัพธ์ (Postprocessing phase)

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่สนใจเพิ่มเติม เช่น ต้องการทราบค่าฟลักซ์ความร้อน ความเค้น-หลัก เป็นต้น

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 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน ในขั้นแรกต้องคำนวณแรงเพื่อหาขนาดของระบบขับเคลื่อนที่เหมาะสม ศึกษาข้อมูลและออกแบบวิธีการส่งกำลัง เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสม และสร้างแบบจำลองสามมิติเพื่อพิจารณาความเหมาะสมของระบบขับเคลื่อนในภาพรวม ก่อนทำการวางแผนการจัดซื้ออุปกรณ์ในการสร้างแบบจำลองรถจักร โดยทำการประเมินราคาและระบุสถานที่จัดจำหน่ายอุปกรณ์

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบขับเคลื่อน
2. ศึกษาทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดของระบบขับเคลื่อน
3. คำนวณแรงที่ต้องใช้เพื่อหาขนาดของระบบขับเคลื่อนที่เหมาะสมภายใต้เงื่อนไขกฎการแข่งขั้น Railway Challenge 2020
4. ศึกษาข้อมูลรูปแบบการส่งกำลังในแบบต่าง ๆ เพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมที่สุด
5. ศึกษาข้อมูลการแข่งขันของต่างประเทศเพื่อนำมาปรับใช้
6. ออกแบบวิธีการส่งกำลังที่เหมาะสมให้รถจักร
7. เลือกอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบขับเคลื่อนจากสมุดแจ้งราคาสินค้า (Catalog) ที่มีคุณสมบัติทางกลเหมาะสมกับค่าที่คำนวณได้ และมีขนาดอุปกรณ์เหมาะสมกับขนาดของรถจักร
8. นำอุปกรณ์ที่เลือกได้จากสมุดแจ้งราคาสินค้า (Catalog) มาสร้างแบบจำลอง 3D ในโปรแกรมเขียนแบบ
9. พิจารณาความเหมาะสมของระบบขับเคลื่อนในภาพรวม โดยคำนึงถึงระบบอื่น ๆ ในรถจักรไฟฟ้า เช่น ระบบโครงแคร์
10. ทำการวิเคราะห์การเสียดสีของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในระบบขับเคลื่อนด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

11. ออกแบบการต่อวงจรไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อน

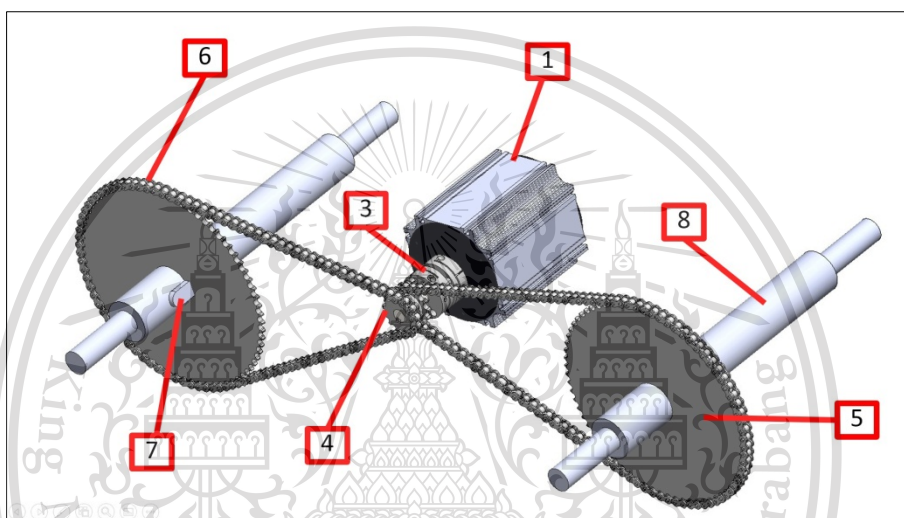
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

12. วางแผนการจัดซื้ออุปกรณ์ในการสร้างแบบจำลองรถจักร โดยทำการประเมินราคาและระบุสถานที่จัดจำหน่ายอุปกรณ์
13. สรุปผลและจัดทำรูปเล่มรายงาน

3.3 อุปกรณ์การออกแบบระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้า

3.3.1 ภาพรวมแบบจำลองระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้า สามารถแบ่งองค์ประกอบได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แบบจำลองระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้าจากโปรแกรม SolidWorks

1. มอเตอร์ (Motor)
2. แบตเตอรี่ (Battery)
3. ประกับเพลา (Coupling)
4. เฟืองโซ่ตัวขับ (Drive Sprockets)
5. เฟืองโซ่ตัวตาม (Driven Sprockets)
6. โซ่ส่งกำลัง (Standard Roller Chain)
7. ลิ่ม (Key)
8. เพลาขับ (Drive 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.

3.3.2 การคำนวณเพื่อเลือกขนาดมอเตอร์

การจะหาขนาดมอเตอร์ได้ จำเป็นต้องคำนวณหาค่าแรงดึงสูงสุดที่ใช้ในการลากขบวนรถก่อน โดยที่แรงนี้เป็นแรงที่ต้องใช้ในการชนะแรงต้านต่าง ๆ และทำความเร็วสูงสุดได้ 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 4.17 เมตรต่อวินาที สามารถทราบค่าข้อกำหนดต่าง ๆ ได้จากข้อมูลการออกแบบรถจักรเบื้องต้นจากกฎการแข่งขัน Railway Challenge 2020

ตารางที่ 3.1 ข้อกำหนดการออกแบบรถจักรเบื้องต้นจากกฎการแข่งขัน Railway Challenge 2020

ความเร็วสูงสุด, V_{\max} (เมตรต่อวินาที)	4.17
ความเร็วเฉลี่ย, V_{avg} (เมตรต่อวินาที)	2.78
ความเร่ง a (เมตรต่อ(วินาที) ²)	0.2778
รัศมีของล้อ R (เมตร)	0.125
มวลของรถจักร, M^{Loco} (กิโลกรัม)	400
มวลของรถพ่วง, M^{Tr} (กิโลกรัม)	1,800
สัมประสิทธิ์ความเสียดทานกลิ้งระหว่างล้อกับราง μ_r	0.002
สัมประสิทธิ์ของแรงต้านอากาศ, C_D	0.3
อัตราทดของ, r	6
ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วง, g (เมตรต่อ(วินาที) ²)	9.81
ความหนาแน่นของอากาศ ρ (กิโลกรัมต่อ(เมตร) ³)	1.2
พื้นที่ที่รับแรงต้านอากาศ A (เมตร) ²	$0.71 \times 0.965 = 0.68515$
ความลาดชันของทาง, α (เปอร์เซ็นต์)	2 เปอร์เซ็นต์ หรือ 1.146 องศา

จากสมการ (2.5)

$$F = (M^{\text{Loco}} + M^{\text{Tr}})a + \mu_r M^{\text{Loco}} g \cos(\alpha) + \mu_r M^{\text{Tr}} g \cos(\alpha) + (M^{\text{Loco}} + M^{\text{Tr}})g \sin(\alpha) + \frac{1}{2} \rho_{\text{air}} (C_D^{\text{Loco}} A^{\text{Loco}} + C_D^{\text{Tr}} A^{\text{Tr}}) V^2$$

$$F = (400 + 1800)(0.2778) + (0.002)(400)(9.81)\cos(1.146^\circ) + (0.002)(1800)(9.81)\cos(1.146^\circ) + (400 + 1800)(9.81)\sin(1.146^\circ) + \frac{1}{2} (1.2)(0.3)(0.68515)(4.17)^2$$

$$F = 1088.288 \text{ นิวตัน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ถือว่ามีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา 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.

เมื่อทราบค่าแรงดึงสูงสุดที่ใช้ในการลากขบวนรถ จึงทำการหาค่าแรงบิดสูงสุดที่ล้อ

จากสมการ (2.6) ได้

$$T = F \cdot R$$

$$T_{\max} = (1,088.228)(0.125)$$

$$T_{\max} = 136.036 \text{ นิวตันเมตร}$$

เมื่อ T_{\max} คือ แรงบิดที่สูงสุดที่เกิดขึ้นจากล้อทั้งหมด เนื่องจากรถจักรที่ออกแบบมี 4 เฟลาขับ แสดงว่าแรงบิดที่เกิดขึ้นใน 1 เฟลาขับ จะหาได้จาก $T_{\max}/4$ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 34 นิวตันเมตร

ทำการตรวจสอบว่า $F \leq \mu N$:

โดย

$$F_{1\text{เฟลาขับ}} = \frac{T_{1\text{เฟลาขับ}}}{R}$$

$$F_{1\text{เฟลาขับ}} = \frac{34}{0.125} = 272 \text{ N}$$

และ

$$\mu N = \mu mg = (0.3) \left(\frac{400}{4} \right) (9.81) = 294 \text{ นิวตัน}$$

จากการตรวจสอบ พบว่าแรงใน 1 เฟลาขับมีค่าเท่ากับ 272 นิวตัน ซึ่งน้อยกว่า 294 นิวตัน แสดงว่าจะไม่เกิดการลื่นไถล (Slip)

นำค่าแรงบิดที่สูงสุดที่เกิดขึ้นจากล้อทั้งหมด มาคำนวณหาขนาดต้นกำลังขั้นต่ำของรถจักร

จากสมการ (2.7)

$$P = T_{\max} \left(\frac{V_{\text{avg}}}{R} \right)$$

$$P = 136.036 \left(\frac{2.78}{0.125} \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา (ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P = 3.02 \text{ กิโลวัตต์}$$

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

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

แสดงให้เห็นว่า ในรถจักรจะต้องมีต้นกำลังในการขับเคลื่อนอย่างน้อย 3.02 กิโลวัตต์ ดังนั้นจึงเลือกมอเตอร์ที่มีกำลังอย่างน้อย 1.5 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัว เพื่อที่จะทำให้รถจักรมวล 400 กิโลกรัม และรถลากจูงมวล 1,800 กิโลกรัม วิ่งได้ความเร็วสูงสุด 15 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่อัตราเร่ง 0.2778 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง

โดยมอเตอร์ที่เลือกนำมาใช้งาน คือ รุ่น BLDC-108 โดยมีลักษณะและข้อมูลทางเทคนิคตามรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 3.2 มอเตอร์รุ่น BLDC-108

ตารางที่ 3.2 แสดงข้อมูลของมอเตอร์ รุ่น BLDC-108

รุ่น	BLDC-108
แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	48
กำลังใช้งาน (กิโลวัตต์)	1.5
กำลังสูงสุด (กิโลวัตต์)	3.0
ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที)	3200 - 5000
แรงบิดใช้งาน (นิวตันเมตร)	4.0
แรงบิดสูงสุด (นิวตันเมตร)	8.0
ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)	>85 เปอร์เซ็นต์
ขนาด (เซนติเมตร)	11 × 10
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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.

3.3.3 การคำนวณหาความจุแบตเตอรี่

พิจารณาขนาดแบตเตอรี่จากเกณฑ์การแข่งขัน Railway Challenge 2020 ซึ่งระบุว่าต้องวิ่งได้ถึง 3 ชั่วโมง (โดยระยะเวลาสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามขนาดความจุแบตเตอรี่)

จากการออกแบบกำหนดให้น้ำหนักของรถในกรณีนี้ มีค่าดังนี้

- น้ำหนักของรถที่พ่วง (M^{Tr}) เท่ากับ 500 กิโลกรัม (ลดน้ำหนักของรถพ่วงจากเดิม 1800 กิโลกรัม เหลือ 500 กิโลกรัม เพื่อทำการคำนวณหาความจุแบตเตอรี่)
- น้ำหนักของรถจักร (M^{Loco}) เท่ากับ 400 กิโลกรัม

โดยกำหนดให้ความเร็วคงที่ในการขับเคลื่อน มีค่าเท่ากับ 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ 2.78 เมตรต่อวินาที

สำหรับข้อกำหนดอื่น ๆ ให้เป็นไปตามตารางที่ (3.1)

ทำการคำนวณขนาดของแบตเตอรี่ภายใต้เงื่อนไขแตกต่างจากมอเตอร์เล็กน้อย

จากสมการ (2.5)

$$F = (M^{Loco} + M^{Tr})a + \mu_r M^{Loco} g \cos(\alpha) + \mu_r M^{Tr} g \cos(\alpha) + (M^{Loco} + M^{Tr})g \sin(\alpha) + \frac{1}{2} \rho_{air} (C_D^{Loco} A^{Loco} + C_D^{Tr} A^{Tr}) v^2$$

$$F = (400 + 500)(0) + (0.002)(400)(9.81)\cos(1.146^\circ) + (0.002)(500)(9.81)\cos(1.146^\circ) + (400 + 500)(9.81)\sin(1.146^\circ) + \frac{1}{2}(1.2)(0.3)(0.68515)(2.78)^2$$

$$F = 195.19 \text{ นิวตัน}$$

ทำการหาค่าแรงบิดที่ล้อจากสมการ (2.6) ได้

$$T = F \cdot R$$

$$T = (195.19)(0.125)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T = 24.4 \text{ นิวตันเมตร}$$

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

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

นำค่าแรงบิดที่ได้ มาคำนวณหาขนาดกำลังขั้นต่ำของแบตเตอรี่

จากสมการ (2.7)

$$P = T \left(\frac{V_{avg}}{R} \right)$$

$$P = 24.4 \left(\frac{2.78}{0.125} \right)$$

$$P = 0.543 \text{ กิโลวัตต์}$$

ซึ่งภายใน 1 ชั่วโมง จะต้องใช้กำลังขั้นต่ำของแบตเตอรี่เป็น 0.543 กิโลวัตต์

แต่เนื่องจากเกณฑ์การแข่งขัน Railway Challenge 2020 ระบุว่า ต้องวิ่งได้ถึง 3 ชั่วโมง

$$P_{3\text{ชั่วโมง}} = 0.543 \text{ kW} \times 3 \text{ ชั่วโมง}$$

$$P_{3\text{ชั่วโมง}} = 1.63 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมง}$$

ดังนั้น ขนาดแบตเตอรี่ขั้นต่ำที่วิ่งได้ภายใน 3 ชั่วโมง คือ 1.63 กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยแบตเตอรี่ที่เลือกนำมาใช้งาน คือ ชนิด LiFePO_4 ขนาด 48 โวลต์ 50 แอมแปร์ชั่วโมง



รูปที่ 3.3 แบตเตอรี่ LiFePO_4 ขนาด 48 โวลต์ 50 แอมแปร์ชั่วโมง

(รูปจาก: <https://www.baanlithium.com>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

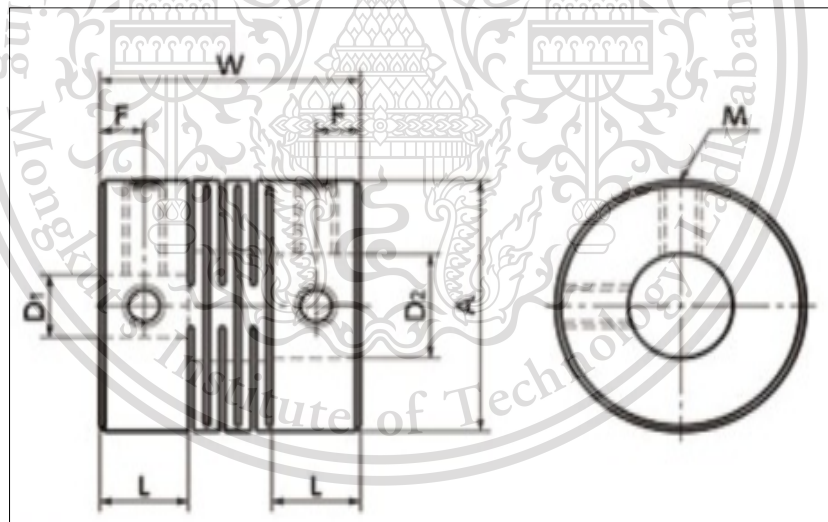
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.4 การเลือกใช้ประกับเพลลา



รูปที่ 3.4 แบบจำลองประกับเพลลาจากโปรแกรม SolidWorks

ชนิดที่เลือกใช้คือ ประกับเพลลาแบบโลหะไม่มีการหล่อลิ้น เป็นประกับเพลลาที่ส่วนยึดหย่อน ทำด้วยโลหะ และไม่ต้องการสารหล่อลิ้น ซึ่งสอดคล้องกับการใช้งานระหว่างเพลลาต้นกำลังสู่เพลลาเครื่องจักรที่ต้องการการดูดซับการสั่นสะเทือน มีความแข็งแรง มีการเยื้องศูนย์ที่ยอมรับได้ และมีขนาดพอดีกับเพลลาทั้งสองด้าน



รูปที่ 3.5 ภาพเขียนแบบหน้าตัดประกับเพลลา

(รูปจาก: <https://vona-jp.partcommunity.com>)

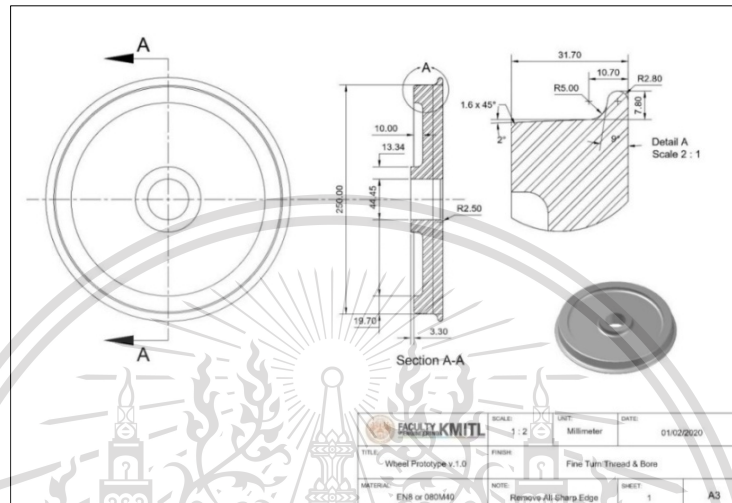
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

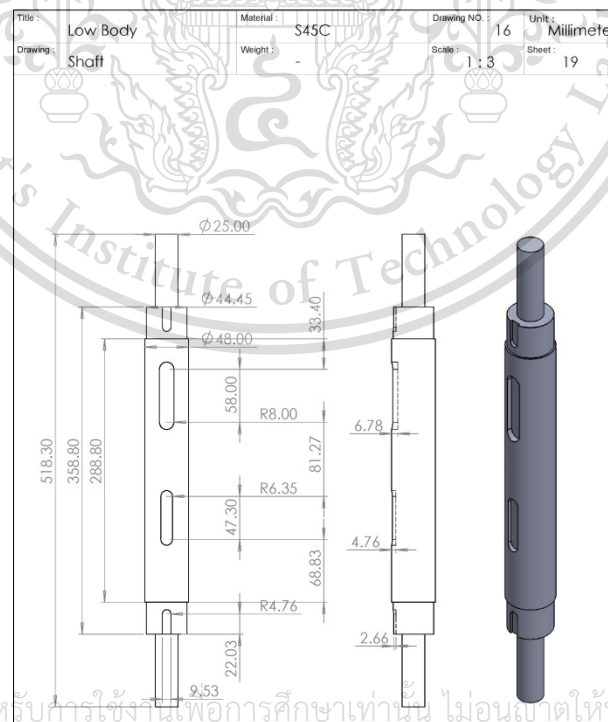
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3.5 วิธีการเลือกเฟืองโซ่

1. กำหนดขนาดเฟืองโซ่ตัวตามที่ใหญ่ที่สุด โดยอ้างอิงจากขนาดล้อและเพลลา โดยกำหนดให้ ล้อมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 250 มิลลิเมตร และมีพิกัดอื่น ๆ ตรงตามแบบ ส่วนเพลลา ขับมีเส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกเท่ากับ 48 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.6 ภาพเขียนแบบหน้าตัดล้อจากโปรแกรม SolidWorks

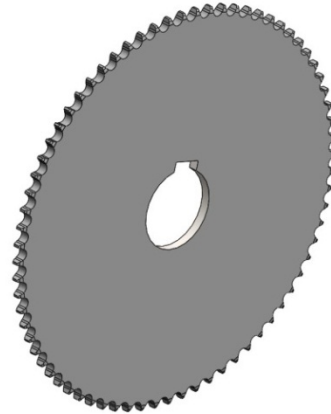


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

รูปที่ 3.7 ภาพเขียนแบบเพลลาขับจากโปรแกรม SolidWorks



รูปที่ 3.10 แบบจำลองเฟืองโซ่ตัวตาม จำนวน 72 ฟัน ขนาด 06B-1 จากโปรแกรม SolidWorks

Metric sprockets, simplex, pilot bore
ISO 06B-1 · 9,525 mm pitch | ISO 08B-1 · 12,70 mm pitch

