



พัฒนารถสูตรนักศึกษาประเภทรถไฟฟ้า

DEVELOP A FORMULA STUDENT ELECTRIC VEHICAL

กฤษดา ไชยลำยา

Krisada Chailamya

จिरยุต คุระจอก

Jirayut Kurajok

ณัฐวุฒิ กาญจนามัย

Nutthawut Kanjanamai

ปวริศ หลุนบุชา

Pavarit Lunboocha

พงศกร บุญศิริกร

Pongsakorn Boonsirikorn

พงษ์ภิวัดน์ บุญศิริกร

Pongpiwat Boonsirikorn

สันติพงษ์ ลีสม

Santipong Leesom

สิงหนาท ภูแมนเขียน

Singhanat Poomankien

อภิสิทธิ์ นุ่มทอง

Apisit Numthong

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัฒนารถสูตรนักศึกษาประเภทรถไฟฟ้า

DEVELOP A FORMULA STUDENT ELECTRIC VEHICAL

กฤษดา ไชยลำยา

Krisada Chailamya

จिरยุทธ คุระจอก

Jirayut Kurajok

ณัฐวุฒิ กาญจนามัย

Nutthawut Kanjanamai

ปวริศ หลุนบุชา

Pavarit Lunboocha

พงศกร บุญศิริกร

Pongsakorn Boonsirikorn

พงษ์ภิวัดน์ บุญศิริกร

Pongpiwat Boonsirikorn

สันติพงษ์ ลีส้ม

Santipong Leesom

สิงหนาท ภูแมนเขียน

Singhanat Poomankien

อภิสิทธิ์ นุ่มทอง

Apisit Numthong

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOP A FORMULA STUDENT ELECTRIC VEHICAL

Krisada Chailamya

Jirayut Kurajok

Nutthawut Kanjanamai

Pavarit Lunboocha

Pongsakorn Boonsirikorn

Pongpiwat Boonsirikorn

Santipong Leesom

Singhanat Poomankien

Apisit Numthong



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN

MECHANICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG PRINCE OF CHUMPHON

CAMPUS 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON CAMPUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์


หัวข้อปริญญาานิพนธ์ พัฒนารถสูตรนักศึกษาประเภทรถไฟฟ้า
Project Title DEVELOP A FORMULA STUDENT ELECTRIC VEHICAL.
ชื่อนักศึกษา นายกฤษดา ไชยล้ำยา รหัสประจำตัว 60512036
นายจิริยุทธ คุระจอก รหัสประจำตัว 61512002
นายณัฐวุฒิ กาญจนามัย รหัสประจำตัว 61512006
นายปวีรศ หลนบุชา รหัสประจำตัว 60514032
นายพงศกร บุญศิริกร รหัสประจำตัว 60512075
นายพงษ์ภวิวัฒน์ บุญศิริกร รหัสประจำตัว 60512076
นายสันติพงษ์ ลีสม รหัสประจำตัว 60512104
นายสิงหนาท ภูแมนเขียน รหัสประจำตัว 60512105
นายอภิสิทธิ์ นุ่มทอง รหัสประจำตัว 61512023
ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์
ปริญญาานิพนธ์

| คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ | ลายมือชื่อ |
|--|---|
| ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล กรรมการสอบ |  |
| ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช กรรมการสอบ |  |
| ผศ.ดร.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา |  |

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 28 พฤษภาคม 2564 เวลา 9.00 - 12.00 น.

สถานที่สอบ ห้องสอบออนไลน์

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ พฤษภาคม 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | | |
|---------------------------|----------------------------------|------------|-----------------------|
| หัวข้อปริญญานิพนธ์ | พัฒนารถสูตรนักศึกษาประเภทรถไฟฟ้า | | |
| ชื่อนักศึกษา | นายภุชดา | ไชยลำยา | รหัสประจำตัว 60512036 |
| | นายจिरยุทธ | คุระจอก | รหัสประจำตัว 61512002 |
| | นายณัฐวุฒิ | กาญจนามัย | รหัสประจำตัว 61512006 |
| | นายปวริศ | หลุนบุชา | รหัสประจำตัว 60514032 |
| | นายพงศกร | บุญศิริกร | รหัสประจำตัว 60512075 |
| | นายพงษ์ภักดิ์ | บุญศิริกร | รหัสประจำตัว 60512076 |
| | นายสันติพงษ์ | ลีสม | รหัสประจำตัว 60512104 |
| | นายสิงหนาท | ภูแมนเขียน | รหัสประจำตัว 60512105 |
| | นายอภิสิทธิ์ | นุ่นทอง | รหัสประจำตัว 61512023 |
| ปริญญา | วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต | | |
| สาขาวิชา | วิศวกรรมเครื่องกล | | |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผศ.ดร.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ | | |
| ปริญญานิพนธ์ | | | |

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาทางด้านระบบช่วงล่างที่แปรผันต่อความเร็วของรถสูตรนักศึกษาขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้แข่งขันในปี 2562 โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้า Emrax 228 และใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 470 Vdc ควบคุมโดยกล่องควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ารุ่น Bamocar-PG-D3-RS-700 และใช้แบตเตอรี่ลิเธียม NMC ขนาด 362 โวลต์ การพัฒนาเริ่มจากการปรับแต่งค่า Parameter ของกล่องคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ในการวิ่งสนามสกิดแพด (Skidpad) และสนามการวิ่งทดสอบการทรงตัว (Autocross) ทำให้สามารถสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดจาก 77 แอมป์ เป็น 217 แอมป์ และสามารถเพิ่มความเร็วรอบจาก 5000 เป็น 5500 รอบต่อนาที ได้กำลังสูงสุด 112.8 แรงม้า แรงบิดสูงสุดจาก 295 นิวตันเมตร เป็น 205 นิวตันเมตร ส่วนสนามการวิ่งทางตรง (Acceleration) จะใช้ค่า Parameter ที่ได้กำลังสูงสุด 107.3 แรงม้า และมีแรงบิด 295 นิวตันเมตร ซึ่งมีแรงบิดที่สูงที่สุด และปรับตั้งค่าเช่นความเร็วในการเคลื่อนที่ของ Shock absorber การปรับมุม Toe มุม Camber และปรับความดันลมยางที่ 12 14 และ 16 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ส่งผลต่อการทรงตัวทำให้เกิดการถ่ายเทน้ำหนักที่สมบูรณ ซึ่งทำให้รถสามารถวิ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งทางตรงและทางโค้งโดยทำการวัดจากสนามที่ใช้แข่งขันจริง 3 สนาม และนำเวลาที่วิ่งได้มาเปรียบเทียบกับเวลาที่วิ่งในการแข่งขันในปี 2562 ผลที่ได้คือสนามการวิ่งทางตรง เวลาในการแข่งขันปี 2562 อยู่ที่ 5.734 วินาที และเวลาในปีนี้อยู่ที่ 4.12 วินาที ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 28.148 สนามการวิ่งสกิดแพด เวลาในการแข่งขันปี 2562 อยู่ที่ 25 วินาที และเวลาในปีนี้อยู่ที่ 23.84 วินาที ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 4.64 สนามการวิ่งทดสอบการทรงตัว เวลาที่ดีที่สุดคือ 68.15 วินาที

คำสำคัญ : รถสูตรนักศึกษา รถไฟฟ้า EMRAX 228 ความดันลมยาง Shock absorber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|-----------------------|--|----------------------------|
| Thesis | DEVELOP A FORMULA STUDENT ELECTRIC VEHICAL | |
| Student | Krisada Chailamya | Student ID 60512036 |
| | Jirayut Kurajok | Student ID 61512002 |
| | Nutthawut Kanjanamai | Student ID 61512006 |
| | Pavarit Lunboocha | Student ID 60514032 |
| | Pongsakorn Boonsirikorn | Student ID 60512075 |
| | Pongpiwat Boonsirikorn | Student ID 60512076 |
| | Santipong Leesom | Student ID 60512104 |
| | Singhanat Poomankien | Student ID 60512105 |
| | Apisit Numthong | Student ID 61512023 |
| Degree | Bachelor of Engineering | |
| Program | Mechanical Engineering | |
| Thesis Advisor | Asst.Prof.Dr. Panya Dangwilailux | |

ABSTRACT

The objective of this thesis was studied the suspension system of the electric vehicle for formula student. The vehicle was drove EMRAX 228 Motor control by Bamocar PG-D3-RS-700 controller and use NMC Lithium-ion battery 362 Vdc. We developed powertrain system with parameters of controller for Skidpad track and Autocross track. It increased peak current form 77 A to 217 A, increase the rpm from 5000 rpm to 5500 rpm, maximum power form 107.3 horsepower to 112.8 horsepower and maximum torque from 295 Nm to 205 Nm. Acceleration track We used a maximum power of 107.3 horsepower and maximum torque 295 Nm for most torque. We tuned a Shock compression Toe angle Camber angle and Tire pressure at 12 14 and 16. psi. Vehicle more acceleration and stability then 2019 vehicle. We tested in three track compare by time of TSEA auto challenge 2019 competitions. Acceleration track, 2019 car best time was 5.734 sec. This year best time was 4.12 sec (decrease 28.148 percent). Skidpad track 2019 car best time was 25 sec. This year best time was 23.84 sec (decrease 4.64 percent). Autocross track our best time as 68.15 sec.

Keywords : Formula Student Electrical Vehicle EMRAX 228 Tire pressure Shock absorber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปัญญา แดงวิไลลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์ ดร.มัลลิกา สุปงกฎ ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์ และอาจารย์อดิเรก สุริยะวงศ์ ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะและข้อมูลที่ทำให้เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินโครงการขอขอบคุณชมรมยานยนต์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้คำปรึกษาและเทคนิคต่างๆ ในการเก็บผลวิจัยรวมถึงสถานที่ในการทำงาน ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังวิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพรที่ให้การสนับสนุนสถานที่สำหรับการดำเนินงานการทำและทดลอง

ขอขอบคุณ บริษัท STK EV จำกัด ที่ให้สถานที่ในการประกอบแบตเตอรี่และการทดสอบมอเตอร์ พร้อมให้คำแนะนำ ขอขอบคุณสนาม ปทุมธานีสปีดเวย์ จังหวัดปทุมธานี ที่ให้เข้าสถานที่ในการเก็บผลการทดสอบ ขอขอบคุณ บริษัท HIOKI จำกัด ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์เครื่องมือในการวัดค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้า ขอขอบคุณ หจก. S.P.B. อู๋สีสามโคก Service ที่ให้สถานที่ในการซ่อมบำรุงและปรับแต่งระบบช่วงล่าง ขอขอบคุณ HIN SPEED ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์เครื่องมือในการปรับแต่งระบบช่วงล่างและให้คำปรึกษา และขอขอบคุณ นายศขวัญ ผาสุก นายสุรชัย กำฟูธ นายพาทิศ รุ่งฤกษ์วิวัฒน์ นายทินภัทร มีแก้ว นายโอภาส ภูศรี นายวรรณชาติ บุตดี นายโอภาส ภูศรี นายदानุรุจ พูลสวัสดิ์

ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่สนับสนุนทุนทรัพย์ตลอดมาในการศึกษาและการเป็นอยู่เพื่อนร่วมรุ่นทุกท่านและช่างเทคนิคสาขาวิศวกรรมเครื่องกลวิศวกรรมเกษตรในการช่วยเหลือการทำงานตลอดจนบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่คอยให้การสนับสนุนให้กำลังใจและคำปรึกษาเสมอมา

กฤษฎา ไชยลำยา

จิรยุทธ คุระจอก

ณัฐวุฒิ กาญจนามัย

ปวีศ หลุนบูชา

พงศกร บุญศิริกร

พงษ์ภวิวัฒน์ บุญศิริกร

สันติพงษ์ ลีสม

สิงหนาท ภูแมนเขียน

อภิสิทธิ์ นุ่มทอง

พฤษภาคม 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| ใบรับรองปริญญาานิพนธ์ | III |
| กิตติกรรมประกาศ | IV |
| สารบัญ | V |
| สารบัญตาราง | VI |
| สารบัญรูป | VII |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ | 1 |
| 1.3 ขอบเขตโครงการ | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนของการศึกษา | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1.1 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้า | 3 |
| 2.1.1.1 ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle HEV) | 3 |
| 2.1.1.2 ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด | 4 |
| 2.1.1.3 ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ | 5 |
| 2.1.1.4 ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง | 5 |
| 2.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้า | 6 |
| 2.1.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง | 7 |
| 2.1.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ | 11 |
| 2.1.3 Motor Emrax 228 | 18 |
| 2.1.4 กล้องควบคุม Controller | 20 |
| 2.1.5 Battery in Electric Vehicles แบตเตอรี่ในรถ EV | 21 |
| 2.1.5.1 Lead-Acid | 21 |
| 2.1.5.2 NiMH (Nickel-Metal Hydride) | 22 |
| 2.1.5.3 Ni-Cd (Nickel-Cadmium) | 22 |
| 2.1.5.4 Li-Ion (Lithium-Ion) — Conventional and Polymer | 22 |
| 2.1.6 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion Battery) | 23 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.1.6.1 ชาร์จไว | 28 |
| 2.1.6.2 การเผื่อต่อการชาร์จมากเกินไป(over charge)สูง | 28 |
| 2.1.6.3 สมดุลด้วยตัวเอง | 29 |
| 2.1.6.4 ระบบจัดการแบตเตอรี่ และแบตเตอรี่ชาร์จเจอร์ | 30 |
| 2.1.6.5 อายุการใช้งานที่ยืนยาว | 30 |
| 2.1.6.6 สมรรถนะอุณหภูมิสูง | 30 |
| 2.1.7 Battery Management System (BMS) | 30 |
| 2.1.7.1 การประเมิน (SoH) เพื่อการตรวจสอบสุขภาพเซลล์ | 31 |
| 2.1.7.2 การวัดเซ็นเซอร์ (SOF) | 31 |
| 2.1.7.3 การส่งข้อมูล | 32 |
| 2.1.8 Arduino | 32 |
| 2.1.8.1 ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ (Hardware) | 32 |
| 2.1.8.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino | 34 |
| 2.1.9 หลักการใช้ลมยางในสนามแข่ง | 34 |
| 2.1.9.1 แรงดันลมที่อุณหภูมิทำงาน | 36 |
| 2.1.9.2 ลมยางสำหรับการแข่ง Circuit Racing | 36 |
| 2.1.9.3 ลมยางสำหรับการแข่ง Autocross | 37 |
| 2.1.10 ชนิดของยาง | 37 |
| 2.1.10.1 ยางเรเดียล (Radial) | 37 |
| 2.1.10.2 ยางสลิค (Slick) | 38 |
| 2.1.11 แรงดันลมยาง | 39 |
| 2.1.11.1 แรงดันลมยางต่ำเกินไป | 39 |
| 2.1.11.2 แรงดันลมยางสูงเกินไป | 40 |
| 2.1.12 การกระจายน้ำหนัก (Weight Distribution) | 41 |
| 2.1.13 ตัวแปรพื้นฐานของระบบช่วงล่างและส่วนประกอบของล้อ | 44 |
| 2.1.13.1 มุมแคมเบอร์(Camber Angle) | 44 |
| 2.1.13.2 มุมแคสเตอร์(Caster Angle) | 44 |
| 2.1.13.3 มุมโทอิน(Toe-in Angle) | 45 |
| 2.1.13.4 มุมโทเอาท์(Toe-out Angle) | 56 |
| 2.1.13.5 Shock & Dampers | 46 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 49 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ | |
| 3.1 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือและโปรแกรมที่ใช้ทดลอง | 56 |
| 3.1.1 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ | 56 |
| 3.1.1.1 โครงรถ | 56 |
| 3.1.1.2 TRACK (Fr) ความกว้างด้านหน้า | 57 |
| 3.1.1.3 TRACK (Rr) ความกว้างด้านหลัง | 57 |
| 3.1.1.4 WHEELBASE | 57 |
| 3.1.1.5 ระบบช่วงล่าง | 58 |
| 3.1.2 วัสดุ อุปกรณ์ ระบบไฟฟ้า | 58 |
| 3.1.2.1 Motor Emrax 228 | 85 |
| 3.1.2.2 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion NMC Battery) | 60 |
| 3.1.2.3 กล่องควบคุม BAMOCAR-PG-D3-700 | 62 |
| 3.1.2.4 ISOMETER® iso-F1 IR155-3203 / -3204 | 64 |
| 3.1.2.5 BMS Control Unit | 65 |
| 3.1.2.6 BMS (Battery Management System) | 66 |
| 3.1.2.7 Cooling | 67 |
| 3.1.2.9 Arduino | 68 |
| 3.1.2.10 SHUTDOWN CIRCUIT | 70 |
| 3.1.2.11 HVD (HIGH VOLTAGE DISCONNECT) | 72 |
| 3.2 เครื่องมือเก็บผล | 73 |
| 3.2.1 Vbox | 73 |
| 3.2.2 BMS | 73 |
| 3.2.3 Dynotech | 74 |
| 3.2.4 เกจวัดลมยาง | 75 |
| 3.2.4 เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด (Infrared Thermometer) | 75 |
| 3.2.5 นาฬิกาจับเวลา (Timer) | 76 |
| 3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินโครงการ | 77 |
| 3.4. ขั้นตอนการเก็บผลการทดลอง | 78 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล | |
| 4.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง | 81 |
| 4.1.1 การวิ่งทางตรง (Acceleration) | 81 |
| 4.1.2 การวิ่งสกิดแพด (Skidpad) | 83 |
| 4.1.3 การวิ่งทดสอบการทรงตัว (Autocross) | 84 |
| บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ | |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 86 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 87 |
| บรรณานุกรม | 88 |
| เอกสารอ้างอิง | 89 |
| ภาคผนวก | 91 |
| ภาคผนวก ก ตารางแสดงค่าความเร็วในการทดสอบการวิ่งของรถไฟฟ้าสูตรนักศึกษาแบบทางตรง (Acceleration) สกิดแพด (Skid pad) และทดสอบการทรงตัว (Autocross) | 92 |
| ภาคผนวก ข ชิ้นส่วนต่างๆ ของระบบช่วงล่าง | 96 |
| ประวัติผู้เขียน | 114 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | | หน้า |
|----------|---|------|
| 2.1 | การเปรียบเทียบคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท | 16 |
| 2.2 | การเปรียบเทียบคุณลักษณะของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท | 17 |
| 2.3 | การเปรียบเทียบคุณสมบัติมอเตอร์ไฟฟ้าในการติดตั้งในแต่ละแบบ | 18 |
| 2.4 | แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่างๆ แบ่งตามวัสดุขั้วลบและขั้วบวก รวมถึงการใช้งาน | 24 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | | หน้า |
|--------|--|------|
| 2.1 | ตัวอย่างยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle, HEV) | 4 |
| 2.2 | ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV) | 4 |
| 2.3 | ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle, BEV) | 5 |
| 2.4 | ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV) | 6 |
| 2.5 | Performance curve-Torque-Speed | 7 |
| 2.6 | Brushed DC Motor Construction | 7 |
| 2.7 | Brushed DC Motor Main Components | 8 |
| 2.8 | Brushed DC Motor Rotor | 8 |
| 2.9 | Series wound motor | 9 |
| 2.10 | Construction of Brushless DC Motor | 9 |
| 2.11 | Construction of Stator Brushless DC Motor | 10 |
| 2.12 | Hall Sensors on BLDC | 10 |
| 2.13 | Brushless DC Motor | 10 |
| 2.14 | Construction of Induction Motor and Permanent Magnet AC Motor | 12 |
| 2.15 | Construction of IM and PMAC Stator | 12 |
| 2.16 | Interior Permanent Magnet IPM-Rotor | 13 |
| 2.17 | Construction of Induction Motor Rotor | 13 |
| 2.18 | Permanent Magnet และ Induction motor | 14 |
| 2.19 | Cross section IPM Motor-Induction Motor | 14 |
| 2.20 | Induction Motor | 14 |
| 2.21 | Permanent Magnet AC Motor | 15 |
| 2.22 | EMRAX 228 drawing | 19 |
| 2.23 | EMRAX 228 | 19 |
| 2.24 | Efficiency map | 19 |
| 2.25 | Graphs valid for EMRAX 228 High Voltage Combined Cooled (CC) | 20 |
| 2.26 | กล่องควบคุม Controller | 20 |
| 2.27 | แสดงการชาร์จสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า | 26 |
| 2.28 | แสดงอุปกรณ์ในการชาร์จสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า | 26 |
| 2.29 | ตัวอย่างการคำนวณการชาร์จด้วยไฟ AC | 27 |
| 2.30 | ตัวอย่างการคำนวณการชาร์จด้วยโดยใช้ตู้ EV Charger | 27 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | | หน้า |
|--------|---|------|
| 2.31 | แบตเตอรี่รีลิเทียมไอออนฟอสเฟต | 28 |
| 2.32 | ค่าความสัมพันธ์ระหว่างการชาร์จแบตเตอรี่กับปริมาณแบตเตอรี่และกำลังการชาร์จ แบตเตอรี่ | 29 |
| 2.33 | ค่าความสัมพันธ์ระหว่างการชาร์จแบตเตอรี่กับปริมาณแบตเตอรี่และกำลังการชาร์จ แบตเตอรี่ | 30 |
| 2.34 | ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสถานการณ์ชาร์จแบตเตอรี่กับแรงดันเซลล์ | 30 |
| 2.35 | Battery Management System (BMS) | 33 |
| 2.36 | Arduino UNO R3 | 33 |
| 2.37 | ส่วนประกอบของ Arduino UNO R3 | 34 |
| 2.38 | แรงที่กระทำต่อยาง | 36 |
| 2.39 | ส่วนประกอบหลักๆ ของยางเรเดียล | 37 |
| 2.40 | ยางเรเดียล สลิก | 38 |
| 2.41 | ยางสลิก (Slick) | 38 |
| 2.42 | ยางสลิก สำหรับการแข่งแตรีก | 39 |
| 2.43 | แรงดันลมยางต่ำเกินไป | 40 |
| 2.44 | แรงดันลมยางสูงเกินไป | 41 |
| 2.45 | ความแตกต่างของผิวหน้ายางที่ยึดเกาะถนน | 41 |
| 2.46 | โอเวอร์สตีร์ | 43 |
| 2.47 | อันเดอร์สตีร์ | 43 |
| 2.48 | รูปแบบของมุมแคมเบอร์ | 44 |
| 2.49 | รูปแบบของมุมแคสเตอร์ | 44 |
| 2.50 | รูปแบบของมุมโท | 45 |
| 2.51 | ความถี่ด้านหน้าสูงกว่าความถี่ด้านหลัง | 46 |
| 2.52 | ความถี่ด้านหลังสูงกว่าความถี่ด้านหน้า | 47 |
| 2.53 | ความถี่ด้านหน้าสูงกว่าความถี่ด้านหลัง 10% | 48 |
| 2.54 | ความถี่ด้านหลังสูงกว่าความถี่ด้านหน้า 10% | 48 |
| 3.1 | โครงสร้างหลักของรถอ้างอิงค่าตามกฎการแข่งขันตาม TSAE Auto Challenge 2020 Student Formula EV | 56 |
| 3.2 | ความกว้างด้านหน้า | 57 |
| 3.3 | ความกว้างด้านหลัง | 57 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | | หน้า |
|--------|--|------|
| 3.4 | ช่วงระยะห่างของล๊อคหน้าถึงล๊อคหลัง | 57 |
| 3.5 | ระบบช่วงล่างของรถ | 58 |
| 3.6 | Motor Emrax228 | 58 |
| 3.7 | ส่วนประกอบใน Motor Emrax228 | 58 |
| 3.8 | วงจรเชื่อมต่อ Resolver connection x7 | 59 |
| 3.9 | วงจรเชื่อมต่อ Resolver connection | 60 |
| 3.10 | แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion NMC Battery) | 60 |
| 3.11 | แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 1 ซีรี่ส์ 22 เซลล์ | 60 |
| 3.12 | แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 4 ซีรี่ส์ 88 เซลล์ | 61 |
| 3.13 | กล่องควบคุม BAMOCAR-PG-D3-700 | 62 |
| 3.14 | BAMOCAR-PG-D3-700 Connectors | 62 |
| 3.15 | วงจรการเชื่อมต่อของกล่องควบคุม BAMOCAR-PG-D3-700 | 63 |
| 3.16 | แผงวงจร ISOMETER® iso-F1 IR155-3203 / -3204 | 64 |
| 3.17 | วงจรการเชื่อมต่อของ ISOMETER® iso-F1 IR155-3203 / -3204 | 64 |
| 3.18 | BMS Control Unit | 65 |
| 3.19 | วงจรการเชื่อมต่อ BMS Control Unit | 65 |
| 3.20 | หมายเลขการเชื่อมต่อ BMS Control Unit | 65 |
| 3.21 | BMS (Battery Management System) | 66 |
| 3.22 | วงจรการเชื่อมต่อ BMS (Battery Management System) | 66 |
| 3.23 | ช่องการเชื่อมต่อ BMS และ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิไปยังแบตเตอรี่ | 67 |
| 3.24 | วงจรการทำงานของระบบระบายความร้อน | 67 |
| 3.25 | การเชื่อมต่อ Arduino | 68 |
| 3.26 | การเชื่อมต่อ Arduino กับอุปกรณ์แสดงค่าต่างๆ | 68 |
| 3.27 | โค้ดคำสั่งงาน Arduino | 69 |
| 3.28 | SHUTDOWN CIRCUIT | 70 |
| 3.29 | SHUTDOWN CIRCUIT (ตามกฎ FSAE 2020) | 71 |
| 3.30 | (HIGH VOLTAGE DISCONNECT) MOUSER EM30MSD | 72 |
| 3.31 | วงจรการเชื่อมต่อ (HIGH VOLTAGE DISCONNECT) | 72 |
| 3.32 | V box | 73 |
| 3.33 | BMS | 74 |

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | | หน้า |
|--------|--|------|
| 3.34 | Dynotech | 74 |
| 3.35 | เกจวัดลมยาง | 75 |
| 3.36 | เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด | 76 |
| 3.37 | นาฬิกาจับเวลา | 76 |
| 3.38 | การทดสอบด้วย Dyno Test | 77 |
| 3.39 | กราฟแสดงกำลังและทอร์กที่ความเร็วรอบต่างๆ | 78 |
| 3.40 | โปรแกรม NDrive2Software ของกล่องควบคุมแสดงถึงรอบของมอเตอร์และกระแสที่ใช้ | 78 |
| 3.41 | ติดตั้ง V box และเชื่อมต่อโทรศัพท์มือถือกับ BMS | 79 |
| 3.42 | ทำการวัดค่าลมยาง | 80 |
| 3.43 | ปรับค่า Rebound และค่า Compression ของโช้คอัพ | 80 |
| 3.44 | ทำการวัดอุณหภูมิพื้นสนาม | 80 |
| 4.1 | แสดงเวลาที่ใช้ต่อความดันลมยางและระดับค่าความเร็วในการยุบตัวของโช้คอัพของการวิ่งทางตรง (Acceleration) | 81 |
| 4.2 | กราฟเปรียบเทียบความเร็วและเวลาที่ใช้ในการวิ่งทางตรง (Acceleration) | 82 |
| 4.3 | แสดงเวลาที่ใช้ต่อความดันลมยางและระดับค่าความเร็วในการยุบตัวของโช้คอัพของการวิ่งสกีดแพด (Skidpad) | 83 |
| 4.4 | กราฟเปรียบเทียบความเร็วและเวลาที่ใช้ในการวิ่งสกีดแพด (Skidpad) | 84 |
| 4.5 | แสดงความสัมพันธ์ของเวลาและความดันลมยางต่อรอบของการวิ่งทดสอบการทรงตัว (Autocross) | 84 |

บทที่ 1

บทนำ

1. ที่มาและความสำคัญ

เนื่องด้วยในปัจจุบัน หลักสูตรวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์และชุมชนยานยนต์ ลาดกระบังชุมพร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร ได้มีการส่งเสริมเข้าร่วมการแข่งขันในรายการ TSAE Auto Challenge Student Formula การแข่งขันรายการนี้จะมีการแข่งขันทางด้านความคิดสร้างสรรค์ความสามารถในด้านต่างๆ ความรู้ ทางด้าน วิศวกรรม ทักษะการแข่งขันรถ ความพร้อมของทีม รวมถึงการแสดงศักยภาพด้านการทำงานเป็นทีมในด้าน ต่างๆ ที่จะถูกนำมาใช้ในการแข่งขันรถ Formula ที่เข้าร่วมการแข่งขันจัดทำโดยนักศึกษาทั้งการออกแบบและ จัดสร้างในรูปแบบเฉกเช่นเดียวกับรถแข่งซึ่งต้องอ้างอิงตามกฎการออกแบบของ TSAE Formula ที่กำหนด โดยสมาคมวิศวกรรมยานยนต์แห่งประเทศไทย ซึ่งรายการแข่งขันนี้จัดขึ้นมาแล้วกว่า 17 ปี มีทีมที่เข้าร่วม มากกว่า 36 ทีม โดยในปีที่แล้วทางทีมได้ส่งรถสูตรประเภทไฟฟ้า (Electric Vehicle) เข้าร่วมการแข่งขัน และได้รับรางวัลรองชนะเลิศอันดับที่ 1 ในประเภทของยานยนต์ไฟฟ้า ทางทีมประสบปัญหาในเรื่อง ความสามารถในการออกตัวในการแข่งขันประเภท Acceleration เป็นการวิ่งทางตรงระยะ 75 เมตร เนื่องจากล้อที่มีหน้าที่ส่งกำลังจากมอเตอร์เกิดอาการ Wheel Slip ส่งผลให้รถไม่สามารถวิ่งภายในเวลาที่ ต้องการ และปัญหาในเรื่องเข้าโค้งที่ความเร็วสูงรถเกิดอาการ Understeer และเมื่อออกจากโค้งด้วยอัตราเร่ง สูงรถเกิดอาการ Oversteer ได้ง่าย ทำให้เสียเวลาในการเข้าโค้งมาก