Pitch	Number of teeth	Pitch diameter PD	Type	Dimensions		Hub	Plate thickness t ₁	Mass	Designation
				Bore stock	Bore				
mm	-	mm	-	mm	mm	mm	mm	kg	-
9,525	43	130,49	A	16	-	-	-	0,51	PHS 06B-1A43
	B	-	14	48	78	32	5,31	1,44	PHS 06B-1B43
44	44	133,52	A	16	-	-	-	0,54	PHS 06B-1A44
	B	-	14	48	78	32	5,31	1,52	PHS 06B-1B44
45	45	136,55	A	16	-	-	-	0,56	PHS 06B-1A45
	B	-	14	40	78	32	5,31	1,40	PHS 06B-1B45
46	46	139,58	A	16	-	-	-	0,59	PHS 06B-1A46
	B	-	14	48	78	32	5,31	1,68	PHS 06B-1B46
47	47	142,61	A	16	-	-	-	0,61	PHS 06B-1A47
	B	-	14	48	78	32	5,31	1,76	PHS 06B-1B47
48	48	145,64	A	16	-	-	-	0,63	PHS 06B-1A48
	B	-	14	48	78	32	5,31	1,84	PHS 06B-1B48
50	50	151,69	A	16	-	-	-	0,65	PHS 06B-1A50
	B	-	14	48	78	32	5,31	2,06	PHS 06B-1B50
54	54	163,82	A	16	-	-	-	0,68	PHS 06B-1A54
	B	-	14	48	78	32	5,31	2,32	PHS 06B-1B54
57	57	172,91	A	16	-	-	-	1,71	PHS 06B-1A57
	B	-	14	40	78	32	5,31	1,70	PHS 06B-1B57
60	60	182,00	A	16	-	-	-	0,91	PHS 06B-1A60
	B	-	14	48	78	32	5,31	2,80	PHS 06B-1B60
64	64	194,12	A	20	-	-	-	0,97	PHS 06B-1A64
	B	-	14	48	78	32	5,31	3,12	PHS 06B-1B64
65	65	197,15	A	20	-	-	-	1,01	PHS 06B-1A65
	B	-	14	48	78	32	5,31	3,31	PHS 06B-1B65
70	70	212,30	A	20	-	-	-	1,06	PHS 06B-1A70
	B	-	14	48	78	32	5,31	3,60	PHS 06B-1B70
72	72	218,37	A	20	-	-	-	1,09	PHS 06B-1A72
	B	-	14	48	78	32	5,31	3,76	PHS 06B-1B72
76	76	230,49	A	20	-	-	-	1,64	PHS 06B-1A76
	B	-	14	48	78	32	5,31	2,79	PHS 06B-1B76

รูปที่ 3.11 แสดงข้อมูลเฟืองโซ่ตัวตามจากสมุดแจ้งราคาสินค้า (Catalog) ที่พิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

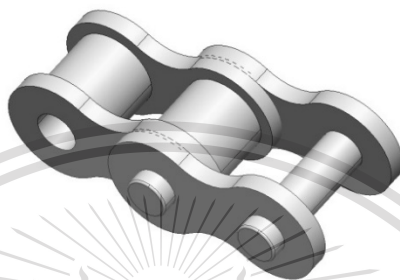
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์นี้ให้ด้วยใจดี และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

3.3.6 การเลือกขนาดโซ่ส่งกำลัง

เลือกโซ่ส่งกำลังจากรุ่นของเฟืองโซ่ที่สามารถใช้งานร่วมกันได้ตามมาตรฐาน DIN โดยที่เลือกนำมาใช้งาน คือ โซ่ส่งกำลังแบบลูกกลิ้งแถบเดี่ยว (STRAIGHT SIDEBAR SINGLE STRAND ROLLER CHAIN) ขนาด 06B-1 [7] ซึ่งเป็นรูปแบบโซ่เดี่ยว ซึ่งจากการออกแบบจะใช้โซ่ส่งกำลังจำนวน 2 เส้น



รูปที่ 3.12 แบบจำลองโซ่เดี่ยวขนาด 06B-1 จากโปรแกรม SolidWorks

ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลโซ่ส่งกำลังแบบลูกกลิ้งแถบเดี่ยว (STRAIGHT SIDEBAR SINGLE STRAND ROLLER CHAIN) ขนาด 06B-1

ขนาดของโซ่	โซ่ส่งกำลังแบบลูกกลิ้งแถบเดี่ยว ขนาด 06B-1
ระยะพิทช์, P (มิลลิเมตร)	9.525
เส้นผ่านศูนย์กลางลูกกลิ้ง, d_{1-max} (มิลลิเมตร)	6.35
ความกว้างระหว่างแผ่นประกบด้านใน, b_{1-min} (มิลลิเมตร)	5.72
เส้นผ่านศูนย์กลางสลัก, d_{2-max} (มิลลิเมตร)	3.28
ความยาวสลัก, L_{max} (มิลลิเมตร)	13.15
ความยาวข้อต่อ, L_{c-max} (มิลลิเมตร)	14.1
ความสูงของแผ่นประกบด้านใน, h_{2-max} (มิลลิเมตร)	8.20
ความหนาของแผ่นประกบ, t_{max} & T_{max} (มิลลิเมตร)	1.30
ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (กิโลนิวตัน)	9.0
ความต้านทานแรงดึงเฉลี่ย (กิโลนิวตัน)	10.4
น้ำหนักต่อเมตร (กิโลกรัมต่อเมตร)	0.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ทางเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสาร รวมทั้งที่มาที่ไปใช้

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

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

3.3.7 การคำนวณหาความยาวของโซ่ส่งกำลัง

หาจำนวนข้อต่อของโซ่ (X) จากสมการ (2.10)

$$X = 2 \frac{a}{p} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{(z_2 - z_1)^2 \cdot p}{a}$$

$$X = 2 \frac{300}{9.525} + \frac{12 + 72}{2} + \frac{(72 - 12)^2 \cdot 9.525}{300}$$

$$X = 123.18$$

จากการคำนวณจะได้โซ่ส่งกำลังจำนวน 123 ข้อต่อ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองในโปรแกรม SolidWorks จะใช้ 124 ข้อต่อ เนื่องจากถ้าใช้ตามจำนวนข้อต่อที่คำนวณได้ โซ่ส่งกำลังจะมีความตึงเกินไป

3.3.8 การเลือกลิ้มในการใช้งาน

ในการออกแบบลิ้ม จะเลือกชนิดลิ้มที่เหมาะสมกับการใช้งานก่อน ซึ่งชนิดลิ้มที่เลือกใช้ คือ ลิ้มทรงขนาน เนื่องจากสามารถรับแรงบิดและความเร็วรอบได้สูง สำหรับขนาดของลิ้มนั้นสามารถพิจารณาจากตารางที่ (3.4) ซึ่งเป็นตารางแสดงขนาดมาตรฐานลิ้มทรงขนาน DIN6885 โดยจะพิจารณาจากขนาดของเพลลาขับที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 48 มิลลิเมตรโดยจะออกแบบขนาดของลิ้มในเบื้องต้นเป็นไปตามตาราง คือ ช่วงที่เพลลา มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 44-50 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3.4 แสดงขนาดมาตรฐานลิ้มทรงขนาน DIN6885

เส้นผ่านศูนย์กลางเพลลา, d_1 (มิลลิเมตร)	ความกว้างลิ้ม, b (มิลลิเมตร)	ความสูงลิ้ม, h (มิลลิเมตร)	ความลึกร่องที่เพลลา, t_1 (มิลลิเมตร)	ความลึกร่องที่ตุ้มล้อ, t_2 (มิลลิเมตร)	ความยาวลิ้ม, l (มิลลิเมตร)
6-8	2	2	1.2	1	6-20
8-10	3	3	1.8	1.4	6-36
10-12	4	4	2.5	1.8	8-45

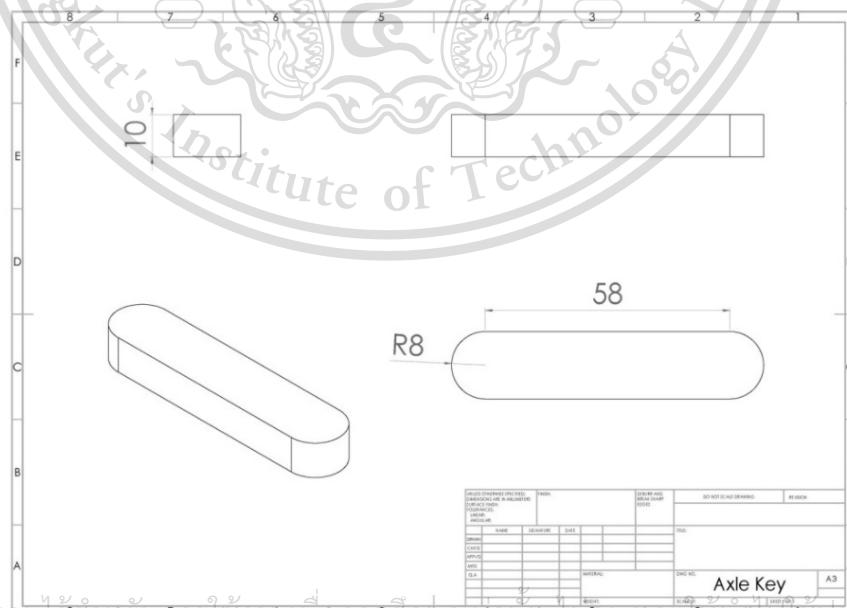
เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่าง ไม่สามารถใช้งานได้จริง สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประกอบการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เส้นผ่านศูนย์กลาง กลางเพลลา, d_1 (มิลลิเมตร)	ความกว้างลิ้ม, b (มิลลิเมตร)	ความสูงลิ้ม, h (มิลลิเมตร)	ความลึกร่อง ที่เพลลา, t_1 (มิลลิเมตร)	ความลึกร่อง ที่คูล้อม, t_2 (มิลลิเมตร)	ความยาวลิ้ม, (มิลลิเมตร)
12-17	5	5	3	2.3	10-56
17-22	6	6	3.5	2.8	14-70
22-30	8	7	4	3.3	18-90
30-38	10	8	5	3.3	20-110
38-40	12	8	5	3.3	28-140
44-50	14	9	5.5	3.8	36-160
50-58	16	10	6	4.3	45-180
58-65	18	11	7	4.4	50-200
65-75	20	12	7.5	4.9	56-220
75-85	22	14	9	5.4	63-250
85-95	25	14	9	5.4	70-280
95-110	28	16	10	6.4	80-320

แต่ในการออกแบบจริงจะใช้ขนาดความกว้างลิ้มเท่ากับ 16 มิลลิเมตร และความสูงลิ้มเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ซึ่งมากกว่าค่าในตารางเล็กน้อย เนื่องจากในอนาคตอาจเพิ่มขนาดเพลลาเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 ภาพเขียนแบบลิ้มทรงขนานจากโปรแกรม SolidWorks

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

การออกแบบและผลลัพธ์

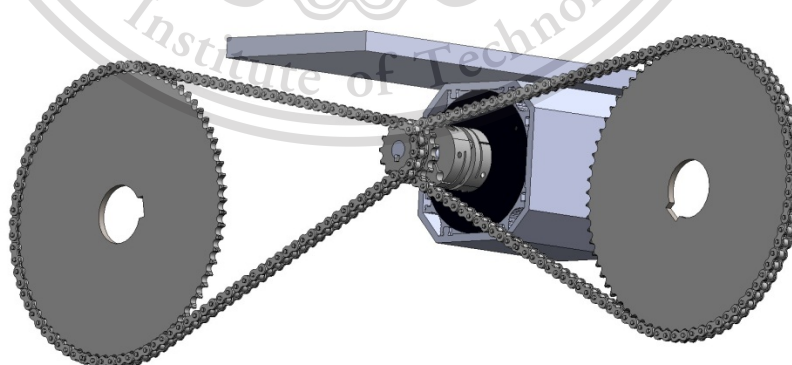
4.1 บทนำ

หลังจากที่ได้ขนาดระบบขับเคลื่อนและเลือกอุปกรณ์แล้ว ในบทนี้จะทำการออกแบบรูปแบบการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบขับเคลื่อน โดยคำนึงถึงความเหมาะสมของระบบอื่น ๆ ในรถจักรไฟฟ้า เช่น ระบบโครงแคร์ และทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในระบบขับเคลื่อนด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ จากนั้นจึงทำการออกแบบการต่อวงจรไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อน

4.2 วิธีการออกแบบ

1. การวิเคราะห์และออกแบบรูปแบบการจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบขับเคลื่อนร่วมกับระบบโครงแคร์
2. การวิเคราะห์ความแข็งแรงและการเสียรูปของชิ้นส่วนต่าง ๆ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
3. การออกแบบการต่อวงจรไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อน

4.2.1 การวิเคราะห์และออกแบบรูปแบบการจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบขับเคลื่อนร่วมกับระบบโครงแคร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

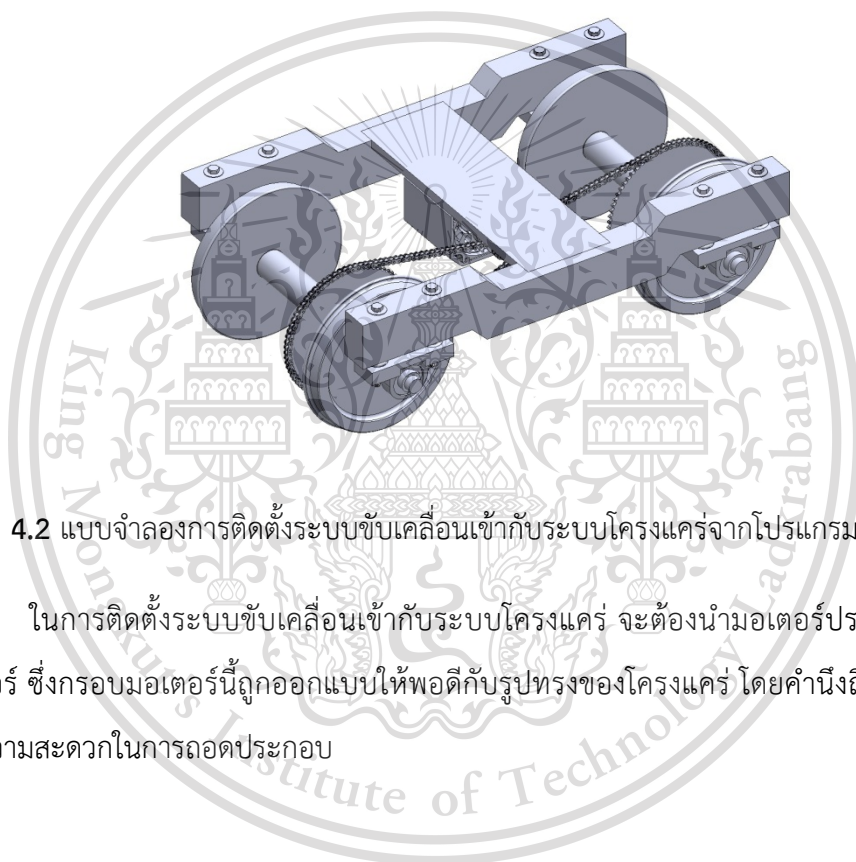
รูปที่ 4.1 แบบจำลองระบบขับเคลื่อนจากโปรแกรม SolidWorks

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.

ในการจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์และชิ้นส่วนของระบบขับเคลื่อนจะวางตำแหน่งให้มอเตอร์อยู่ตรงกลางระหว่างเพลาขับทั้งสองด้าน โดยที่มอเตอร์จะรับพลังงานไฟฟ้ามาจากแบตเตอรี่ ซึ่งในตำแหน่งนี้จะทำการสวมประกบกับเพลาไว้ที่เพลามอเตอร์เพื่อเป็นตัวกลางในการส่งกำลังและทำการคูชับการสั่นสะเทือน ก่อนที่จะส่งกำลังไปยังเฟืองตัวขับ โดยเฟืองตัวขับจะส่งกำลังผ่านโซ่ส่งกำลังไปยังเฟืองตัวตามสองตัว เพื่อส่งกำลังต่อไปยังเพลาล้อทั้งสอง โดยใช้ลิ้มเป็นตัวยึดระหว่างเพลาล้อและเฟืองตัวตามเพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ตามแนวแกน ทำให้เพลาล้อที่สวมอยู่กับล้อรถไฟหมุนไปพร้อมกัน ส่งผลให้รถจักรไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ได้



รูปที่ 4.2 แบบจำลองการติดตั้งระบบขับเคลื่อนเข้ากับระบบโครงแคร์จากโปรแกรม SolidWorks

ในการติดตั้งระบบขับเคลื่อนเข้ากับระบบโครงแคร์ จะต้องนำมอเตอร์ประกอบกับกรอบมอเตอร์ ซึ่งกรอบมอเตอร์นี้ถูกออกแบบให้พอดีกับรูปทรงของโครงแคร์ โดยคำนึงถึงความแข็งแรงและความสะดวกในการถอดประกอบ

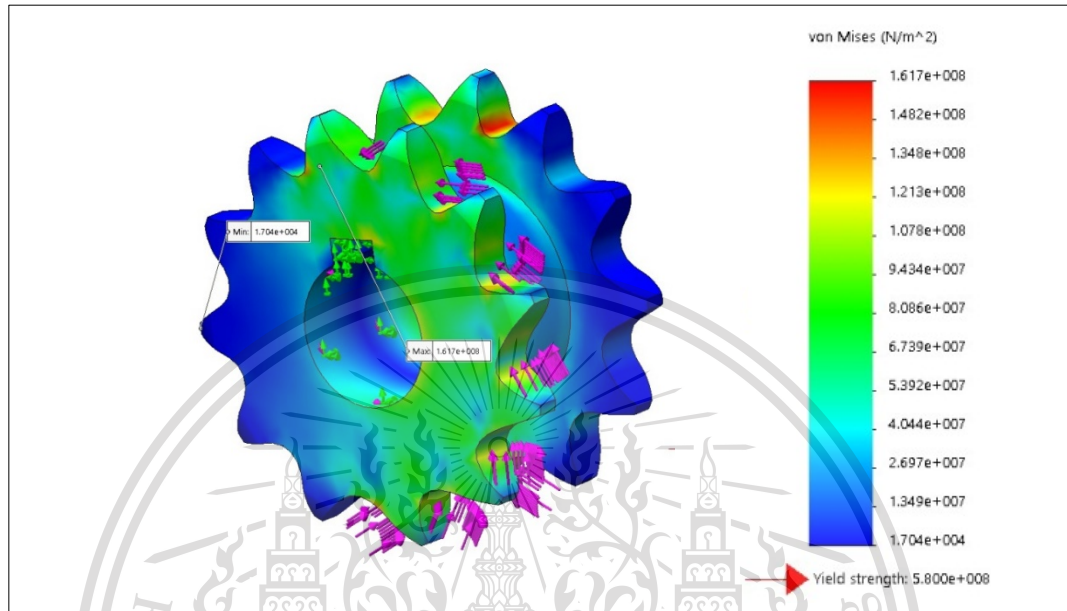
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

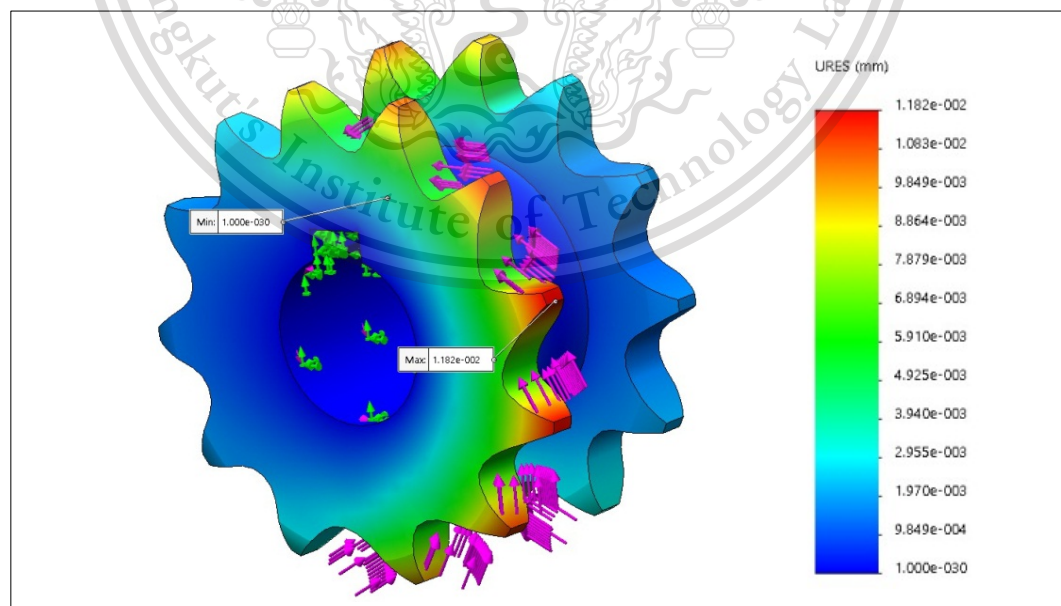
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2 การวิเคราะห์ความแข็งแรงและการเสียรูปของชิ้นส่วนต่าง ๆ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

กรณีวิเคราะห์เฟืองโซ่ตัวขับ



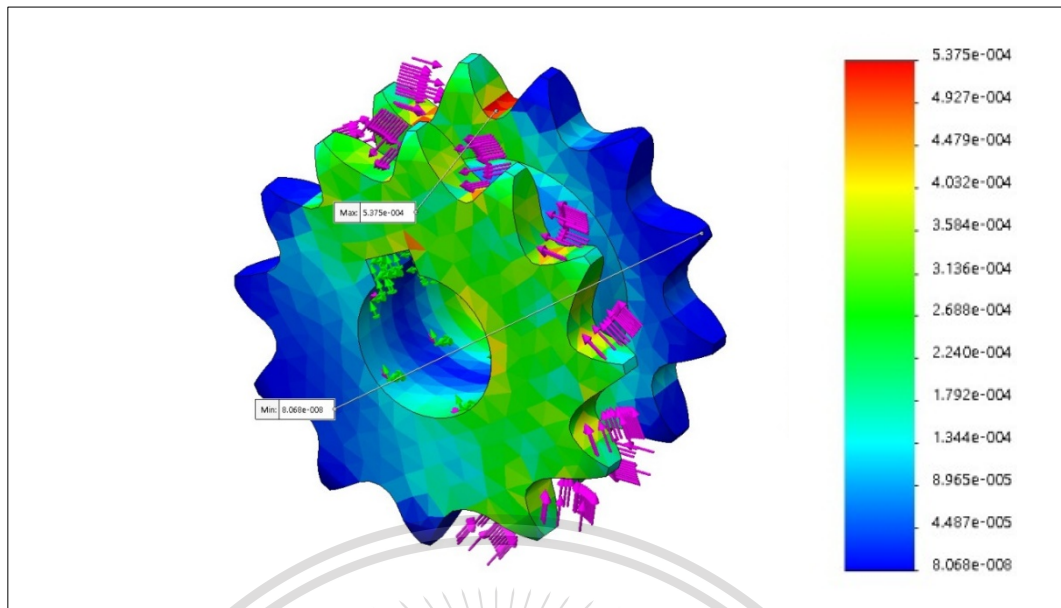
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวขับ



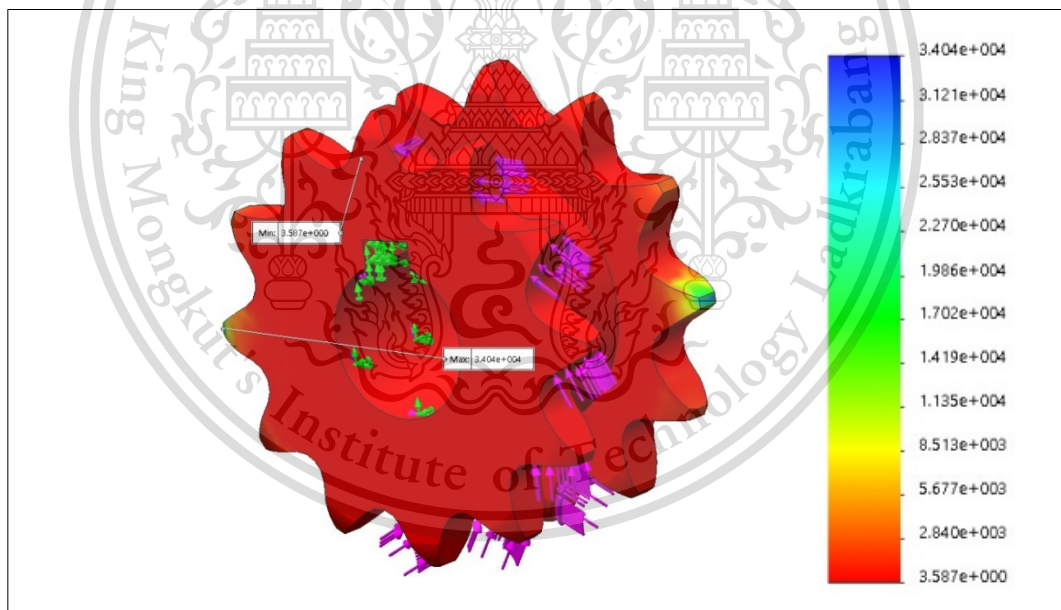
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีรูปที่ 4.4 แสดงค่าระยะเสียรูปที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวขับทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 4.5 แสดงค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวขับ



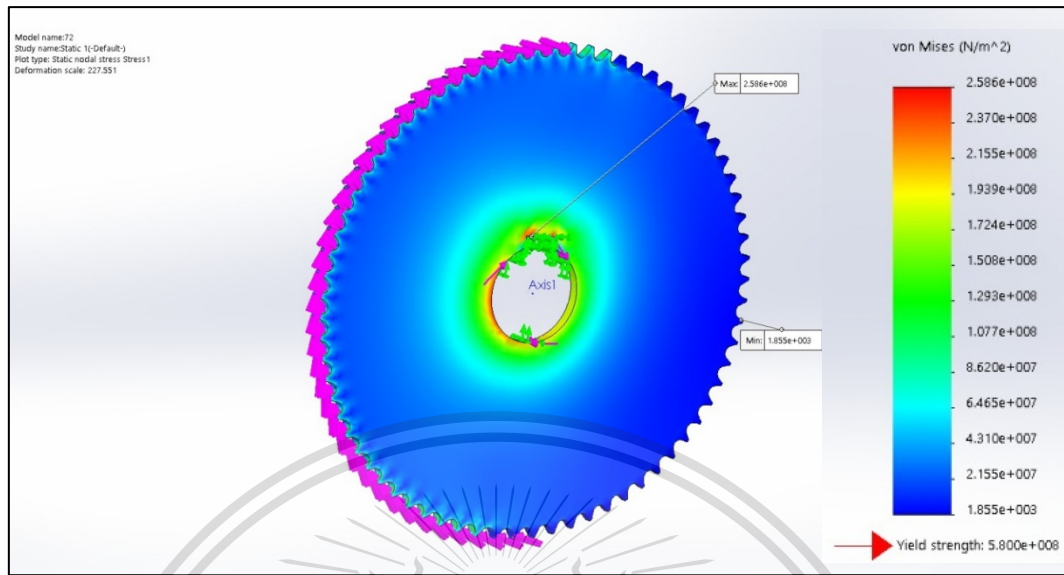
รูปที่ 4.6 แสดงค่าความปลอดภัยที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวขับ

การวิเคราะห์เฟืองโซ่ตัวขับนั้นจะวิเคราะห์ภายใต้สภาวะคงที่ โดยกำหนดรูปร่างกลางและบริเวณที่ใส่ลิ้มเป็นจุดหยุดนิ่งและใส่แรงขนาด 544 นิวตัน กระทำบริเวณพื้นเฟืองโซ่บริเวณที่สัมผัส เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนด้านการค้า กับโซ่ทั้งสองทิศทาง จะได้ค่าความเค้น ความเครียด ระยะเสียรูป และค่าความปลอดภัย ตามลำดับ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมั่วแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ดังรูปที่ (4.3-4.6)

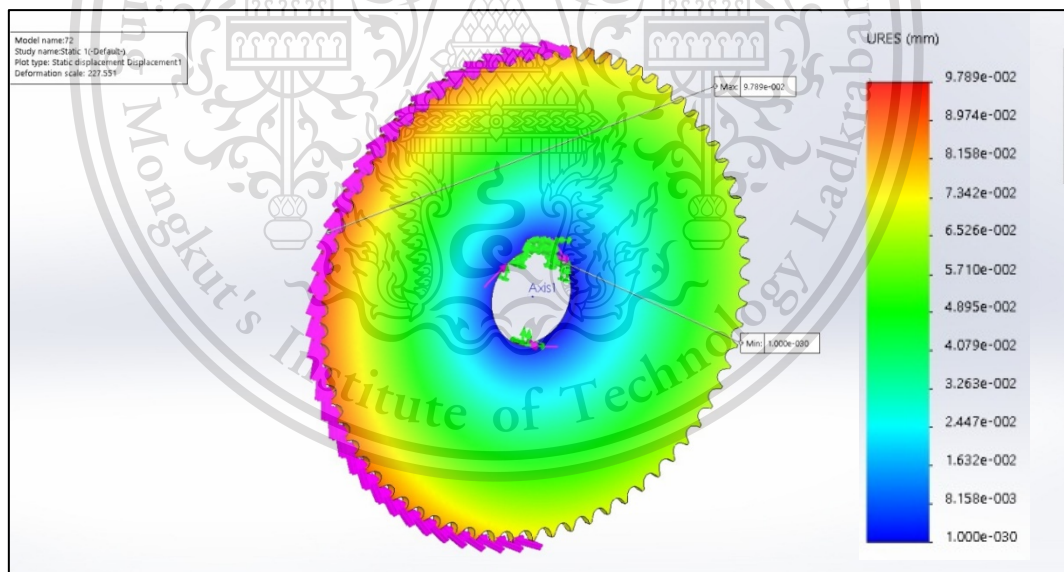
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

กรณีวิเคราะห์เฟืองโซ่ตัวตาม



รูปที่ 4.7 แสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นภายในเฟืองโซ่ตัวตาม

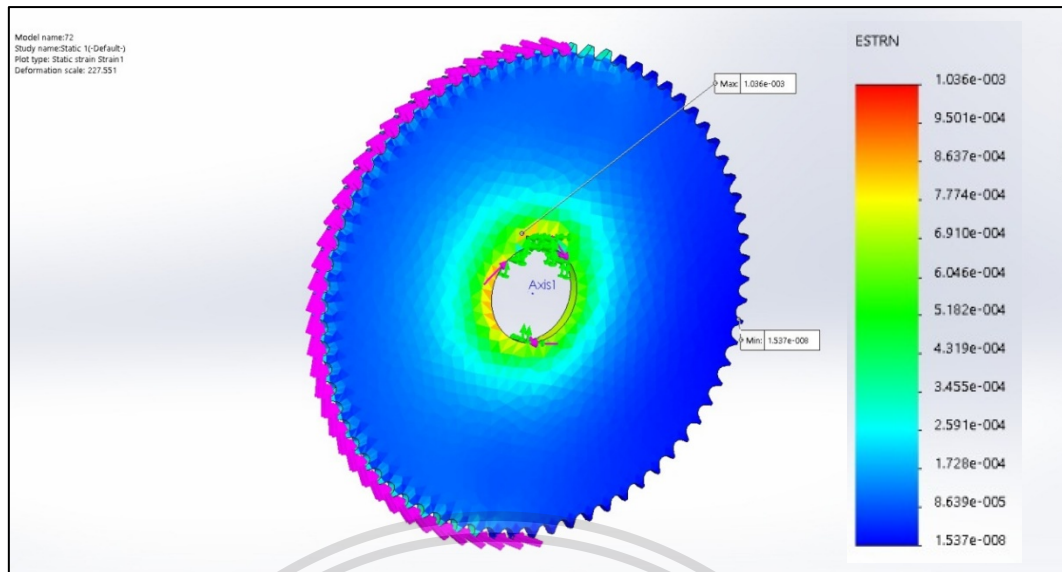


รูปที่ 4.8 แสดงค่าระยะเสียรูปที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวตาม

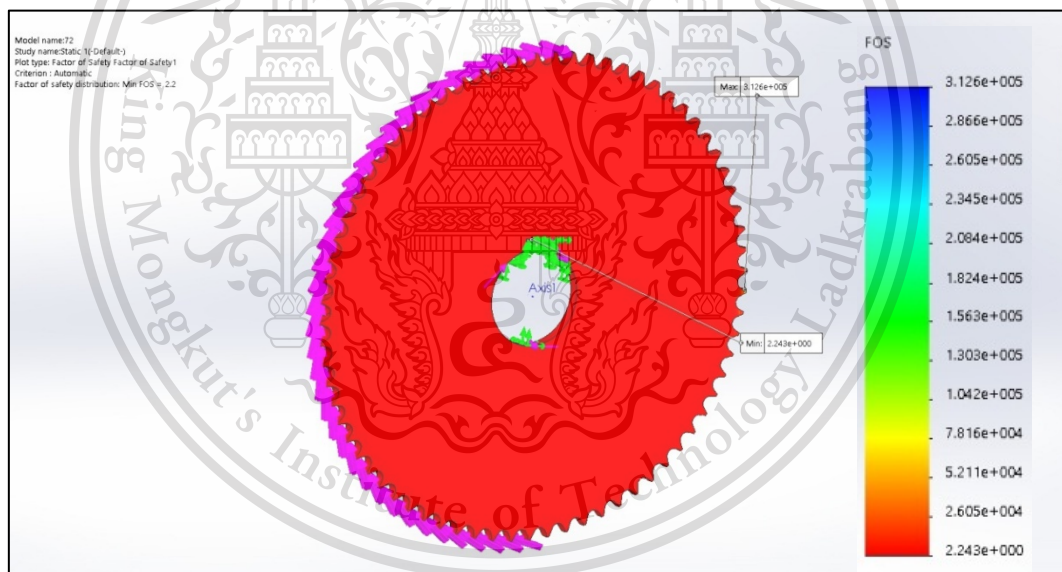
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.9 แสดงค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวตาม



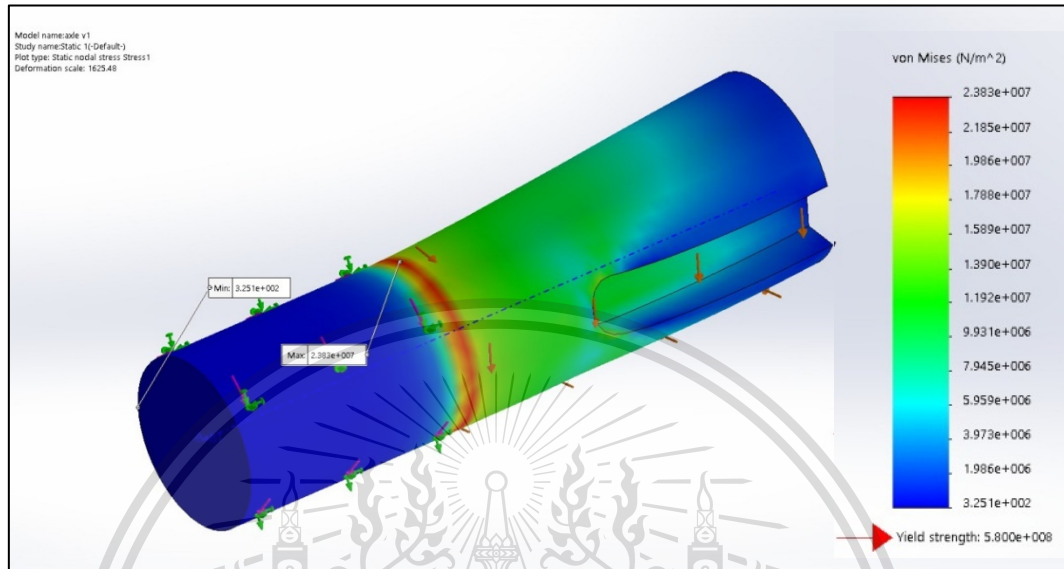
รูปที่ 4.10 แสดงค่าความปลอดภัยที่เกิดขึ้นในเฟืองโซ่ตัวตาม

การวิเคราะห์เฟืองโซ่ตัวตามนั้นจะวิเคราะห์ภายใต้สภาวะคงที่ โดยกำหนดรูตรงกลางและบริเวณที่ใส่ลิ้มเป็นจุดหยุดนิ่งและใส่แรงขนาด 1088 นิวตัน กระทำบริเวณพื้นเฟืองโซ่บริเวณที่สัมผัสกับโซ่ จะได้ค่าความเค้น ความเครียด ระยะเสียรูป และค่าความปลอดภัย ตามลำดับ ดังรูปที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (4.7-4.10) ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

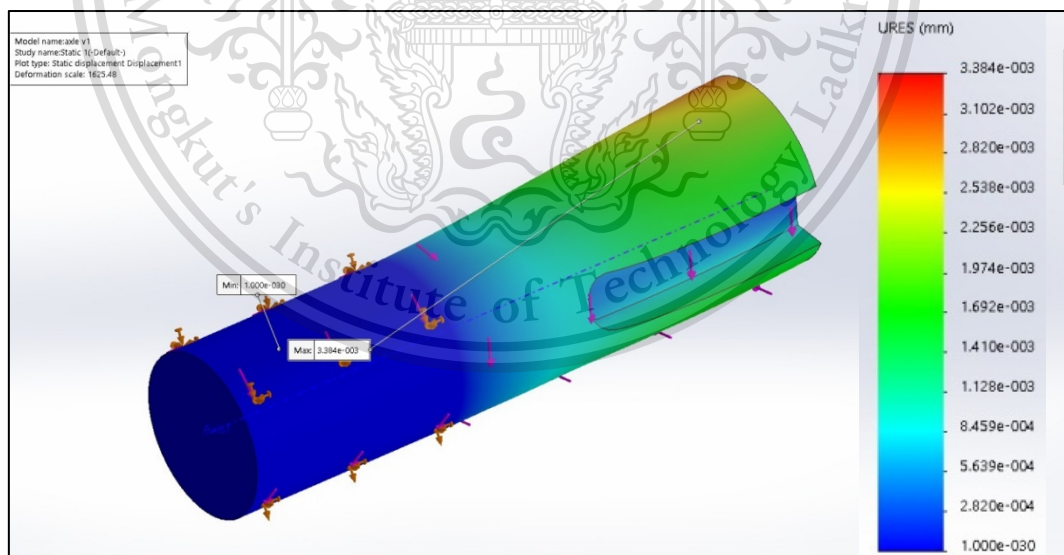
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

กรณีวิเคราะห์เพลากลาง



รูปที่ 4.11 แสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในเพลากลาง

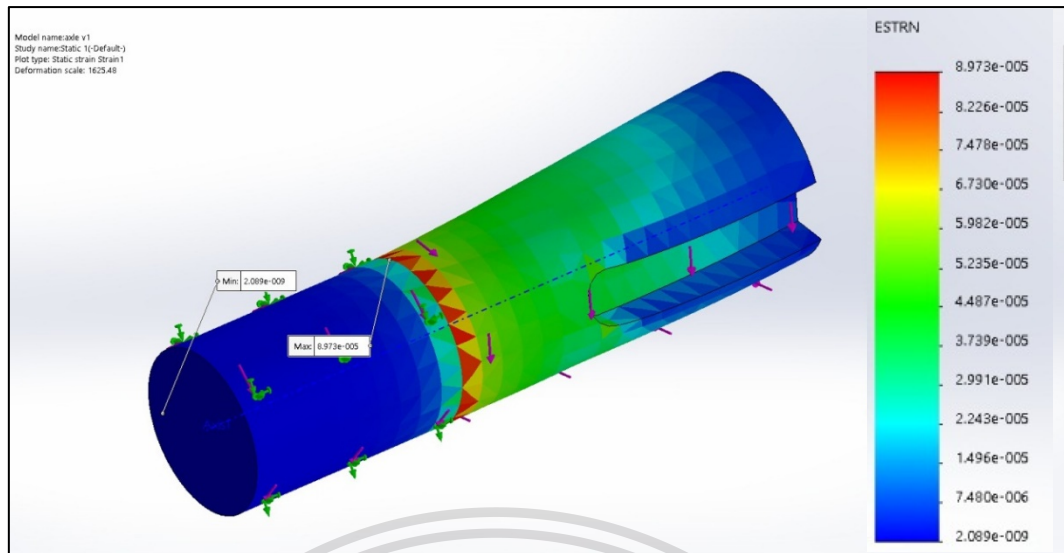


รูปที่ 4.12 แสดงค่าระยะเสียรูปที่เกิดขึ้นในเพลากลาง

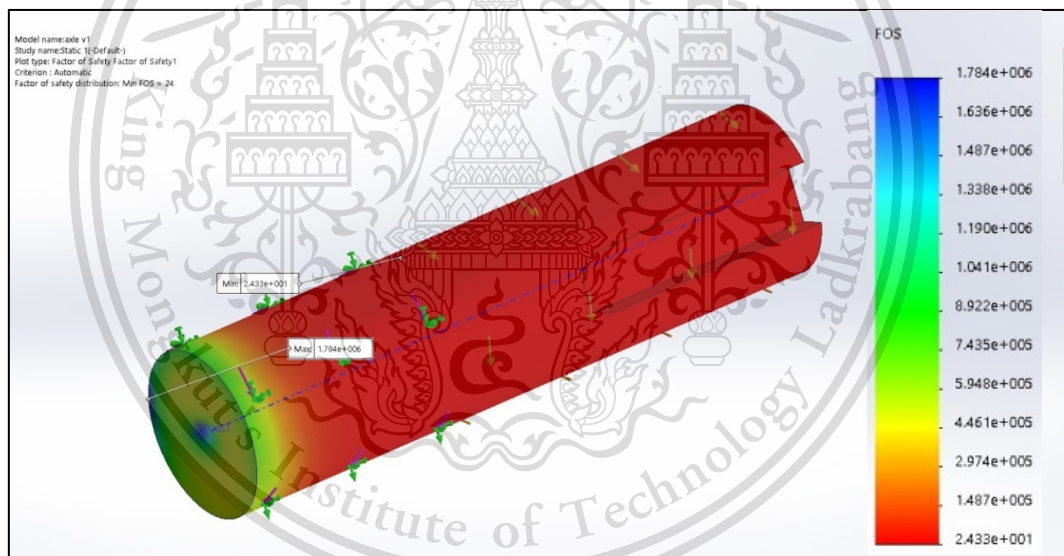
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.13 แสดงค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในเพลากลาง



รูปที่ 4.14 แสดงค่าความปลอดภัยที่เกิดขึ้นในเพลากลาง

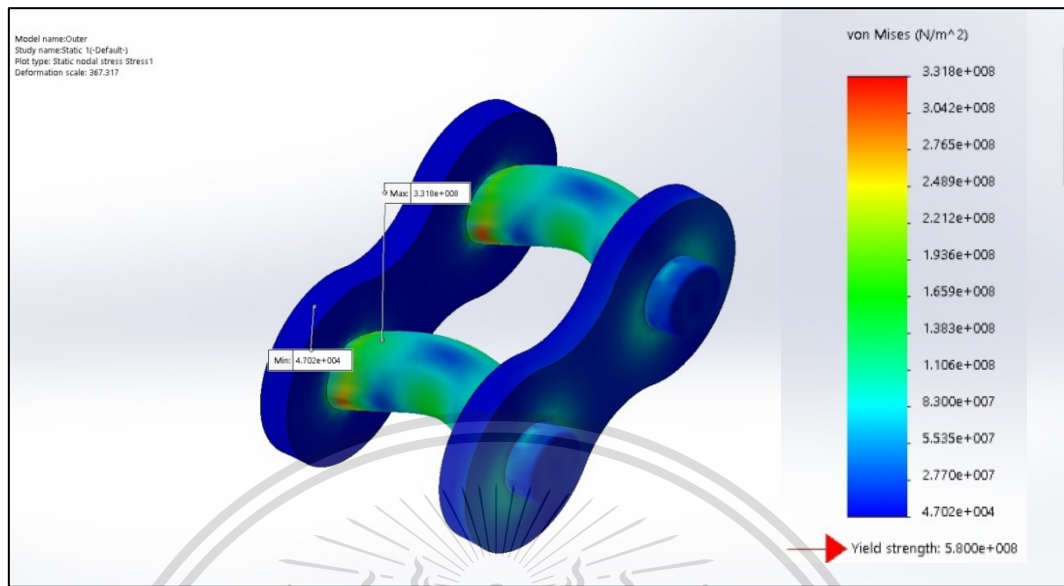
การวิเคราะห์เพลากลางนั้นจะวิเคราะห์ภายใต้สภาวะคงที่ โดยกำหนดรูปลายเพลาด้านที่ไม่มีลิ้มยาวจนถึงด้านในเพล่า 20 มิลลิเมตร เส้นจุดหยุดนิ่งและใส่แรงบิดบริเวณที่ไม่ได้เป็นจุดหยุดนิ่งขนาด 5 นิวตันเมตร จะได้ค่าความเค้น ความเครียด ระยะเสีรูป และค่าความปลอดภัย ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

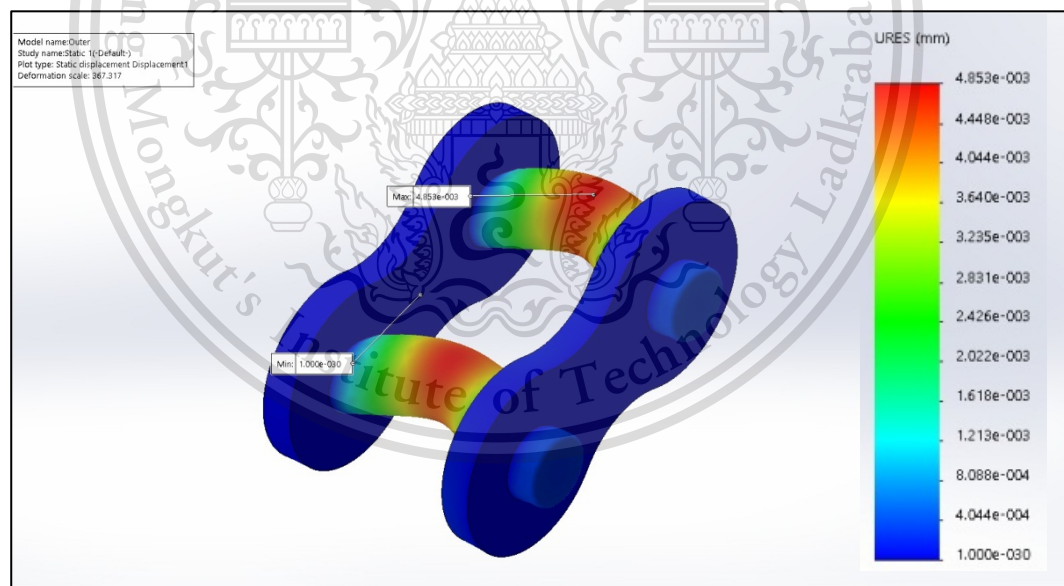
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

กรณีวิเคราะห์โซ่ส่งกำลังส่วนข้อต่อตัวนอก (Outer link)



รูปที่ 4.15 แสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในโซ่ส่งกำลังส่วนข้อต่อตัวนอก

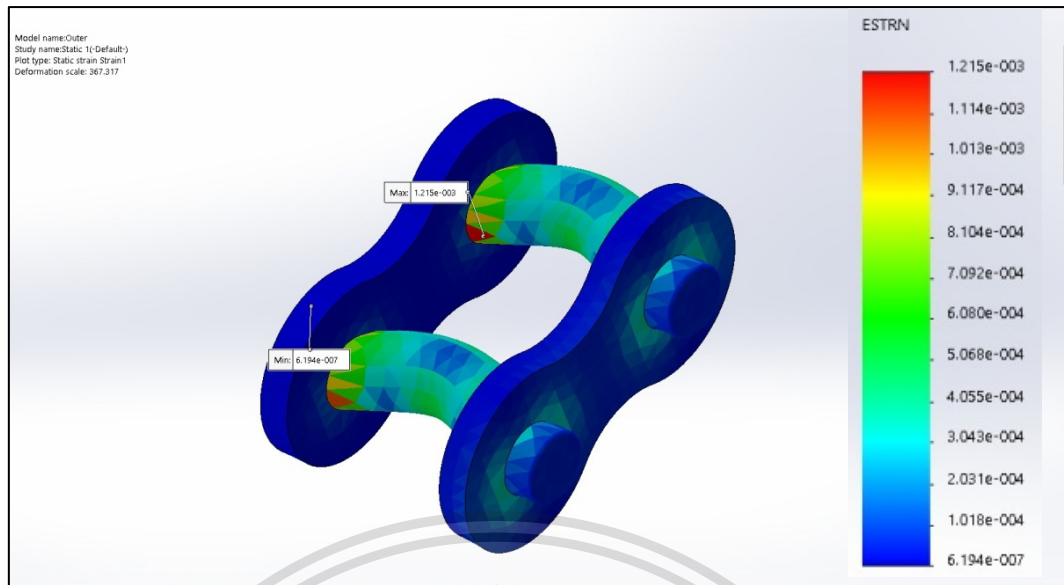


รูปที่ 4.16 แสดงค่าระยะเสียรูปที่เกิดขึ้นในโซ่ส่งกำลังส่วนข้อต่อตัวนอก

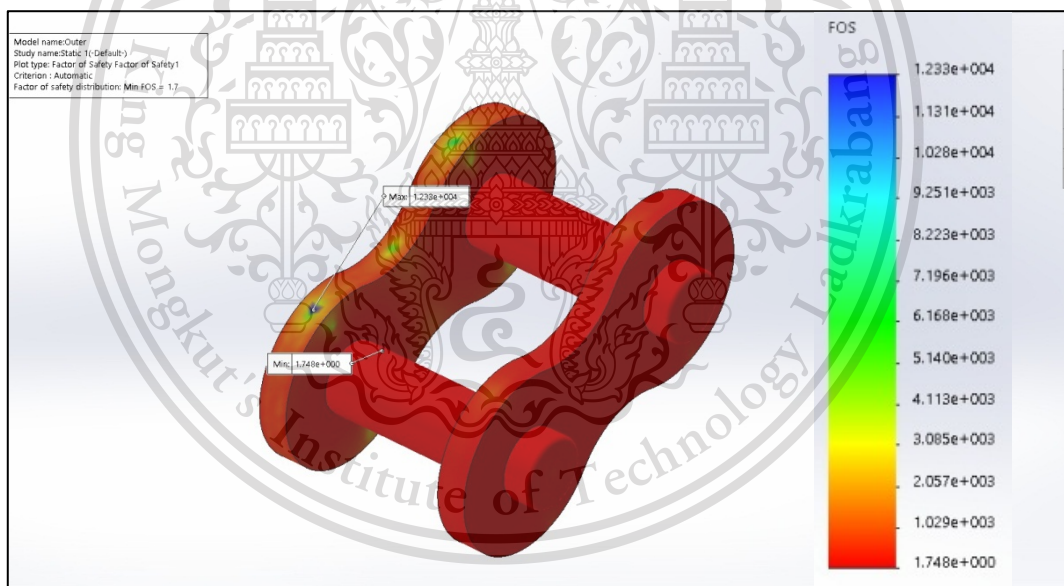
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.17 แสดงค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในโซ่งกำลังส่วนข้อต่อตัวนอก



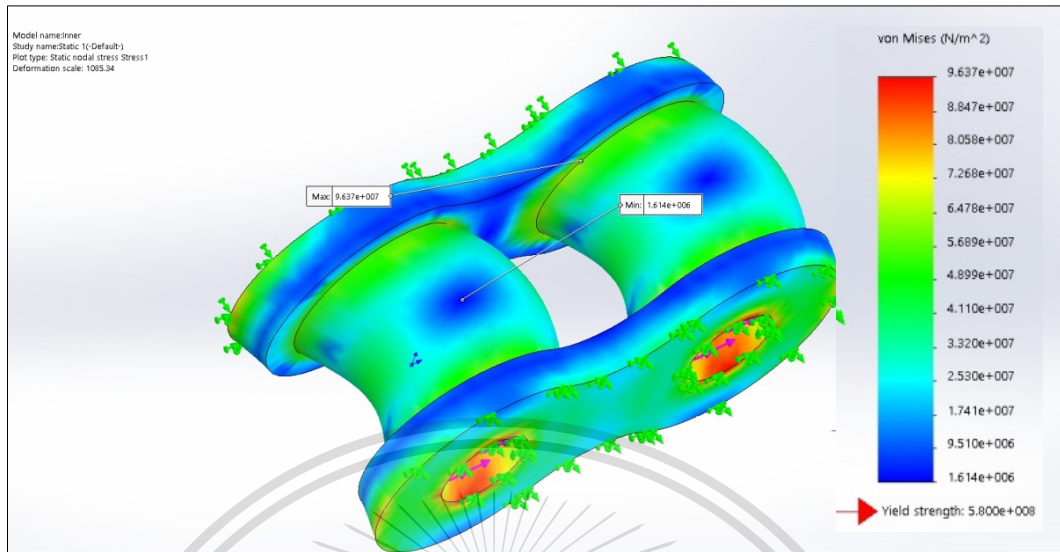
รูปที่ 4.18 แสดงค่าความปลอดภัยที่เกิดขึ้นในโซ่งกำลังส่วนข้อต่อตัวนอก

การวิเคราะห์โซ่งกำลังส่วนข้อต่อตัวนอกนั้นจะวิเคราะห์ภายใต้สภาวะคงที่ โดยกำหนดบริเวณผิวด้านในและด้านนอกแผ่นเชื่อมต่อเป็นจุดหยุดนิ่งและใส่แรงขนาด 1088 นิวตัน บริเวณเอกสารนี้เป็นเอกลักษณ์ ลักษณะของแรงดึงไปด้านหน้า จะได้ค่าความเค้น ความเครียด ระยะเสียรูป และค่าการคำนวณว่ากรณีใดความปลอดภัย ตามลำดับ ดังรูปที่ (4.15-4.18) ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

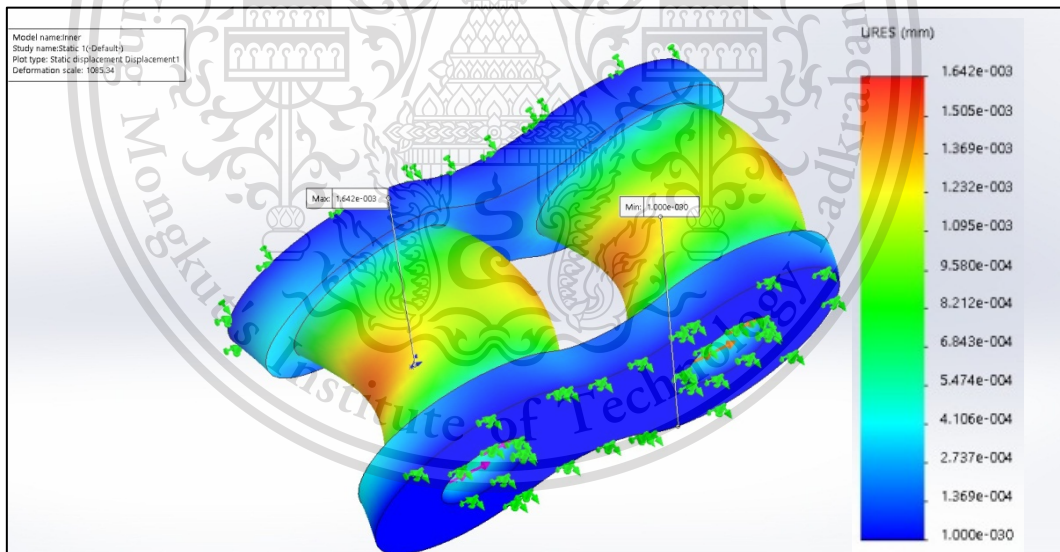
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

กรณีวิเคราะห์โซ่ส่งกำลังส่วนข้อต่อตัวใน (Inner link)



รูปที่ 4.19 แสดงค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในโซ่ส่งกำลังส่วนข้อต่อตัวใน

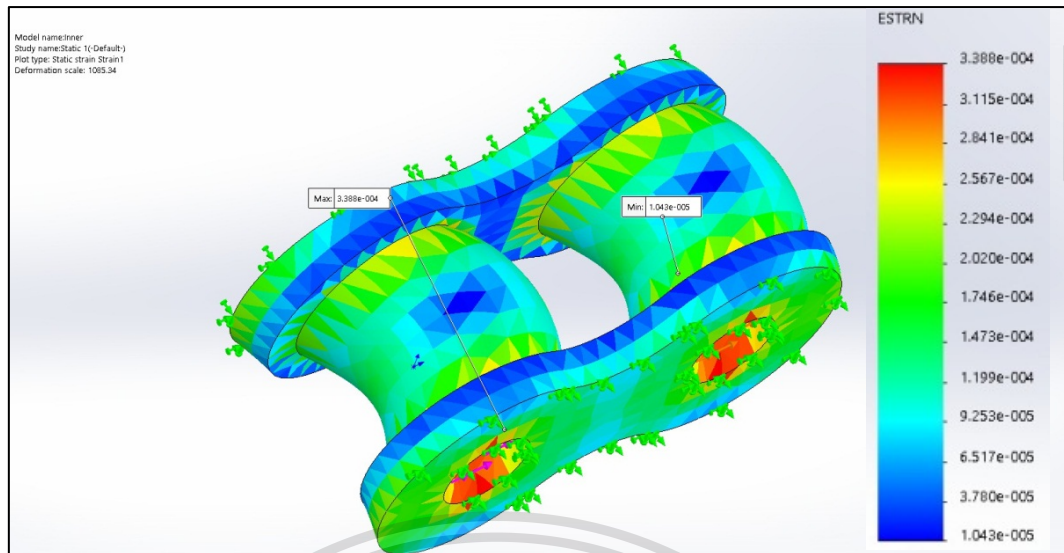


รูปที่ 4.20 แสดงค่าระยะเสียรูปที่เกิดขึ้นในโซ่ส่งกำลังส่วนข้อต่อตัวใน

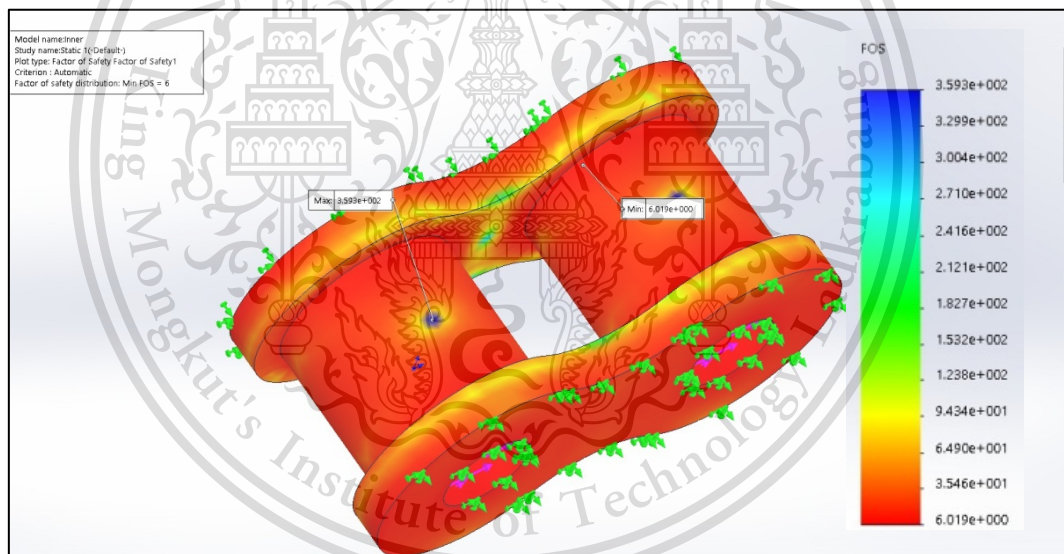
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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



รูปที่ 4.21 แสดงค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในโซ่งกำลังส่วนข้อต่อตัวใน



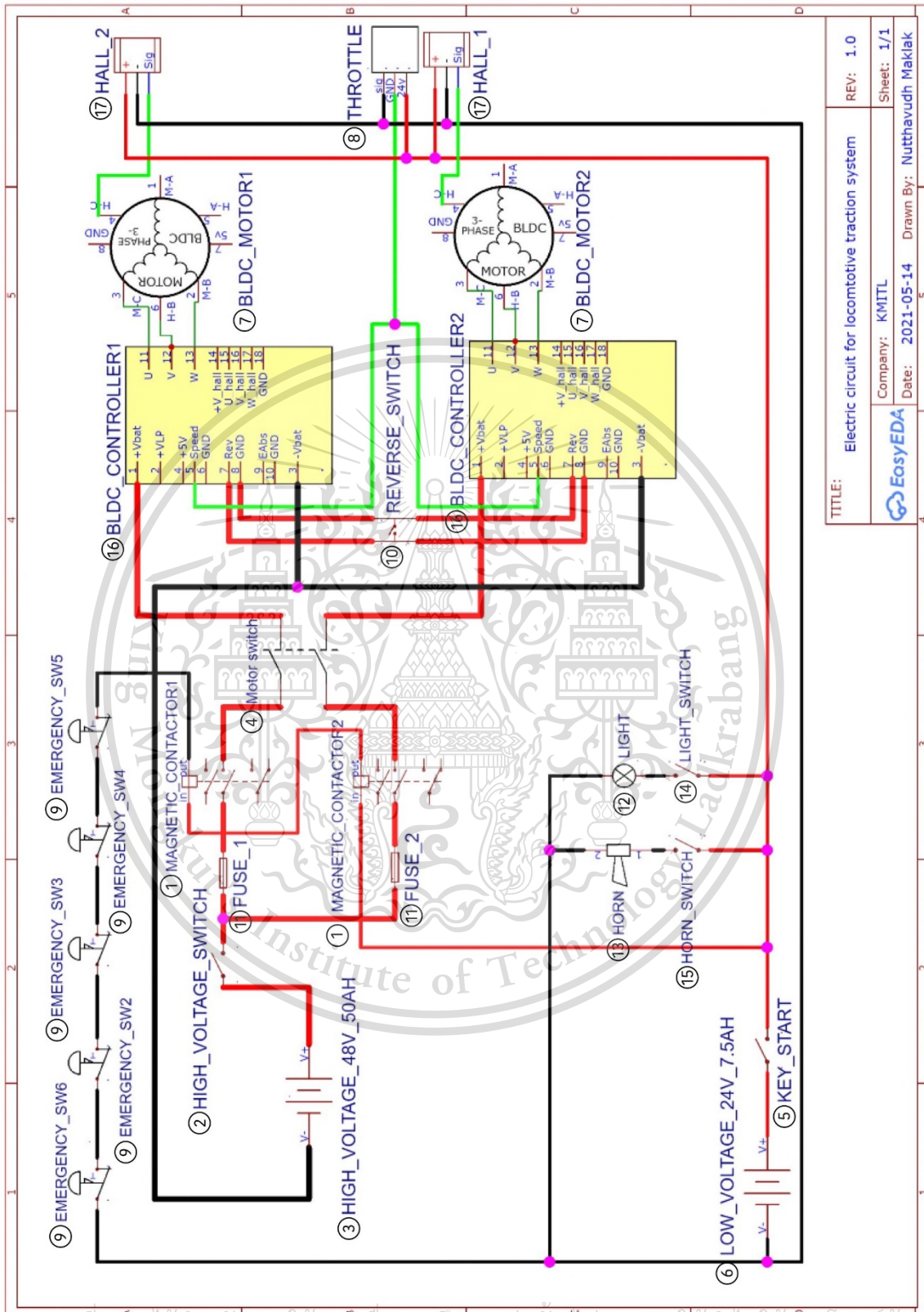
รูปที่ 4.22 แสดงค่าความปลอดภัยที่เกิดขึ้นในโซ่งกำลังส่วนข้อต่อตัวใน

การวิเคราะห์โซ่งกำลังส่วนข้อต่อตัวในนั้นจะวิเคราะห์ภายใต้สภาวะคงที่ โดยกำหนดบริเวณผิวด้านในและด้านนอกแผ่นเชื่อมต่อเป็นจุดหยุดนิ่งและใส่แรงขนาด 1088 นิวตัน บริเวณสลักโซ่ในลักษณะของแรงดึงไปด้านหน้า จะได้ค่าความเค้น ความเครียด ระยะเสียรูป และค่าความปลอดภัย เอกสารนี้เป็นตามลำดับ ดังรูปที่ (4.19-4.22) ซึ่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น 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.