จากการศึกษาเพื่อหาสาเหตุของปัญหา พบว่าอาการ Wheel Slip ,Understeer และ Oversteer สามารถปรับปรุงได้โดยการปรับแต่งระบบช่วงล่างโดยมีตัวแปรคือ ลมยาง ความเร็วในการเคลื่อนที่ของ Shock Absorber อื่นๆ โดยคำนึงถึงความเหมาะสมในแต่ละรูปแบบการแข่งขัน

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 2.1 เพื่อศึกษาความแตกต่างของความเร็วในการเคลื่อนที่ของ Shock Absorber และ เพื่อศึกษา ความแตกต่างของลมยาง โดยวัดจากเวลาในการแข่งขัน Acceleration
- 2.2 เพื่อศึกษาความแตกต่างของความเร็วในการเคลื่อนที่ของ Shock Absorber และ เพื่อศึกษา ความแตกต่างของลมยาง โดยวัดจากเวลาในการแข่งขัน Skid Pad

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.ขอบเขตของโครงการงาน

3.1 เลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้า EMRAX 228 แรงดันไฟฟ้าขนาดกลาง 470 Vdc แรงดันไฟฟ้า กระแสตรง 100 กิโลวัตต์มีน้ำหนัก 12 กิโลกรัม

3.2 เลือกใช้คอนโทรลเลอร์ BAMOCAR-PG-D3-700 ในการควบคุมการจ่ายกระแสไฟของ แบตเตอรี่ และควบคุมความเร็วของมอเตอร์แบบ AC Induction Motor มีน้ำหนัก 8.5 กิโลกรัม

3.3 เลือกใช้แบตเตอรี่ ชนิด Lithium Ion NMC กำลังไฟฟ้าที่จ่ายทั้งหมดไม่เกิน 80 กิโลวัตต์

3.4 การออกแบบชิ้นส่วนต่างๆเป็นไปตามกฎการแข่งขัน TSAE Formula ที่กำหนดโดยสมาคมวิศวกรรมยานยนต์แห่งประเทศไทย

4.ผลที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 สามารถปรับแต่งช่วงล่างที่เหมาะสมเพื่อใช้เวลาในการวิ่ง Acceleration ที่ดีที่สุด

4.2 สามารถปรับแต่งช่วงล่างที่เหมาะสมเพื่อใช้เวลาในการวิ่ง Skid Pad ที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะอธิบายยานยนต์ไฟฟ้ารายละเอียดหลักการทำงานของแบตเตอรี่พร้อมกับมอเตอร์ในระบบไฟฟ้าวงจรของการเชื่อมต่อระบบต่างๆ ในรถรวมไปถึงข้อมูลชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการสร้างรถ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและสมรรถภาพของรถที่ดีตรงตามเป้าหมาย

2.1. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

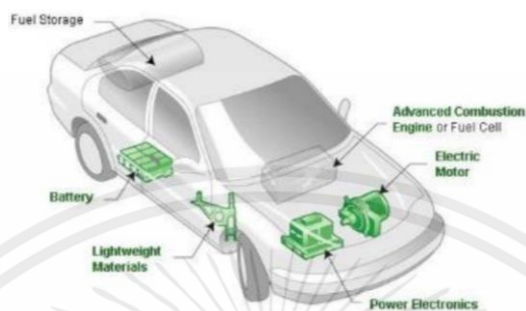
2.1.1 ประเภทของยานยนต์ไฟฟ้า

โดยพื้นฐานแล้วยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle) หมายถึงยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ยานยนต์ไฟฟ้าก็ได้หลายรูปแบบขึ้นกับว่าจะมีการผสมผสานการทำงานจากชุดขับเคลื่อนและหรือแหล่งเก็บกักพลังงานอื่นด้วยหรือไม่แหล่งเก็บกักพลังงานโดยพื้นฐานก็หมายถึง แบตเตอรี่แต่ก็สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์เก็บกักพลังงานไฟฟ้าอื่นก็ได้ เช่น Supercapacitor ในขณะที่การขับเคลื่อนล้อ โดยพื้นฐานก็จะขับเคลื่อนมาจากมอเตอร์ไฟฟ้าแต่อย่างเดียว แต่ก็สามารถ ผสมผสานแรงขับจากมอเตอร์และจากเครื่องยนต์ได้ หากจะจำแนก ง่ายๆแล้ว ยานยนต์ไฟฟ้าสามารถ แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท [10] ดังนี้

2.1.1.1 ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle HEV)

ประกอบด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายใน และมี มอเตอร์ไฟฟ้าเสริมกำลังขับเคลื่อนและสนับสนุนการเบรกแบบผันกลับ (Regenerative braking) เพื่อเก็บสำรอง พลังงานในรูปพลังงานไฟฟ้า จึงเป็นการผสมผสานระหว่างเครื่องยนต์ กับมอเตอร์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งทำให้ระบบขับเคลื่อนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่ายานยนต์ปกติ กำลังที่ผลิตจากเครื่องยนต์และ มอเตอร์ไฟฟ้า ทำให้อัตราเร่งของยานยนต์สูงกว่ายานยนต์ที่มีเครื่องยนต์ขนาดเดียวกัน โดยอาจใช้เครื่องยนต์ รูปแบบพิเศษ เช่นเครื่องยนต์แบบ Atkinson เพื่อเน้นประสิทธิภาพการทำงาน หรือใช้วัสดุ น้ำหนักเบา (Lightweight materials) ร่วมด้วยเพื่อลดความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงอีกต่อหนึ่ง ในปัจจุบันยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดในตลาดมีอยู่หลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่นรูปแบบ Full Hybrid ที่สามารถ มีกำลังขับทาง ไฟฟ้าได้ถึง

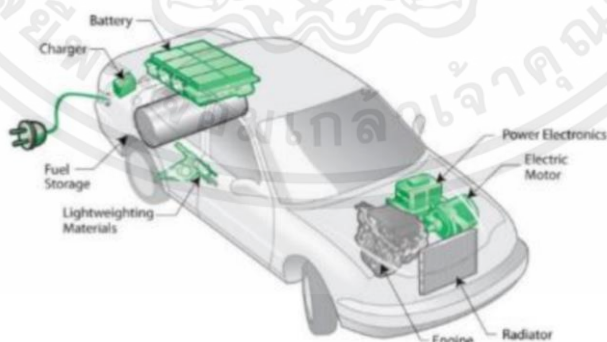
100 เปอร์เซ็นต์ในขณะที่รูปแบบ Mild Hybrid หมายถึงชุดส่งกำลังแบบไฮบริดที่มีสัดส่วน กำลัง ขับโดยเครื่องยนต์ ไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle HEV)

2.1.1.2 ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด

ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle PHEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่พัฒนาต่อมาจากยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริดโดยสามารถประจุพลังงานไฟฟ้าได้จาก แหล่งภายนอก (Plug-in) ทำให้ยานยนต์ สามารถใช้พลังงานพร้อมกันจาก 2 แหล่ง ดังรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ ว่ามีแบตเตอรี่ขนาดใหญ่ขึ้นจากแบบไฮบริดธรรมดา จึงสามารถวิ่งในระยะทางที่ใช้พลังงานจากไฟฟ้า โดยตรงเพิ่มขึ้นยานยนต์ไฟฟ้าแบบ PHEV มีการออกแบบอยู่ 2 รูปแบบ ได้แก่รูปแบบ Extended Range EV หรือ (E-REV) ที่เน้นการทำงานโดยใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก และรูปแบบ Blended PHEV ที่มีการ ทำงานผสมผสานระหว่างเครื่องยนต์และไฟฟ้า ดังนั้นยานยนต์ไฟฟ้าแบบ EREV สามารถวิ่งด้วยพลังงาน ไฟฟ้าอย่าง เดี่ยวมากกว่าแบบ Blended PHEV



รูปที่ 2.2 ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle PHEV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่

ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle BEV) เป็นยานยนต์ไฟฟ้า ที่มีเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้นกำลังให้ยานยนต์เคลื่อนที่ และใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่เท่านั้น ตามรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่ามีความ เรียบง่ายในการจัดวางอุปกรณ์มาก ไม่มีเครื่องยนต์อื่นในยานยนต์ ดังนั้นระยะทางการวิ่งของยานยนต์จึงขึ้นอยู่กับ การออกแบบขนาดและชนิดของแบตเตอรี่รวมทั้งน้ำหนักบรรทุก

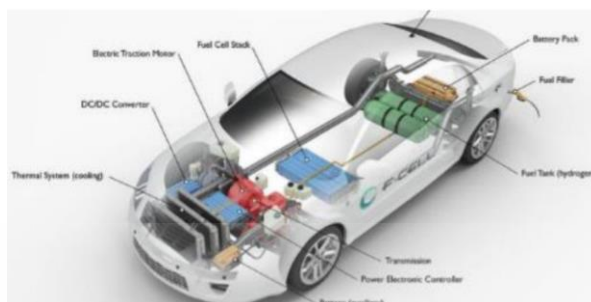
อย่างไรก็ดีในปัจจุบันบริษัทรถยนต์ได้มีการผลิต และจำหน่ายยานยนต์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ขึ้นใน ประเทศพัฒนาแล้ว เช่น ญี่ปุ่น ยุโรป และสหรัฐอเมริกาเป็นต้นทั้งนี้เพราะเทคโนโลยีของ แบตเตอรี่ที่ดีขึ้น และราคาที่ลดลงอย่างรวดเร็วทำให้เทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่มีความเป็นไปได้มากขึ้น



รูปที่ 2.3 ยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle BEV)

2.1.1.4 ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง

ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle FCEV) เป็นยานยนต์ ไฟฟ้าที่มีชุดเซลล์ เชื้อเพลิง (Fuel cell stack) ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยใช้แหล่งพลังงาน คือแก๊สไฮโดรเจนที่บรรจุ ในถัง (Fuel tank) ตามรูปที่ 4 โดยการขับเคลื่อนใช้ มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric traction motor) ยานยนต์ไฟฟ้า เซลล์เชื้อเพลิงมีข้อดีหลายๆ ประการข้อดี ที่สำคัญที่สุดคือ ประสิทธิภาพ ของเซลล์เชื้อเพลิงมีค่าสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และความจุพลังงานจำเพาะที่ สูงกว่าแบตเตอรี่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิงจึงเป็นเทคโนโลยีที่บริษัทรถยนต์เชื่อว่าเป็น คำตอบของพลังงานสะอาดในอนาคต อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดในเรื่องการผลิตไฮโดรเจนในปัจจุบันเมื่อ เทียบกับเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิมที่ยังมีราคาแพง และโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการขนถ่ายและการจัดเก็บ ไฮโดรเจนที่ต้องใช้ต้นทุนสูง

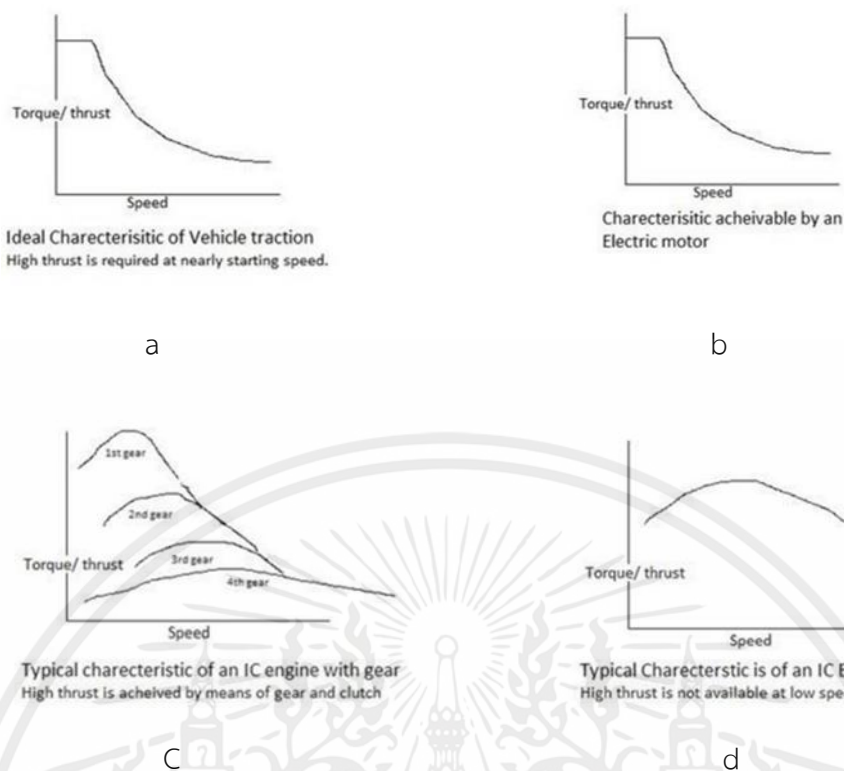


รูปที่ 2.4 ยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle FCEV)

ทางกลุ่มได้ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าแบบแบตเตอรี่เนื่องจากเป็นยานยนต์ไฟฟ้าที่มี เฉพาะมอเตอร์และใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่เท่านั้น มีความเรียบง่ายในการจัดวางอุปกรณ์ ไม่มี เครื่องยนต์ โดยระยะทางการวิ่งของยานยนต์ขึ้นอยู่กับ การออกแบบ ขนาดและชนิดของแบตเตอรี่ รวมทั้งน้ำหนักบรรทุก ซึ่งต้องทำการคำนวณและออกแบบตามหลักทฤษฎีต่อไป

2.1.2 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลสำหรับการนำมาใช้ ในระบบ ขับเคลื่อนรถยนต์ไฟฟ้า หน้าที่หลักของมอเตอร์ขับเคลื่อนคือการสร้างแรงบิดเพื่อใช้เป็นแรง ขับเคลื่อน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นเจนเนอเรเตอร์สำหรับการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าใน ขณะที่รถเบรก เหตุผลสำคัญในการใช้มอเตอร์ไฟฟ้ามาเป็นต้นกำหนดกำลังบนรถยนต์เนื่องจาก ความสามารถในการสร้าง แรงบิดต่อรอบการหมุนของมอเตอร์ที่ตอบสนองความต้องการใช้พลังงานของ รถยนต์ได้เป็นอย่างดี ดังที่ แสดงไว้ในรูปที่ (2.5 a) แสดงความต้องการการใช้พลังงานของรถยนต์ใน การเคลื่อนที่โดยในรอบความเร็วต่ำ มีความต้องการใช้แรงบิดที่สูง จากนั้นจะคงที่จนถึงรอบเครื่องหนึ่งแล้ว แรงบิดที่ต้องการจะลดลงเมื่อพิจารณา แรงบิดต่อรอบที่มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถสร้างได้ (รูปที่ 2.5 b) กับแรงบิดที่เครื่องยนต์สามารถให้ได้ในช่วงรอบ เดียวกัน (รูปที่ 2.5 c) พบว่ากราฟของมอเตอร์ ไฟฟ้าใกล้เคียงมากกว่า ระบบขับเคลื่อนด้วย เครื่องยนต์จะสามารถตอบสนองความต้องการได้ดีขึ้น เมื่อ ทำงานร่วมกับชุดเกียร์ (รูปที่ 2.5 d)

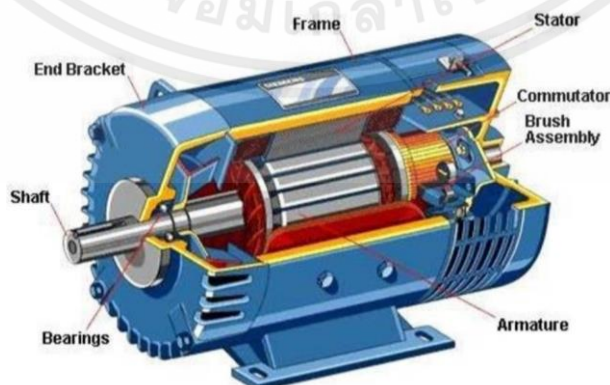


รูปที่ 2.5 Performance curve-Torque-Speed

มอเตอร์ไฟฟ้าที่ถูกนำมาใช้เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนในรถยนต์ไฟฟ้า โดยสามารถแบ่งเป็น กลุ่มใหญ่ๆ ได้ตามลักษณะกระแสไฟฟ้าที่ มอเตอร์รับมาเพื่อใช้ทำงาน ได้แก่ มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) และ มอเตอร์กระแสสลับ (AC Motor)

2.1.2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

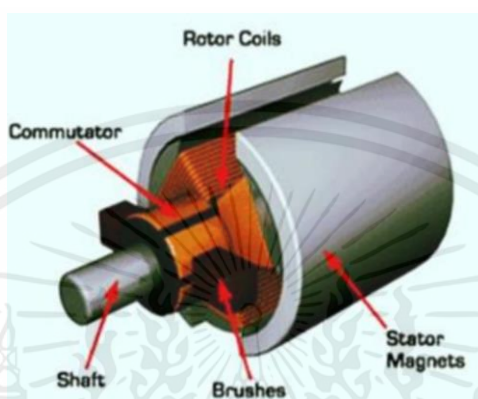
มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ที่นิยมนำมาใช้เป็น Traction motor ให้กับรถยนต์ไฟฟ้ามี 2 ประเภทได้แก่ Series wound motor และ Brushless DC Motor (BLDC) Series wound motor เป็นมอเตอร์แบบใช้แปรงถ่านชนิดหนึ่ง (DC brush motor) โดยโครงสร้าง พื้นฐานดังที่แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 Brushed DC Motor Construction

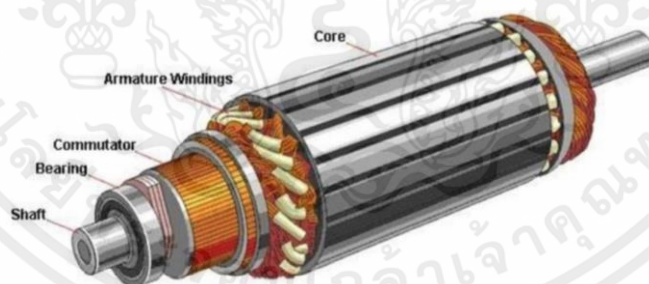
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบหลักของมอเตอร์ชนิดนี้จะประกอบไปด้วย stator rotor brushes และ commutator ดังที่แสดงใน รูปที่ 2.7 สเตเตอร์จะประกอบด้วย Frame เป็นโครงภายนอก ทำหน้าที่ยึด ส่วนประกอบอื่นๆ ให้แข็งแรง ทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนา้วนเป็นรูปทรงกระบอก สเตเตอร์จะสร้าง สนามแม่เหล็กรอบโรเตอร์ด้วยแม่เหล็กถาวร (Permanent magnet) หรือแกนแม่เหล็ก พันขดลวด (Electromagnetic Windings)



รูปที่ 2.7 Brushed DC Motor Main Components

โรเตอร์หรือเรียกว่า Armature (รูปที่ 2.8) สำหรับมอเตอร์ชนิดนี้ทำให้เกิด กำลังงานมีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) บนโรเตอร์ จะประกอบไปด้วย แกนเพลา (Shaft) แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding)



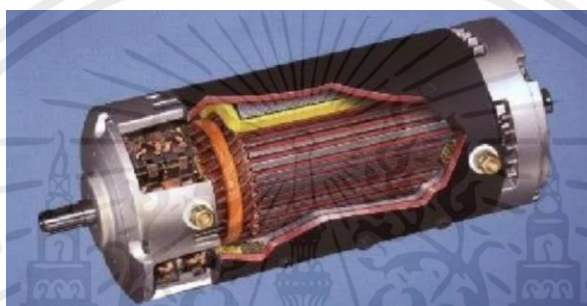
รูปที่ 2.8 Brushed DC Motor Rotor

แกนเพลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็ก อาร์มาเจอร์ (Armature Core) โดยแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบ ฉนวน (Laminated Sheet Steel) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่ ส่วน หัวซี่ของ คอมมิวเตเตอร์จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสายของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์จะอัดแน่น ติดกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

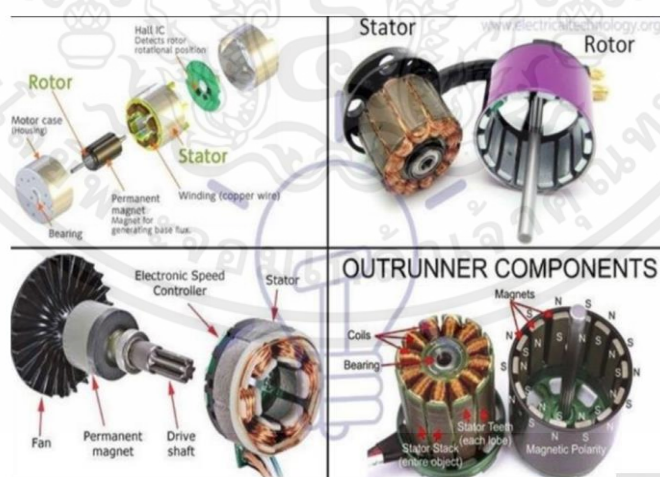
แกนเพลลาเป็นรูปกลมทรงกระบอกมีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) Brush ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าในช่องแปรงมีสปริงกดอยู่ด้านบนเพื่อให้ถ่านสัมผัสกับ ซีคอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา

มอเตอร์ชนิดนี้จะต้องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อกระตุ้นตัวเองให้มีการสับเปลี่ยนตำแหน่งด้วยตนเอง ซึ่งต้องใช้แปรงถ่าน (Brush) และ Permanent magnet หรือ Electromagnetic Windings การสับเปลี่ยนดังกล่าวจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของโรเตอร์มอเตอร์ประเภทนี้มีราคาถูก ควบคุมการทำงานได้ง่ายหาซื้อได้ไม่ยากเป็นที่นิยมสำหรับผู้ทำ การดัดแปลงรถยนต์ธรรมดาให้เป็น รถยนต์ไฟฟ้า ข้อดีคือการต้องหมั่นบำรุงรักษา commutator carbon brushes ตัวอย่างของ Series wound motor แสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 Series wound motor

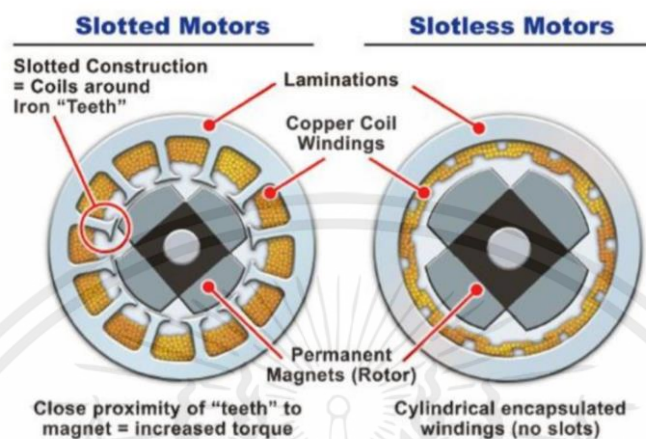
Brushless DC Motor (BLDC) ในมอเตอร์ชนิดนี้ได้มีการนำตัวสับเปลี่ยนกลไกแบบสวิทช์ อิเล็กทรอนิกส์ภายนอกมาใช้แทนที่สวิทช์หมุนงัดใช้ Commutator และ Brush ทำให้สามารถควบคุมความเร็วของการหมุนได้แม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 2.10 Construction of Brushless DC Motor

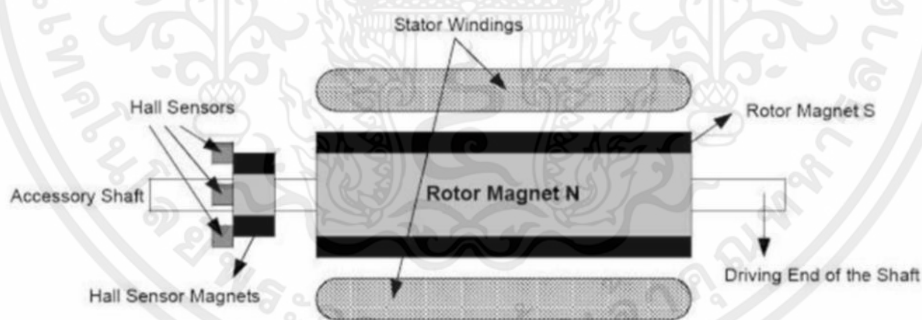
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างหลักของ BLDC แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 โดยภายในสเตเตอร์ อาจจะ ประกอบไปด้วย Stator Teeth ที่ทำจาก Stacked Steel Laminations และพันด้วยขดลวด (Windings) หรือเป็น Slotless Motor ที่ลดการใช้ Teeth ดังที่แสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 Construction of Stator Brushless DC Motor

โรเตอร์จะประกอบไปด้วย Permanent magnet ทรงกระบอกที่ติดตั้งบน shaft การจัดวางตำแหน่งของขั้วแม่เหล็กเหนือใต้มีความแตกต่างกันไปตามชนิดและขนาดของมอเตอร์ที่ต้องการผลิตนอกจากนั้น BLDC ยังจำเป็นต้องมี Hall sensor เพื่อทำหน้าที่บอกตำแหน่งของโรเตอร์ โดยส่วนใหญ่ BLDC จะประกอบไปด้วย Hall Sensor 3 ชุด ดังที่แสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 Hall Sensors on BLDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเด่นของ BLDC คือเสียงเงียบประสิทธิภาพในการทำงานสูง มีขนาดเล็ก ตัวมอเตอร์สามารถทำเป็นโครงสร้างปิดทำให้ไม่มีฝุ่นละอองผ่านเข้าไปได้ ทำให้สามารถควบคุมการทำงาน ได้แม่นยำตลอดอายุการใช้งาน ข้อด้อยคือราคาที่สูงและควบคุมได้ยากในช่วงที่กำลังของมอเตอร์สูงมาก มอเตอร์ไฟฟ้าประเภทนี้ นิยมใช้ในระบบขับเคลื่อนแบบไฮบริด รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างการติดตั้ง BLDC บนเพลารถยนต์



รูปที่ 2.13 Brushless DC Motor

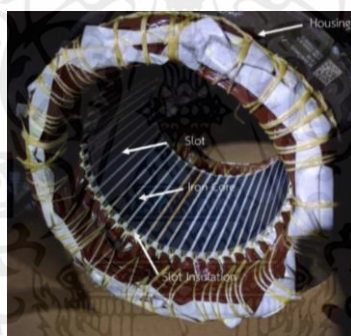
2.1.2.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor) ที่ในปัจจุบันนิยมนำมาใช้เป็น Traction motor ได้แก่ Induction motor (IM) ซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในประเภท Asynchronous motor ตัวอย่างเช่น และ Permanent magnet AC motor (PMAC) ซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าในกลุ่ม Synchronous motor ในมอเตอร์ประเภทมอเตอร์เหนี่ยวนำ (Induction Motor-LM) พลังงานจะถูก โอนไปยังโรเตอร์โดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนการกระทำของหม้อแปลงไฟฟ้า มอเตอร์เหนี่ยวนำมีลักษณะคล้ายกับหม้อแปลงที่กำลังหมุน โดยที่สเตเตอร์เป็นขดปฐมภูมิและ โรเตอร์เป็นขดทุติย ภูมิ มอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร (Permanent Magnet AC Motor) ไม่ได้มีการสร้างสนามแม่เหล็กจาก ขดลวดบนสเตเตอร์ แต่จะอาศัยสนามแม่เหล็กที่เกิดจากแม่เหล็กถาวรแทนในการปฏิสัมพันธ์กับ สนามแม่เหล็กของโรเตอร์เพื่อสร้างแรงบิด มอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรมีโครงสร้าง พื้นฐานใกล้เคียงกัน ดังที่แสดงใน รูปที่ 2.14 ซึ่งแสดง Traction motor ที่ใช้ในรถยนต์ของบริษัท GM



รูปที่ 2.14 Construction of Induction Motor and Permanent Magnet AC Motor

สเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำและมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรประกอบด้วย Iron Core ซึ่งเกิดจากการประกอบแผ่นเหล็กขนาดบาง (Laminations) จำนวนมากเข้าด้วยกันและมีการพันขดลวดทองแดงเข้าไปตามช่อง Slot โครงสร้างของสเตเตอร์ของมอเตอร์ทั้งสองประเภทแสดง ในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 Construction of IM and PMAC Stator

ความแตกต่างทางโครงสร้างของมอเตอร์ทั้งสองชนิดอยู่ที่โรเตอร์โดยโรเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นแม่เหล็กถาวรประกอบขึ้นจาก Laminations จำนวนมากและมีการใส่ แม่เหล็กถาวรเข้าไปในโรเตอร์ ดังตัวอย่างที่แสดงใน รูปที่ 2.16 ซึ่งเป็นตัวอย่างโรเตอร์มอเตอร์ไฟฟ้า แม่เหล็กถาวรชนิดหนึ่ง ที่เรียกว่า Interior permanent magnet (IPM) ของบริษัท Ford Motor จากรูป จะเห็นได้ถึงลักษณะแบบแผนการเจาะช่องสำหรับใส่แม่เหล็กถาวร โดยแต่ละมอเตอร์จะมีแบบแผนการ เจาะช่องที่แตกต่างกันไป ซึ่งเป็นองค์ความรู้ในการออกแบบมอเตอร์ชนิดนี้



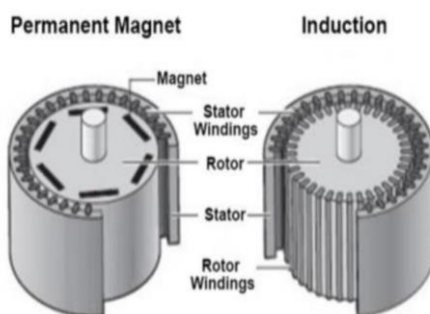
รูปที่ 2.16 Interior Permanent Magnet IPM-Rotor

โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ Squirrel Cage Rotor และ Wound Rotor ในส่วนของโครงสร้างพื้นฐานของโรเตอร์นั้นทั้งสองประเภทคล้ายคลึงกัน โดยประกอบขึ้นจาก Laminated Core ซึ่งทำมาจากเหล็กแผ่นบางและมีการเจาะช่องด้านนอกเพื่อวาง Bar โดยทั่วไป Bar จะทำด้วยทองแดงหรืออลูมิเนียมมีการพันขลวด (Winding) เข้าไปใน Bar ของโรเตอร์จำเป็นต้องให้ได้จำนวน Pole เท่ากับจำนวนของ Pole ในสเตเตอร์ในส่วนด้านท้ายของ Squirrel Cage Rotor จะประกอบด้วยแหวนโลหะโดยส่วนใหญ่มักจะทำจากทองแดง ด้านปลาย Shaft ของ Wound Rotor จะติดตั้ง Slip Rings เอาไว้สำหรับการติดตั้ง Resistors and Contactors เพิ่มเติม รูปที่ 2.17 แสดงโครงสร้างโรเตอร์ทั้งสองชนิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

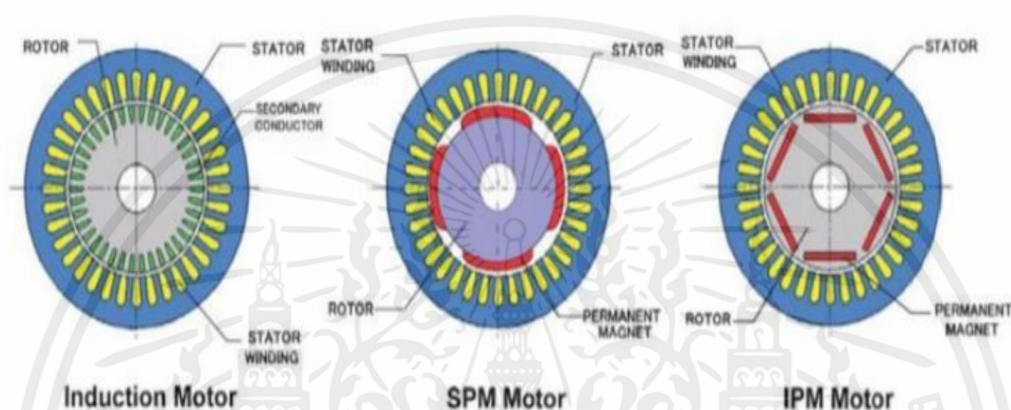


รูปที่ 2.17 Construction of Induction Motor Rotor

รูปที่ 2.18 และ รูปที่ 2.19 แสดงความแตกต่างทางโครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร และมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยเน้นการแสดงให้เห็นความแตกต่างของโครงสร้างโรเตอร์สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้าในแต่ละประเภทมีจำนวน Pole เท่ากัน

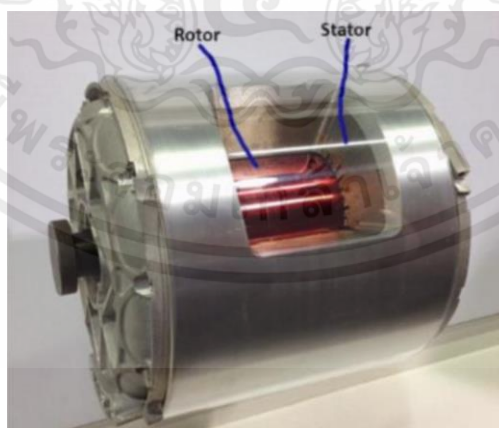


รูปที่ 2.18 Permanent Magnet และ Induction motor



รูปที่ 2.19 Cross section IPM Motor-Induction Motor

ในส่วนของการใช้งานนั้นมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำถือเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าที่นิยมใช้ มากที่สุดในภาคอุตสาหกรรม อันเนื่องมาจากความคงทนถาวรไม่เสียหายจำนวนชิ้นส่วนของมอเตอร์น้อย ทำให้ง่ายต่อการบำรุงรักษาในส่วนภาครถยนต์ไฟฟ้าได้มีบริษัทรถยนต์หลายบริษัทเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ประเภทนี้ เช่น Tesla รูปที่ 2.20 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้าแบบมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่นำไปใช้งานในรถยนต์ Tesla model S



รูปที่ 2.20 Induction Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเด่นของมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวร คือ ความสามารถในการให้แรงบิดในระดับสูงได้อย่างต่อเนื่องมีประสิทธิภาพสูงและมอเตอร์สามารถให้กำลังคงที่ในช่วงรอบมอเตอร์สูง ข้อด้อย คือ ราคาสูง เนื่องจากมีการใช้แร่ธาตุที่หายากสำหรับการผลิตชิ้นส่วน การบำรุงรักษายาก บริษัทรถยนต์ที่ เลือกใช้มอเตอร์ ประเภทนี้เช่น BMW Nissan รูปที่ 2.21 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้าแม่เหล็กถาวรที่ใช้ติดตั้งใน รถยนต์ไฟฟ้า BMW i3



รูปที่ 2.21 Permanent Magnet AC Motor

2.1.2.3 การเปรียบเทียบมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท

ในส่วนนี้เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติและการใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภทที่ได้ นำเสนอไปในบทก่อนหน้านี้ ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติที่สำคัญของ Direct current motor (DC motor) Permanent Magnet motor (PMAC) และ Induction motor (IM) ในด้านต้นทุนและการบำรุงรักษา แรงบิดที่มอเตอร์สามารถสร้างขึ้นมากได้ ความทนทานของมอเตอร์ การเพิ่มความเร็ว และ ประสิทธิภาพการทำงานโดยรวม

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท

| AC motor | | | |
|-------------------------|--|---|---|
| คุณสมบัติ | DC motor | Permanent magnet motor | Induction motor |
| ต้นทุนและการบำรุงรักษา | ราคาปานกลาง | ราคาแพงที่สุด | ราคาถูกและบำรุงรักษาง่าย |
| แรงบิด | ให้แรงบิดสูงและสัมพันธ์กับกระแสไฟที่จ่าย | ขึ้นกับความสามารถในการชิงโครนัส | สามารถควบคุมแรงบิดได้ทั้งการปรับแรงดันและความถี่หรือควบคุมแบบเวกเตอร์ |
| ความทนทาน | ความทนทานต่ำหรือสีกหรือสูง | ค่อนข้างทนทาน | ความทนทานสูง |
| การเพิ่มความเร็วมอเตอร์ | ขึ้นอยู่กับแรงดันแบตเตอรี่ | ขึ้นกับความถี่ของกระแสไฟฟ้าสลับที่ป้อนให้กับมอเตอร์ | ขยายช่วงรอบการทำงานได้กว้างที่สุด |
| ประสิทธิภาพการทำงาน | ประสิทธิภาพปานกลาง | ประสิทธิภาพดีที่สุด | ประสิทธิภาพปานกลาง |

นอกจากการคำนึงถึงคุณสมบัติของมอเตอร์ไฟฟ้าแล้ว ยังควรคำนึงถึงคุณสมบัติของชุดควบคุมมอเตอร์ด้วย ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า แต่ละประเภทและตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติมอเตอร์ไฟฟ้าในการติดตั้งในแต่ละแบบ

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของชุดควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าแต่ละประเภท

| Motor control unit | | | |
|------------------------|----------------------------------|---|---|
| คุณสมบัติ | DC motor | AC motor | |
| | | Permanent magnet motor | Induction motor |
| ต้นทุนและการบำรุงรักษา | ราคาถูกที่สุด | ราคาแพงที่สุด | ราคาค่อนข้างสูง |
| วิธีการควบคุมความเร็ว | ทำได้ง่ายโดยการควบคุมระดับแรงดัน | ควบคุมความถี่ของกระแสไฟฟ้าสลับ | สามารถควบคุมแรงบิดได้ทั้งการปรับแรงดันและความถี่หรือควบคุมแบบเวกเตอร์ |
| การสร้างแรงบิด | ใช้กระแสไฟสูง | สร้างแรงบิดได้สูง | ต้องใช้วงจรพิเศษ |
| ความเร็วสูงสุด | ขึ้นกับแรงดันแบตเตอรี่ | ขึ้นกับความถี่ของกระแสไฟฟ้าสลับที่ป้อนให้กับมอเตอร์ | ขยายช่วงรอบการทำงานได้กว้างที่สุด |

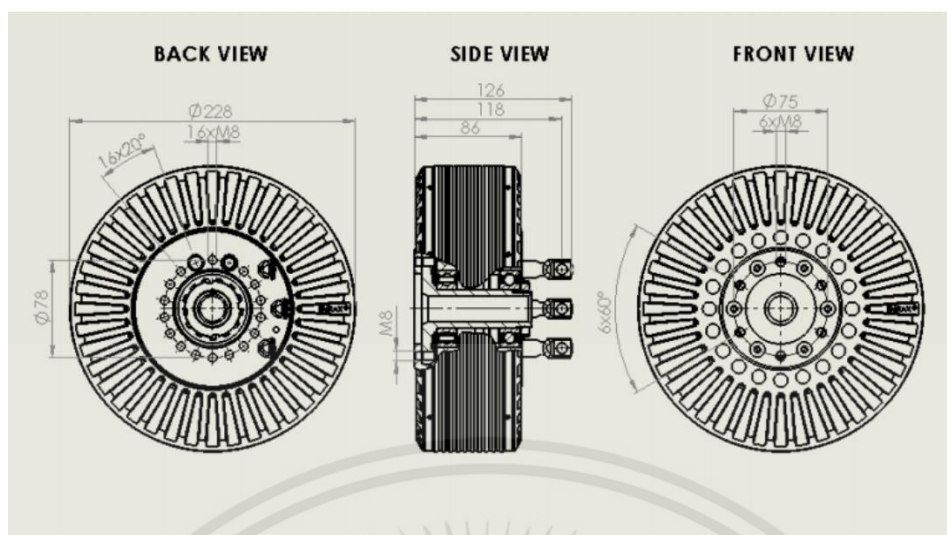
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติมอเตอร์ไฟฟ้าในการติดตั้งในแต่ละแบบ

| คุณสมบัติ | มอเตอร์ที่ล้อย | มอเตอร์ไกล้อย | มอเตอร์ที่เพลลา |
|----------------------------|---|---|--|
| ความยุ่งยากในการ ออกแบบ | มีความยุ่งยากสูงเพราะ ต้องออกแบบให้ มอเตอร์มีแรงบิด เพียงพอสำหรับการ ขับเคลื่อน | สามารถใช้เฟืองเพื่อทด กำลังต่อไปยังล้อได้ | ง่ายที่สุดเพราะใช้ระบบ ส่งกำลังเดิม |
| ประสิทธิภาพ | สูงที่สุดเพราะไม่มีความ สูญเสียทางกล | มีความสูญเสียทางกล บ้าง | มีการสูญเสียในระบบ ส่งกำลัง (เพลลา เฟือง) |
| ความทนทาน | เป็นการเพิ่ม unsprung load ทำให้ไม่เหมาะ ถนนไม่เรียบ | ทนทานกว่ามอเตอร์ที่ล้อย การควบคุมความเร็วของ มอเตอร์ในแต่ละล้อยทำ ได้ยาก | ทนทานเท่ากับระบบ ปัจจุบัน |

2.1.3 Motor Emrax 228

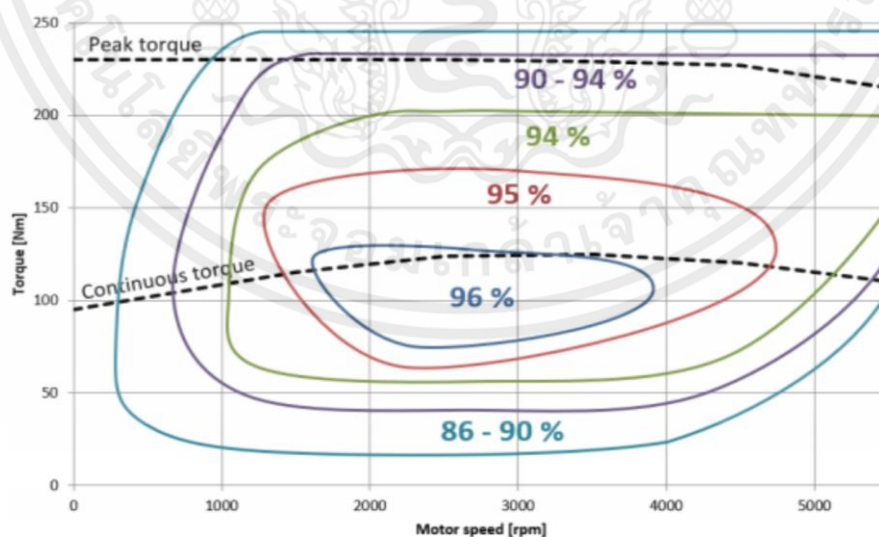
มอเตอร์ที่ทางทีมเลือกใช้เป็นมอเตอร์ที่ใช้โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งทำมาจากเหล็กแผ่นบางและมีการเจาะช่องด้านนอกเพื่อวาง Bar โดยทั่วไป Bar จะทำด้วยทองแดงหรืออลูมิเนียม การพันขลวด (Winding) เข้าไปใน Bar ของโรเตอร์จำเป็นต้องให้ได้จำนวน Pole เท่ากับจำนวนของ Pole ในสเตเตอร์ในส่วนด้านท้ายของ Squirrel Cage Rotor จะประกอบด้วยแหวนโลหะโดยส่วนใหญ่ มักจะทำจากทองแดง (รูปที่ 2.22 และรูปที่ 2.23) มอเตอร์ตัวนี้มีขนาดที่เบากว่า Motor โรงงานทั่วไป เพราะทางบริษัทนั้นได้จัดทำขึ้นมาเพื่อใช้ในการแข่งขันโดยเฉพาะ ซึ่งมีน้ำหนักที่เบาเพียงแค่ 12 กิโลกรัม และสามารถสร้างแรงมาได้ถึง 134 แรงม้า แรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 500 Vdc (แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง) ในพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 6500 รอบต่อนาทีทอร์คสูงสุดอยู่ที่ 109 กิโลวัตต์ แรงบิดสูงสุดอยู่ที่ 230 นิวตันเมตร ดังค่าที่แสดงตารางรูปที่ 2.24 และรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.22 EMRAX 228 drawing



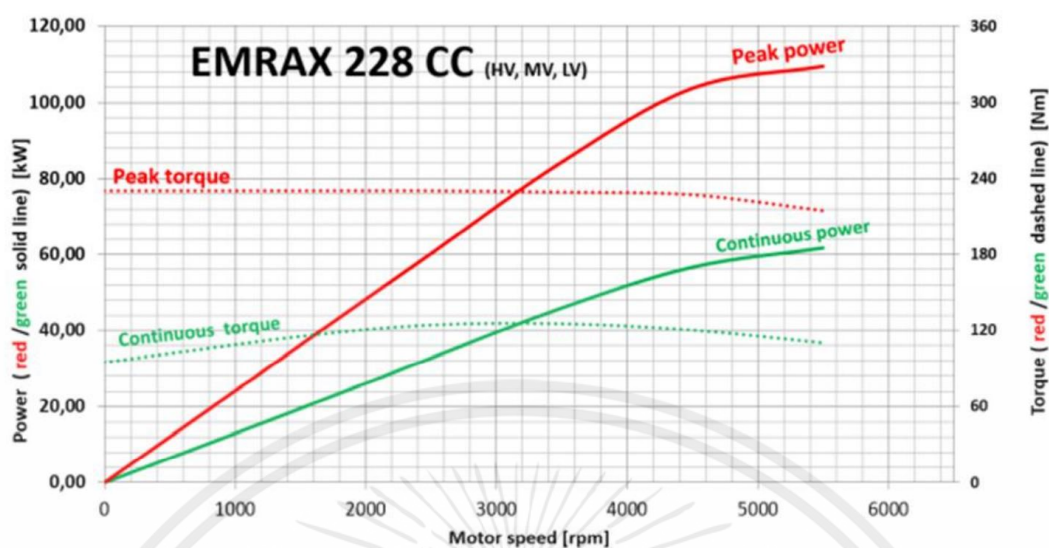
รูปที่ 2.23 EMRAX 228



รูปที่ 2.24 Efficiency map

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Graphs valid for EMRAX 228:



รูปที่ 2.25 Graphs valid for EMRAX 228 High Voltage Combined Cooled (CC)

2.1.4 กล่องควบคุม Controller

Controller หรือ กล่องควบคุม คือ อุปกรณ์สำคัญอย่างหนึ่งของรถไฟฟ้า ที่ทำหน้าที่ควบคุม และสั่งการระบบพลังงานจากแบตเตอรี่ เพื่อควบคุมการทำงานส่งจ่ายไฟฟ้าให้รถไฟฟ้าขับเคลื่อนได้อย่างราบรื่นเปรียบเสมือน “สมองกล” ของรถไฟฟ้า หรือกล่อง ECU ในรถยนต์ที่เราคุ้นเคยกันดี เพราะ Controller คือ ศูนย์กลางของการทำงานที่สามารถปรับแต่งค่าต่าง ๆ ของ Controller เพื่อให้สามารถส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งานรถไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ได้รวมถึงควบคุมความเร็วสูงสุดของรถไฟฟ้า การบริหารกำลังไฟฟ้าในแต่ละสถานการณ์ของการขับขี่ เรียกว่า Controller มีความสำคัญอย่างมากต่อระบบการทำงานของรถไฟฟ้าเลยทีเดียว



รูปที่ 2.26 กล่องควบคุม Controller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Controller หรือตัวควบคุมมอเตอร์ ในการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับความสามารถในการประมวลผลและเชื่อมต่อกับมอเตอร์ที่เลือกใช้ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้ว ตัวควบคุมมอเตอร์จะถูกปรับให้เหมาะกับมอเตอร์แต่ละชนิดของมอเตอร์ที่ได้เลือกใช้งานที่เลือกใช้ มอเตอร์ก็ต้องเลือกตัวควบคุมมอเตอร์ให้เข้ากันด้วยตัวควบคุมมอเตอร์ที่ทางทีมได้เลือกใช้ คือ UnitekD3 Bamocar D3-700-400RS Motorcontrol (รูปที่ 2.26) ผลิตโดย Unitek Industrie Elektronik ซึ่งเป็น ตัวควบคุมที่เหมาะสมกับ Motor Emrax 228 ตัวควบคุม Bamocar เป็นตัวควบคุมที่มีน้ำหนักเบา เพียงแค่ 8.5 กิโลกรัม และมีการระบายความร้อนด้วยของเหลวเนื่องจากมีกำลังไฟฟ้าที่สูงและมีความร้อนสะสม จำเป็นต้องมีระบบระบายความร้อน

2.1.5 Battery in Electric Vehicles แบตเตอรี่ในรถ EV

ในการขับเคลื่อนไฟฟ้า หรือ Electric Vehicle (EV) นั้น แหล่งจ่ายพลังงาน หรือ Energy Source ต้องมีคุณสมบัติที่เกื้อหนุนการขับเคลื่อนหลักๆ เช่น เก็บพลังงานได้เยอะ (High Energy Density) เพื่อที่จะได้ระยะทางเยอะ และจ่ายพลังงานได้รวดเร็ว (High Power Density) เพื่อที่จะเร่งรถได้เร็วและคุณสมบัติที่รองลงมาเช่น ชาร์จได้เร็ว (Fast Charging) มีอายุการใช้งานนาน (Long Lifetime) ราคาถูก (Low Price) มีประสิทธิภาพดี (High Efficiency) และมีการซ่อมบำรุงต่ำ (Low Maintenance) ล้วนแล้วแต่เป็นสิ่งที่เราอยากได้ซึ่ง แบตเตอรี่ (Battery) [17] ก็เป็น Energy Source ชนิดหนึ่ง ที่สามารถ ตอบโจทย์ของความต้องการเหล่านี้ได้อย่างดี และถูกใช้ในวงการรถ EV มาเป็นเวลานาน แน่แน่นอนว่า ณ ปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีของแบตเตอรี่ได้พัฒนาคุณสมบัติต่างๆ ข้างต้นอย่างมากในตัวแบตเตอรี่เองก็แบ่งได้ ออกเป็นหลายชนิด และหลายรูปแบบ ซึ่งในแต่ละรูปแบบ ก็จะมีคุณสมบัติข้อดี และข้อเสียที่แตกต่างกันไปดังนั้น ในบทความนี้พูดถึงรายละเอียดของชนิดของแบตเตอรี่คุณสมบัติ ข้อดีและข้อเสียของแต่ละแบบ ชนิดของแบตเตอรี่ (ที่ Common) ตัวชี้วัดของแบตเตอรี่ที่ดี Energy Density (สูงคือดี) Power Density (สูง คือดี) Voltage per Cell (สูงคือดี) Cost per Cycle (ต่ำคือดี) Discharge Rate (ต่ำคือดี) Charging Time (ต่ำคือดี) Lifetime (สูงคือดี) เป็นต้น

2.1.5.1 Lead-Acid

เป็นแบตเตอรี่ที่นิยมใช้กันมาเก่าแก่ และเนิ่นนานมาก (กว่า 50 ปี) ปกติใช้แค่ช่วยในการ Start ของเครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือ Internal Combustion Engine (ICE) และเป็นไฟเลี้ยงวงจรเสริมต่างๆ ในรถ ICE โดยที่จะมีโครงสร้างคือ Lead Oxide ที่ Positive Electrode Spongy Lead ที่ Negative Electrode และสาร Diluted Sulfuric Acid เป็น Electrolyte และมี Voltage per Cell 2 โวลต์ ข้อดีคือ มีใช้อยู่เป็นจำนวนมาก ราคาถูกมาก (Cost per Cycle 3 บาท) เป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างคงที่แล้วมี Self-Discharge ต่ำ และมีความคงทนต่ออุณหภูมิข้อเสียคือ เก็บพลังงานได้น้อย

(Low Energy Density 30–50 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม) และรับ/จ่ายพลังงานได้ มีน้ำหนักเยอะ อายุการใช้งานสั้น หาก Charge และ Discharge ด้วย State of Charge (SoC) และ Depth of Discharge (DoD) ที่ลึกและ ไม่สามารถคายประจุได้ต่ำกว่า 20%

2.1.5.2. NiMH (Nickel-Metal Hydride)

เป็นแบตเตอรี่ที่มาแทน Lead Acid และเป็นที่ยอมรับใช้ตั้งแต่ปี 1990s ในรถ EV มีโครงสร้างคือ Nickel Hydroxide ที่ Positive Electrode Alloy of Nickel Titanium Vanadium ที่ Negative Electrode และสารละลาย Alkaline เป็น Electrolyte และมี Voltage per Cell 1.2 โวลต์ ข้อดีคือ มีราคาถูก (Cost per Cycle 3.6 บาท) ชาร์จเร็ว (Charging Time 2 ชั่วโมงต่อวินาที) เก็บ พลังงานได้มากกว่า Lead Acid (Low Energy Density 80–100 วัตต์-ชั่วโมง/กิโลกรัม) รับและจ่าย พลังงานได้เร็วกว่า Lead Acid (Discharge Rate 10 แอมป์ต่อชั่วโมง) ปลอดภัยเนื่องจาก Voltage per Cell ต่ำ ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถ Recycle ได้ข้อเสียคือ มี Self-Discharge สูง อายุการใช้งานสั้นถ้ามีการชาร์จด้วยกระแสสูง (Supercharge) บ่อยๆ และมี Memory Effect ที่แบตเตอรี่จะเก็บ พลังงานได้น้อยลงหลังจากทำการชาร์จบ่อยๆ

2.1.5.3. Ni-Cd (Nickel-Cadmium)

เป็นแบตเตอรี่ Nickel อีกชนิดหนึ่งที่มี Nickel Hydroxide ที่ Positive Electrode Cadmium ที่ Negative Electrode และมี Voltage per Cell 1.2 โวลต์ ข้อดีคือ จะคล้ายกับ NiMH แล้วจะมีราคาถูกกว่า (Cost per Cycle 1.2 บาท) มี Lifetime ที่นานกว่าข้อเสียคือ เมื่อเทียบกับ NiMH คือ Cd นั้นเป็นสารที่อันตราย หากไม่มีการจัดการที่ดีทำให้ราคาและความซับซ้อนของการ Recycle สูง และมี Memory Effect ที่แรงกว่า

2.1.5.4. Li-Ion (Lithium-Ion) — Conventional and Polymer

เป็นแบตเตอรี่ที่นิยมใช้ใน มือถือ คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เคลื่อนที่ต่างๆ โดยจะมีสารละลาย Lithium เป็น Electrolyte และมี Positive Electrode และ Negative Electrode ที่แตกต่างกันตามชนิดของแบตเตอรี่ เช่น LCO (Li-Cobalt) LMO (Li-Manganese) LFP (Li-Phosphate) NMC (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide) NCA (Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide) LTO (Li-Titanate) Li-S (Lithium Sulfur) และ Li-O (Lithium Oxygen) หรือจะเป็นแบตเตอรี่ที่ผสมระหว่างสารเหล่านี้ก็ได้ข้อดีคือ มี Voltage per Cell ประมาณ 3.2–4.2 โวลต์ซึ่งทำให้น้ำหนักเบา และขนาดเล็ก มี Energy Density ที่สูง 100–400 วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (บางชนิดเช่น Li-S และ Li-O สูงถึง 600–1000 วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม) มี Power Density ที่สูง มี Self-Discharge ที่ต่ำมาก มี Lifetime

ที่เยอะมาก และมี Charging Time ที่ เร็ว เป็นต้น ข้อเสียคือ มีราคาแพง (High Cost per Cycle 3–8 บาท) จาก ระบบป้องกันแบตเตอรี่หรือ 23 Battery Management System (BMS) ที่เพิ่มขึ้นมา เพื่อควบคุมกระแส แรงดันและอุณหภูมิของ แบตเตอรี่ เพื่อยืดอายุการใช้งาน ประเมินความจุของแบตเตอรี่และอื่นๆ อีกมากมาย

แบตเตอรี่ที่ทางกลุ่มเลือกใช้คือแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนซึ่งมีคุณสมบัติทำให้น้ำหนักเบา และขนาดเล็กและมีระบบการชาร์จที่เร็วขึ้นแต่ต้องมีระบบป้องกันแบตเตอรี่หรือ Battery Management System (BMS) ที่เพิ่มขึ้นมา เพื่อควบคุมกระแส แรงดัน และอุณหภูมิของแบตเตอรี่ เพื่อยืดอายุการใช้งาน

2.1.6 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion Battery)

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นแบตเตอรี่ที่กำลังถูกพูดถึงมากในปัจจุบัน จากกระแสของ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะและระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็น ส่วนประกอบสำคัญ สำหรับแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนนั้นมีหลากหลายประเภท โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติได้ แบ่ง แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนตามวัสดุขั้วลบและขั้วบวก รวมถึงการใช้งาน ออกเป็น 6 ประเภท ดังตารางที่ 2.4



ตารางที่ 2.4 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนประเภทต่างๆ แบ่งตามวัสดุขั้วลบและขั้วบวก รวมถึงการใช้งาน

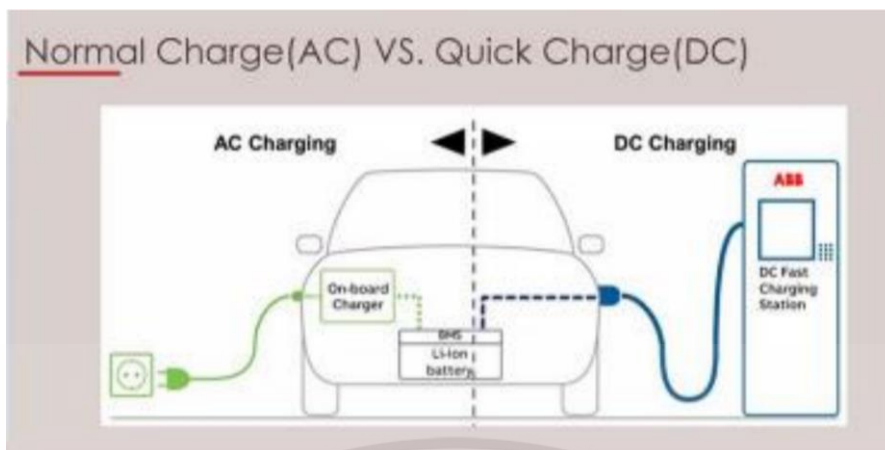
| ประเภทที่ | วัสดุขั้วบวก | วัสดุขั้วลบ | การใช้งาน |
|-----------|--|---|---|
| 1 | Lithium Cobalt Oxide (LiCoO ₂ LCO) | แกรไฟต์ | โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต แล็ปท็อป กล้องดิจิทัล |
| 2 | Lithium Manganese Oxide (LiMn ₂ O ₄ LMO) | แกรไฟต์ | เครื่องมือไฟฟ้า (power tools) อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่ง กำลังในยานพาหนะไฟฟ้า |
| 3 | Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (Li(Ni Mn Co)O ₂ NMC NCM) | แกรไฟต์ | จักรยานไฟฟ้า อุปกรณ์ การแพทย์ ระบบส่งกำลังใน ยานพาหนะไฟฟ้า (มักใช้ในรถ ไฮบริด) ระบบสำรองไฟฟ้า |
| 4 | Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (Li(Ni,Co,Al)O ₂ NCA) | แกรไฟต์ | อุปกรณ์การแพทย์ ระบบส่ง กำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (เช่น ที่พบในTesla Model S)ระบบ สำรองไฟฟ้า |
| 5 | Lithium Iron Phosphate (LiFePO ₄ LFP) | แกรไฟต์ | ระบบส่งกำลังในยานพาหนะ ไฟฟ้าหรือแทนแบตเตอรี่กรด ตะกั่วในรถยนต์ (Start- Lighting-Ignition battery) ระบบที่ต้องการกระแสและ ความหนาแน่นสูง |
| 6 | แกรไฟต์ หรือ LMO | Lithium Titanate (Li ₄ Ti ₅ O ₁₂ LTO) | ระบบสำรองไฟฟ้า ระบบส่ง กำลังในยานพาหนะไฟฟ้า (Mitsubishi i-MIEV Honda Fit EV) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