4.2.3 การออกแบบการต่อวงจรไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อน



TITLE:	Electric circuit for locomotive traction system	REV:	1.0
Company:	KMITL	Sheet:	1/1
Date:	2021-05-14	Drawn By:	Nutthavudh Maklak

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.23 วงจรไฟฟ้าในระบบขับเคลื่อน

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

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

ตารางที่ 4.1 แสดงการสรุปอุปกรณ์และหน้าที่ของอุปกรณ์ในระบบขับเคลื่อน

หมายเลข	อุปกรณ์	จำนวน	หน้าที่
1	แมกเนติกคอนแทรกเตอร์ (magnetic contractor)	2 ตัว	ควบคุมการเปิด-ปิดวงจรแรงดันไฟฟ้าสูงด้วย วงจรแรงดันไฟฟ้าต่ำ ทำให้ปลอดภัยมากขึ้น ขณะเปิดหรือปิด
2	สวิตช์ไฟฟ้าแรงดันสูง (high voltage switch)	1 ตัว	เปิด-ปิดการไหลของกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงใน วงจร
3	แบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าสูง 48 โวลต์ 50 แอมป์ชั่วโมง	1 ลูก	จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์
4	สวิตช์มอเตอร์ (Motor switch)	1 ตัว	เปิด-ปิดการทำงานของมอเตอร์
5	กุญแจสตาร์ท (Key start)	1 ตัว	เปิด-ปิดการทำงานของระบบขับเคลื่อน รถจักรไฟฟ้า
6	แบตเตอรี่แรงดันไฟฟ้าต่ำ 24 โวลต์ 7.5 แอมป์ชั่วโมง	1 ลูก	จ่ายกระแสไฟฟ้าให้อุปกรณ์แรงดันไฟฟ้าต่ำ และควบคุมการเปิด-ปิดวงจรแรงดันสูง
7	มอเตอร์ BLDC (BLDC Motor)	2 ตัว	เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถจักรไฟฟ้า
8	คันเร่งแบบหมุน (Electric Throttle Knob)	1 ตัว	เร่งความเร็วรถโดยการหมุนคันเร่งไฟฟ้า
9	สวิตช์ฉุกเฉิน (Emergency switch)	4 ตัว ขึ้นไป	หยุดรถในทันทีเมื่อเกิดเหตุต่างๆ ที่ต้องมี หลายตัวเพราะต้องติดรอบคันรถ ทำให้กดใช้ งานได้รวดเร็วที่สุดเมื่อมีเหตุฉุกเฉิน
10	สวิตช์ถอยหลัง (Reverse switch)	1 ตัว	เปิด-ปิด การทำงานการถอยหลัง
11	ฟิวส์ (Fuse)	2 ตัว	ป้องกันไม่ให้มีกระแสไฟฟ้าไหลมากเกินไป จนทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้
12	หลอดไฟ (Light)	1 ตัว	ให้แสงสว่าง
13	แตร (Horn)	1 ตัว	ส่งสัญญาณเสียง
14	สวิตช์หลอดไฟ (Light switch)	1 ตัว	เปิด-ปิด การทำงานของหลอดไฟ
15	สวิตช์แตร (Horn switch)	1 ตัว	เปิด-ปิด การทำงานของแตร
16	ชุดควบคุมมอเตอร์ BLDC (Controller)	2 ตัว	ควบคุมการทำงาน เช่น การจ่ายกระแสไฟฟ้า ของมอเตอร์ต่อคันเร่ง หน้าจอแสดงความเร็ว และความจุแบตเตอรี่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
17	เซ็นเซอร์ตำแหน่ง (Hall sensors)	2 ตัว	วัดความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้าโดยอาศัย หลักการที่เกี่ยวกับแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไปใช้

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

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

จากรูปที่ (4.23) แสดงภาพรวมของระบบไฟฟ้าในรถจักร จะเห็นว่าระบบไฟฟ้าในรถจักร แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรงดันไฟฟ้าสูง และส่วนแรงดันไฟฟ้าต่ำ เพื่อแยกประเภทของการใช้งาน ในแต่ละอุปกรณ์ตามขนาดของแรงดันไฟฟ้าเป็นหลัก เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานและความสะดวกในการบำรุงรักษา

ในการขับเคลื่อนรถจักรต้องทำการเปิดสวิตช์แมกนาติกคอนแทรกเตอร์ (หมายเลข 1) ก่อน แล้วจึงเปิดสวิตช์ไฟฟ้าแรงดันสูง (หมายเลข 2) เพื่อให้มีกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงจากแบตเตอรี่ 48 โวลต์ 50 แอมแปร์ชั่วโมง (หมายเลข 3) ไหลเข้าไปในวงจร แล้วทำการเปิดสวิตช์มอเตอร์ (หมายเลข 4) สุดท้ายทำการไขกุญแจ (หมายเลข 5) เพื่อให้กระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำจากแบตเตอรี่ 24 โวลต์ 7.5 แอมแปร์ชั่วโมง (หมายเลข 6) ไหลเข้ามาในวงจร ซึ่งกระแสไฟฟ้าแรงดันต่ำนี้จะเป็นตัวควบคุมการเปิด-ปิดกระแสแรงดันสูงผ่านแมกนาติกคอนแทรกเตอร์ (หมายเลข 1) เมื่อมอเตอร์ (หมายเลข 7) เริ่มทำงานแล้ว หากต้องการเดินหน้าให้ทำการเร่งความเร็วจากคันเร่งแบบปรับความเร็ว (หมายเลข 8) ได้โดยหมุนจนได้ความเร็วที่ต้องการ หากต้องการหยุดรถจะต้องปรับความเร็วให้เป็นศูนย์ก่อนแล้วจึงเบรกรถ ในกรณีที่ใช้เบรกฉุกเฉิน (emergency brake) แล้วต้องการเดินรถต่อไปจะต้องกดสวิตช์ฉุกเฉิน (หมายเลข 9) ที่กดก่อนหน้าอีกครั้งแล้วจึงเดินรถต่อไปได้ โดยปุ่มเหล่านี้จะถูกติดตั้งให้อยู่ทุกด้านของรถจักรไฟฟ้า ซึ่งหากเกิดเหตุฉุกเฉินจะได้กดปุ่มได้อย่างรวดเร็วที่สุด ถ้าต้องการถอยหลังต้องทำการหยุดรถก่อน และกดสวิตช์ถอยหลัง (หมายเลข 10) จากนั้นควบคุมความเร็วด้วยคันเร่ง (หมายเลข 8) เช่นเดียวกับเดินหน้า โดยในวงจรจะมีฟิวส์ (หมายเลข 11) ติดตั้งเพื่อไม่ให้มีกระแสไฟฟ้าไหลมากเกินไปจนทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ โดยสามารถพิจารณาประกอบกับรูปที่ (4.23) และ (4.24)

ในการใช้งานไฟ (หมายเลข 12) และแตร (หมายเลข 13) นั้นสามารถใช้งานได้หลังจากที่ไขกุญแจ (หมายเลข 5) เรียบร้อยแล้ว ไฟและแตรรถสามารถใช้งานโดยกดปุ่มเปิดสวิตช์ (หมายเลข 14 และ 15 ตามลำดับ) และกดอีกครั้งเพื่อปิดการใช้งาน โดยสามารถพิจารณาประกอบกับรูปที่ (4.23) และ (4.25)

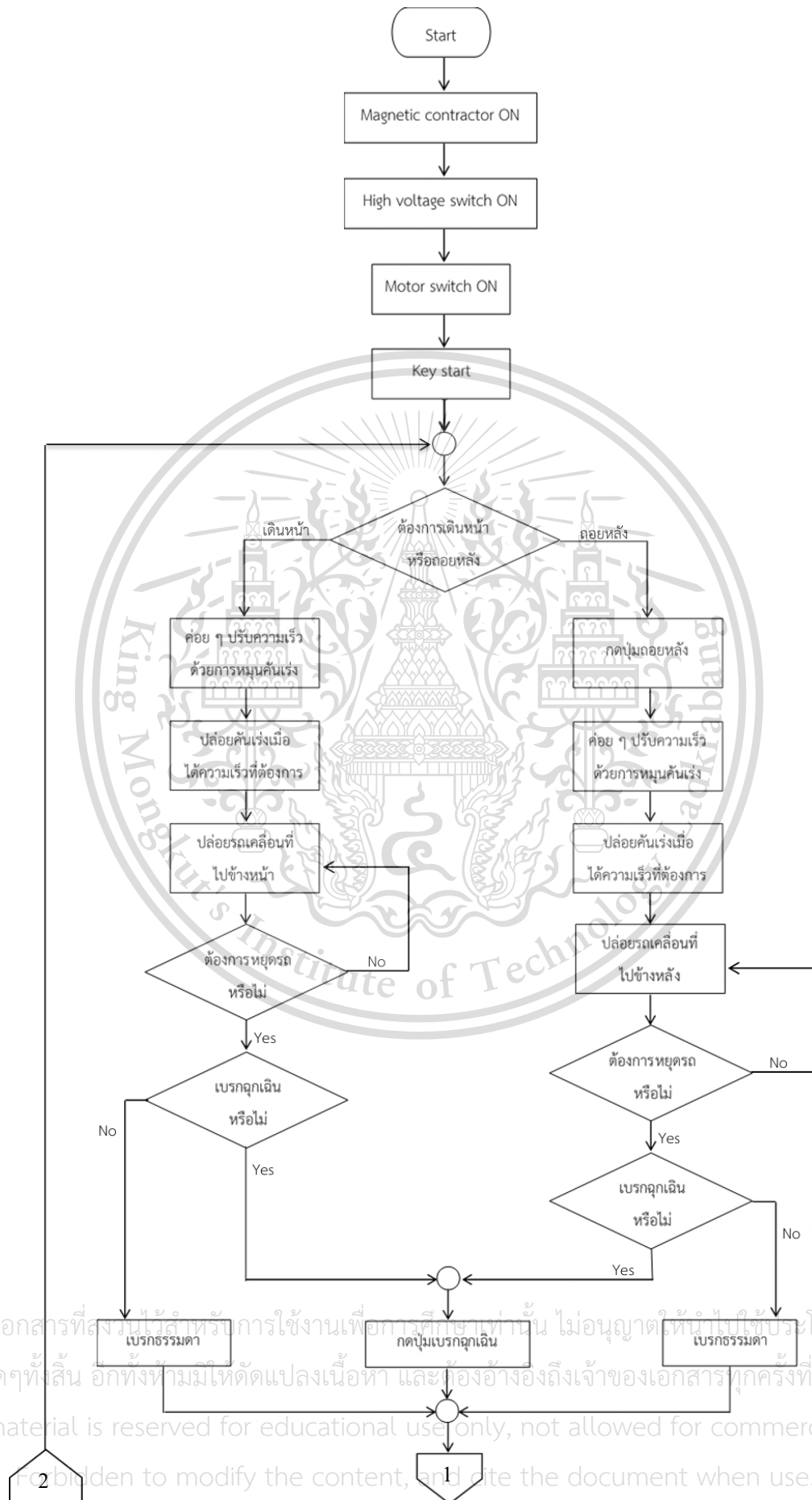
ชุดควบคุมมอเตอร์ (หมายเลข 16) เป็นศูนย์กลางในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งอุปกรณ์บางชิ้นนั้นสามารถต่อจากชุดควบคุมมอเตอร์หรือต่อแยกไปที่วงจรที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำก็ได้ เช่น แตร เป็นต้น โดยสามารถพิจารณาประกอบกับรูปที่ (4.23) และ (4.27)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

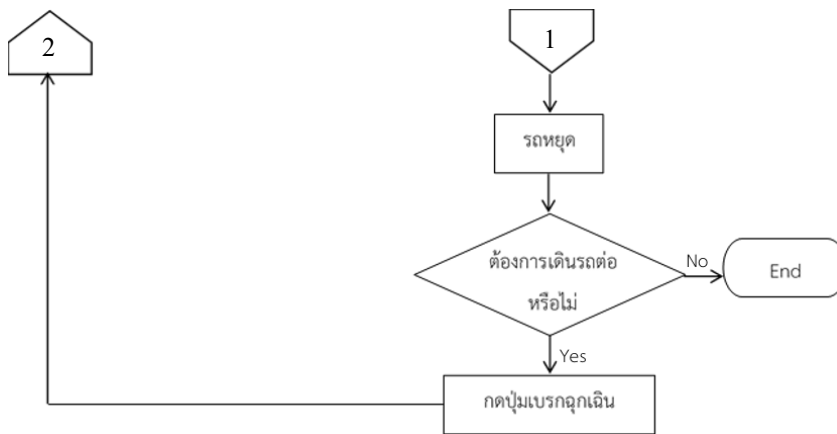
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

แผนผังแสดงการทำงานในระบบขับเคลื่อน

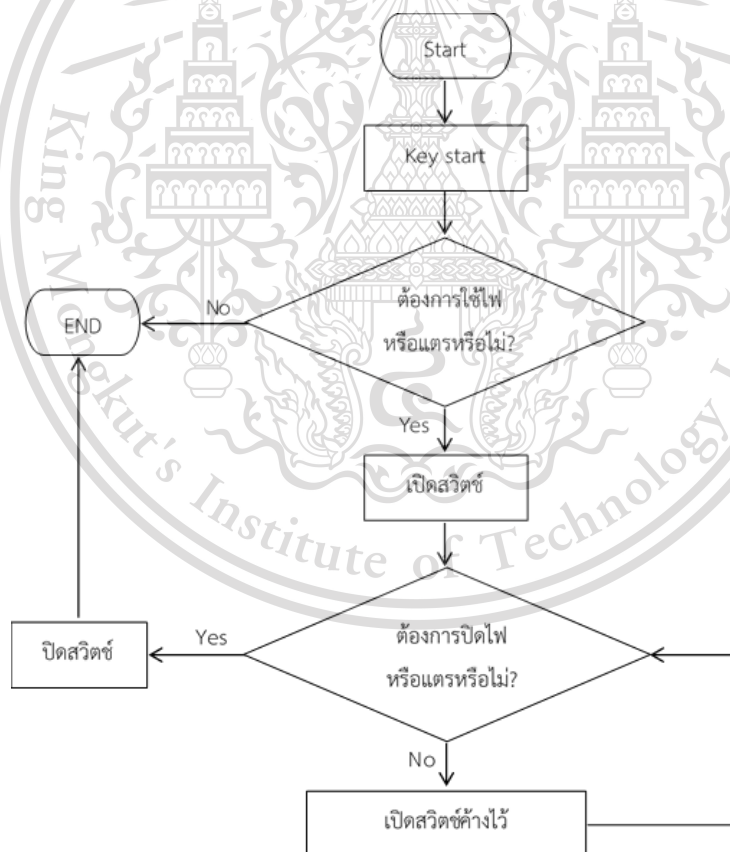


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.



รูปที่ 4.24 แผนผังแสดงการทำงานในระบบขับเคลื่อน

แผนผังแสดงการทำงานของไฟและแดร์



รูปที่ 4.25 แผนผังแสดงการทำงานของไฟและแดร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

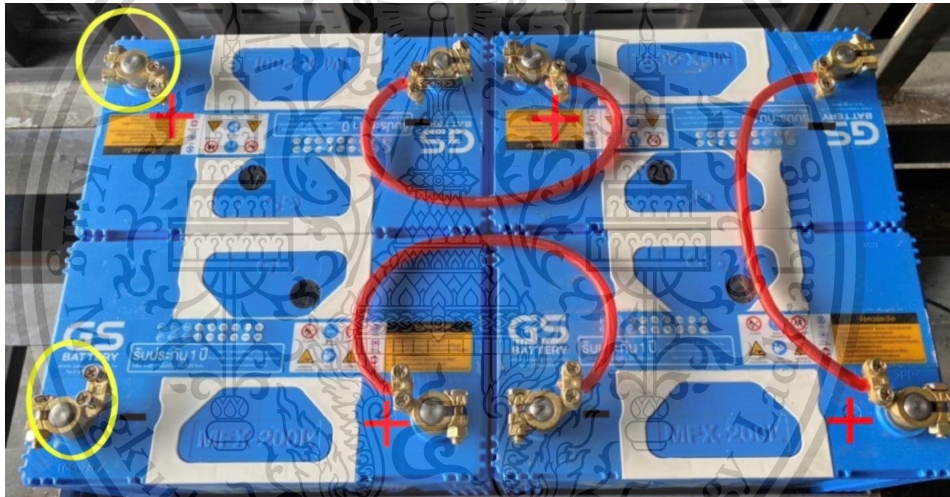
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขั้นตอนการต่อวงจรไฟฟ้า

1. การต่อแบตเตอรี่ แบ่งเป็น 2 กรณี คือ

1.1 ต่อแบตเตอรี่สำเร็จรูปที่มีความจุเพียงพอกับค่าความจุแบตเตอรี่ที่ได้จากการคำนวณ โดยสามารถวางในตำแหน่งที่จัดไว้ในตัวรถได้เลย

1.2 ต่อแบตเตอรี่ขนาดเล็กหลาย ๆ ลูกรวมกัน ต้องทำการออกแบบก่อนว่าจะนำมาต่ออนุกรมหรือขนานกัน จากนั้นวัดความยาวสายไฟที่ต้องใช้ในการรวมแบตเตอรี่แต่ละลูกเข้าด้วยกัน (เผื่อความยาวไว้พอประมาณเพื่อเผื่อระยะยึดหดของสายไฟเมื่อเกิดความร้อน) ข้อควรระวัง คือ อย่าวางสิ่งของไวบนแบตเตอรี่เนื่องจากอาจทำให้เกิดการอาร์คกันระหว่างขั้วแบตเตอรี่ ซึ่งการอาร์คกันนี้จะเกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าสามารถไหลจากแบตเตอรี่ขั้วเดียวกันไปสู่ขั้วเดียวกัน



รูปที่ 4.26 ภาพแสดงวิธีการต่อแบตเตอรี่หลายๆเซลล์รวมกัน

2. การวัดความยาวสายไฟและการเดินสายไฟ

ในการวัดความยาวสายไฟนั้นควรวัดรวมสายไฟให้เป็นระเบียบเพื่อความสะดวกในการเดินสายไฟต่อไปในอนาคต และเมื่อวัดความยาวและจัดวางตำแหน่งเรียบร้อยแล้วจะไม่ทำการเดินสายไฟออกจากแบตเตอรี่เพราะสายไฟที่ออกจากแบตเตอรี่ควรต่อเป็นจุดสุดท้าย (วงกลมสีเหลือง) เนื่องจากว่าหากต่อสายไฟผิดสายหรือเกิดเหตุการณ์ที่สายไฟเส้นที่ไม่ควร

แตะกันมาชนกันจะทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ ดังนั้นควรต่อวงจรให้เสร็จก่อนจึงจะต่อสายไฟออกจากแบตเตอรี่เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