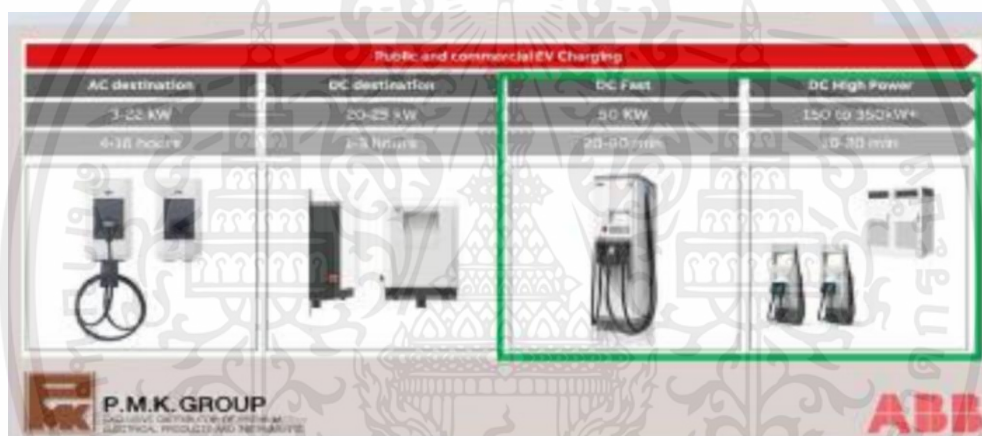
แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนเป็นแบตเตอรี่ที่มี น้ำหนักเบา มีความหนาแน่นของพลังงานสูง แรงแดันไฟฟ้าคงที่สูงและอัตราการคายประจุต่ำ ทำให้สามารถกักเก็บพลังงานได้มากขึ้น แต่ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดนี้ก็คือ ต้องใช้เทคโนโลยีการผลิตขั้นสูง รวมถึงอาจเกิดการลุกไหม้และระเบิดได้ระหว่างการใช้งานจากการที่แบตเตอรี่ลัดวงจร ผู้ใช้งานจึงควรทำตามเงื่อนไขการใช้งานด้วยความระมัดระวัง

แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับ การกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Energy Storage) แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับ การกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Energy Storage) เป็น เทคโนโลยีการกักเก็บพลังงาน (Energy Storage Technology) สำคัญที่ในการพัฒนาพลังงานทดแทน เนื่องจากแบตเตอรี่ ลิเทียมไอออนมี การเก็บและปล่อยพลังงานได้อย่างรวดเร็วและจุพลังงานได้มากเมื่อเทียบกับน้ำหนักของแบตเตอรี่ ทั้งนี้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Energy Storage) ถูกจัดเป็นระบบสำรองพลังงานไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Energy Storage) ตัวอย่างแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนสำหรับการกักเก็บพลังงานไฟฟ้า(Energy Storage) เช่น เครื่องสำรองไฟฟ้า (Uninterruptible Power Supply UPS) เป็นต้น

ตัวอย่าง เทคโนโลยีชาร์จเร็ว (Quick Charge หรือ Fast Charge) สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า Plug-in Hybrid เทรนด์รถยนต์ไฟฟ้ากำลังได้รับความนิยมในหลายประเทศทั่วโลก โดยหนึ่งในประเภทรถยนต์ไฟฟ้าที่ได้รับความนิยม คือ Plug-in Hybrid หรือ PHEV ที่มีระบบการทำงานคล้ายกับรถยนต์แบบ Hybrid แต่จะมีแบตเตอรี่ขนาดใหญ่กว่าสามารถใช้ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนรถได้ระยะ 20-50 กิโลเมตร สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่ในรถยนต์ไฟฟ้า Plug-in Hybrid นั้นจะชาร์จกับไฟบ้านผ่านสาย Adapter ปกติต้องใช้เวลาในการชาร์จ ไฟให้เต็ม 6-8 ชั่วโมง ปัจจุบันได้มีเทคโนโลยีชาร์จเร็ว (Quick Charger) เข้ามา ทำให้เราสามารถชาร์จไฟแบตเตอรี่ ได้ในระยะเวลาเร็วมากขึ้น แต่ Quick Charger จะเป็นการชาร์จโดยใช้ตู้ EV Charger (สถานีชาร์จรถไฟฟ้า) ดังรูปที่ 2.27 และรูปที่ 2.28 เนื่องจากต้อง แปลงจากไฟบ้าน ธรรมดา (AC) ให้เป็น DC แล้วจ่ายไฟ DC เข้าที่แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าโดยตรง ทั้งนี้ สมาคมยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐานของหัวชาร์จในไทยว่าจะใช้เป็นแบบ Type 2 และ ตัวอย่าง Quick Charger สำหรับรถยนต์ไฟฟ้า Plug-in Hybrid เช่น รถยนต์ไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่ รถยนต์ขนาด 24 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ใช้ตู้EV Charger แบบ Quick Charger ที่มีกำลังชาร์จอยู่ที่ 50 กิโลวัตต์โดยทำให้การชาร์จแบตเตอรี่ใช้เวลาเพียง 20-90 นาที



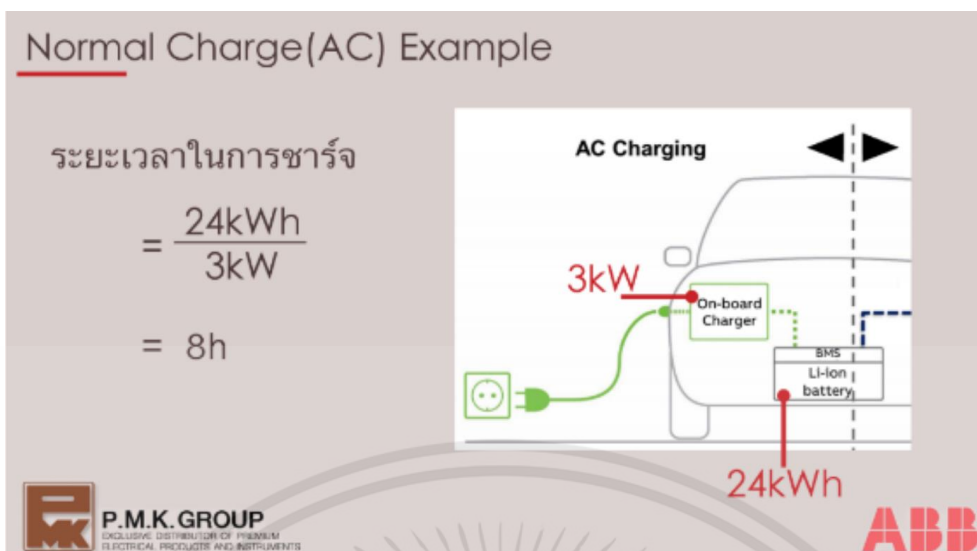
รูปที่ 2.27 แสดงการชาร์จสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า



รูปที่ 2.28 แสดงอุปกรณ์ในการชาร์จสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า

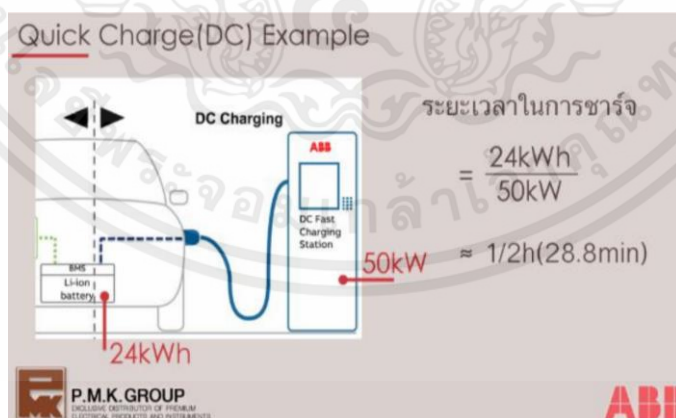
Normal Charge เป็นการชาร์จด้วยไฟ AC โดยชาร์จผ่าน On Board Charger ที่อยู่ภายในตัวรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่ในการแปลงไฟ AC ไปเป็นไฟ DC ขนาดของตัว On Board Charger จะขึ้นอยู่กับยี่ห้อรถยนต์ ซึ่งขนาดของ On Board Charger จะมีผลต่อระยะเวลาในการชาร์จไฟของ แบตเตอรี่รถยนต์ยกตัวอย่างเช่น รถยนต์ไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่รถยนต์ขนาด 24 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และมี On Board Charger ขนาด 3 กิโลวัตต์ระยะเวลาในการชาร์จจะอยู่ที่ 8 ชั่วโมงการคำนวณดังตัวอย่างในรูปที่ 2.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 ตัวอย่างการคำนวณการชาร์จด้วยไฟ AC

Quick Charge จะเป็นการชาร์จโดยใช้ตู้ EV Charger (สถานีชาร์จรถไฟฟ้า) ที่แปลงไฟ AC ไปเป็นไฟ DC แล้วจ่ายไฟ DC เข้าที่แบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการชาร์จจะน้อยกว่าแบบ Normal Charger หัวชาร์จ (SOCKET) ของตู้ EV Charger จะมีทั้งแบบที่เป็น AC และ แบบ DC ประเภทของหัวชาร์จจะขึ้นอยู่กับมาตรฐานของผู้ผลิตรถยนต์ ยกตัวอย่างเช่น รถยนต์ไฟฟ้าที่มีแบตเตอรี่รถยนต์ขนาด 24 กิโลวัตต์/ชั่วโมง โดยใช้ตู้ EV Charger แบบ Quick Charge ที่มีกำลังชาร์จอยู่ที่ 50 กิโลวัตต์ระยะเวลาในการชาร์จจะอยู่ที่ไม่เกิน 1/2 ชั่วโมงการคำนวณดังตัวอย่างในรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 ตัวอย่างการคำนวณการชาร์จด้วยโดยใช้ตู้ EV Charger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

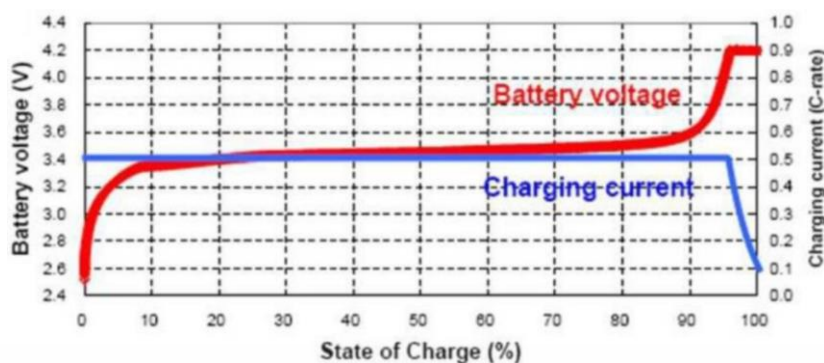
เป็นที่ประจักษ์แล้วว่าแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน Li-ion (polymer) และ แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ LiCoO₂ มีการใช้งานอย่างมากในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ แต่แบตเตอรี่ลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ LiCoO₂ ราคาแพงมาก และไม่ปลอดภัยเมื่อมันมีความจุสูงขึ้น แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต LiCoO₂ เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุดในปัจจุบันนี้ ตลาดแบตเตอรี่ตระกูลลิเทียมไอออนมีความนิยมเนื่องจากมีความจุสูงและสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น คอมพิวเตอร์แล็ปท็อป เครื่องมือกล รถวีลแชร์ไฟฟ้า รถจักรยานไฟฟ้า รถไฟฟ้า แม่น้ำรถบัสไฟฟ้า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต LiCoO₂ มีความปลอดภัยเทียบเท่าแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด แต่ความแรงเทียบเท่าแบบตระกูลลิเทียมไอออน ข้อดีของลิเทียมไอออน Li-ion (polymer) ที่เป็นชนิดลิเทียมไอออนฟอสเฟต LiCoO₂ ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต

2.1.6.1 ชาร์จไว

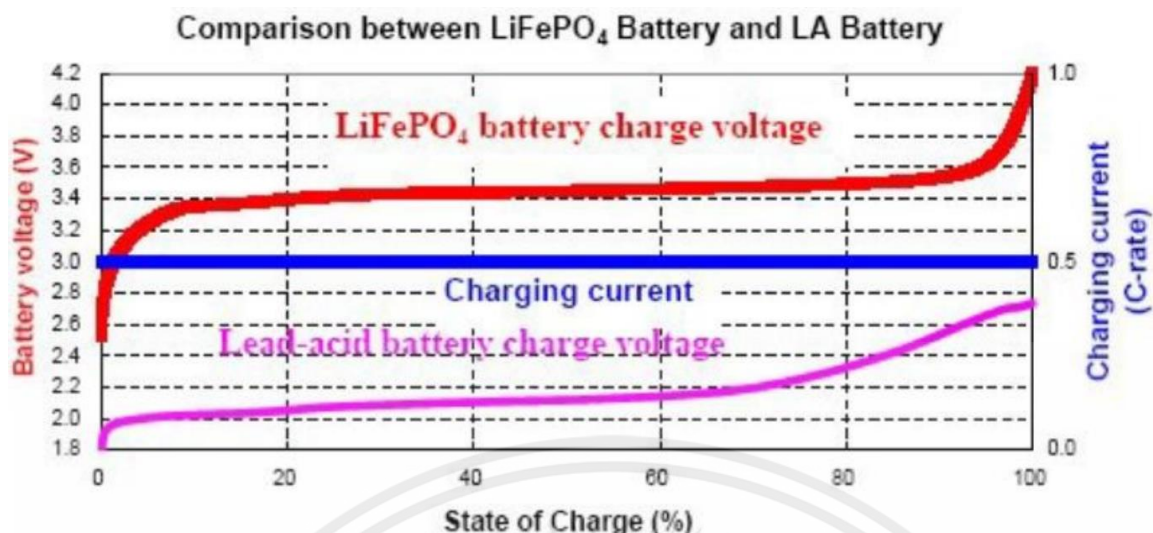
ระหว่างกระบวนการชาร์จแบตเตอรี่ Li-ion แบบดั้งเดิมประกอบด้วยลิเทียมโคบอลต์ออกไซด์ LiCoO₂ ต้องการชาร์จสองขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือการใช้กระแสคงที่ (Constant Current CC) เพื่อให้ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ ของจุดชาร์จ (Stage of Charge SOC) ขั้นตอนที่สองเกิดขึ้นเมื่อแรงดันไปถึง 4.2 โวลต์ดังรูปที่ 2.32 เป็นขีดจำกัดบนแรงดันของการชาร์จ ก็จะเริ่มชาร์จที่แรงดันคงที่จนกว่ากระแสจะลดลงเรื่อยๆ ในขั้นตอนที่ (60 เปอร์เซ็นต์ SOC) ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง และในขั้นตอนที่ 2 (40 เปอร์เซ็นต์ SOC) ใช้เวลาอีกประมาณ 2 ชั่วโมง แต่แบตเตอรี่ LiFePO₄ สามารถใช้แค่ 1 ขั้นตอน เมื่อ CC ไปถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ของ SOC หรืออาจชาร์จทั้ง CC+CV เพื่อให้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ SOC เวลาทั้งหมดประมาณสองชั่วโมง



รูปที่ 2.32 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างการชาร์จแบตเตอรี่กับปริมาณแบตเตอรี่และกำลังการชาร์จแบตเตอรี่

2.1.6.2 การเผื่อต่อการชาร์จมากเกินไป (over charge)สูงและสมรรถนะที่ปลอดภัยกว่า

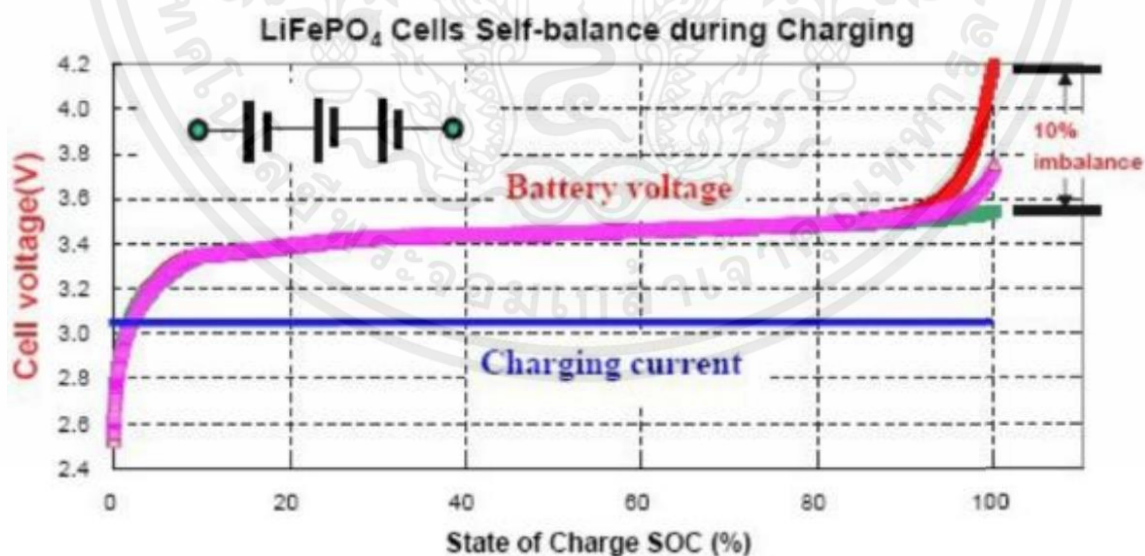
แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนมีการเผื่อต่อการโอเวอร์ชาร์จแคบมาก ประมาณ 0.1 โวลต์ ดังรูปที่ 2.33 ที่แรงดันชาร์จ 4.2 โวลต์และต้องพิจารณาขีดจำกัดควบคุมบนของการชาร์จแรงดันด้วย ถ้าชาร์จเกิน 4.3 โวลต์อาจทำให้แบตเตอรี่ประสิทธิภาพตกได้และอาจเป็นเหตุให้ไฟไหม้และระเบิดได้แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน มีการเผื่อต่อการโอเวอร์ชาร์จกว้างกว่าเป็น 0.7 โวลต์ที่แรงดันชาร์จเป็น 3.4 โวลต์ ความร้อนจากปฏิกิริยาเคมีวัดจาก DSC หลังจากโอเวอร์ชาร์จเป็น 90 จูลต่อ กรัม สำหรับลิเทียมไอออนและ 1600 จูลต่อกรัมของ LiCoO_2 ยิ่งมีการคายความร้อนมากเท่าไรจะเกิดพลังงานจะสะสมในแบตเตอรี่ในทางสั่นเปลืองอาจทำให้ไฟไหม้และระเบิดได้ แต่แบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน สามารถโอเวอร์ชาร์จได้ถึง 30 โวลต์ โดยไม่ต้องมีวงจรป้องกันเหมาะสมกับการใช้งานที่กระแสวิกขั้วสูงๆ ความจุสูงๆ ในกราฟแสดงถึงความปลอดภัยและความทนต่อการโอเวอร์ชาร์จของแบตเตอรี่ ลิเทียม ไอออน กราฟมีลักษณะคล้ายการตอบสนองของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด



รูปที่ 2.33 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างการชาร์จแบตเตอรี่กับปริมาณแบตเตอรี่และกำลังการชาร์จแบตเตอรี่

2.1.6.3 สมดุลด้วยตัวเอง

เซลล์ของลิเธียมไอออนจะถูกต่ออนุกรมและจัดให้สมดุลระหว่าง กระบวนการชาร์จ เนื่องจากมีความเผื่อต่อการโอเวอร์ชาร์จสูงนี้คือข้อแตกต่างจากแบตเตอรี่รี แบบตะกั่วกรด คุณลักษณะการสมดุลตัวเองสามารถยอมให้ความแตกต่างระหว่างเซลล์สำหรับทั้งแรงดัน และความจุของแบตเตอรี่ไม่เกิน 10% ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสถานการณ์ชาร์จแบตเตอรี่กับแรงดันเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.4 ระบบจัดการแบตเตอรี่ และแบตเตอรี่ชาร์จเจอร์

การเพื่อโอเวอร์ชาร์จและชุดสมดุลของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนส่วนมากจะมีชุดป้องกันแบตเตอรี่และวงจรที่มีราคาไม่แพง ใช้การชาร์จเพียงหนึ่งขั้นตอน อาจใช้แหล่งจ่ายไฟแบบทั่วไป เพื่อชาร์จแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนแทนที่จะเป็นชาร์จเจอร์แบบ Li-ion

2.1.6.5 อายุการใช้งานที่ยืนยาว

เมื่อเปรียบเทียบกับอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ LiCoO_2 มีอายุการชาร์จเพียง 400 ครั้ง แต่แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนอายุการชาร์จถึง 2000 ครั้ง

2.1.6.6 สมรรถนะอุณหภูมิสูง

ข้อเสียของการแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนคือประสิทธิภาพจะลดลงเมื่ออุณหภูมิ สูงขึ้น จนถึง 60 องศาเซลเซียส แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนทำงานได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากการนำ ความร้อนของลิเทียมไอออนที่สูงกว่าทฤษฎีทั้งหมดเป็นข้อมูลของแบตเตอรี่ที่ทางกลุ่มเลือกใช้แบตเตอรี่ ลิเทียมไอออน ซึ่งมีข้อดีในด้านต่างๆ ทั้งการชาร์จไว มีการเพื่อการชาร์จสูง มีสมรรถนะที่ปลอดภัยกว่า มีสมดุลในตัวเอง มีระบบจัดการแบตเตอรี่ มีระยะเวลาการใช้งานที่ยาวนาน และสุดท้ายคือมีสมรรถนะ อุณหภูมิสูง

2.1.7 Battery Management System (BMS)

Battery Management System (BMS) ในแบตเตอรี่คือ ระบบอิเล็กทรอนิกส์ใดๆ ที่ใช้ในการจัดการแบตเตอรี่แบบชาร์จได้ (แบตเตอรี่แบบแพ็ค) ซึ่งมีหลายขนาดขึ้นอยู่กับจำนวนอนุกรม แบตเตอรี่ที่จะใช้งานคล้ายกับวงจรป้องกันแบตเตอรี่ PCB Protected แบบเซลล์เดียว แต่ถ้าพูดถึงวงจร BMS จะหมายถึงการต่อแบตเตอรี่หลายก้อน แบตเตอรี่แบบแพ็ค ซึ่งจะมีฟังก์ชันการทำงานที่มากกว่า วงจรป้องกัน PCB Protected อย่างวงจรป้องกัน PCB Protected จะทำหน้าที่สำคัญๆ 3 อย่าง ได้แก่ คอยป้องกันการใช้งานที่กระแสวิกเกิน (Over Current Protection) ป้องกันแรงดันการชาร์จไฟเกิน (Over Charge Voltage Protection) และป้องกันการใช้ไฟในระดับโวลต์ที่ต่ำกว่ากำหนด (Under Discharge Voltage Protection) แต่วงจร BMS อาจจะมีเพิ่มขึ้นจาก 3 ฟังก์ชันบนตัวอย่างเช่นเพิ่มฟังก์ชัน OverTemperature Under-Temperature Short Circuit Protection Ground fault or leakage current detection และอื่นๆ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต หรือบางรุ่นจะมีวงจร Balancing ในวงจร BMS ซึ่งจะทำหน้าที่คอยควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ไหลเข้า (Charge) หรือไหลออกจากแบตเตอรี่ (Discharge) ให้แรงดันของแบตเตอรี่แต่ละก้อนเท่ากันอยู่เสมอ เพื่อไม่ให้มีก้อนหนึ่ง BMS จะทำการตรวจสอบขั้นพื้นฐาน คือ

การตรวจสอบแรงดันไฟฟ้าของแต่ละเซลล์อุณหภูมิของเซลล์การวัดกระแสความต้านทานต่อเซลล์เพื่อแก้ไขปัญหหรือการจัดการให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ BMS จะมีประสิทธิภาพในการ 31 ตรวจสอบความผิดปกติของความจุที่หายไป ซึ่งจะประเมินจากแรงดันและความต้านทานภายใน จาก 100 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์แม้ว่าความจุจะลดลงเหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ของแรงดัน BMS จะตรวจสอบต่อความผิดปกติและความต่างศักย์ระหว่างเซลล์ที่เกิดจากความไม่สมดุลของเซลล์และการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายใน จะคำนวณ Coulomb counting ในการควบคุมการเปิด/ปิด ความสมดุลในการชาร์จ (SOC) จะทำงานแปรผันตามความเสื่อมลงของแบตเตอรี่

2.1.7.1 การประเมิน (SoH) เพื่อการตรวจสอบสุขภาพเซลล์

1. Internal resistance / impedance/conductance
2. Capacity
3. Voltage
4. Self-discharge
5. Ability to accept a charge
6. Number of charge–discharge cycles

2.1.7.2 การวัดเซ็นเซอร์(SOF)

วิธีการทำงานของ BMS สังเกตข้อบกพร่องและตรวจสอบจากเซ็นเซอร์เซลล์ที่หลักๆ เช่น การวัดกระแสในการต่อวงจรใช้งานมีการประมวลผลจาก ECU เพื่อตรวจสอบไม่ให้จ่ายเกินกว่า Capacity ของแบตเตอรี่ สามารถปล่อยได้โดยการตัด/ต่อ ไปที่ภาคจ่ายไฟ มอสเฟส หรือคอนแทกเตอร์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเสียหายต่อวงจรและเซลล์การวัดอุณหภูมิเพื่อป้องกันอุณหภูมิเกินค่ามาตรฐานของแบตเตอรี่ ถ้าเกินจะสั่งหยุดการทำงานทันทีเมื่ออุณหภูมิลดลงก็จะเปิดวงจรอีกครั้งการวัดแรงดัน

2.1.7.3 การส่งข้อมูล

เมื่อ ECU ประมวลผลหรือปรับแก้ไข ก็จะส่งข้อมูลต่างๆ ไปยังอุปกรณ์เชื่อมต่อ เช่น เครื่องชาร์จ เพื่อตัด/ต่อในการชาร์จ ECU ของรถ เพื่อบอกถึงสถานะในการทำงาน สวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์เพื่อเปิด/ปิด วงจรทางไฟฟ้า อุปกรณ์ป้องกันเพื่อป้องกันความปลอดภัยโดยมีลักษณะดังรูป ที่ 2.35



รูปที่ 2.35 Battery Management System (BMS)

2.1.8 Arduino

Arduino คือ โครงการที่นำชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลต่างๆ มาใช้ร่วมกันในภาษา C ซึ่งภาษา C นี้เป็นลักษณะเฉพาะ คือมีการเขียนไลบรารีของ Arduino (รูปที่ 2.36) ขึ้นมาเพื่อให้การสั่งงานไมโครคอนโทรลเลอร์ที่แตกต่างกัน สามารถใช้งานโค้ดตัวเดียวกันได้ โดยตัวโครงการได้ออกบอร์ดทดลองมาหลายรูปแบบ เพื่อใช้งานกับ IDE ของตนเอง สาเหตุหลักที่ทำให้ Arduino เป็นนิยมมากเป็นเพราะซอฟต์แวร์ที่ใช้งานร่วมกันสามารถโหลดได้ฟรี และตัวบอร์ดทดลองยังถูกแจกแปลา



รูปที่ 2.36 Arduino UNO R3

2.1.8.1. ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์(Hardware)

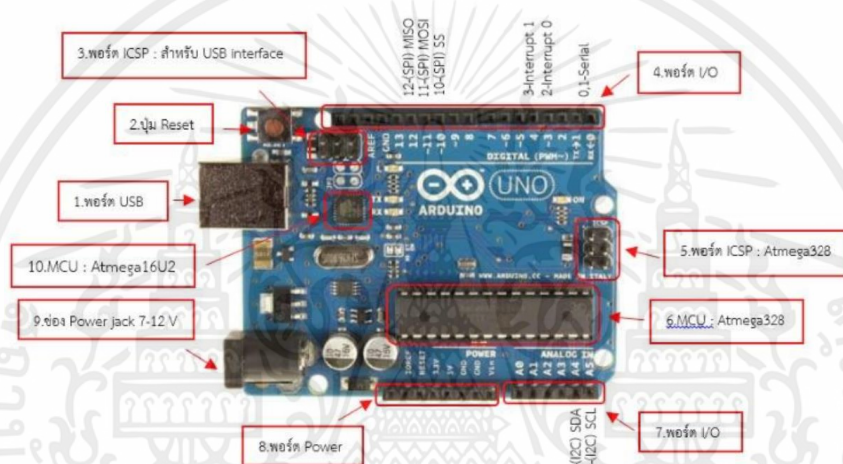
บอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์(MCU) เป็นชิ้นส่วนหลักถูกนำมาประกอบร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน หรือที่เรียกกันว่าบอร์ด Arduino โดยบอร์ด Arduino เองก็มีหลายรุ่นให้เลือกใช้ โดยในแต่ละรุ่นอาจมีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาดของบอร์ดหรือสเปค เช่น จำนวนของขารับส่งสัญญาณ แรงดันไฟที่ใช้ประสิทธิภาพของ MCU เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino

1. เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ผ่านทางโปรแกรม ArduinoIDE
2. หลังจากที่เขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่น บอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port
3. กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้น กดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง Done uploading และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที

2.1.8.3 Layout & Pin out Arduino Board โดยมีส่วนประกอบดังรูปที่ 2.37



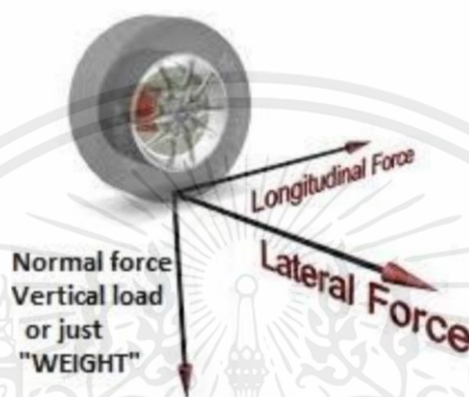
รูปที่ 2.37 ส่วนประกอบของ Arduino UNO R3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. USB Port: ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปเดตโปรแกรม เข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงาน ใหม่
3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Comport บน Atmega16U2
4. I/O Port Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx Rx Serial Pin3 5 6 9 10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/O Port นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็น ช่องรับสัญญาณอนาล็อกตั้งแต่ขา A0-A5
8. Power Port ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V +5V GND Vin
9. Power Jack รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U