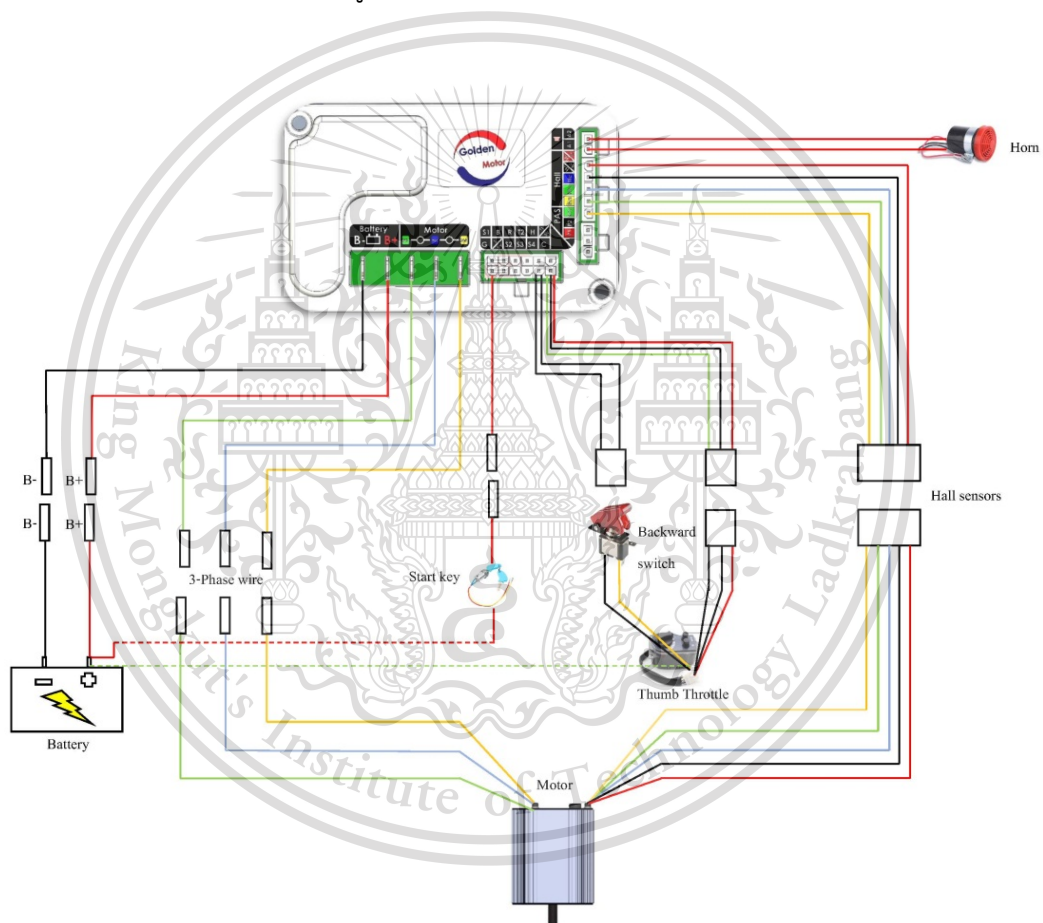
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. การต่อมอเตอร์และอุปกรณ์ต่างๆ

สามารถทำตามไดอะแกรมที่ทางบริษัทผู้ผลิตออกแบบมาให้ ในขั้นตอนนี้ต้องใช้ประสบการณ์ในการทำเพราะอุปกรณ์บางอย่างอาจจะเสียหายและต้องทำการออกแบบการเดินสายไฟที่ซับซ้อนเนื่องจากมีอุปกรณ์ที่ต้องใช้ความละเอียดอ่อนในการเดินสายไฟ

4. การใช้เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ทางไฟฟ้า

ในการเดินสายไฟในบางจุดอาจจะทำการต่อผิดพลาดหรืออุปกรณ์เสียหาย กัลวานอมิเตอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการตรวจสอบจุดต่าง ๆ ที่ทำให้วงจรไม่ทำงานหรือตรวจสอบว่าต่อสายไฟได้ถูกต้องหรือไม่



รูปที่ 4.27 ภาพแสดงไดอะแกรมการต่อชุดควบคุมมอเตอร์ (Controller)

สีแดง คือ สายไฟขั้วบวก

สีดำ คือ สายไฟขั้วลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อการศึกษา เส้นประ คือ สายส่งสัญญาณ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



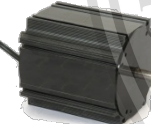


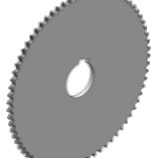

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

4.3 ผลการออกแบบ

จากผลการคำนวณข้างต้น ทำให้สามารถเลือกอุปกรณ์และชิ้นส่วนที่จะนำมาสร้างรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กได้ เมื่อนำอุปกรณ์และชิ้นส่วนมาออกแบบรูปแบบการจัดวางตำแหน่งในระบบขับเคลื่อน และได้ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วนเป็นไปตามค่าความปลอดภัยที่สามารถยอมรับได้ แล้วได้ทำออกแบบการต่อวงจรไฟฟ้าในระบบเรียบร้อยแล้ว จึงได้ทำการวางแผนการจัดซื้ออุปกรณ์และชิ้นส่วนเพื่อนำมาสร้างระบบขับเคลื่อนของรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กในอนาคต




ตารางที่ 4.2 แสดงการประเมินราคาและระบุสถานที่จัดจำหน่ายอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ ในระบบขับเคลื่อน

อุปกรณ์และชิ้นส่วน		จำนวน	ราคาต่อหน่วย(บาท)	ราคารวม(บาท)	สถานที่จัดจำหน่าย
	แบตเตอรี่ LiFePO ₄ 48 โวลต์ 50 แอมแปร์ ชั่วโมง	1 ลูก	24,000	24,000	บริษัท บ้านลิเทียม จำกัด
	แบตเตอรี่ 24 โวลต์ 7.5 แอมแปร์ ชั่วโมง	1 ลูก	4,000	4,000	บริษัท อินเทอร์เน็ตชิ้นแนลคอนเน็ค เทรค จำกัด
	มอเตอร์ รุ่น BLDC-108	2 ตัว	9,400	18,800	บริษัท อินโนวาแพค จำกัด
	ชุดควบคุมมอเตอร์	2 ชุด	5,400	10,800	บริษัท อินโนวาแพค จำกัด
	เฟืองโซ่ตัวขับ แบบ 12 ฟัน	2 ตัว	838.67	1,677.34	บริษัท มิซูมิ (ไทยแลนด์) จำกัด
	เฟืองโซ่ตัวตาม แบบ 72 ฟัน	4 ตัว	750	3000	บริษัท กี้ เต็ก เส็ง (1975) จำกัด
	โซ่ส่งกำลัง ขนาด 06B-1	1 ชุด (130 ข้อต่อ)	676.75	676.75	บริษัท มิซูมิ (ไทยแลนด์) จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น โปรดอนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา 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.

อุปกรณ์และชิ้นส่วน		จำนวน	ราคาต่อหน่วย(บาท)	ราคารวม(บาท)	สถานที่จัดจำหน่าย
	ประกบกับเพลลา แบบ Non – lubricated, metallic	2 ตัว	2,483.74	4,967.48	บริษัท มิซูมิ (ไทยแลนด์) จำกัด
	ลิ้มใหญ่ ขนาด 16×10×74 มิลลิเมตร	4 ตัว	277.55	1110.20	บริษัท มิซูมิ (ไทยแลนด์) จำกัด
	ลิ้มเล็ก ขนาด 5×5×22 มิลลิเมตร	2 ตัว	78.21	156.42	บริษัท มิซูมิ (ไทยแลนด์) จำกัด
รวมเป็นเงิน				69,188.19 บาท	

หมายเหตุ

- เป็นตารางการประเมินราคาอุปกรณ์และชิ้นส่วนหลัก ๆ สำหรับการสร้างระบบขับเคลื่อนในรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็ก 1 คัน หมายความว่า มีระบบขับเคลื่อน 2 ชุด ใน 1 รถจักร โดยที่จะใช้แบตเตอรี่ร่วมกัน
- การประเมินราคานี้ยังไม่รวมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และสายไฟที่ใช้ในการต่อวงจรไฟฟ้า
- ขนาดของลิ้ม : กว้าง×สูง×ยาว หน่วย มิลลิเมตร

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.

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

เมื่อได้ตารางวางแผนการจัดซื้ออุปกรณ์และชิ้นส่วนต่าง ๆ และแบบการต่อวงจรแล้วนั้น ทางคณะผู้จัดทำได้มีการไปศึกษาดูงานเพื่อเรียนรู้ขั้นตอนการประกอบและการต่อวงจรไฟฟ้าจาก อุปกรณ์จริง ทำให้พบว่าในการประกอบจริงนั้นจะพบปัญหาเฉพาะหน้าที่ต้องมีการวิเคราะห์และใช้ประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหา ซึ่งทางคณะผู้จัดทำจะรวบรวมปัญหาและการแก้ไขปัญหาไว้ใน บทนี้ รวมถึงข้อเสนอแนะในการสร้างแบบจำลองรถไฟฟ้าขนาดเล็กในอนาคตต่อไป

5.2 สรุปผล

1. สามารถใช้ความรู้เรื่องส่วนประกอบของระบบขับเคลื่อนรถจักรไฟฟ้าแบบ stand alone มาวางแผนการออกแบบระบบขับเคลื่อนในรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยมีส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ แบตเตอรี่ มอเตอร์ ชุดควบคุมมอเตอร์ เฟืองโซ่ตัวขับ เฟืองโซ่ตัวตาม โซ่ส่งกำลัง ประกับเพลาลิม และเพลาชับ
2. สามารถใช้ความรู้เรื่องทฤษฎีการเคลื่อนที่ของรถไฟมาคำนวณหาต้นกำลังของรถจักรไฟฟ้าที่มีน้ำหนักของรถจักรไฟฟ้า 400 กิโลกรัม และน้ำหนักของรถลากจูง 1800 กิโลกรัม เพื่อนำมาหาขนาดของมอเตอร์และความจุของแบตเตอรี่ที่ควรใช้และทำให้รถจักรไฟฟ้าเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องในเวลา 3 ชั่วโมง ตามที่กฎการแข่งขัน Railway Challenge 2020 ได้กำหนดไว้ ซึ่งจะได้ขนาดมอเตอร์เป็น 3.02 กิโลวัตต์ โดยจะแบ่งเป็นมอเตอร์ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัว และได้ความจุแบตเตอรี่เป็น 1.63 กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยแบ่งเป็น แบตเตอรี่ขนาด 48 โวลต์ 50 แอมแปร์ชั่วโมง จำนวน 1 ลูก และขนาด 24 โวลต์ 7.5 แอมแปร์ชั่วโมง จำนวน 1 ลูก รวมถึงสามารถหาขนาดของชิ้นส่วนอื่น ๆ ในระบบขับเคลื่อน ได้แก่ เฟืองโซ่ตัวขับจำนวน 12 ฟัน และเฟืองโซ่ตัวตามจำนวน 72 ฟัน ขนาด 06B-1 โซ่ส่งกำลังขนาด 06B-1 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นกรณีที่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

- 3.2 รถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กต้องสามารถวิ่งได้บนทางที่มีการไล่ระดับที่ความชัน 2 เปอร์เซ็นต์
- 3.3 รถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กต้องสามารถเคลื่อนที่ต่อเนื่องด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. สามารถนำชิ้นส่วนที่ได้จากการออกแบบมาวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาพฤติกรรมของชิ้นส่วนทำให้ทราบค่าความเค้น ความเครียด ลักษณะการเสียรูปและค่าความปลอดภัย (Safety Factor)
5. สามารถออกแบบวงจรไฟฟ้าของระบบขับเคลื่อนในรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็ก
6. สามารถนำผลการออกแบบที่ได้ไปสร้างแผนการจัดซื้ออุปกรณ์และชิ้นส่วนที่สามารถซื้อและนำมาประกอบเพื่อสร้างรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถนำไปเข้าร่วมการแข่งขัน Railway Challenge ในอนาคตได้

5.3 ปัญหาจากการศึกษา

1. ก่อนการออกแบบระบบขับเคลื่อน จำเป็นต้องคำนวณหาค่าแรงขับที่ล้อภายใต้เงื่อนไขของแรงเสียดทาน ($F \leq \mu N$) เพื่อตรวจสอบว่าการเคลื่อนที่ของล้อรถไฟบนรางจะไม่เกิดการลื่นไถล (Slip) ซึ่งในการออกแบบแรกทางคณะผู้จัดทำได้ออกแบบเป็นการขับเคลื่อนแบบ 1 เพลา และไม่ได้ทำการตรวจสอบในเงื่อนไขนี้ก่อน เมื่อได้ตรวจสอบในภายหลังทำให้พบว่าล้อเกิดการลื่นไถล จึงทำให้ต้องปรับเปลี่ยนการออกแบบระบบขับเคลื่อนเป็นการขับเคลื่อนแบบ 2 เพลา จึงจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขของแรงเสียดทานและไม่เกิดการลื่นไถล
2. เนื่องจากในขั้นตอนของการออกแบบรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็กจะมีการปรับเปลี่ยนอยู่เสมอ จึงทำให้เมื่อระบบหนึ่งเปลี่ยนแปลง ระบบอื่น ๆ ก็อาจจะต้องเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นจึงต้องมีการติดตามความคืบหน้าของการออกแบบในระบบอื่น ๆ เป็นระยะ
3. ในขั้นตอนการจัดหาอุปกรณ์และชิ้นส่วน จะพบว่าในบางครั้งอุปกรณ์และชิ้นส่วนที่มีคุณสมบัติทางกลเหมาะสมตามที่ได้คำนวณ แต่มีขนาดไม่เหมาะสมกับขนาดของโครงสร้างรถจักรไฟฟ้าขนาดเล็ก จึงต้องสั่งทำชิ้นส่วนที่มีขนาดเฉพาะ
4. ในเรื่องการติดตั้งสายไฟต้องวางแผนการติดตั้งสายไฟให้เหมาะสมกับตำแหน่งการวางระบบขับเคลื่อน หากความยาวของสายไฟตึงเกินไปจะทำให้เกิดความร้อนในสายไฟได้ง่าย หากหย่อนเกินไปก็จะทำให้พันกันและเกิดปัญหายุ่งยากหลังได้ ดังนั้นควรติดตั้งให้เหมาะสมและง่ายต่อการซ่อมแซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุใดแต่ต้องยื่นข้อเท็จจริงของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

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

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

5.4 ข้อเสนอแนะ

หลังจากที่ออกแบบระบบขับเคลื่อนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ควรนำระบบมาทำการทดสอบจริง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบ โดยทดสอบระบบในสถานการณ์ต่าง ๆ ที่แตกต่างกันออกไป จะทำให้คณะผู้จัดทำโครงการได้รับประสบการณ์การทำงานจริง การแก้ไขสถานการณ์เฉพาะหน้า และความรู้ทางด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น



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.

เอกสารอ้างอิง

- [1] รถไฟเล็ก“**Rotfailek.**” [Online]. Available: <https://www.xn--12c5b1aom5n0a1a.com/>. 2021
- [2] Institution of Mechanical Engineers. “**Railway Challenge 2020**” [Online]. Available: <https://www.imeche.org/events/challenges/railway-challenge>. 2021
- [3] Thailand plus. “**Thailand Electric Locomotive Design Contest 2020**” [Online]. Available: <https://www.thailandplus.tv/archives/259778>. 2021
- [4] Railway Challenge. “**the 2020 Railway Challenge winners.**” [Online]. Available: <https://www.facebook.com/RailwayChallenge/posts/1187372694948518>. 2021
- [5] mitsubishi-motors. “**Drive Battery i-MiEV.**” [Online]. Available: <https://www.mitsubishi-motors.co.uk/company/environmental/recycle>. 2020
- [6] ชีรพงษ์ หาญวิโรจน์กุล. “**เหล็กกล้าผสมต่ำ สำหรับงานเครื่องจักร.**” [Online]. Available: https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/254_8-12.pdf. 2554
- [7] iwis-international chain manufacturer & family company. “**Handbook for chain engineering.**” [Online]. Available: <https://www.iwis.com/as-handbook/iwis-handbook-for-chain-engineering-design-and-construction.pdf>. 2010
- [8] ดร.วรวิธ กอปรสิริพัฒน์. “**รู้จักแบตเตอรี่ ตอนที่ 4 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน.**” [Online]. Available: https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/298_63.pdf. 2558
- [9] AA Portable Power Corp. “**Lithium Iron Phosphate (LiFePo₄) Battery.**” [Online]. Available: <https://www.batteryspace.com/prod-specs/9055.pdf>. 2021
- [10] Golden Motor Technology Co, Ltd. “**BLDC Motor.**” [Online]. Available: <https://www.goldenmotor.com>. 2021

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.



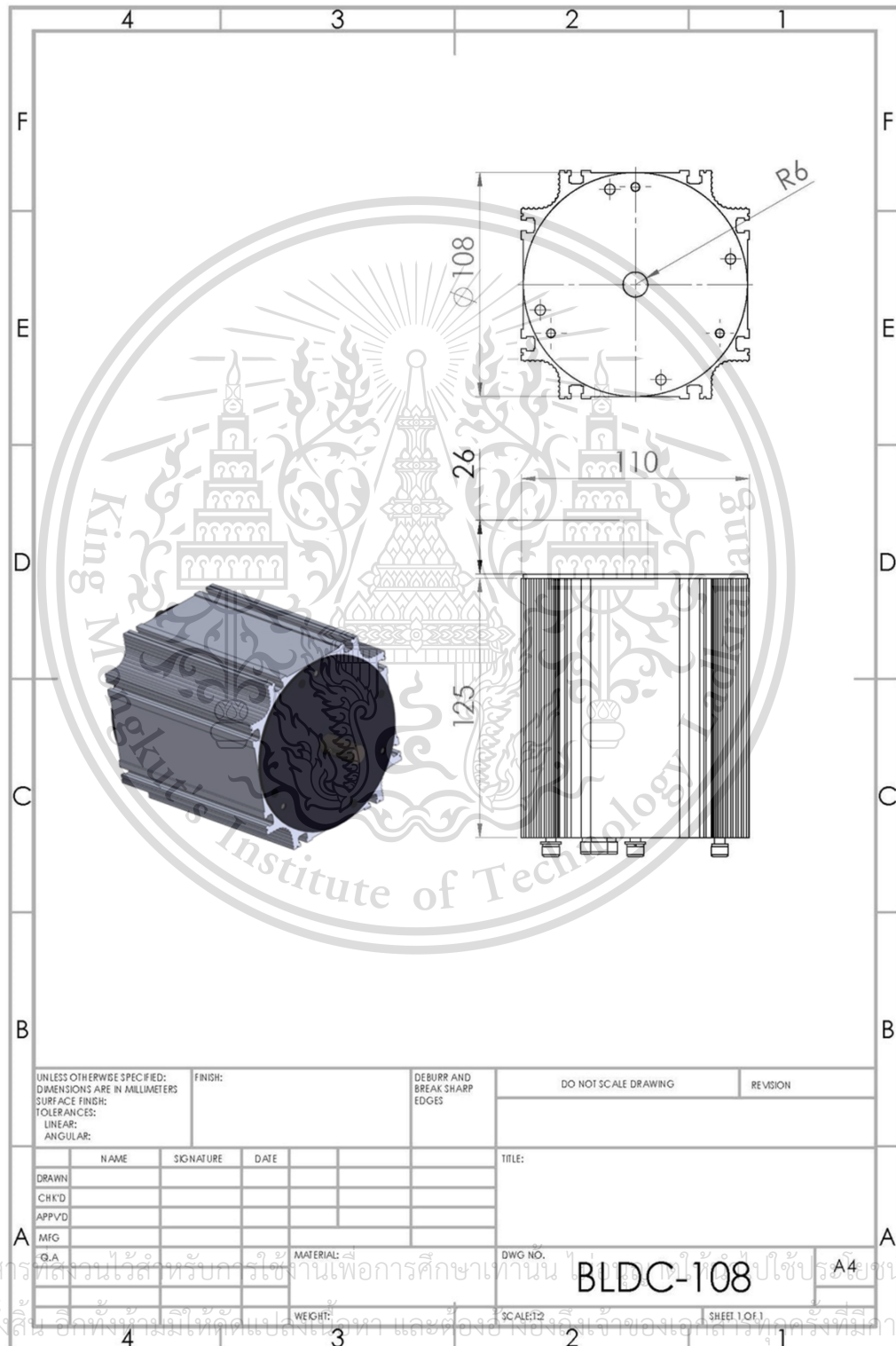
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
 แบบอุปกรณ์และชิ้นส่วนในระบบขับเคลื่อน

มอเตอร์ รุ่น BLDC-108



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: FINISH: DEBURR AND BREAK SHARP EDGES DO NOT SCALE DRAWING REVISION
 DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:

	NAME	SIGNATURE	DATE
DRAWN			
CHK'D			
APP'VD			
MFG			

TITLE: DWG NO. BLDC-108 A4 SCALE: 1:2 SHEET 1 OF 1

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.