2.1.9 หลักการใช้ลมยางในสนามแข่ง

ในสนามการแข่งขัน เรื่องการเกาะถนนของยางนั้น จะขึ้นกับโพลดในแนวตั้ง หรือน้ำหนักที่ตกลงบนยาง และการใช้งานที่อาศัยประโยชน์จากการกดของน้ำหนัก เมื่อเกิดการเข้าโค้งการถ่ายเท น้ำหนักจึงส่งผลให้การทำงานของหน้ายางเปลี่ยนไป เมื่อต้องรับน้ำหนักในการเข้าโค้งหน้ายางที่รับ น้ำหนักจะเปลี่ยนไปเป็นหน้ายางด้านนอก ฉะนั้นหน้ายางด้านนอกต้องมีความสามารถในการเกาะ ถนนได้ดีกว่าการรับน้ำหนักเต็มหน้ายางอย่างน้อย 1.5 ถึง 2 เท่า



รูปที่ 2.38 แรงที่กระทำต่อยาง

2.1.9.1 แรงดันลมที่อุณหภูมิทำงาน

การควบคุมแรงดันลมยางให้อยู่ในช่วงการทำงานที่ดีที่สุดนั้นเป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อนมาก แต่ก็เป็นเรื่องที่สำคัญสำหรับการแข่งขันบนสนามแข่ง เช่นกัน เนื่องด้วย แรงดันของลมยางนั้น จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของลมยาง และแปรผันไปกับสภาพแวดล้อมภายนอก ฉะนั้นการจะทำให้แรงดันลมยางอยู่ในช่วงที่เหมาะสมนั้นนอกจากสภาพอากาศ แดด ฝน เช่น เป็นการขับซีแบบ การวิ่งระยะยาว หรือแค่สั้นๆ ประเมินการใช้เบรคหากเป็นการขับซีที่ใช้เบรคมากอุณหภูมิก็จะสูงขึ้น ไปอีก

2.1.9.2 ลมยางสำหรับการแข่ง Circuit Racing

สำหรับการแข่งแบบ Circuit Racing จะขี้วัดกันที่สภาพสนาม และการตอบสนองที่สมเหตุสมผลกับการวิ่งในระยะยาว แรงดันลมยางจากสภาพก่อนวอร์มจนถึงหลังวอร์มควรจะอยู่ 8 ราวๆ 7-8 ปอนด์ต่อนิ้ว จากการทดสอบด้วย Porsche 911 ที่ถูกออกแบบให้มีการถ่ายน้ำหนักแบบ 50-50 เพื่อการสร้างโพลดแก่ยางที่เท่ากันทั้ง 4 ล้อ

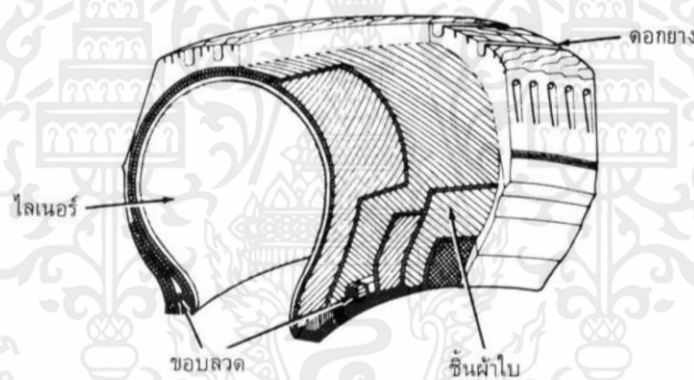
2.1.9.3 ลมยางสำหรับการแข่ง Autocross

ในการแข่งขันแบบ Autocross เป็นการแข่งที่มีระยะสั้นกว่ามีการใช้เบรกที่เยอะกว่าการที่จะวอร์มอุณหภูมิบนสนามนั้นคงเป็นไปได้ยาก การเติมลมในสถานะปกติจึงต้องมีการเติมให้มากกว่าการแข่งแบบ Circuit Racing แต่การวอร์มยางก็เป็นสิ่งสำคัญเพราะยางเองก็จะมีอุณหภูมิ ทำงานที่เหมาะสมให้เนื้อยางสามารถโชว์สมรรถนะที่ดีที่สุด ในการแข่งขันแบบ Autocross บางคนจึง มีการวอร์มยางก่อนที่จะเข้าสนามเพื่อสร้างสถานะที่พร้อมที่สุดสำหรับการแข่ง

2.1.10 ชนิดของยาง

2.1.10.1 ยางเรเดียล (Radial)

ยางเรเดียล เป็นยางที่โรงงานผู้ผลิตทำออกมาให้มีโครงสร้างของยาง โดยโครงสร้างภายในจะสานออกมาเป็นใยตาสานไขว้กัน โดยในยุคแรกๆ ของยางเรเดียล เพื่อให้เกิดความแข็งแรง ก็จะมีการเสริมใยเหล็กเข้าไปที่ตัวยาง เพื่อเน้นให้มีความทนทานมากที่สุด และในบางครั้งก็ยังมีไส้ยาง ในเข้าไปด้วย ซึ่งก็ต้องคอยลุ้นกันว่ายางในมันจะระเบิดเมื่อไหร่ ถ้าในความเร็วดำก็อาจแค้นใจ แต่ใน ความเร็วสูงก็ควรหาพละดี ๆ เอาไว้คุ้มภัย เวลารถมันเสียหลักลงข้างทาง



รูปที่ 2.39 ส่วนประกอบหลักๆ ของยางเรเดียล

แต่ในปัจจุบันยางเรเดียล ไม่ได้มียางใน หรือเสริมใยเหล็กอีกแล้ว แต่จะเน้นการผลิตเนื้อยางให้มีความทนทานมากขึ้น ยาง Radial จะยังมีโครงยางชั้นรูป และเนื้อยางก็จะทำออกมาเพื่อ ใช้ซับชั้นบนท้องถนนเป็นหลัก เพราะฉะนั้นเนื้อยางจะต้องออกแบบให้วิ่งบนถนนแห้ง และลุยผ่านน้ำเจิ่ง นองได้ดี รวมทั้งในบางโอกาสก็จะต้องลุยผ่านโคลนยามฝนตกใหม่ๆ ได้ด้วย ซึ่งตามคุณสมบัติของยาง Radial นั้นจะต้องมีการสึกหรอที่ไม่สูงจนเกินไป เพราะรถใช้งานจะมามีวเปลี่ยนยาง 3 เดือนที่ก็ไม่ 9 ไหว ฉะนั้นตามความเป็นจริงก็ต้องบอกว่าเนื้อยางเรเดียล ค่อนข้างที่จะมีการเกาะถนนที่น้อยกว่ายาง แบบสลิค อย่างแน่นอน ซึ่งเมื่อมีปัญหาการเกาะถนน ที่สู้ยางแข่งไม่ได้ จึงได้ออกแบบยาง Radial ที่ สามารถนำมาใช้ในการแข่งขันได้

โดยยางประเภทนี้จะถูกเรียกว่า Radial Slick ซึ่งความเป็นจริงการ สร้างยางลักษณะนี้ก็แทบไม่แตกต่างจาก ยาง Radial โดยทั่วไป โครงสร้างยังเหมือนเดิม แต่จะมี การออกแบบเนื้อยางให้มีความเหนียวหนึบกว่าเดิม



รูปที่ 2.40 ยางเรเดียล สลิก

2.1.10.2 ยางสลิก (Slick)

ความหมายของยางสลิก จริงๆ นั้น หมายถึงยางที่ไม่มีโครงยาง แต่จะเป็นการป้อนขึ้นรูปขึ้นมา จะสังเกตได้จากเวลาที่ยางติดตั้งอยู่ในรถเราจะเห็นเหมือนยางรั้วซึม และเห็นเนื้อยางเป็นริ้วๆ เวลาโดนน้ำหนักกดทับลงไป และในจังหวะออกตัว เนื้อยางมีความเหนียวนุ่มเป็นพิเศษ แค่เพียงใช้มือ สัมผัสกับผิวยางก็จะรับรู้ได้ว่ามันเหนียวหนึบกว่าเนื้อยาง ที่เป็น Radial แท้ๆ โดยส่วนใหญ่เราจะเห็น ยาง Slick มักจะนำมาใช้ในการแข่งขันรูปแบบ แดร์ริค เรซซิ่ง เพราะการแข่งขันรูปแบบนี้มันเป็นการ ทำเวลาให้ได้เร็วที่สุดในระยะทาง 402 เมตร จะทำเวลาให้ได้เร็วที่สุดก็จะเป็นที่จะต้องใส่แรงม้ามัน เข้าไปเยอะๆ แล้วจะต้องจับมันลงพื้นแทร็ค (Track) ให้ได้ครบทุกตัว



รูปที่ 2.41 ยางสลิก (Slick)

เนื้อยางของการแข่งขันเซอร์กิต กับการแข่งขันแดร์ริคจะแตกต่างกันออกไป ยาง Slick สำหรับ Circuit จะมีเนื้อยางที่แข็ง และมีโครงสร้างของยางมากกว่า แต่สำหรับยาง Slick สำหรับ Drag จะเน้นที่เนื้อยางนิ่มหนึบโครงยางไม่ค่อยเน้นให้เป็นรูปร่างมากนักเพราะไม่ต้องการไหล่ ยางเอาไว้เข้าโค้งแต่อย่างใด แต่จะใช้ขับสำหรับทางตรงๆ เท่านั้น โดยจะป้อนเอาไว้ว่า Drag Slick ซึ่ง หมายถึงว่ายางสลิก ที่ใช้กับการแข่งขัน

แดร์กเท่านั้น ซึ่งในการใช้งาน อันนี้แหละจ ว่าเป็นที่จะต้องเปรี้น ยางกันอย่างจริงจัง เพราะเจ้ายางประเภทนี้ จำเป็นต้องเปรี้น ให้เนื้อยางให้ได้อุณหภูมิที่ เหมาะสม เนื้อยางถึงจะจับกับพื้นแทร็คได้ดี และย้ำอีกเช่นกัน ในทางกลับกันหากยางประเภทนี้เปรี้น ไม่ได้ที่มัน ถึงกับเป็นสาเหตุให้รถแข่ง พลิกคว่ำหรือหลุดออกจากแทร็ค ได้



รูปที่ 2.42 ยางสลิก สำหรับการแข่งแดร์ก

2.1.11 แรงดันลมยาง

2.1.11.1 แรงดันลมยางต่ำเกินไป

ลมยางอ่อนทำให้โครงสร้างของยางอ่อนกว่าปกติการที่ยางอ่อนตัวกว่าปกตินี้ทำให้เกิดการบิดตัวของเนื้อยางมากกว่าที่ควรจะเป็น ก่อให้เกิดความร้อนสะสมในเนื้อยางอย่างมาก เช่นเดียวกันกับการบิดงอแผ่นพลาสติกที่เมื่อบิดหลายๆครั้งจะทำให้พลาสติกร้อนก่อนที่จะแตกหัก ความร้อนที่เกิดขึ้นในเนื้อยางนี้เป็นสาเหตุให้เกิดการแตกภายในเนื้อยาง และการบิดตัวที่มากนี้ทำให้เนื้อยางแยกชั้นออกจากเส้นลวด โครงยางที่เป็นสาเหตุให้ยางบวมได้ง่าย ในบางครั้งอาจมองไม่เห็น จากเนื้อยางด้านนอก แต่เมื่อถอดออกตรวจจะพบที่แก้มยางด้านใน นอกจากนี้ยังทำให้รถกินน้ำมัน มากกว่าปกติ เพราะยางที่อ่อนตัวจะมีแรงต้านการหมุนที่สูงกว่าปกติมาก ทำให้ต้องใช้กำลัง เครื่องยนต์สูงกว่าที่ควรเพื่อขับเคลื่อนรถ เมื่อเร่งมากกว่าปกติ การสิ้นเปลืองน้ำมันก็มากขึ้นตามไปด้วย การควบคุมรถทำได้ยากมากขึ้นเพราะยางที่อ่อนกว่าปกติ เนื่องจากพวงมาลัยหนักขึ้น และทำให้รถตอบสนองต่อการปรับเปลี่ยนทิศทางตามผู้ขับขี่ควบคุมได้ช้ากว่าที่ควร นอกจากนี้รถยังมีการโยน ตัวมากกว่า เพราะยางอ่อนมีระยะที่ยืดหยุ่นที่ยืดตัว และยุบตัวได้มากขึ้นด้วย ระยะยืดหยุ่นนี้อาจแสดง อาการได้น้อยเมื่อใช้ยางที่มีแก้มยางที่เตี้ย แต่จะเห็นอาการได้มากขึ้นเมื่อใช้ยางที่มีแก้มยางสูง ยาง แก้มเตี้ย และแรงดันอ่อนกว่าปกติมีโอกาสสูงที่จะทำให้เกิดการดุ้งหรือคดของวงล้อเมื่อตกหลุมตาม ถนน และยังมีโอกาสยางระเบิด แก้มยางบวมหรือยางปลิ้นออกนอกขอบกระทะล้อได้มากกว่าปกติ อีก ด้วย เนื่องจากเมื่อล้อตกหลุมยางยุบตัวมากขอบกระทะประกบกับขอบล้อได้โดยที่ยางไม่ได้ออกแรง ด้าน ทำให้แก้มยางฉีกขาด หรือลวดโครงยางฉีกขาด ทำใหยางเสียรูป ร้ายกว่านั้นยางอาจจะระเบิดทำให้ ศูนย์เสียการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

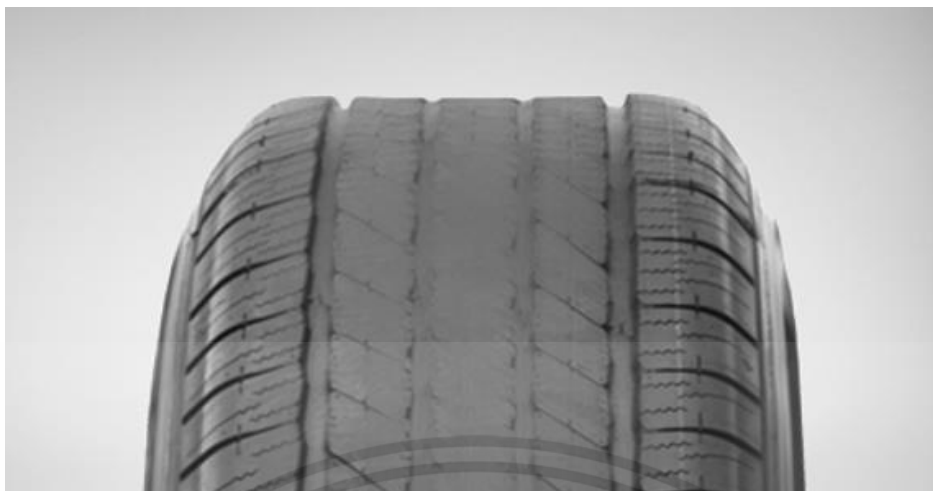
ควบคุม ชนรถคันอื่นหรือตกข้างทางได้โดยง่าย และแรงดันลมยางที่อ่อนกว่าปกตินี้ทำให้ ยางสึกไม่สม่ำเสมอ โดยมากจะสึกในบริเวณขอบของหน้ายางทั้งสองข้าง ทำให้ต้องเปลี่ยนยางก่อน เวลาอันควร



รูปที่ 2.43 แรงดันลมยางต่ำเกินไป

2.1.11.2 แรงดันลมยางสูงเกินไป

แรงดันลมยางสูงเกินกว่าปกติ ก็มีผลเสียต่อยาง และการขับขี่อย่างมาก เนื่องจากแรงดันที่สูงนี้ทำให้ยางแข็งมากจนต้องคุณสมบัติในการรับแรงกระแทก ทำให้ระบบช่วงล่างทำงานหนัก โช้ค ลูกยาง ลูกหมาก สปริง ลูกปืนล้าเสื่อมสภาพเร็วกว่าที่ควรจะเป็นทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ในการบำรุงรักษา ชิ้นส่วนเหล่านี้ที่มีราคาแพงก่อนเวลาอันควร และทำให้การขับขี่รู้สึกวารถไม่นุ่มนวล ร้อน ไม่เกาะถนน เพิ่มความเครียดให้กับผู้ขับขี่ และผู้โดยสาร แรงดันลมยางที่สูงทำให้ผิวสัมผัส ระหว่างยางกับถนน ลดน้อยลง เพราะยางส่วนกลางของหน้ายางเป็นจุดที่สัมผัสถนน ด้านข้างของหน้า ยางไม่สามารถยึดเกาะถนนได้ดีนัก ทำให้การควบคุมรถให้ปรับเปลี่ยนทิศทางทำได้ไม่ดีและยังทำให้ ระยะเบรกเพิ่มมากขึ้นอีกด้วย โดยเฉพาะในเวลา ฝนตกถนนลื่นยิ่งมีอันตรายมากขึ้นเพราะการควบคุม ทิศทางที่ไม่ดีและระยะเบรกที่เพิ่มมากขึ้นทำให้มีโอกาส เฉี่ยวชน หรือศูนย์เสียการควบคุมรถจนอาจ 12 โถงตกข้างทางได้ ในขณะที่รถวิ่ง ยางเสียดสีกับถนน ทำให้เกิด ความร้อน และความร้อนนี้ทำให้ แรงดันในยางสูงขึ้นด้วย แต่ถ้ามีการเติมลมยางมากเกินไป แรงดันจะยิ่งสูง มากจนทำให้ยางระเบิดได้ และหากโครงยางเสียหายจากการแยกชั้นของลวดโครงยาง และเนื้อยางจะทำให้ เกิดการบวมของยาง ได้การเติมลมยางให้มีแรงดันสูงกว่าปกติเพียง 6 ปอนด์ต่อนิ้ว ก็สามารถส่งผลให้เนื้อยาง แข็งกว่าปกติ มากจนการขับไปเหยียบก้อนหินที่มีขอบแหลมคมก็สามารถฉีกเนื้อยาง หรือทำให้โครงสร้างใน เนื้อยาง เสียหายได้โดยง่าย ยางที่แข็งเกินไปมักพบอาการสึกตรงแนวกลางหน้ายาง และยางที่เสียหายจากการ เติมลมยางด้วยแรงดันที่สูงเกินไปมักเกิดปัญหาส่วนใหญ่ที่หน้ายาง



รูปที่ 2.44 แรงดันลมยางสูงเกินไป



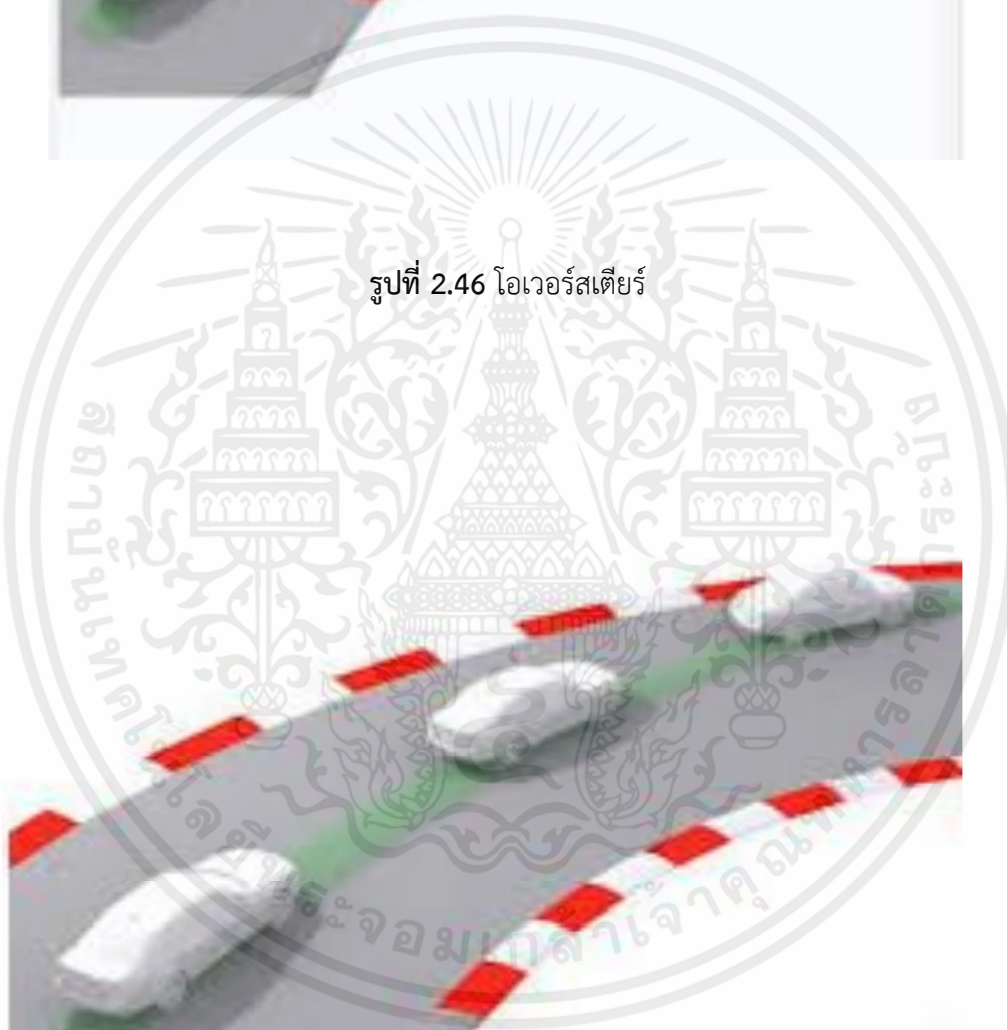
รูปที่ 2.45 ความแตกต่างของผิวหน้ายางที่ยืดเกาะถนน

2.1.12 การกระจายน้ำหนัก (Weight Distribution)

จุดศูนย์ถ่วง (C.G.) เป็นจุดรวมน้ำหนักของรถยนต์ทั้งคันผู้ออกแบบรถยนต์พยายามที่จะลดจุดศูนย์ถ่วงให้อยู่ต่ำที่สุด เพื่อช่วยให้เสถียรภาพของรถขณะเลี้ยวโค้งสามารถใช้ความเร็วได้สูงขึ้น โดยที่รถยังสามารถคงตัวอยู่ได้ปลอดภัย สำหรับรถยนต์ที่มีจุดศูนย์ถ่วงสูงจะทำให้รถยนต์พลิกคว่ำได้ง่ายกว่ารถยนต์ที่มีจุดศูนย์ถ่วงต่ำสังเกตได้จากรถแข่งทางเรียบ ตัวถังของรถจะค่อนข้างเตี้ย นอกจากนี้ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงตามแนวยาวของตัวรถจะส่งผลต่อการเกิด “สลิป แองเกิล” ถ้า เลื่อนจุดศูนย์ถ่วงมาทางด้านหน้าของรถเพิ่มมากขึ้น จะเกิด สลิปแองเกิล ที่ล้อหน้าเพิ่มขึ้นด้วย ขณะที่ ล้อหลังจะเกิดขึ้นน้อยลง และถ้าเลื่อนจุดศูนย์ถ่วงมาทางด้านหลัง ผลที่ได้จะเป็นไปในทิศทางตรงข้าม กัน การเกิด สลิปแองเกิล ที่ล้อหน้าจะทำให้เกิดอาการ อันเดอร์สตีร์หรืออาการหน้าดื้อ แต่ถ้าเกิดที่ ล้อหลังมักจะเกิดอาการโอเวอร์สตีร์ 15 อาการอันเดอร์สตีร์



รูปที่ 2.46 โอเวอร์สตีयर



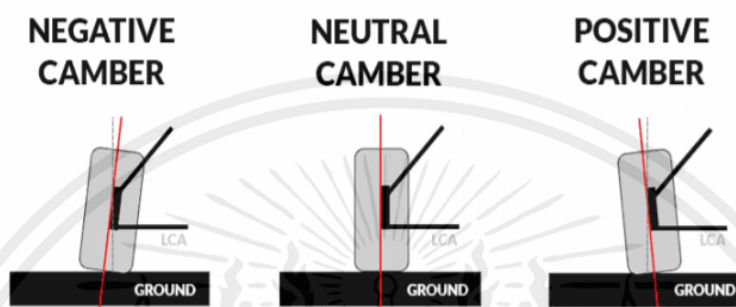
รูปที่ 2.47 อันเดอร์สตีयर

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.13 ตัวแปรพื้นฐานของระบบช่วงล่างและส่วนประกอบของล้อ

2.1.13.1 มุมแคมเบอร์(Camber Angle)

มุมแคมเบอร์คือความเอียงของยางกับแกนแนวตั้ง เมื่อดูจากด้านหน้าในกรณีของยางเอนเข้าหาที่กึ่งกลางของรถ ในลักษณะนี้เรียกว่า “แคมเบอร์ลบ(Negative Camber)” และในกรณีที่ยางเอนออกจากที่กึ่งกลางรถ ในลักษณะนี้เรียกว่า “แคมเบอร์บวก(Positive Camber)”

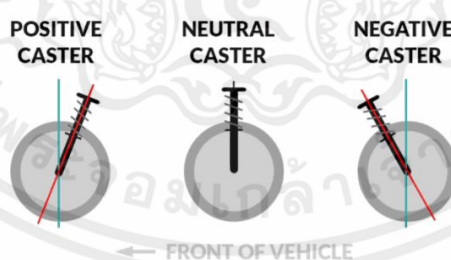


รูปที่ 2.48 รูปแบบของมุมแคมเบอร์

มุมแคมเบอร์ ทำหน้าที่ด้านการเอียงของรถในทางโค้ง ลดรัศมีมุมเลี้ยวลงเพื่อให้หมุนพวงมาลัยได้เบา ทำให้ไม่เกิดการคลอนตัวของลูกปืนล้อที่ระยะฟรี และลดอาการล้อสั่น

2.1.13.2 มุมแคสเตอร์(Caster Angle)

มุมแคสเตอร์ คือ การกระจัดเชิงมุมจากแกนแนวตั้งของระบบกันสะเทือนของล้อในรถวัดในทิศทางตามยาว กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือมุมที่แตกต่างกันระหว่างเส้นที่เชื่อมระหว่างลูกหมากตัวบนกับลูกหมากตัวล่างของปีกนกกับแกนแนวตั้งที่ลากจากที่กึ่งกลางของยาง



รูปที่ 2.49 รูปแบบของมุมแคสเตอร์

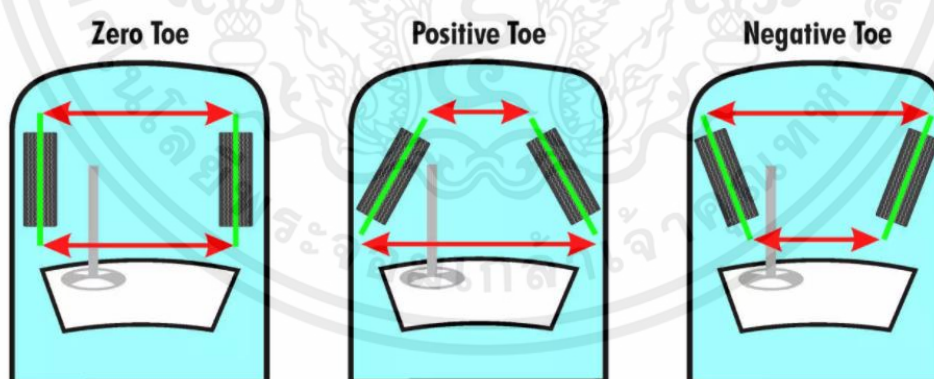
มุมแคสเตอร์ ทำหน้าที่ทรงทิศทางด้วยตัวเองเพื่อพวงมาลัยหมุนคืนตำแหน่งทางตรงได้ด้วยตัวเองหลังจากมีการเลี้ยว และทำให้การทรงตัวของรถได้ดี มุมแคสเตอร์ที่ผิดไปจากปกติจะไม่ก่อให้เกิดอาการการสึกหรอของยาง แต่จะทำให้น้ำหนักของพวงมาลัยและการควบคุมรถในทางตรงผิดเพี้ยนไป ถ้ามุมแคสเตอร์มีค่าเป็น “บวก” มากเกินไปพวงมาลัยจะหนักขึ้น ถ้ามุมแคสเตอร์มีค่าเป็น “ลบ” มากไปและจะมีความรู้สึกว่ารถ “ร่อน”

2.1.13.3 มุมโทอิน(Toe-in Angle)

มุมโทอิน คือ ความแตกต่างของระยะระหว่างขอบล้อหน้าและขอบล้อหลังของล้อทั้งสองข้าง และวัดออกมาเป็นมุม หรือเป็นมิลลิเมตร(mm) มุมโทอิน จะมีค่าเป็น “บวก(Positive)” เมื่อระยะหน้ายางเอนเข้าหากัน ตามทิศทางหน้ารถ(เมื่อมองจากด้านบน ลงสู่พื้นถนน) มุมโทอิน จะมีค่าเป็น “ลบ(Negative)” เมื่อระยะห่างของยางด้านหน้ามากกว่าระยะห่างของยางด้านหลัง วัดจากแกนแนวนอน

2.1.13.4 มุมโทเอาท์(Toe-out Angle)

มุมโทเอาท์ คือ ผลต่างของมุมเลี้ยวล้อหน้า ที่อยู่ด้านนอกของวงเลี้ยวและด้านในของวงเลี้ยว หรือเรียกว่า “รัศมีวงเลี้ยว” ในขณะที่รถเลี้ยว ล้อหน้าทั้งสองก็จะหมุนไปในตามกัน ล้อด้านนอก จะหมุนไปตามวงกลมที่มีรัศมียาวกว่าล้อใน ทำให้ล้อด้านในทำมุมมากกว่าล้อด้านนอก มุมโทเอาท์ จะทำให้ล้อหมุนเลี้ยวได้อย่างราบรื่น ทำให้ศูนย์กลางการหมุนเลี้ยวของล้อ แต่ละล้อร่วมกัน และป้องกันการสึกหรอของยาง และอาการเสียวดังในขณะเลี้ยวในระดับหนึ่ง



รูปที่ 2.50 รูปแบบของมุมโท

2.1.13.5 Shock & Dampers

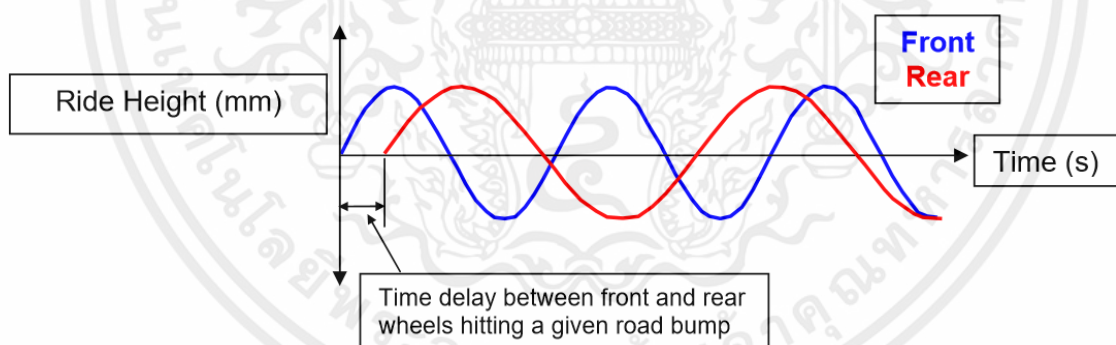
ขั้นตอนแรกในการเลือกความแข็งของสปริงคือการเลือกความถี่ของการขับเคลื่อนที่เราต้องการทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ความถี่ในการขับเคลื่อนนั้นก็คือความถี่ธรรมชาติ

- 0.5 - 1.5 Hz สำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล
- 1.5 - 2.0 Hz สำหรับรถแข่งซีดานและรถสูตรที่มีแรงกดอากาศปานกลาง
- 3.0 - 5.0+ Hz สำหรับรถแข่งที่มีแรงกดอากาศสูง

ความถี่ที่ต่ำจะส่งผลทำให้ระบบการสั่นสะเทือนเกิดความนุ่มนวลพร้อมการยึดเกาะเชิงกลที่มากขึ้นแต่อย่างไรก็ตามการตอบสนองจะช้าลงในชั่วขณะ

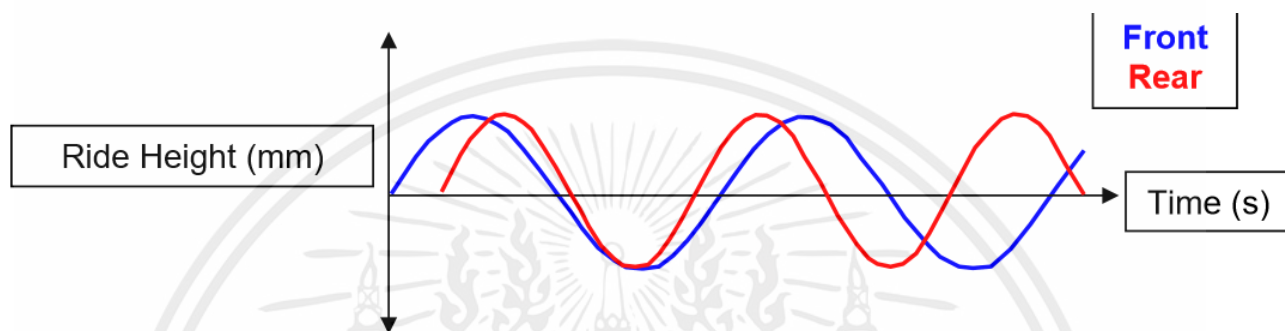
ความถี่ที่สูงขึ้นจะทำให้การเคลื่อนที่ของระบบการสั่นสะเทือนน้อยลงทำให้ความสูงของรถต่ำลง และจุดศูนย์ถ่วงก็ลดต่ำลงด้วย

ความถี่ธรรมชาติของรถทั้งด้านหน้าและด้านหลังโดยทั่วไปจะมีค่าไม่เท่ากัน ในทางทฤษฎีแล้ว ดังตัวอย่าง 2 แบบ ที่จะแสดงในกราฟระหว่างความถี่ด้านหน้าและความถี่ด้านหลังที่เกิดขึ้น ในขณะที่รถเกิดการบีบ ในตัวอย่างที่ 1 จะแสดงให้เห็นการเคลื่อนไหวในแนวตั้งของโครงรถ(Chassis)กับ ความถี่ด้านหน้าจะสูงกว่าความถี่ด้านหลัง ในกราฟคาบแรกจะแสดงให้เห็นได้ชัดเจนที่สุดเมื่อดูที่เฟสของความถี่



รูปที่ 2.51 ความถี่ด้านหน้าสูงกว่าความถี่ด้านหลัง

การเคลื่อนที่ในแนวตั้งระหว่างด้านหน้าและด้านหลังที่ต่างกัน เกิดจากเวลาที่ต่างกัน ระหว่างล้อด้านหน้ากับล้อด้านหลังเมื่อเกิดการบีบ ทำให้เกิดความถี่ที่แตกต่างกัน ผลลัพธ์ของเฟสที่แตกต่างกันคือระยะ pitch ของกราฟ ระหว่างด้านหน้าและด้านหลัง หากต้องการให้ระยะ pitch ลดลงขณะที่รถเกิดการบีบ ต้องเพิ่มความถี่ธรรมชาติของด้านหลัง เพื่อให้เกิดระยะ pitch ระหว่างล้อด้านหน้าและด้านหลัง มีค่าน้อยที่สุด ดังแสดงในตัวอย่างที่ 2

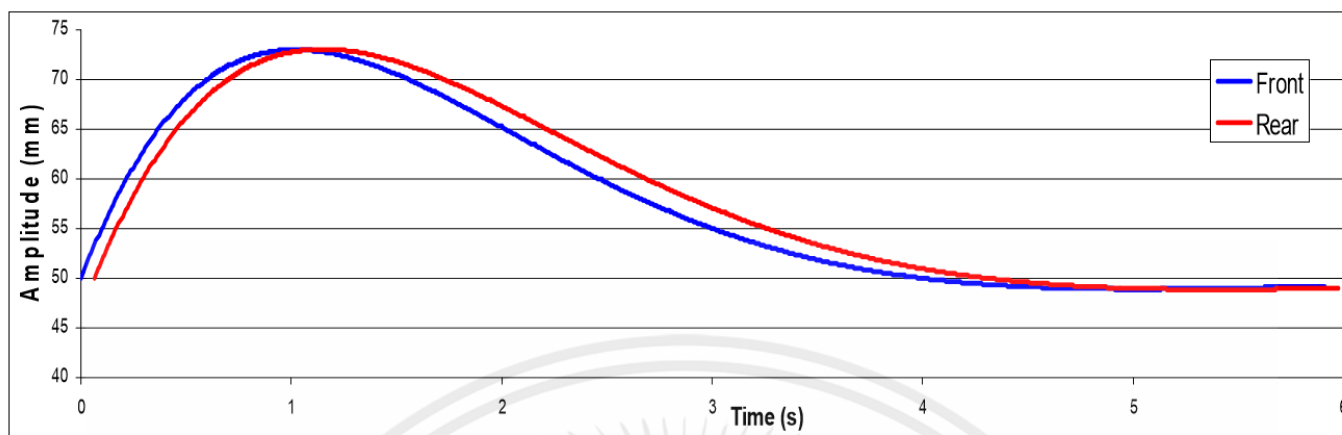


ตัวอย่างที่ 2.52 ความถี่ด้านหลังสูงกว่าความถี่ด้านหน้า

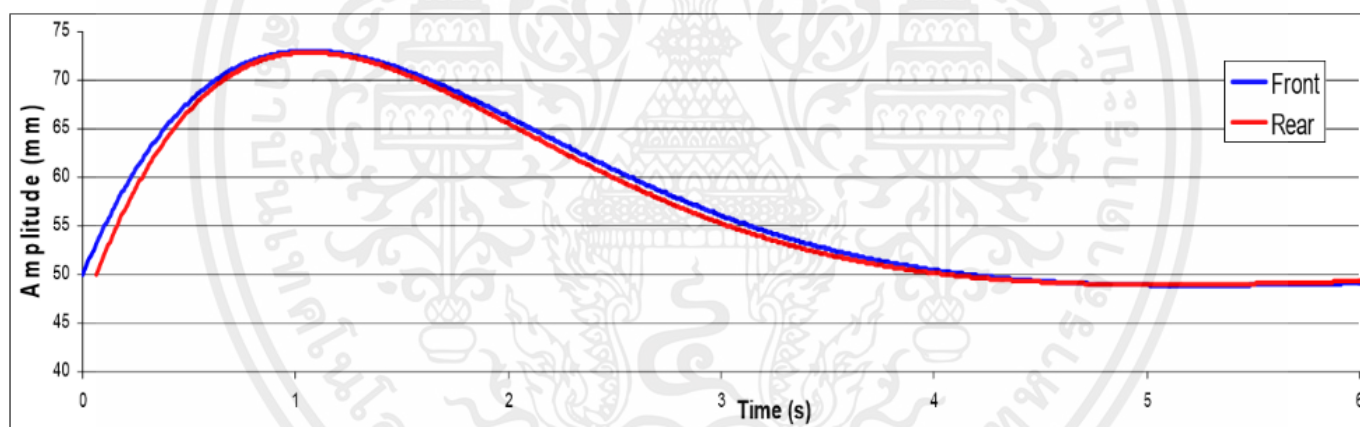
หากกำหนด ระยะเวลาฐานล้อและความเร็ว ความถี่ในขณะที่รถเกิดการบีบ ควรมีค่าความแตกต่างอยู่ที่ 10-20% ระหว่างล้อหน้ากับล้อหลัง

ในทางทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้น เป็นพื้นฐานในการพัฒนาสำหรับรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ที่มีเน้นเรื่องความนุ่มนวลในการขับขี่มากกว่าประสิทธิภาพของรถ โดยทั่วไปรถแข่งจะวิ่งที่อัตราส่วนการหน่วง (Damping Ratio) ที่สูง และไม่เน้นความนุ่มนวลของรถในการขับขี่ รถแข่งบางคันใช้ความถี่ด้านหน้าที่สูง อัตราส่วนการหน่วงที่สูงจะช่วยลดการสั่นที่เกิดจากการกระแทกบนพื้นถนน หากรถแข่งมีความถี่ด้านหน้าที่สูง จะช่วยให้รถตอบสนองได้เร็วขึ้น การเปลี่ยนแปลงความสูงด้านหน้ารถจะน้อยลง และช่วยให้ล้อหลังยึดเกาะได้ดีขึ้น (สำหรับรถยนต์ขับเคลื่อนล้อหลัง) การแบ่งความถี่ให้เหมาะสม พื้นถนนและความเร็ว เป็นตัวแปรที่สำคัญอย่างมากสำหรับรถแข่ง

ตัวอย่างต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นกราฟความถี่ที่แตกต่างกันระหว่างล้อหน้าและล้อหลัง 10 เปอร์เซ็นต์ ค่าความหน่วงวิกฤต 70 เปอร์เซ็นต์ ความเร็ว 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง และระยะฐานล้อ (Wheelbase) เท่ากับ 1.75 เมตร เมื่อเกิดการบีบหรือมีสิ่งภายนอกกระทบ



รูปที่ 2.53 ความถี่ด้านหน้าสูงกว่าความถี่ด้านหลัง 10%



รูปที่ 2.54 ความถี่ด้านหลังสูงกว่าความถี่ด้านหน้า 10 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเลือกค่าความถี่ธรรมชาติที่เหมาะสมได้แล้ว ต่อไปจะสามารถหาค่าอัตราส่วนสปริง (Spring rate) ที่ต้องการใช้ จาก ค่า Motion Ratio (การเคลื่อนที่ของล้อ/ระยะที่สปริงเคลื่อนที่) ของระบบช่วงล่าง น้ำหนักที่อยู่บนสปริง (Sprung Mass) ความถี่ธรรมชาติที่ต้องการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการโดยทั่วไปทางฟิสิกส์ ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความถี่ธรรมชาติ, อัตราส่วนสปริง และมวล

$$f = 1/(2\pi) \sqrt{\frac{K}{M}}$$

f = Natural frequency (Hz)

K = Spring rate (N/m)

M = Mass (kg)

การคำนวณหาค่าอัตราส่วนสปริงและนำไปใช้กับระบบกันสะเทือน สามารถคำนวณได้จากค่าความถี่ธรรมชาติ, น้ำหนักบนสปริง, ค่า Motion Ratio

$$K_s = 4\pi^2 f_r^2 m_{sm} MR^2$$

K_s = Spring rate (N/m)

m_{sm} = Sprung mass (kg)

f_r = Ride frequency (Hz)

MR = Motion ratio (Wheel/Spring travel)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mark Allison [1] ได้ศึกษาการออกแบบรถไฟฟ้าพลังงานไฟฟ้ารูปแบบใหม่รถแข่งไฟฟ้าที่นั่งเดียว ในปี 2014 SAE นำเสนอการแข่งขันสูตรไฟฟ้า งานวิจัยนี้โครงการเป็นส่วนหนึ่งของโครงการเทคโนโลยี สำหรับแหล่งพลังงานที่ยั่งยืนสำหรับการใช้งานยานยนต์เสนอโดยสูตรไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยซานตาคลารา (SCUFE) ทีม ในบทความนี้การออกแบบแบตเตอรี่ใหม่และรวมการประเมินรวมถึงเซลล์แบตเตอรี่ การเชื่อมต่อ ตัวเซลล์ ระบบความปลอดภัยและระบบควบคุมแบตเตอรี่ การเชื่อมต่อของเซลล์ที่เสนอจะช่วยเพิ่ม การนำไฟฟ้าผ่านพื้นที่ผิวสัมผัสของแท็บเซลล์ในขณะที่อนุญาตการกำจัดอย่างรวดเร็วของแต่ละเซลล์ใน กรณีของเซลล์ความล้มเหลว โครงสร้างของชุดตัวบรรจุจะประกอบด้วยของแผงโพลีคาร์บอเนต แผงการ เชื่อมต่อจะเป็นติดตั้งระหว่างฝาปิดผนังกับผนังเพื่อป้องกันไม่ให้แท็บถูกเปิดเมื่อคอนแทคเตอร์มีส่วนร่วม ในการป้องกันความเสี่ยงจากการสัมผัสกับไฟฟ้าแรงสูง การออกแบบที่นำเสนอช่วยให้แท็บจะเป็นนำออก จากรถโดยสิ้นเชิงเพื่อความ สะดวกการถอดประกอบและการขนส่ง การเชื่อมต่อภายนอกจะประกอบด้วย ปลั๊กขนาดใหญ่หนึ่งอันสำหรับ สายไฟเช่นเช่นเดียวกับการประกอบปลั๊กขนาดเล็กสำหรับแบตเตอรี่ระบบ การจัดการ (BMS) และเซ็นเซอร์ อื่นๆ ที่จำเป็นและการเชื่อมต่อ สถานะแรงดันไฟฟ้าของเซลล์จะถูก ตรวจสอบผ่าน BMS การทดสอบ ประสิทธิภาพที่แสดงให้เห็นว่าพลังงานจะหายไปผ่านการเชื่อมต่อจะถูก นำเสนอนอกจากนี้ความจุแรงดันไฟฟ้า สูงสุดและการจัดเก็บเซลล์กำลังการผลิตจะถูกวิเคราะห์และหารือ คำแนะนำเกี่ยวกับการออกแบบในอนาคตก็จะเป็นนำเสนอในแง่ของผลลัพธ์เบื้องต้นในประสิทธิภาพกับ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

Marcos Luz Junior [2] ได้ศึกษาการออกแบบจลนศาสตร์และการวิเคราะห์องค์ประกอบ จำกัด ของระบบช่วงล่างสำหรับสี่ล้อขับเคลื่อนพหุพลังงานไฟฟ้าสูตรนักเรียน มหาวิทยาลัยนอตติงแฮม ได้ลงทุนไปแล้ว พัฒนา

ระบบขับเคลื่อนสี่ล้อ (4WD) เครื่องแรกยานพาหนะในสหราชอาณาจักรเพื่อเข้าสู่การแข่งขัน Formula นักศึกษา (FS) ชั้น 1 ในเดือนกรกฎาคม 2561 เหตุการณ์ต้องการการออกแบบการผลิตและการทดสอบของรถแข่งสไตรล์สูตรเพื่อแข่งขันในแบบคงที่และแบบไดนามิกสถานการณ์ต่อต้าน มหาวิทยาลัยทั่วโลกทีมแข่งประกอบด้วยวิศวกร 30 คนทั้งรายบุคคลและในทีมย่อยในหลายส่วนของ รถยนต์เช่นแซสซี-คอนโทรลแอโรไดนามิกระบบช่วงกลางการรวมกันของระบบส่งกำลังและแรงบิด ทำงาน ในการเชื่อมโยงอย่างใกล้ชิดกับทีมย่อยเหล่านี้ช่วยให้มั่นใจได้แนวทางการรวมองค์ประกอบและการปฏิบัติ ตามการออกแบบด้วยการเพิ่มขึ้นของรายการรถยนต์ไฟฟ้ามากกว่าปีมันกลายเป็นยากที่จะได้รับ ความก้าวหน้าจุดเริ่มต้นในการแข่งขัน ดังนั้นจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าที่มีฮับสี่ตัว (8 กิโลกรัม) สร้างแรงบิดทันที 56 170 นิวตันเมตรด้วย 8:1 ระบบส่งกำลังเกียร์ บทความนี้เกี่ยวข้องกับจลนศาสตร์การออกแบบและ FEA ของช่วงกลางสำหรับยานพาหนะเช่นนี้เพื่อบรรลุการออกแบบที่น่าเชื่อถือและแข่งขันได้ในขณะที่ปฏิบัติตาม ด้วยกฎ FS ที่ครอบคลุมก่อนการทดสอบสามารถเริ่มมีความทนทานและความน่าเชื่อถือของระบบช่วงกลาง ที่จำเป็น ถึงบรรณานุกรมนี้มีการศึกษาความไวเพื่อให้แน่ใจว่าระบบกันสะเทือนจัดการในลักษณะที่คาดหวังและ แข่งขันได้ในขณะที่รองรับและถ่ายโอนภาระล้อถนน นีลดปริมาณของการทดสอบในชีวิตจริงและลด ต้นทุนการปฏิบัติที่ดีในการออกแบบเพื่อความปลอดภัยในขณะเดียวกันก็เพิ่มเติมความหลากหลายของ วัตถุประสงค์เพิ่มเติมเกี่ยวกับพารามิเตอร์ประสิทธิภาพจะช่วยให้สมจริงการวิเคราะห์การระงับผ่านการใช้ ประโยชน์ของ Creo3.0 FEA และ Kinematics ที่เหมาะสม ในทางกลับกันจะให้บริการสามวัตถุประสงค์: ประการแรกเพื่อรวบรวมประโยชน์ระงับข้อมูล Kinematic สำหรับทีม ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในแบบจำลองของ ยานพาหนะประการที่สองเพื่อรับรองการออกแบบระบบกันสะเทือนตามระเบียบ FS 2018 ซึ่งครอบคลุม ข้อกำหนดและการออกแบบเพื่อความปลอดภัยหลายประการพารามิเตอร์และประการที่สามจัดเตรียม วิธีการของกระบวนการออกแบบและการวิเคราะห์ทั้งหมดสำหรับทั้งอนาคต ทีมและมหาวิทยาลัยทั่วโลก ประโยชน์ที่เกี่ยวข้องของโครงการ FS นั้นกว้างไกลเสนอทีมโอกาสในการประยุกต์ความรู้เชิงทฤษฎี ทางวิศวกรรมในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงในสาขาใหม่ที่ทันสมัยและได้รับประสบการณ์ด้านยานยนต์ Nicola Bianchi [4] ได้ศึกษาการออกแบบมอเตอร์ไฟฟ้างานวิจัยนี้ยืนยันความเป็นไปได้ของมอเตอร์เฟอไรต์ IPM ประสิทธิภาพสูงสำหรับสูตร SAE EV ข้อมูลเฉพาะของมอเตอร์ได้รับการประเมิน ตามความต้องการด้านประสิทธิภาพของการแข่งขันและได้รับการพิจารณาอัตราส่วนเกียร์สองเพื่อให้ได้ ขนาดที่ลดลงบนพื้นฐานของการเคลื่อนที่ของสเตอร์ที่แตกต่างกันมอเตอร์ ISDW IPM สองตัวที่มีช่องและ เสาจำนวนเท่ากันได้รับการออกแบบได้รับการปรับให้เหมาะสมที่สุดในแง่ของแรงบิดระลอกและการ เปรียบเทียบ ในที่สุดการเปรียบเทียบเพิ่มเติมได้ดำเนินการกับเครื่อง SPM หายากขนาดเท่ากันสองเครื่อง หนึ่งในเครื่องที่มีการเคลื่อนที่สเตอร์เดียวกันและจำนวนของเสาในขณะที่เครื่องที่สองนั้นมาพร้อมกับ FSCW ผลลัพธ์เน้นว่าการออกแบบ IPM ที่เสนอนั้นแสดงถึงแรงบิดที่ดีที่สุดและแนวโน้มความเร็วสำหรับแอปพลิเคชัน แม้ว่าเครื่อง SPM ที่เสนอจะแสดงความหนาแน่นแรงบิดสูงสุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการ กำหนดค่า FSCW ประสิทธิภาพของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกลไฟฟ้าในช่วงความเร็วฐานจะไม่เหมาะสมแม้ว่าจะเป็น พื้นที่ FW สั้น เพื่อตอบสนองความต้องการ แรงบิดที่ความเร็วในการทำงานสูงการลดจำนวนตัวนำจะ พิสูจน์ให้เห็นว่า นี่เป็นข้อเสียเปรียบที่สำคัญเพราะ จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของเฟสปัจจุบันทำให้ จำเป็นต้องมีการปรับขนาดของระบบจ่ายไฟ (อินเวอร์เตอร์และ ESS) ด้วยเหตุผลเหล่านี้การวิจัยนี้เน้นว่า การออกแบบ IPM ที่เสนอนั้นเป็นสิ่งที่ดีที่สุดในวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมเพราะรวมประสิทธิภาพสูงในช่วง ความเร็วที่กว้างเข้ากับการลดต้นทุนเนื่องจากการใช้แม่เหล็กพรีที่ หมายาก57

Stefano Pasquale [3] ได้ศึกษาการจัดการระบายความร้อนของมอเตอร์ไฟฟ้าสูตร การ วิเคราะห์ เชิงความร้อนของท่อน้ำระบายความร้อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า BPM ที่พัฒนาขึ้นสำหรับ FIA Formula EV นำเสนอแคมป์การสอบสวนขึ้นอยู่กับ การจองสถานการณ์คงที่ของ LPTN สำหรับการ กำหนดการสูญเสีย ทางแม่เหล็กไฟฟ้าภายใต้สภาวะการทำงานโหลดเฉลี่ยการจองของมอเตอร์ในการ กำหนดค่าเล็กน้อยช่วยให้ สามารถระบุหลักได้เส้นทางการไหลของความร้อนซึ่งขยายจากสเตเตอร์ไปยังชุด ระบายความร้อนของท่อน้ำ ความร้อนส่วนใหญ่พลังงานที่เกิดจากความสูญเสียทางแม่เหล็กไฟฟ้าใน ขดลวดใบพัดและสเตเตอร์นั้นถูก ส่งผ่านเรดิเอชันเพื่อให้ฟลักซ์ความร้อนที่สเตเตอร์มีค่าสูงถึง 79 เปอร์เซ็นต์ ของการสูญเสียทั้งหมดของ มอเตอร์การวิเคราะห์ความไวจะดำเนินการโดยมุ่งเน้นไปที่การระบุ พารามิเตอร์หลักที่มีผลต่อการจัดการความ ร้อน เหล่านี้รวมถึงการนำความร้อนของวัสดุรูปทรงเรขาคณิต ของสเตเตอร์และท่อน้ำพร้อมกับสภาพการ ทำงานของระบบระบายความร้อน การวิเคราะห์ความไวได้ ชี้แจงทิศทางที่เป็นไปได้เพื่อลดความต้านทาน ความร้อนและอุณหภูมิในที่สุดการเพิ่มประสิทธิภาพหลาย ตัวแปรดำเนินการในสามขั้นตอนอิสระช่วยให้การ ระบุรูปแบบเรขาคณิตที่เหมาะสมสำหรับท่อน้ำและสเตเตอร์สำหรับชุดของข้อ จำกัด หลังจากขั้นตอนสองของ กระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพอุณหภูมิขดลวด เฉลี่ยปกติจะลดลง 20 เปอร์เซ็นต์ ด้วยเคาพการกำหนดค่า เล็กน้อย โปรดทราบว่าในขั้นตอนนี้สื่อนำความ ร้อนยังคงอยู่ที่ค่าเล็กน้อยเป้าหมายของการวิเคราะห์ที่นำเสนอ คือการจัดการความร้อนที่ดีที่สุดของการ สูญเสียความร้อนที่กำหนดในเครื่องยนต์ด้วยเหตุนี้ผลกระทบทาง แม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการ เปลี่ยนแปลงทางเรขาคณิตที่กำหนดโดยการพิจารณาทางความร้อนถูกทอดทิ้ง การรวมรายละเอียด FEA ไว้นิรนูปการเพิ่มประสิทธิภาพจะช่วยให้การประมาณการดีขึ้นของการสูญเสียที่ เกิดขึ้นจริงในแต่ละกรณี และสามารถให้รูปทรงเรขาคณิตที่เกี่ยวข้องโดยตรง อย่างไรก็ตามอย่างเต็มรูปแบบ ขั้นตอนการปรับให้ เหมาะสมก็จะต้องใช้ความพยายามในการคำนวณซึ่งปัจจุบันไม่เข้ากันด้วยแอปพลิเคชัน

Nijmeijer [4] ได้ศึกษาการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถแข่งสูตรไฟฟ้าสำหรับนักเรียนบทความนี้ จะ อธิบายถึงการออกแบบระบบควบคุมแรงดึงในสูตรนักศึกษาไฟฟ้าพาหนะ ในหลายๆ แอปพลิเคชันการ แข่งขัน เหยียบคันเร่งนั้นควบคุมได้ยากสำหรับผู้ขับขี่ที่มีประสบการณ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของ ยานพาหนะไฟฟ้า ที่มีแรงบิดขนาดใหญ่จากการหยุดนิ่ง Driveline 3-DOF รูปแบบที่ใช้ร่วมกับแบบจำลอง ยานพาหนะ 7-DOF และแบบจำลองที่ไม่ใช่เชิงเส้นโดยใช้พารามิเตอร์ 10 ตัวแบบจำลองของระบบ ขับเคลื่อนและยานั้นผ่านการ

ตรวจสอบจากการตรวจวัด แบบจำลองเหล่านี้ใช้ในการออกแบบการลากที่ เหมาะสมระบบควบคุม ระบบนี้ ประกอบด้วยส่วนวงเปิดซึ่งใช้การเร่งตามยาวและด้านข้างเพื่อคำนวณค่า จำกัด แรงบิดผ่านทางคนขับที่ให้การ ประเมินค่าแรงเสียดทาน ส่วนพีดแบ็คของตัวควบคุมจะควบคุม อัตราสลิปของล้อหลัง ระบบควบคุมการยึด เกาะถนนจะถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกในโมเดลรถและหลัง58 จากนั้นในยานพาหนะสูตรนักศึกษาไฟฟ้า ทำการ เปรียบเทียบระหว่างยานพาหนะที่มีและไม่มีแรงดูด ควบคุม ยานพาหนะที่มีระบบควบคุมการยึดเกาะถนนจะ ทำงานได้ดีขึ้นอย่างมากในแง่ของการเร่ง ความเร็วตามยาวและแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการขับเคลื่อนที่ ดีขึ้นในแง่ของการเร่งความเร็ว ด้านข้างยานพาหนะไฟฟ้ากำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นเนื่องจากการบริโภคน้ำมัน เชื้อเพลิงและการปล่อย มลพิษเป็นประเด็นที่สำคัญกว่าวันนี้ยานพาหนะไฟฟ้าจำนวนมากใช้มอเตอร์บอร์ดที่ เชื่อมต่อกับล้อผ่าน เพลาขับและแบบคงที่การลดลง มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถส่งแรงบิดสูงจากหยุดนิ่งและมักจะมี โอกาสที่จะส่ง แรงบิดสูงสุดที่สูงมากในช่วงเวลาสั้นๆ สิ่งนี้สามารถนำไปสู่ปัญหาการฉุดลากและอันตราย สถานการณ์โดย เฉพาะที่ความเร็วสูงงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบควบคุมแรงดูดเพื่อเพิ่มแรงดูด ของระบบ ไฟฟ้าหลังรถสูตรนักศึกษาที่ขับเคลื่อนด้วยล้อด้วยมอเตอร์กลางหนึ่งตัวในรูปที่ 1 น้ำหนักรถเปล่า คือ ประมาณ 245 กิโลกรัม และมอเตอร์สามารถผลิต 85 กิโลวัตต์ ซึ่งส่งผลให้ 1200 นิวตันเมตร บนเพลา หลังระบบ V.A. Kalmakov ได้ศึกษาการพัฒนาแบบการออกแบบแบตเตอรี่รถยนต์ไฟฟ้า สำหรับ นักเรียน Formula Student Electric เป็นส่วนหนึ่งของการแข่งขันระหว่างมหาวิทยาลัย Formula Student ที่มุ่งเน้น การออกแบบและการประดิษฐ์ของรถแข่งไฟฟ้าโดยนักเรียน การแข่งขันครั้งนี้ส่งเสริม การใช้เทคโนโลยีใหม่ และการประยุกต์ใช้ผลการวิจัยเชิงปฏิบัติเพื่อมอบสมรรถนะยานพาหนะที่ดีที่สุด รถแข่งทุกคันจะต้อง ตอบสนองชุดของกฎและผ่านการตรวจสอบทางเทคนิคก่อนเข้าร่วมในการแข่งขัน การมีส่วนร่วมและ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการชนะในการประกวดดังกล่าวช่วยเร่งการพัฒนาวิทยาศาสตร์และ เพิ่มสถานะของ มหาวิทยาลัยอย่างมีนัยสำคัญดังนั้นมหาวิทยาลัยมีความสนใจในการสร้างทีมที่ประสบ ความสำเร็จหนึ่งใน องค์ประกอบหลักของรถแข่งคือชุดแบตเตอรี่ แบตเตอรี่แบบชาร์จไฟได้พร้อมระบบ ควบคุม แรกเริ่ม พารามิเตอร์สำหรับการพัฒนานำมาจากกฎของสูตรนักเรียนปี 2558-2559 ซึ่งมีการ ปรับปรุงทุก 2 ปี

shray Chandra [5] ได้ศึกษาระบบความปลอดภัยของยานพาหนะไฟฟ้าสำหรับการแข่งรถสูตร การ พัฒนารถยนต์ไฟฟ้าสูตรมีความท้าทายของตัวเองที่เกี่ยวข้องกับมันบางที่สิ่งที่ซับซ้อนกรณีเป็น มาตรการความปลอดภัยที่เหมาะสมที่จะต้องมีความในสถานที่เพื่อให้แน่ใจว่าเป็นอยู่ที่ดีของคนขับ รถสูตรต้อง ทำงานได้ดีเพื่อให้ได้ ความเร็วสูงมากในกรอบเวลาที่เล็กมากๆ และยังคงยึดติดตามการทำงานของ ส่วนประกอบทั้งหมดอย่าง เหมาะสมซึ่งอาจเป็นความหายนะ ในขณะที่ชิ้นส่วนเครื่องกลมีมาตรฐานและ มาตรการความปลอดภัยของ ตัวเองชิ้นส่วนไฟฟ้าและการออกแบบความปลอดภัยควรปฏิบัติตามกฎที่ เข้มงวดของ FSAE บทความนี้ กล่าวถึงวิธีการที่เป็นนวัตกรรมซึ่งระบบความปลอดภัยของรถยนต์ไฟฟ้า สูตรปลอดภัยสูงได้รับการออกแบบ