เฟืองโซ่ตัวขับ จำนวน 12 ฟัน 06B-1

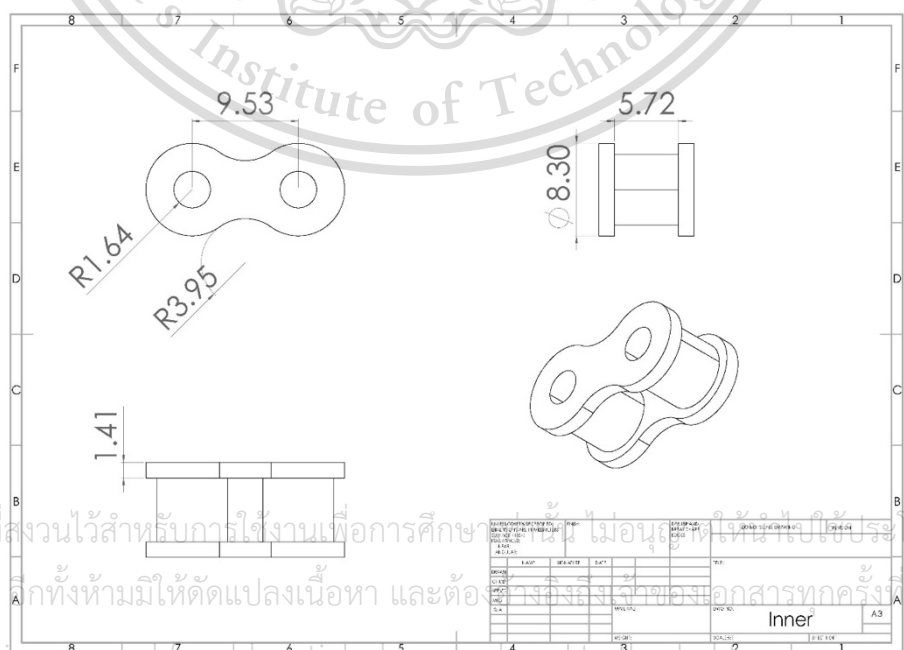
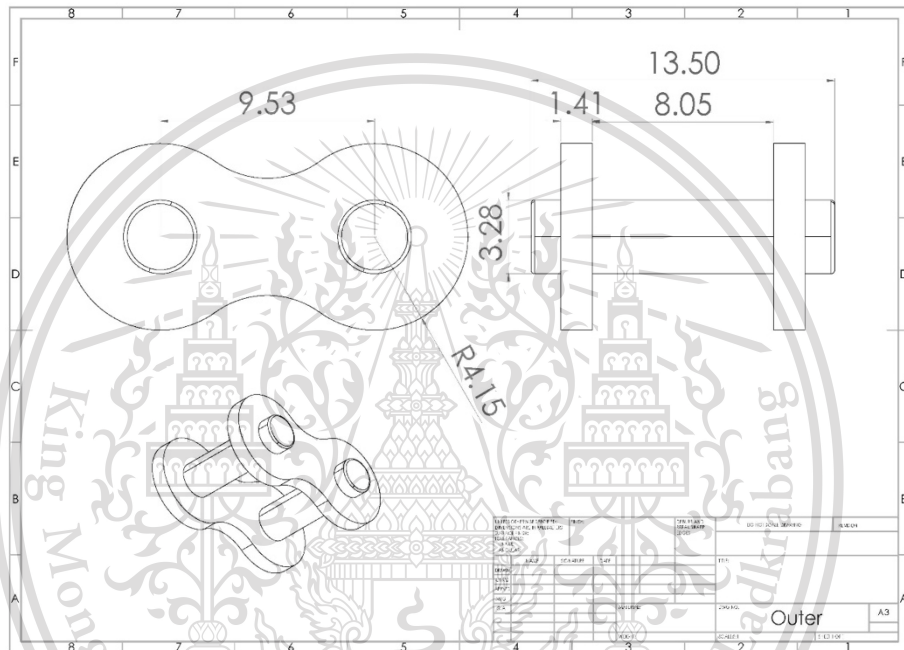
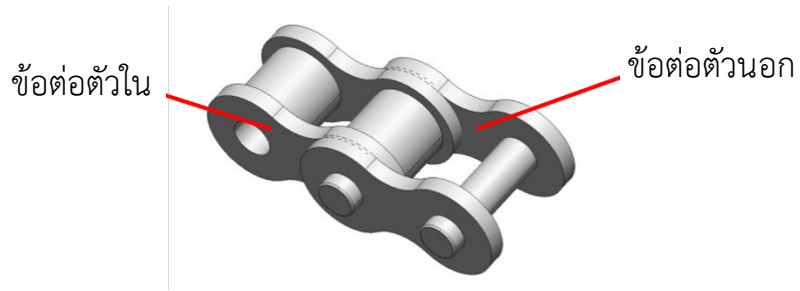


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

โซ่ส่งกำลัง ขนาด 06B-1 ข้อต่อตัวนอก (Outer link) และข้อต่อตัวใน (Inner link)



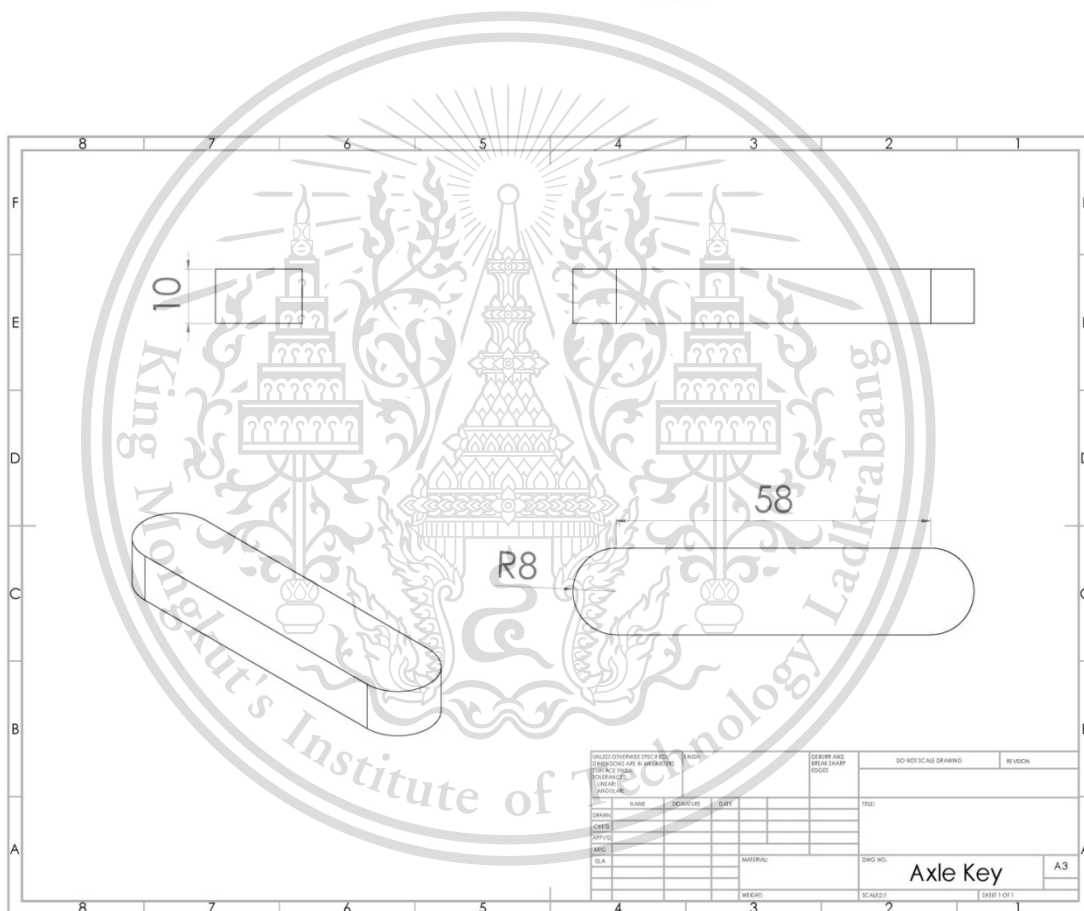
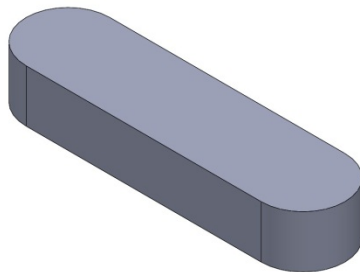
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้ผู้ใช้ปรับแก้ไขหรือนำไปใช้
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ลิ้มใหญ่

กว้าง×สูง×ยาว : 16×10×74 มิลลิเมตร



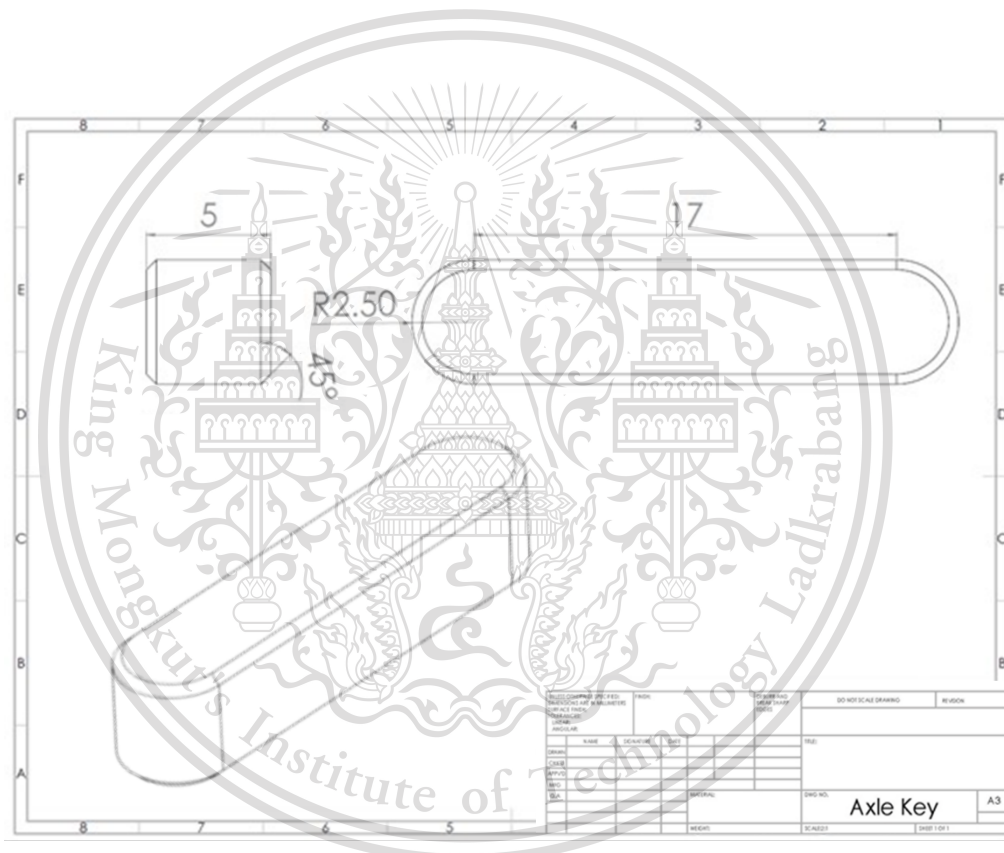
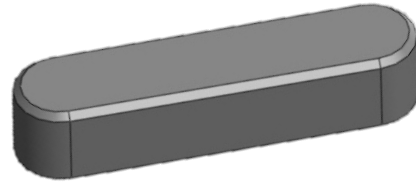
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ลิ้มเล็ก

กว้าง×สูง×ยาว : 5×5×22 มิลลิเมตร



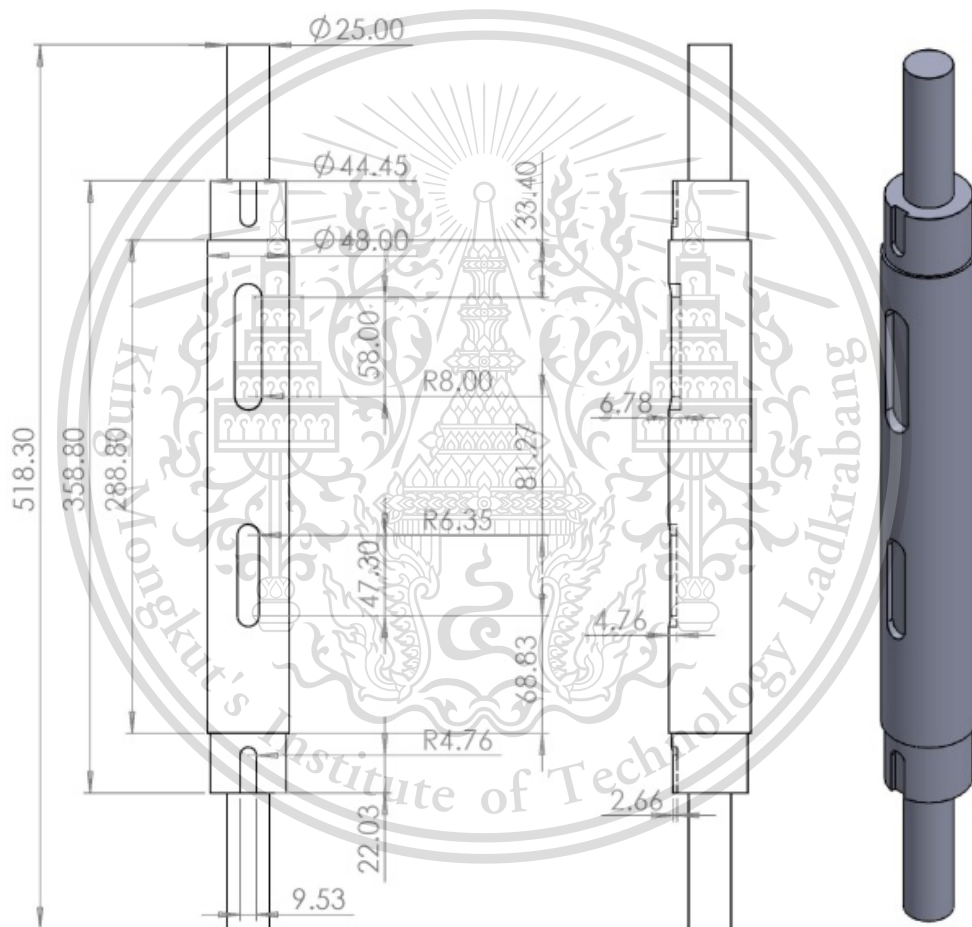
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เพลาชั๊ป

Title :	Low Body	Material :	S45C	Drawing NO. :	16	Unit :	Millimeter
Drawing :	Shaft	Weight :	-	Scale :	1 : 3	Sheet :	19

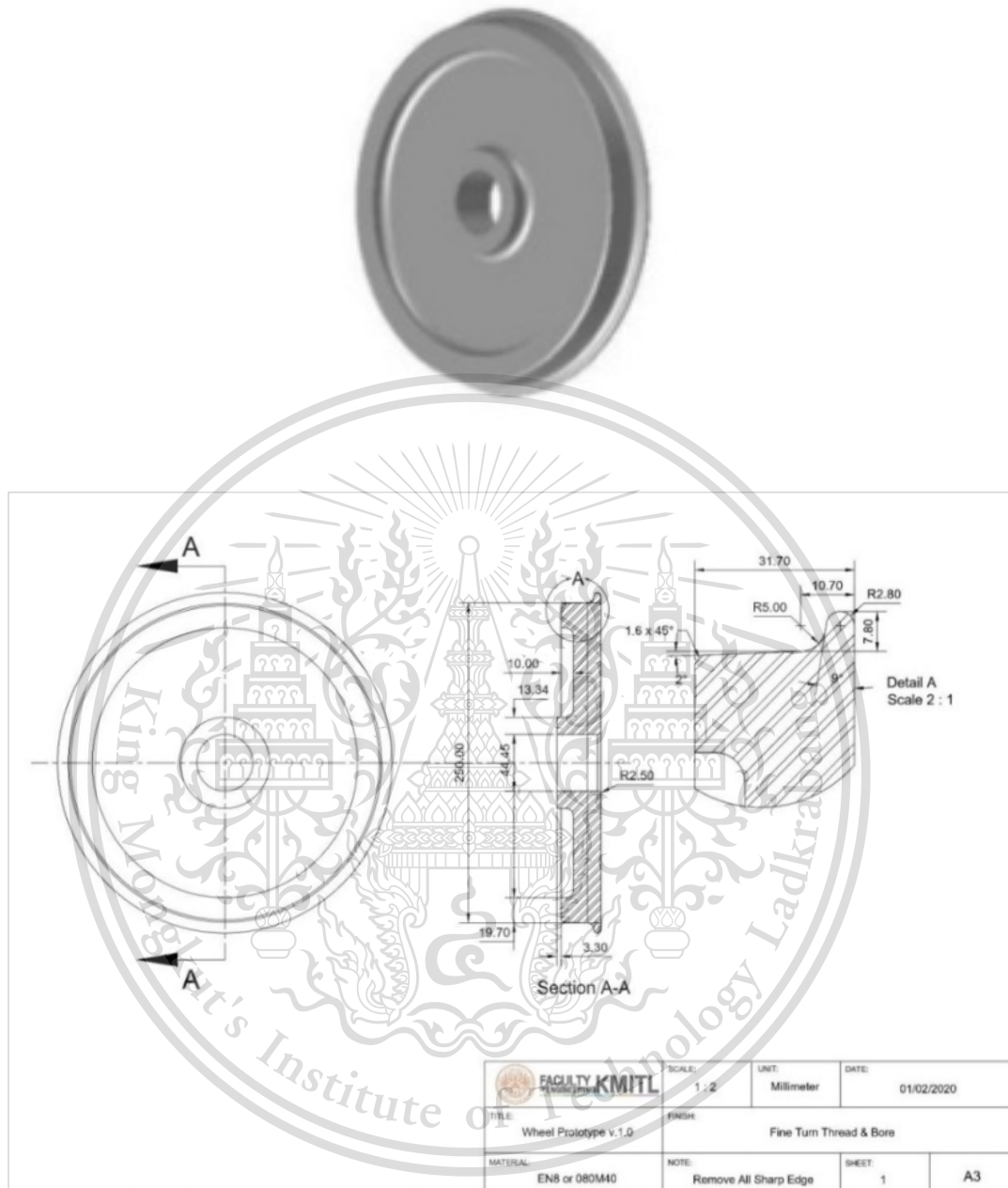


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

ล้อ



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.