วงจรรอานาล็อกและการตั้งโปรแกรมหน่วยควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) โดยคำนึงถึงความเป็นไปได้ที่แตกต่างกันและในเวลาเดียวกัน59

Xuanyang Hu [6] ได้ศึกษาการพัฒนามอเตอร์ความหนาแน่นกำลังสูงสำหรับรถแข่งไฟฟ้า Formula SAE มอเตอร์ถูกใช้เป็นมอเตอร์ในล้อภายในขอบล้อต้องคำนึงถึงดิสก์เบรกคาลิเปอร์และช่วงล่างยึดด้วยช่องว่างสำหรับมอเตอร์นั้นมี จำกัด เนื่องจากส่วนประกอบเหล่านี้ดังรูปที่ 2 ในกรณีนี้มอเตอร์ แรงบิดสูงความเร็วต่ำแบบขับโดยตรงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกขนาดใหญ่ไม่เหมาะสม มอเตอร์ที่เสนอ นั้นได้รับการออกแบบให้เป็นมอเตอร์ความเร็วสูงแบบแรงบิดต่ำแบบเรียวขับล้อด้วยตัวลดเกียร์ดาวเคราะห์ เส้นผ่านศูนย์กลางมอเตอร์ด้านนอกและความยาวแกนจะ จำกัด อยู่ที่ 120 มิลลิเมตร ความเร็ว สูงสุดของยานพาหนะถูกกำหนดไว้ที่ 120 กิโลเมตร/ชั่วโมง โดยพิจารณาจากอัตราทดเกียร์ 13:1 ความเร็วรอบมอเตอร์สูงสุดคือ 16000 รอบต่อนาทีแรงบิดสูงสุดของมอเตอร์คือ 22 นิวตันเมตร ยาวนาน 3.5 วินาที รูปที่ 3 แสดงระดับพลังงานในระหว่างเหตุการณ์ความอดทน 95 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงาน ทั้งหมดในระหว่างเหตุการณ์ความอดทนต่ำกว่า 40 กิโลวัตต์ ดังนั้นกำลังไฟ 10 กิโลวัตต์ต่อมอเตอร์จึงถูก กำหนดให้เป็นพารามิเตอร์การออกแบบหลัก ประสิทธิภาพแบบไดนามิกสูงมอเตอร์ความเฉื่อยต่ำเป็น สิ่งจำเป็นเนื่องจากการเร่งความเร็วและการชะลอตัวของรถบ่อยครั้งในระหว่างการแข่งรถและเหตุการณ์ ความอดทนโครงสร้างของใบพัดภายในจะถูกตัดลिनก่อนโครงสร้างใบพัดแม่เหล็กถาวรภายในได้รับการ เลือกให้ลดลงอันเป็นผลมาจากแรงบิดความถี่สูงและประสิทธิภาพการลดลงของฟลักซ์ โครงสร้างใบพัด แบบซี่ล้อที่แสดงโฆษณาในรูปที่ 4 มุมมองภาพตัดขวางของมอเตอร์ถูกเลือกสำหรับเอฟเฟกต์ความเข้มข้น ของฟลักซ์ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อความหนาแน่นพลังงานสูง เศษส่วนสองชั้นที่ไม่มีการทับซ้อนกันของขดลวด (FSCW) ที่มีฟันคอยล์ 12 สล็อตและ 10 ขั้วถูกเลือกสำหรับปลายปีกสั้นสั้นปัจจัยเติมช่องสูงดังนั้นจึงมี ประสิทธิภาพสูงและความหนาแน่นพลังงานสูง [4] ยิ่งไปกว่านั้น การรวมกันของ 10 poles/12 slot ทำให้ มั่นใจได้ว่าจะมีปัจจัยการไหลที่สูง $kw1=0.933$ ข้อดีอีกอย่างของ สล็อต 10 poles/12 ก็คือมัน รับประทานการกำจัดฮาร์โมนิกจำนวนคู่ดังนั้นการลดการสูญเสียเหล็กและการสูญเสียกระแสวนใน แม่เหล็กถาวร 10 ขั้ว/12 สล็อต FSCW สองชั้น โรเตอร์แบบก้านพร้อมการตั้งค่าแม่เหล็ก NdFeB ขนาด ของมอเตอร์ที่สำคัญ

Zöller et al. [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับขยารถยนต์และการเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งของยาง รถยนต์ในการ ขับขี่ ทดลองใช้เครื่องจำลองการขับเคลื่อนที่ล้อ โดยจำลองสภาพรถหยุดนิ่ง และรถ เคลื่อนที่ นำค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานมาหาแรงกระทำแนวตั้งของยางทดลองโดยใช้โพล 3270 นิวตัน 4510 นิวตัน และ 5940 นิวตัน ดูการเปลี่ยนแปลงในแนวตั้ง ความแข็งของหน้ายาง มุมสลีปของ ยาง

Kaliske [8] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการแตกกระจายตัวของลมยางก่อนอื่นรู้ว่า ยาง รถนั้นเป็นส่วนที่ติดกับ ยานพาหนะ และถนนมันจึงเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับความปลอดภัยของการ ยานพาหนะจึงได้ทำการทดสอบ ความทนทานของยาง โดยใช้รถบรรทุกในการทดสอบ และทำการเติม ลมที่ (0.9MPa) ค่าสอดคล้องของโหลด ในแนวตั้ง (44150N) (4470N) จากนั้นดูการเปลี่ยนแปลงของ ดอกยาง และรอยต่อของยาง

Reiter and Wagner [9] ได้ทำการศึกษาระบบยางรถยนต์และแรงดันลมยางก่อนอื่นรู้ว่า ลมยางเป็นปัญหา ทั่วไปในรถเก๋ง และรถกระบะมีผลกระทบต่อยานพาหนะจึงได้ทำการทดลองโดย การตั้งค่าพวงมาลัยต้อง เพิ่มขึ้นถึง 47.7 เพอร์เซ็นต์ สำหรับยางหน้าแรงดันที่ 70 เพอร์เซ็นต์ ของค่าที่กำหนดไว้ในขณะที่ มุมรถลื่นได้ ถึง 77.8 เพอร์เซ็นต์ โดยจะใช้ลมยางทั้งหมด 70 เพอร์เซ็นต์ ของความดันที่แนะนำ

Nagatani [10] ได้ทำการทดลองสำหรับยานพาหนะเพื่อคำนึงถึงแรงเสียดทานขึ้นอยู่กับ ความเร็วใน สถานการณ์การเมื่อรถขับตามไฟท้ายกันไปข้างหน้าอาจจะทำให้เกิดความผิดพลาดเกิด การชนกันขึ้นเรา สำนวณผลกระทบของความเร็วขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานในการเคลื่อนไหวของพาหนะ โดยใช้แบบความเร็วที่ เหมาะสม เพื่อการมองเห็นที่ต่ำโดยขับใกล้รถด้านหน้า และไม่ปรับตัวกับสภาพ ถนน ในสภาพการมองเห็นต่ำ เบรกเพื่อหยุดรถทันทีที่ทำให้ท้ายของรถสายความเร็วระหว่างรถ ข้างหน้าหรือข้างหลังเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อ หลีกเลี่ยงการชนหลายคันในแรงเสียดทานขึ้นอยู่กับความเร็ว ของยานพาหนะในรถจริง ในความเร็วต่ำ เบรกไม่ทำงาน แต่จะทำงานในความเร็วสูง

Öktem et al. [11] ในการศึกษาครั้งนี้ได้รับการพัฒนาตามรายละเอียดที่กำหนดไว้แรงเสียด ทาน และการสึกหรอได้ทดสอบการดำเนินประเมินความน่าเชื่อถือ และความสำคัญของผลของวิธีการ ที่นำเสนอ และอุปกรณ์ได้ดำเนินการภายใต้เงื่อนไขการพิจารณาที่แตกต่างกันรวมถึงความเร็วดีส์กั ต่างๆแรงกดตัน เบรกเมื่อเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน การทดสอบที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ในช่วงตั้งแต่ 21 °C ถึง 450 °C เท่านั้นผลการทดสอบระหว่าง 21 °C และ100 °C ถูกนำมา พิจารณาในการศึกษานี้อุณหภูมิที่วัดโดย เลเซอร์อินฟราเรด และมีความสัมพันธ์โดยใช้รูปภาพติดกับ กล้องความร้อนนอกจากนี้ 1,000 รอบตรงกับ ประมาณรถบนถนน 13,500 เมตรขณะที่ 3,000 รอบมี ค่าเท่ากับ 26,500 เมตรของรถบนค่าอัตราการสึก หล่อสูงสุดพบว่าในกลุ่มตัวอย่างของการทดลองมี 21 ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้รับการพล็อตเป็นหน้าที่ ของการหมุนความเร็วสัมบูรณ์ ในการสั่งซื้อ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแรงเสียดทานรอบเบรก แตกต่างกัน มันถูกตั้งข้อสังเกตว่าค่า μ ยังคงอยู่ในช่วงของ 0.502-0.739 แสดงให้เห็นชัดเจนว่าการเพิ่ม ความเร็วในการหมุนที่เกิดจากการ เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานสำหรับผ้าเบรกนี้ มากขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์ แรงเสียดทานอาจนำมาประกอบกับตัวของที่สัดส่วนของอนุภาคโลหะหนัก (เส้นใย เหล็ก) แสดงค่า สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ความดันประยุกต์ต่างๆ และแสดงให้เห็นว่า μ ลดลงมีความดันที่ เพิ่มขึ้น อย่างรวดเร็วการเปลี่ยนแปลง

Bhoopalam et al. [12] ได้ศึกษาทดลองประสิทธิภาพของยางรถยนต์บนน้ำแข็ง โดยใช้ ขนาดของ ยาง P225 / 60 R16 97S อ้างอิงมาตรฐาน ในการทดสอบยาง สำหรับศึกษา ใช้เป็นยาง อ้างอิงสำหรับการ เบรกบนน้ำแข็ง เพื่อให้เข้าใจถึงผลกระทบของลึกของดอกยางเต็ม 7.97 มิลลิเมตร และดอกยางที่ 1.6 มิลลิเมตร ทดลองที่พื้นอุณหภูมิ 0 องศา และ -10 องศา หาประสิทธิภาพของยาง

Liu et al. [13] ได้ทดลองการที่จะใช้วิธีประเมินแรงเสียดทานที่ถนน และยางโดยวัดแรงบิด ตามพวงมาลัย ซึ่งมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของมุมลื่นกว่าการบังคับ การทำงานแบบเรียลไทม์ และการ ประมาณมุมลื่นอย่างแข็งแกร่งมากขึ้น และถูกต้องเพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน ของยางถนน และ การทดลองผลยางถนนได้ต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเห็นถึงความแม่นยำและ ประสิทธิภาพที่เสนออาจไม่ สามารถให้ประมาณการที่ถูกต้องสำหรับแรงเสียดทานที่ถนนยางการ กระจายแรงบิดล้อหน้า ไปยังพวงมาลัย ล้อจะเสียดสีกับถนนยางการประมาณค่าสัมประสิทธิ์เพื่อให้ได้ เร็ว และพยายามประมาณค่าสัมประสิทธิ์แรง เสียดทานของยางถนนหน้าล้อซึ่งเป็นงานที่ท้าทายมาก แต่จะช่วยควบคุมเสถียรภาพของยานพาหนะอย่างมาก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

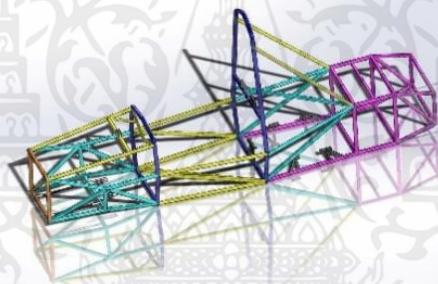
วิธีการดำเนินโครงการ

ในบทนี้จะอธิบายถึงชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้กับตัวรถว่ามีหน้าที่ และส่งผลอย่างไรกับตัวรถ ซึ่งนอกจากประสิทธิภาพของตัวรถ และอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ จะส่งผลดีในหลายๆ ส่วน เช่น สมรรถนะที่ดีขึ้นในการขับขี่ ความสามารถในการทำความเร็วที่ดีขึ้น เป็นต้น โดยการใช้อุปกรณ์เพื่อทดสอบจะมีประสิทธิภาพเพียงใดขึ้นอยู่กับความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์นั้นๆ และรวมไปถึง ขั้นตอนและวิธีการทดสอบต่างๆ

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือและโปรแกรมที่ใช้ทดลอง

3.1.1 วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือ

3.1.1.1 โครงรถ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างหลักของรถอ้างอิงค่าตามกฎการแข่งขันตาม TSAE Auto Challenge 2020 Student Formula EV

ในปัจจุบันทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ไทย จัดการแข่งขันรายการ TSAE Auto Challenge 2019-2020 Student Formula โดยมีจุดประสงค์หลัก เพื่อการพัฒนาทักษะทางด้านวิศวกรรมยานยนต์ให้นักศึกษาสถาบันต่างๆ ซึ่งจะมีการแข่งขัน ปีละ 1 ครั้ง ครั้งแรกจัด ขึ้นในปี 2005 เป็นการแข่งขันทันรูปแบบยานยนต์ประหยัดพลังงาน จากนั้นจึงเปลี่ยนมาเป็นการแข่งแบบฟอร์มูล่า ในปี 2007 และได้ปรับเปลี่ยนมาใช้กฎกติกาสากลในปี 2008 มาตรฐานความปลอดภัย ในการแข่งขัน Bullet Auto Challenge เป็นรายการที่เน้นความปลอดภัย โดยมีกฎกติกาที่เคร่งครัด ระบุไว้ชัดเจน ทั้งในส่วนของการออกแบบดังรูปที่ 3.1 และอุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยสำหรับนักแข่งที่ต้องได้มาตรฐาน FIA เช่น หมวกกันน็อคหรือเซฟตี้เบลต์ โดยในวันแข่งขันหากรถจากสถาบันใดไม่ผ่านการตรวจสอบจากคณะกรรมการ จะไม่สามารถนำรถลงแข่งได้

3.1.1.2 TRACK (Fr) ความกว้างด้านหน้า (รูปที่ 3.2) อยู่ที่ 1,260 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ความกว้างด้านหน้า

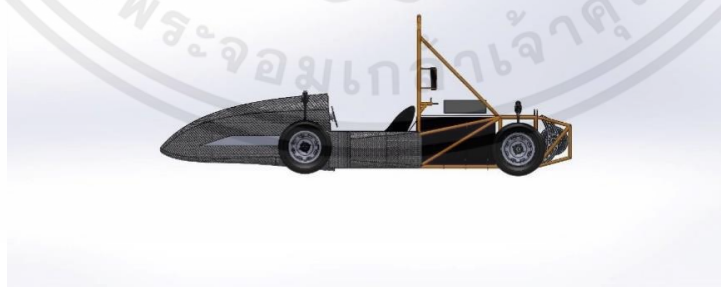
3.1.1.3 TRACK (Rr) ความกว้างด้านหลัง (รูปที่ 3.3) อยู่ที่ 1,160 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.3 ความกว้างด้านหลัง

3.1.1.4 WHEELBASE ช่วงระยะห่างของล้อหน้าถึงล้อหลัง (รูปที่ 3.4) อยู่ที่ 1,700

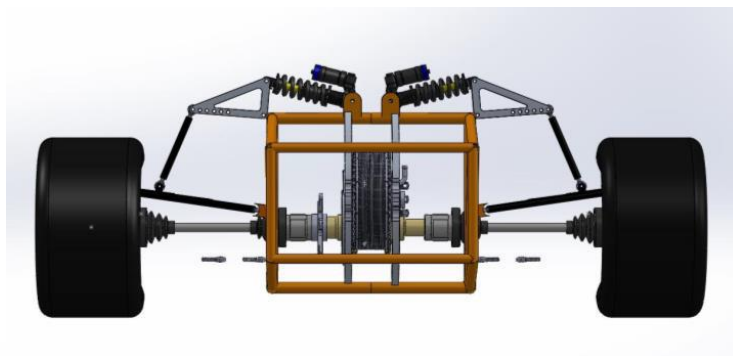
มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 ช่วงระยะห่างของล้อหน้าถึงล้อหลัง

3.1.1.5 ระบบช่วงล่าง ชิ้นส่วนประกอบของระบบช่วงล่างดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



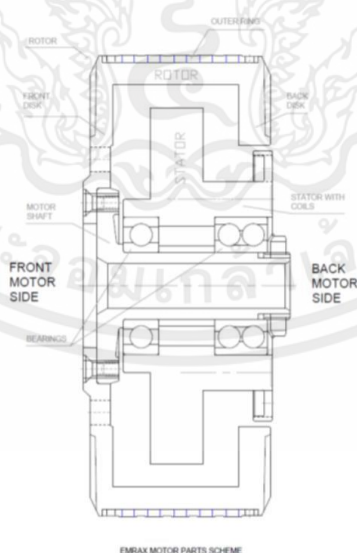
รูปที่ 3.5 ระบบช่วงล่างของรถ

3.1.2 วัสดุ อุปกรณ์ ระบบไฟฟ้า

3.1.2.1 Motor Emrax 228









รูปที่ 3.6 Motor Emrax228

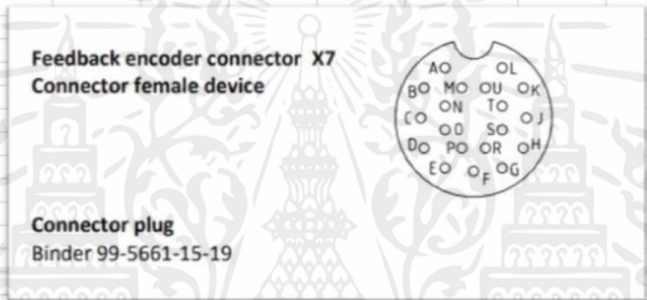


รูปที่ 3.7 ส่วนประกอบใน Motor Emrax228

มอเตอร์ที่ทางทีมเลือกใช้เป็นมอเตอร์ที่ใช้โรเตอร์ของ มอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งทำมาจาก เหล็กแผ่นบางและมีการเจาะช่องด้านนอกดังรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 เพื่อวาง Bar โดยทั่วไป Bar จะทำด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

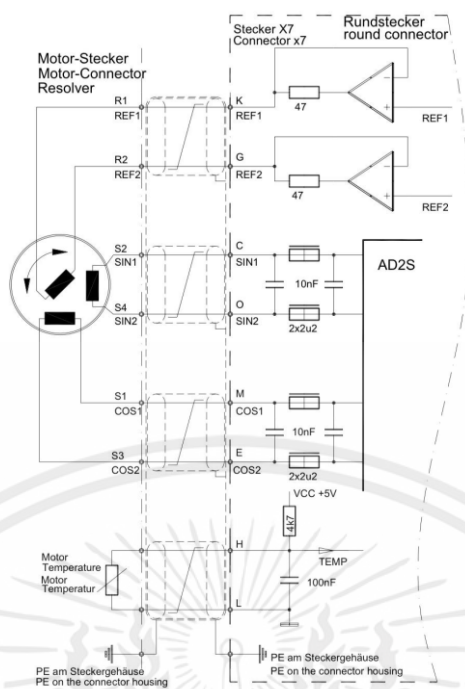
ทองแดงหรืออลูมิเนียมการพันขดลวด (Electric Vehicle) Winding) เข้าไปใน Bar ของโรเตอร์จำเป็นต้องให้ได้จำนวน Pole เท่ากับจำนวนของ Pole ในส่วนด้านท้ายของ Squirrel Cage Rotor จะประกอบด้วยแหวนโลหะโดยส่วนใหญ่จะทำจากทองแดง มอเตอร์ตัวนี้มีขนาดที่เบากว่า Motor โรงงานทั่วไป เพราะทางบริษัทนั้นได้จัดทำขึ้นมาเพื่อใช้ในการแข่งขันโดยเฉพาะซึ่งมีน้ำหนักที่เบาเพียงแค่ 12 กิโลกรัม และสามารถสร้างแรงมาได้ถึง 134 แรงม้า แรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 500 Vdc (แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง) ในพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 6500 รอบต่อนาที ทอร์คสูงสุดอยู่ที่ 109 กิโลวัตต์ แรงบิดสูงสุดอยู่ที่ 230 นิวตันเมตร

| X7 plug | | GO TO | Title |
|---------|---|-------|-------------|
| C |  | GO TO | SIN1 |
| O |  | GO TO | SIN2 |
| M |  | GO TO | COS1 |
| E |  | GO TO | COS2 |
| K |  | GO TO | REF1 |
| G |  | GO TO | REF2 |
| H | | GO TO | temp signal |
| L | | GO TO | temp GND |



รูปที่ 3.8 วงจรเชื่อมต่อ Resolver connection X7

วงจรเชื่อมต่อ Resolver connection X7 จะเป็นวงจรการเชื่อมต่อการส่งสัญญาณของรอบมอเตอร์ไปที่กล่อง Controller เพื่อให้กล่องนั้นได้ส่งแรงดันไฟฟ้าสูงสุดกลับมาที่มอเตอร์ มอเตอร์นี้ค่าการจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะควบคุมไปกับการหมุนของมอเตอร์ ถ้ารอบหมดค่าแรงดันไฟฟ้าก็จะส่งไปน้อย ถ้าหมดเร็วแรงดันไฟฟ้าก็จะจ่ายได้เต็มที่ ถ้าเกิดมีสายใดสายหนึ่งหลุด มอเตอร์ก็จะไม่ทำงานทันที ควรระวังสายสัญญาณให้ดีเพราะเป็นสายที่เล็ก และทำให้ขาดง่าย ถ้าเปลี่ยนต้องเปลี่ยนยกชุดซึ่งมีค่าใช้จ่ายที่สูง การเชื่อมต่อให้ดูรูปภาพที่ 3.8 และ 3.9 ประกอบ

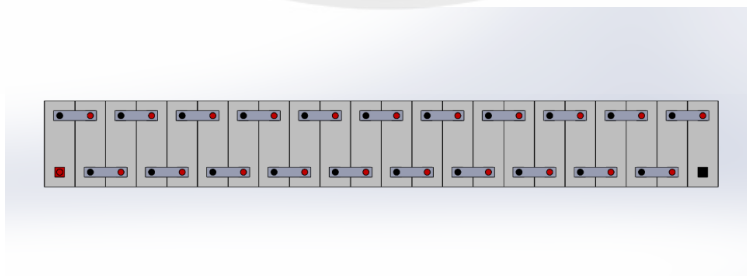


รูปที่ 3.9 วงจรเชื่อมต่อ Resolver connection

3.1.2.2 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion NMC Battery)



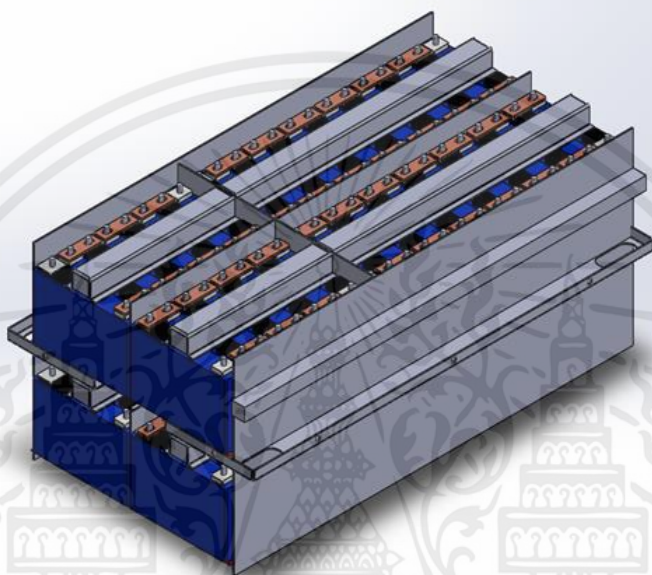
รูปที่ 3.10 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion NMC Battery)



รูปที่ 3.11 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 1 ซีรี่ 22 เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ที่ทางกลุ่มเลือกใช้แบตเตอรี่ลิเทียม ไอออน แมงกานีส-โคบอลต์-ออกไซด์จากรูปที่ 3.10 ซึ่งมีข้อดีในด้านต่างๆ มีความหนาแน่นของพลังงานสูง สามารถปล่อยกระแสไฟฟ้าได้ดี มีความปลอดภัยสูง รูปทรงแข็งแรง



รูปที่ 3.12 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน 4 ซีรี่ 88 เซลล์

การแพ็คแบตเตอรี่ทางทีมได้ใช้แบตเตอรี่ จำนวน 88 เซลล์ 1 เซลล์จากรูปที่ 3.12 มีค่าแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 4.2 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 40 แอมป์ นำมาต่ออนุกรมกัน 22 เซลล์เรียกว่า 1 ซีรี่จากรูปที่ 3.11 จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้า 92.4 โวลต์ ต่ออนุกรมกันทั้งหมดจำนวน 4 ซีรี่ จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 369.6 โวลต์ ค่าพลังงาน 13 กิโลวัตต์ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.3 กล่องควบคุม BAMOCAR-PG-D3-700



รูปที่ 3.13 กล่องควบคุม BAMOCAR-PG-D3-700

Controller หรือ ตัวควบคุมมอเตอร์ ในการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการประมวลผลและเชื่อมต่อกับมอเตอร์ที่เลือกใช้ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วตัวควบคุมมอเตอร์จะถูกปรับให้เหมาะกับมอเตอร์แต่ละชนิดของมอเตอร์ที่ได้เลือกใช้ การที่เลือกใช้มอเตอร์ก็ต้องเลือกตัวควบคุมมอเตอร์ให้เข้ากันด้วย ตัวควบคุมมอเตอร์ที่ทางทีมได้เลือกใช้ คือ UnitekD3 Bamocar D3-700-400RS Motorcontrol ดังรูปที่3.13 ผลิตโดยUnitex Industrie Elektronik ซึ่งMotor Emrax 228 ตัวควบคุม Bamocar เป็นตัวควบคุมที่มีน้ำหนักเบา เพียงแค่ 8.5 กิโลกรัม และมีการระบายความร้อนด้วยของเหลวเนื่องจากมีกำลังไฟฟ้าที่สูงและมีความร้อนสะสมจำเป็นต้องมีระบบระบายความร้อน

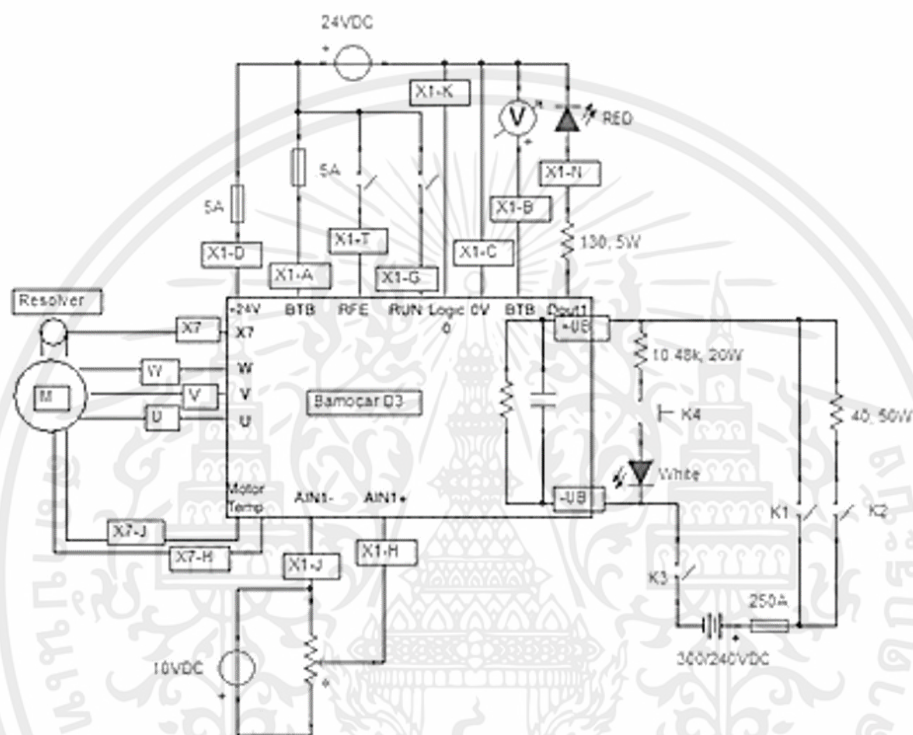


| | | | | | |
|-----------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|
| Membrane Ventil | X9 CAN BUS | X1 Control In-Output | X10 RS232 Parameter | X7 Feedback Sensor | Monitor Status-error |
|-----------------|-------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|