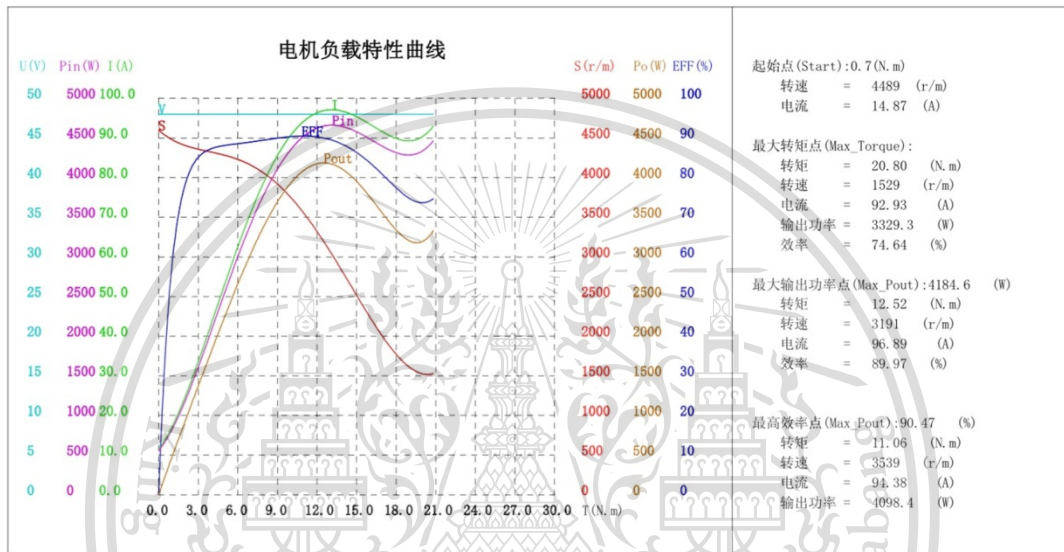
ภาคผนวก ข

ข.1 กราฟคุณลักษณะของมอเตอร์ BLDC

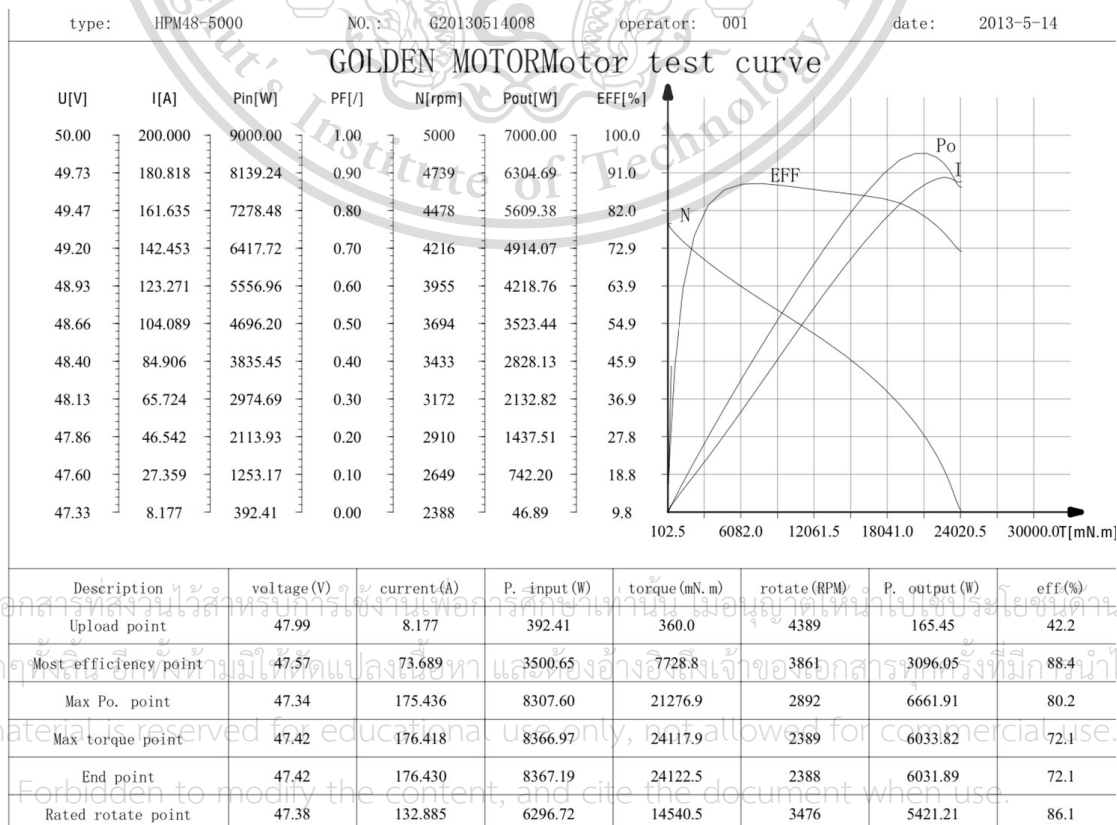
มอเตอร์ ขนาดกำลัง 3 กิโลวัตต์

Golden Motor电机测试报告

电机型号(Type): 3KW
 单位名称(Company): GOLDEN MOTOR
 测试人(Tester): 1
 测试日期(Test Date):2014-12-31
 额定电压(Voltage): 48(V)
 额定电流(Current Rated): 85(A)
 额定功率(Power Rated): 3000(W)
 额定转速(Speed Rated): 4000(r/m)

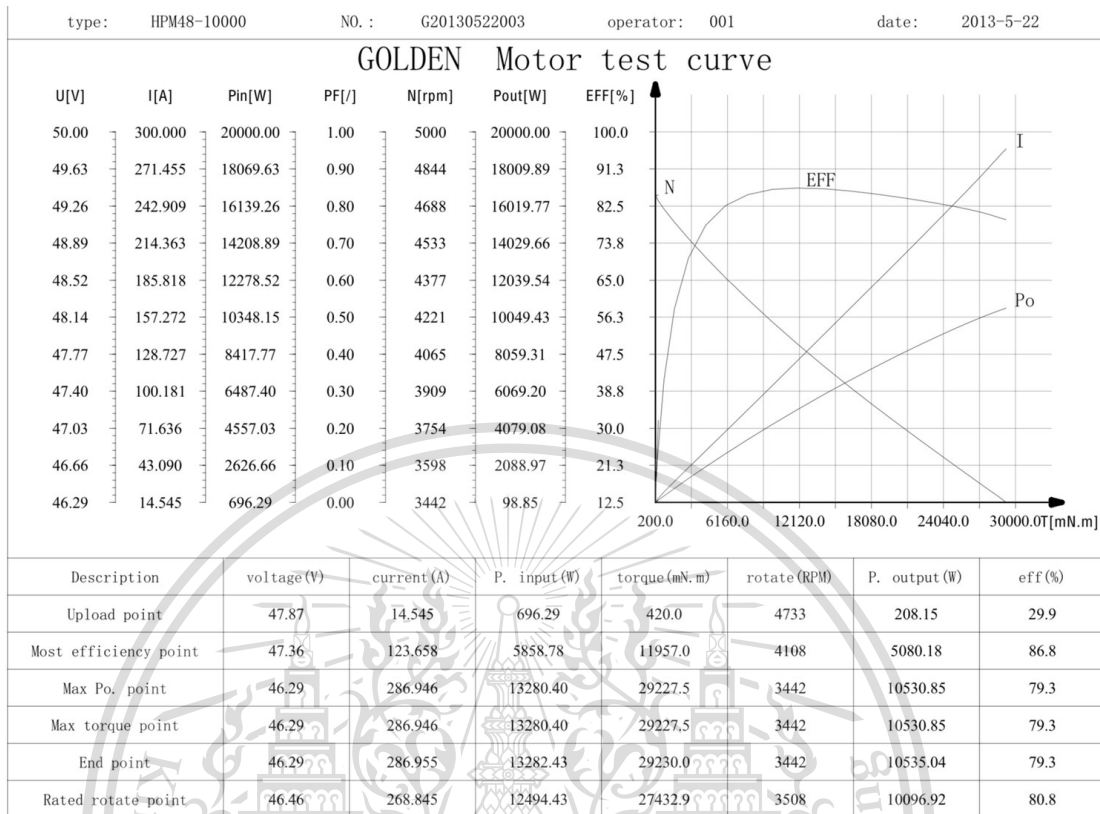


มอเตอร์ ขนาดกำลัง 5 กิโลวัตต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้
 This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
 Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

มอเตอร์ ขนาดกำลัง 10 กิโลวัตต์

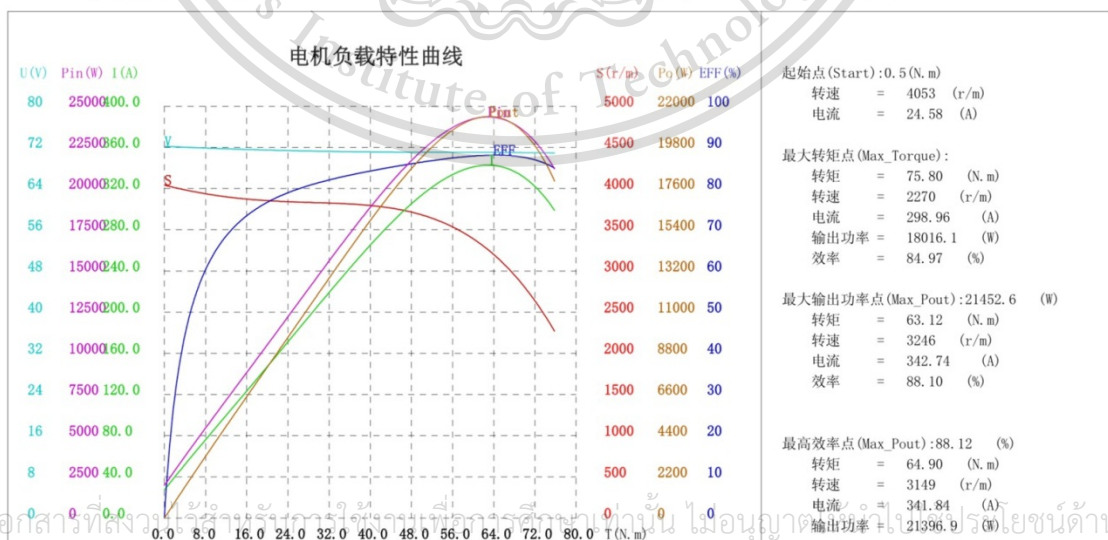


มอเตอร์ ขนาดกำลัง 20 กิโลวัตต์

Golden Motor电机测试报告

电机型号 (Type): 20KW
 单位名称 (Company): GOLDEN MOTOR
 测试人 (Tester): 1
 测试日期 (Test Date): 2015-07-22

额定电压 (Voltage): 72 (V)
 额定电流 (Current Rated): 330 (A)
 额定功率 (Power Rated): 20000 (W)
 额定转速 (Speed Rated): 3600 (r/m)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากบริษัทเอกชนด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

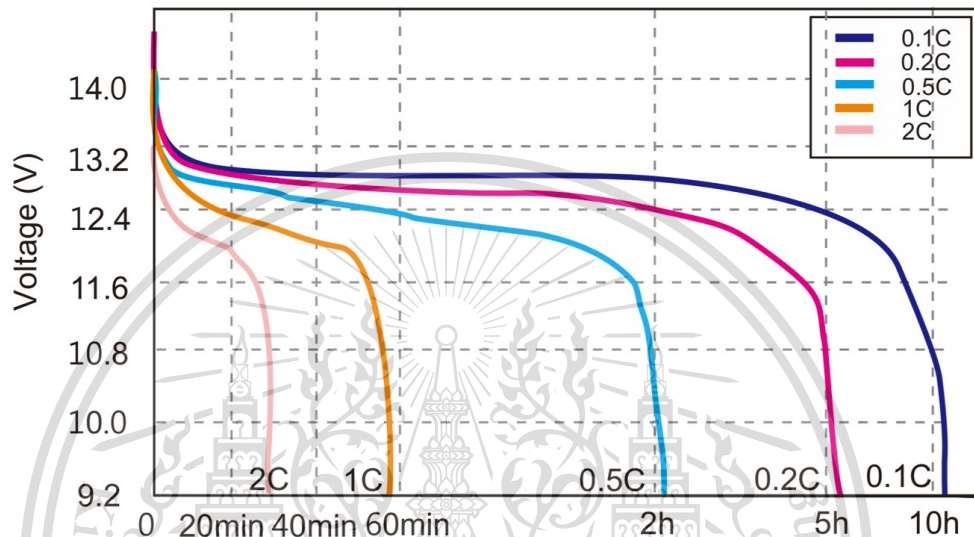
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข

ข.2 กราฟคุณลักษณะของแบตเตอรี่

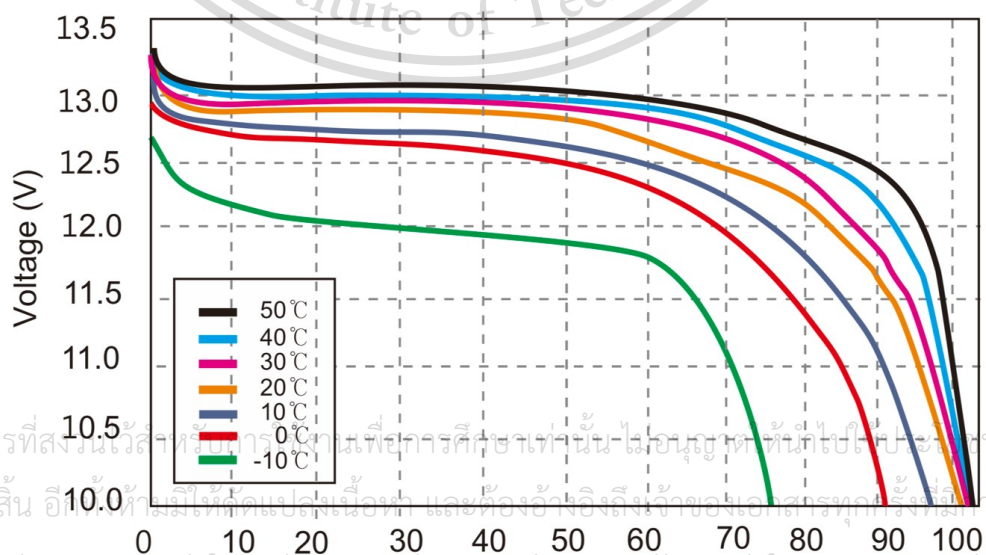
กราฟแสดงการคายประจุไฟฟ้าที่อัตราต่าง ๆ (Different Rate Discharge Curve)

Different Rate Discharge Curve @25°C



กราฟแสดงการคายประจุไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ (Different Temperature Discharge Curve)

Different Temperature Discharge Curve @0.5C

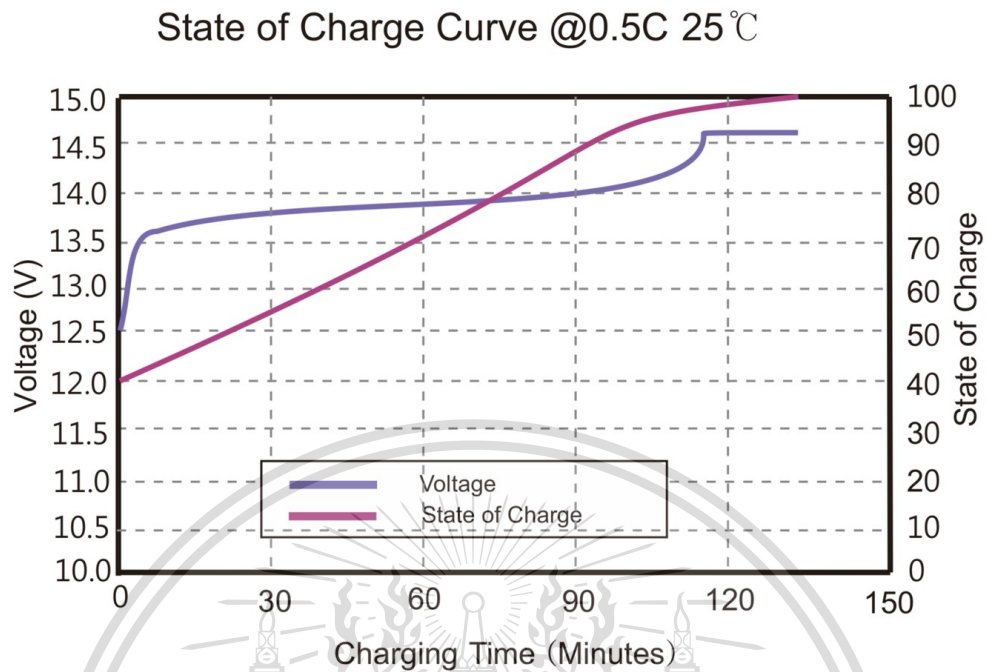


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการคุ้มครองทางปัญญาที่ออกโดยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีให้นำไปใช้

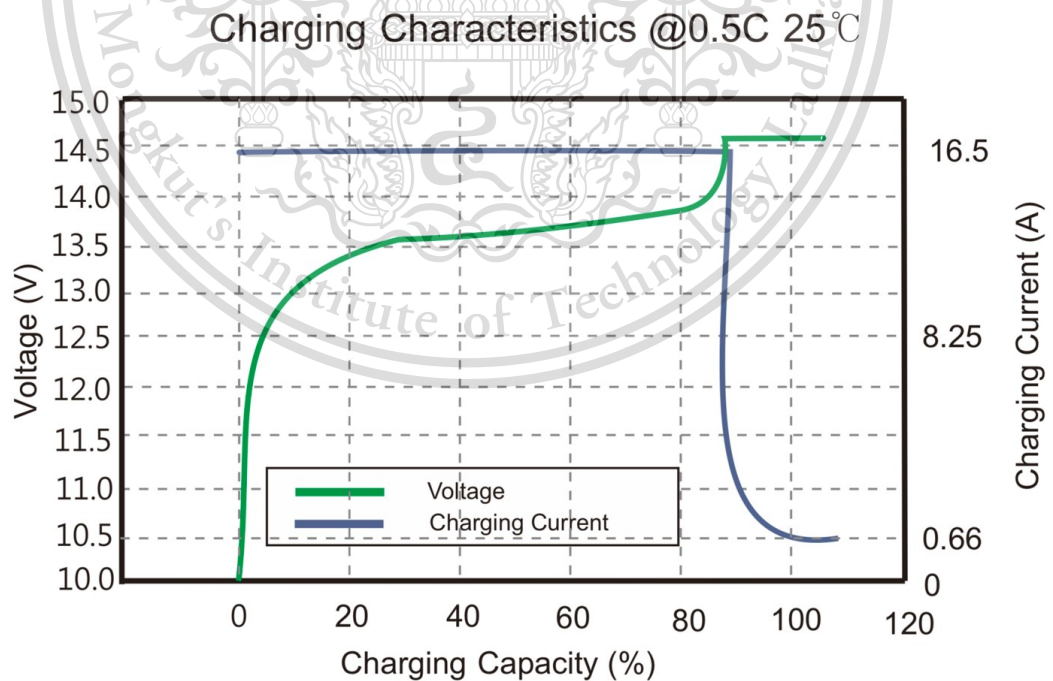
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

กราฟแสดงสถานะของการประจุไฟฟ้า (State of Charge Curve)



กราฟแสดงคุณลักษณะของการประจุไฟฟ้า (Charging Characteristics)

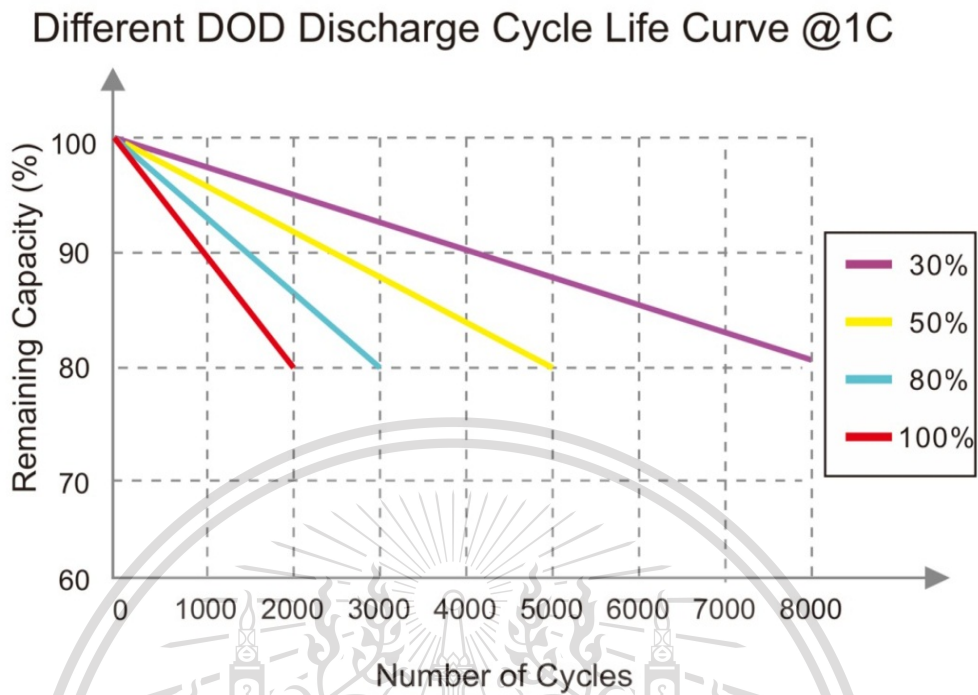


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

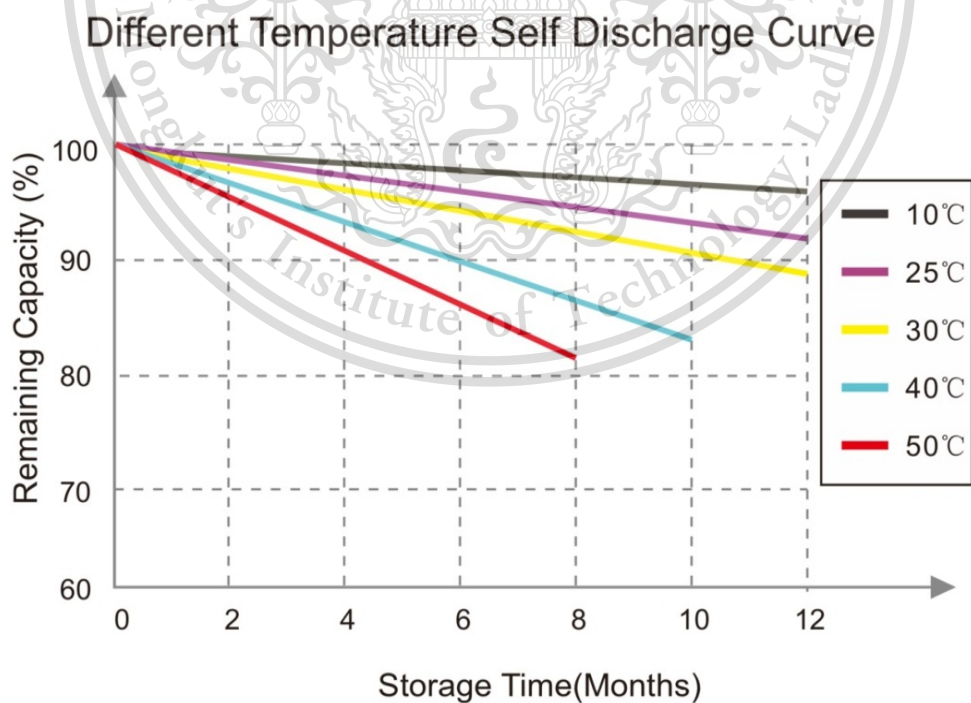
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

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

กราฟแสดงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ (Cycle Life Curve)



กราฟแสดงคุณลักษณะของการคายประจุโดยตัวเอง (Self-Discharge Characteristics Curve)



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.