รูปที่ 3.14 BAMOCAR-PG-D3-700 Connectors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนของการเชื่อมต่อของกล่อง Controller ในแต่ละส่วนซึ่งแต่ละส่วนจะแสดงตามรูปที่ 3.14 ซึ่งทางที่มิได้แต่สายสัญญาณออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของ X1 คือการเชื่อมต่อของระบบควบคุมทั้งคันที่ส่งผลให้ Motor ทำงาน เช่นการเชื่อมต่อ คันเร่ง ไฟแสดงสถานะ ตัวสั่งให้มอเตอร์ทำงาน FRG/RUN และ X7 จะเป็นการเชื่อมต่อของสัญญาณ Resolver connection X7 แสดงตามรูปที่ 3.14 และ 3.15 การทำงานจะจับตามรอบของมอเตอร์แล้วจะส่งสัญญาณกลับมาที่กล่อง Controller เพื่อสั่งให้จ่ายกระแสไฟเพิ่มเข้าไปที่มอเตอร์ ถ้าสายใดสายหนึ่งหลุดมอเตอร์จะหยุดการทำงาน



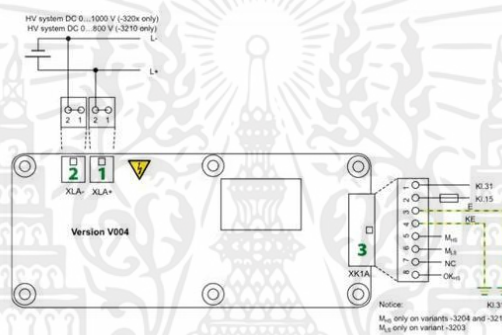
รูปที่ 3.15 วงจรการเชื่อมต่อของกล่องควบคุม BAMOCAR-PG-D3-700

วงจรการเชื่อมต่อของกล่องควบคุม BAMOCAR-PG-D3-700 ในไดอะแกรมนี้จะแสดงให้เห็นถึงการเชื่อมต่อของกล่อง Controller มามีส่วนไหนมาเกี่ยวข้องบ้าง ก็จะประกอบไปด้วย ทางด้านขวาจะเป็นในส่วนของ Resolver connection X7 ด้านบนจะเป็นส่วนของ connection X1 และด้านขวาจะเป็นในส่วนของแรงดันไฟฟ้าของ Battery

3.1.2.4 ISOMETER® iso-F1 IR155-3203 / -3204



รูปที่ 3.16 แผงวงจร ISOMETER® iso-F1 IR155-3203 / -3204



รูปที่ 3.17 วงจรการเชื่อมต่อของ ISOMETER® iso-F1 IR155-3203 / -3204

วงจรการเชื่อมต่อของ ISOMETER® iso-F1 IR155-3203 / -3204 ดังรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17 เพื่อตรวจสอบเช็คกระแสไฟฟ้า และความผิดปกติของฉนวนเมื่อเกิดการผิดปกติ เช่น ฉนวนชำรุดจะส่งสัญญาณเตือนและสั่งตัดระบบไฟฟ้า จึงทำให้ไม่มีกระแสไฟจ่ายเข้ามอเตอร์ เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานพาหนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.5 BMS Control Unit

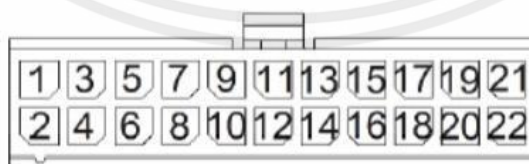


รูปที่ 3.18 BMS Control Unit

BMS Control Unit คือ ชุดควบคุมการแสดงผลประมวลผลข้อมูลสถานะของBMS ในขณะการทำงานดังรูปที่ 3.18 และยังสามารถปรับค่าการทำงานของ BMS ได้ เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.19 วงจรการเชื่อมต่อ BMS Control Unit



รูปที่ 3.20 หมายเลขการเชื่อมต่อ BMS Control Unit

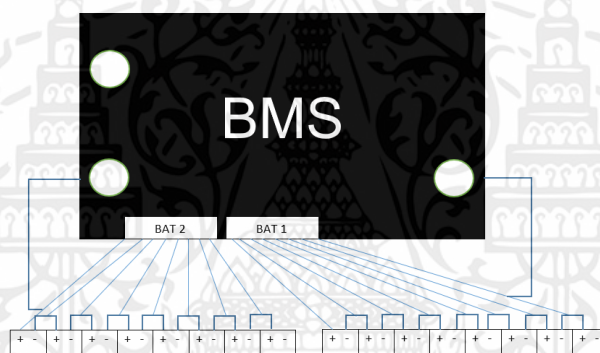
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลขแสดงตำแหน่งช่องการเชื่อมต่อสายสัญญาณจาก BMS และช่องสัญญาณ อุปกรณ์เพิ่มเติมตามความต้องการที่เลือกใช้ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.19 และรูปที่ 3.20

3.1.2.6 BMS (Battery Management System)

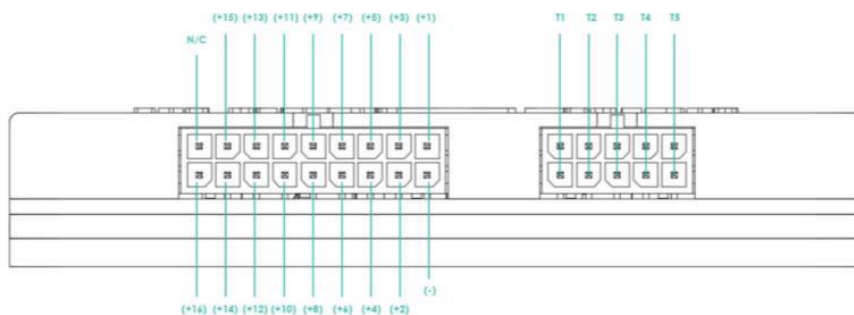


รูปที่ 3.21 BMS (Battery Management System)



รูปที่ 3.22 วงจรการเชื่อมต่อ BMS (Battery Management System)

BMS (Battery Management System) จะทำการตรวจสอบขั้นพื้นฐาน คือ การตรวจสอบแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิของเซลล์ การวัดความต้านทานต่อเซลล์เพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ใช้งาน และขณะชาร์จแบตเตอรี่ดังรูปที่ 3.21 เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ BMS หนึ่งตัวสามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ได้ทั้งหมด 16 เซลล์ดังรูปที่ 3.22 ทางทีมได้ใช้ BMS รุ่น Emus จำนวนทั้งหมดจำนวน 6 ตัว เพื่อให้สามารถตรวจสอบเซลล์แบตเตอรี่ได้อย่างควบคุม

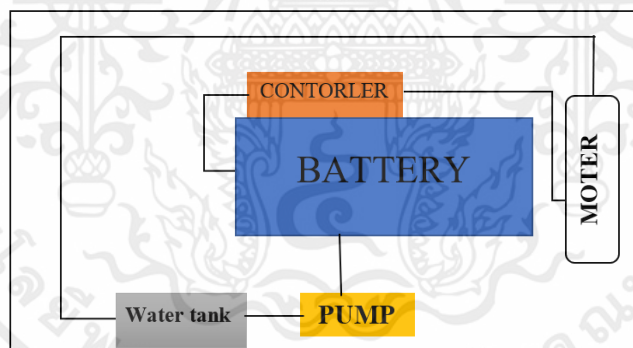


รูปที่ 3.23 ช่องการเชื่อมต่อ BMS และ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิไปยังแบตเตอรี่

การเชื่อมต่อ BMS และ แบตเตอรี่ จะทำการเชื่อมสายเส้นที่หนึ่ง (-) ไปยังขั้วลบของแบตเตอรี่ จากนั้นทำการเชื่อมสายเส้นที่สอง (+1) ไปยังขั้วบวก (+2) ต่อจนถึงเส้นสุดท้ายคือ n/c เมื่อต้องการจะเริ่ม BMS ตัวที่สองก็นำสาย (-) มาต่อตรงขั้วลบก่อนสุดท้าย เซนเซอร์วัดอุณหภูมิสามารถเลือกติดตั้งได้ตามที่ต้องการวัด BMS หนึ่งตัวสามารถวัดอุณหภูมิได้ 5 จุดดังรูปที่ 3.23

3.1.2.7 Cooling

ระบบ Cooling เพื่อการลดอุณหภูมิในระบบการทำงานของแบตเตอรี่ คอนโทรลเลอร์ และมอเตอร์ โดยใช้น้ำเป็นตัวระบายความร้อนโดยมีแผนผังการวางวงจรตามรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 วงจรการทำงานของระบบระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

int IMD = A0;
int BMS = A1;
int SW = A2;
int LEDimdF = 3;
int LEDbmsS = 4;

float Hz = 5;
float Duty = 50;
float SOFF = 0;

void setup() {
  pinMode(LEDimdF, OUTPUT);
  pinMode(LEDbmsS, OUTPUT);
  pinMode(R2, OUTPUT);
  //delay(2000);
  VIMD = analogRead(IMD) / 102.3;
  //if (VIMD <= 8.2) {
  digitalWrite(R1, 1);
  digitalWrite(R2, 1);
  digitalWrite(R3, 1);
  OnIMD = 1;
  OnBMS = 1;
  //}
  digitalWrite(R4, 1);
  Serial.begin(9600);
  delay(3000);
  digitalWrite(R3, 0);
}

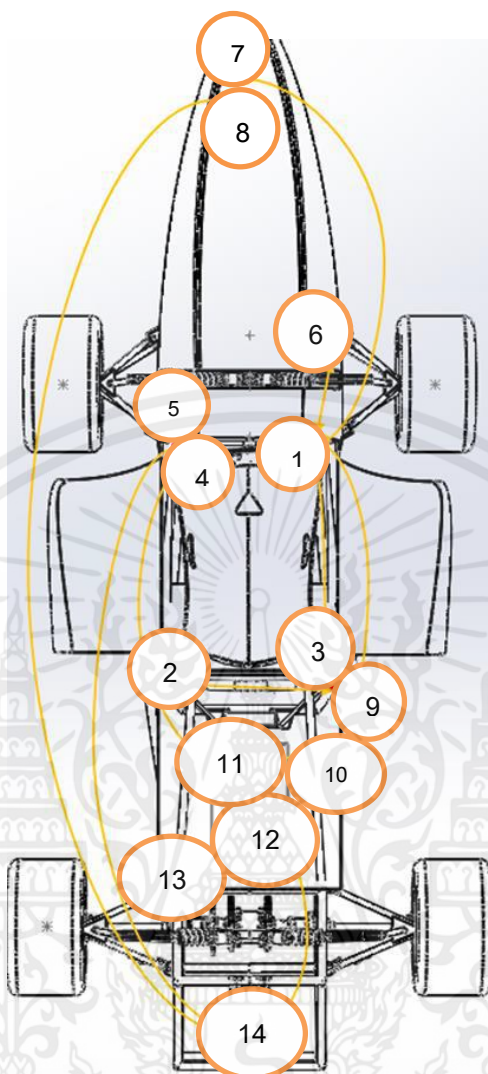
void loop() {
  VIMD = analogRead(IMD) / 102.3;
  Serial.print("VIMD =");
  Serial.println(VIMD);
  Serial.println(VSW);
  if (VSW >= 12) {
    if (OnIMD == 1) {
      delay(25000);
      VBMS = analogRead(BMS) / 69;
    }
    OnIMD = 0;
    if (VIMD <= 5 ) {
      digitalWrite(LEDimdF, 1);
      digitalWrite(R1, 0);
      digitalWrite(R2, 0);
      OnBMS = 0;
    }
    if (OnBMS == 1) {
      digitalWrite(R4, 0);
      SON = (Duty / 100.00) * Time;
      SOFF = (Time - SON);
      digitalWrite(R5, 1);
      delay(SON);
      digitalWrite(R5, 0);
      delay(SOFF);
    }
    else if (OnBMS == 0) {
      digitalWrite(R5, 0);
      digitalWrite(R4, 1);
    }
    if (VBMS <= 12 ) {
      digitalWrite(LEDbmsT, 1);
      digitalWrite(LEDbmsF, 0);
    }
  }
}

```

รูปที่ 3.27 โค้ดคำสั่งงาน Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

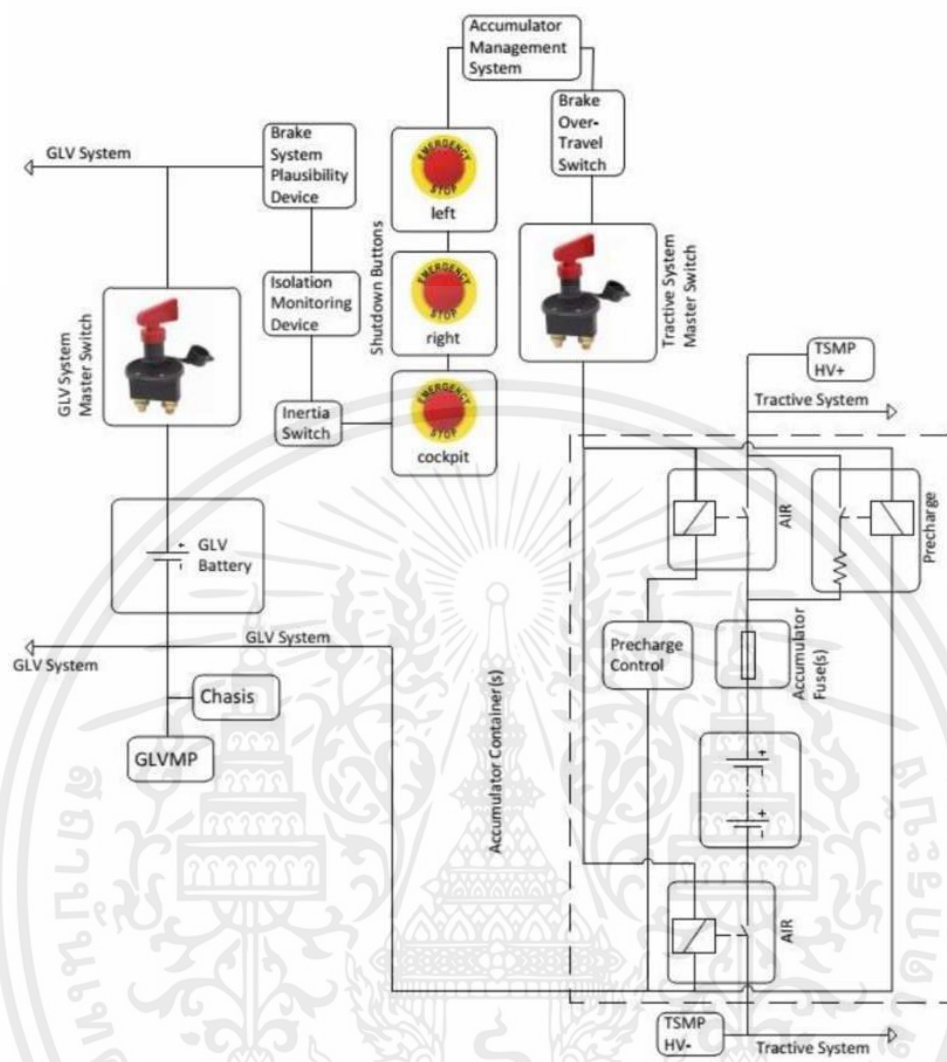
3.1.2.9 SHUTDOWN CIRCUIT จะประกอบไปด้วยระบบย่อยต่างๆดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 SHUTDOWN CIRCUIT

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1. START | 9. GLV SYSTEM MASTERSWITCH |
| 2. LEFT ROLLHOOP E-SWITCH | 10. TRACTIVE SYSTEM MASTERSWIH |
| 3. RIGHT ROLLHOOP E-SWITCH | 11. BATTERY MANAGEMENT SYSTEM |
| 4. DASHBOARD E-SWITCH | 12. ISOLATION MONITORING DEVIVE |
| 5. RUN MOTOR SWITCH | 13. HVD |
| 6. INERTIA SWITCH | 14. MOTOR |
| 7. BRAKE OVER TRAVEL SWITCH | |
| 8. BRAKE SYSTEM PLAUSIBILITY DEVICE | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.29 SHUTDOWN CIRCUIT (ตามกฎ FSAE 2020)

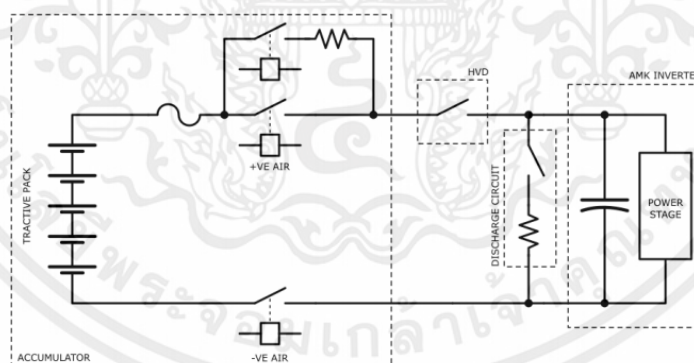
วงจรตัดระบบฉุกเฉินจะเป็นเรื่องที่สำคัญมากของระบบความปลอดภัย ในรถแข่งโดยวัตถุประสงค์คือ ใช้เพื่อเปิดใช้งานและปิดการทำงานของระบบภายในรถแข่ง และตัดระบบไฟฟ้าในขณะที่เกิดเหตุฉุกเฉินและต้องติดตั้งให้ครบตามที่กฎได้กำหนดไว้ตามรูปที่ 3.29 เพื่อป้องกันการเกิดอันตรายของผู้ขับขี่

3.1.2.10 HVD (HIGH VOLTAGE DISCONNECT)



รูปที่ 3.30 HVD (HIGH VOLTAGE DISCONNECT) MOUSER EM30MSD

HVD (HIGH VOLTAGE DISCONNECT) เป็นองค์ประกอบหนึ่งของวงจรปิดวงจรฉูกฉิน (รูปที่ 3.30) ซึ่งไม่ได้ระบุไว้ในแผนภาพของรูปที่ 3.31 คือค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดจะไหลผ่านตัวตัดการเชื่อมต่อ (HVD) แล้วจะไปเข้ากับขั้วบวกของกล่อง Controller เมื่อเกิดสถานการณ์ฉูกฉิน บุคคลที่จะสามารถมาดึงอุปกรณ์นี้ได้ก็คือคนที่อยู่ภายนอกตัวรถเท่านั้น ที่จะต้องมีความรู้และความเข้าใจในอุปกรณ์ชิ้นนี้และสามารถเข้ามาดึงตัว (HVD) เพื่อตัดการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเพื่อไม่ให้อุปกรณ์ที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุดทำงานได้ ซึ่งตัดการเชื่อมต่ออย่างน้อยหนึ่งขั้วตามกฎข้อที่ (EV4.7.1) HVD เมื่อใดก็ตามที่รถไม่ได้อยู่ในสถานะพร้อมใช้งาน HVD ต้องตัดออกจากระบบตลอดเวลา



รูปที่ 3.31 วงจรการเชื่อมต่อ (HIGH VOLTAGE DISCONNECT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือเก็บผล

3.2.1 Vbox

V box เป็นเครื่องมือเก็บค่า ความเร็ว ระยะทาง เวลา แรง G-Force เชื่อมต่อกับวัต เทียม และยังเชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟนเพื่อดูค่า ตามที่ต้องการได้ดังรูปที่ 3.35 คุณสมบัติ Accel / Decel ค่าความเร็ว ค่าVMAX 0-60, 0-100 1/4 ไมล์เวลา และ ค่าG-Force



รูปที่ 3.32 V box

3.2.2 BMS

BMS ย่อมาจาก Battery Management System หรือ ระบบการจัดการแบตเตอรี่ ทำหน้าที่หลักๆในการ Maintain balance cell battery เพื่ออัดไฟให้เต็มมากที่สุด และยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ โดยการวัดสถานะการชาร์จ (SoC) สถานะสุขภาพของเซลล์ (SoH) รวมถึงการตรวจสอบเซ็นเซอร์ต่างๆ (SoF) BMS จะทำการตรวจสอบขั้นพื้นฐาน



รูปที่ 3.33 BMS

3.2.3 Dynotech

เป็นเครื่องมือวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ และการวัดแรงม้า แรงบิด เพื่อทำการปรับแต่ง

แก๊สไฮดรอลิก



รูปที่ 3.34 Dynotech

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 เกจวัดลมยาง

ใช้สำหรับวัดความดันลมยางในยางรถยนต์และยางรถบรรทุก แกนกลมนี้ใช้สำหรับระบายลมออกจากยาง ช่องเปิดลมจะสามารถสวมเข้ากับจู่บยางขนาดมาตรฐานได้ ส่วนแถบพลาสติกเป็นมาตรวัด ซึ่งมีหน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว และกิโลปาสกาล ซึ่งเป็นหน่วยเมตริกสำหรับบอกปริมาณลมในยาง



รูปที่ 3.35 เกจวัดลมยาง

3.2.4 เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด (Infrared Thermometer)

มีชื่อเรียกอื่นอีกหลายชื่อ อาทิเช่น IR Thermometer, Temp gun, ปืนวัดอุณหภูมิ เป็นต้น โดยอินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่พื้นผิวของวัตถุซึ่งเป็นการวัดแบบไม่สัมผัสกับวัตถุ (Non-Contact) ในการวัดอุณหภูมิเราจะวัดจากรังสีอินฟราเรด (Infrared) ที่แผ่ออกจากวัตถุ



รูปที่ 3.36 เครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรด

3.2.5 นาฬิกาจับเวลา (Timer)

ถูกออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับจับเวลาในระหว่างทำกิจกรรมต่างๆ เช่น การแข่งขันกีฬา การวิ่ง เล่นเกมส์ การทำอาหาร ทำข้อสอบ การทดลองในห้องปฏิบัติการ หรือใช้สำหรับติดตั้งกับเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ



รูปที่ 3.37 นาฬิกาจับเวลา

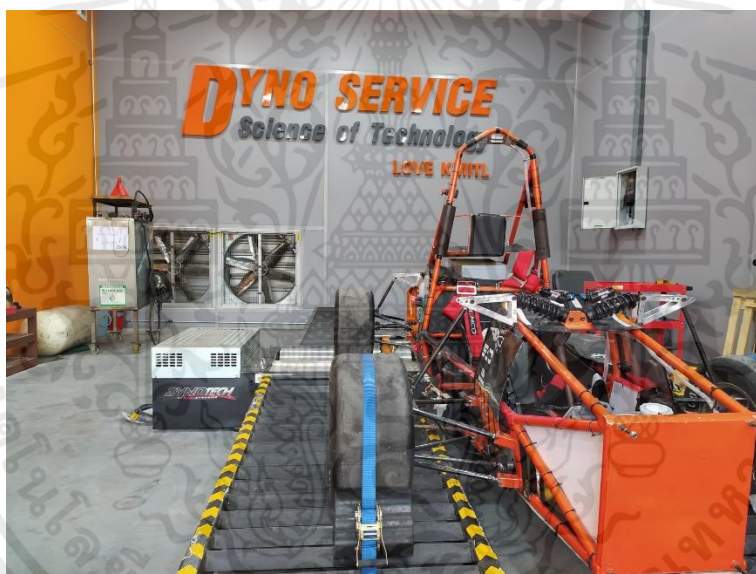
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินโครงการ

3.3.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระบบยานยนต์ไฟฟ้าที่ใช้ระบบแบตเตอรี่ โดยเอาระบบต่างๆ มาแยกชิ้นส่วนศึกษาและปรับเปลี่ยนเพื่อแก้ไขปัญหาที่พบในการแข่งขันครั้งก่อนให้เหมาะสมและตรงกับกฎการแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2021 Student Formula EV

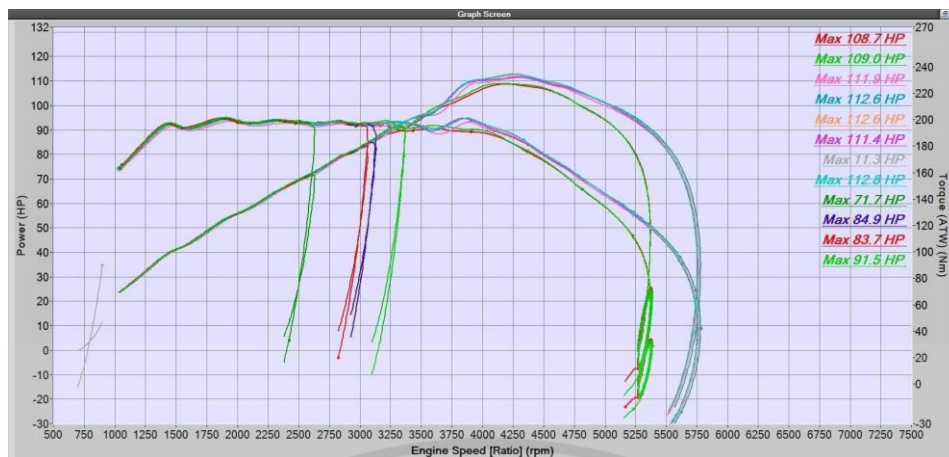
3.3.2 ทำการออกแบบจากข้อมูลที่ศึกษาในข้างต้นมาเป็นหลักในการออกแบบเพื่อประสิทธิภาพที่เหมาะสมและตรงตามกฎการแข่งขันแล้วทำการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Solid work

3.3.3 ทำการปรับแต่งระบบที่ทำการออกแบบเพื่อแก้ไขปัญหา โดยการปรับแต่งระบบของกล่องควบคุมเพื่อให้มอเตอร์สามารถส่งกำลังได้มากขึ้น ด้วยการทดสอบด้วย Dyno Test และ เปลี่ยนสปริงของโช๊คอัพเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน

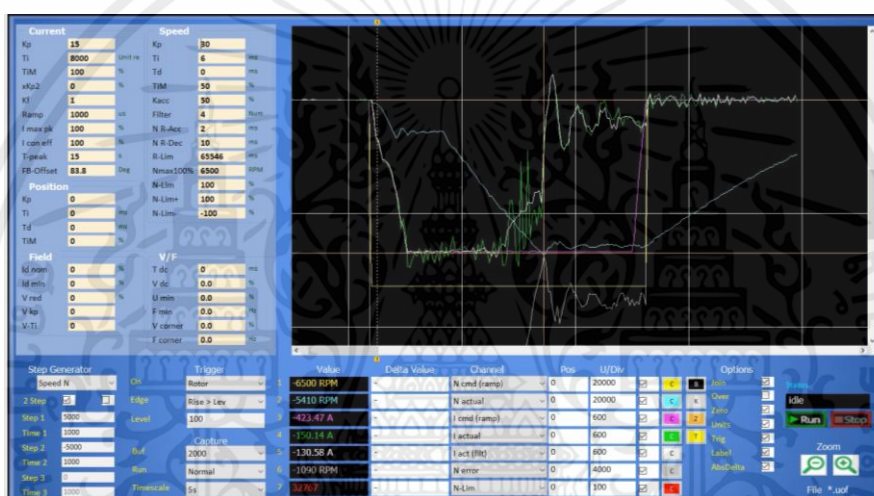


รูปที่ 3.38 การทดสอบด้วย Dyno Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.39 กราฟแสดงกำลังและทอร์กที่ความเร็วรอบต่างๆ



รูปที่ 3.40 โปรแกรม NDrive2 Software ของกล่องควบคุม แสดงถึงรอบของมอเตอร์และกระแสที่ใช้

3.3.4 ตรวจสอบระบบการทำงานต่างๆของรถ เพื่อให้มีความพร้อมสำหรับการทดสอบเก็บผล ซึ่งเป็นการทดสอบในลักษณะเสมือนการแข่งขันจริง

3.4. ขั้นตอนการเก็บผลการทดลอง

3.4.1 ติดตั้ง V box ไว้ที่ตัวรถเพื่อวัด ระยะทาง ความเร็ว แรง G-Force

3.4.2 ติดตั้ง โทรศัพท์มือถือที่เชื่อมต่อกับ BMS ผ่านโปรแกรม Emus EVGUI เพื่อวัดกระแสที่ใช้ กำลังที่ใช้ โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.41 ติดตั้ง V box และเชื่อมต่อโทรศัพท์มือถือกับ BMS

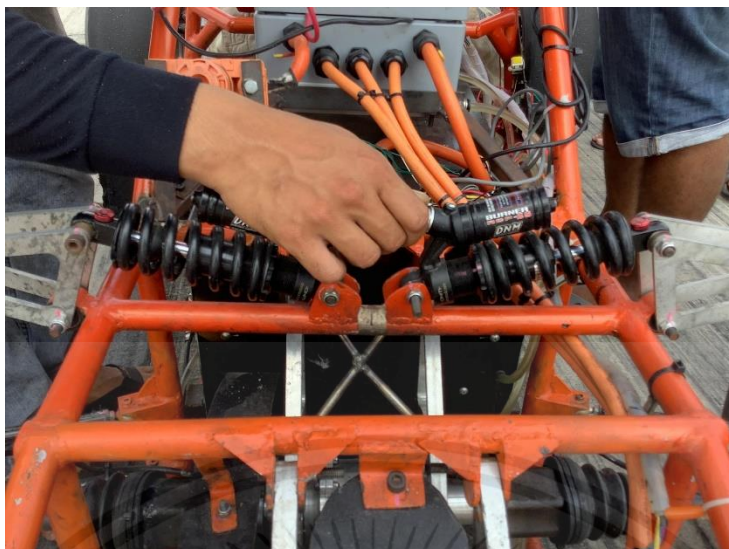
3.4.3 ทำการวัดค่าลมยาง ในแต่ละล้อ



รูปที่ 3.42 ทำการวัดค่าลมยาง

3.4.4 ปรับค่า Rebound และค่า Compression ของโช้คอัพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.43 ปรับค่า Rebound และค่า Compression ของโซ้ค้อพ

3.4.5 ทำการวัดอุณหภูมิพื้นสนาม



รูปที่ 3.44 ทำการวัดอุณหภูมิพื้นสนาม

3.4.6 ทำการทดลองและบันทึกเวลา, อุณหภูมิยาง, กระแสที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

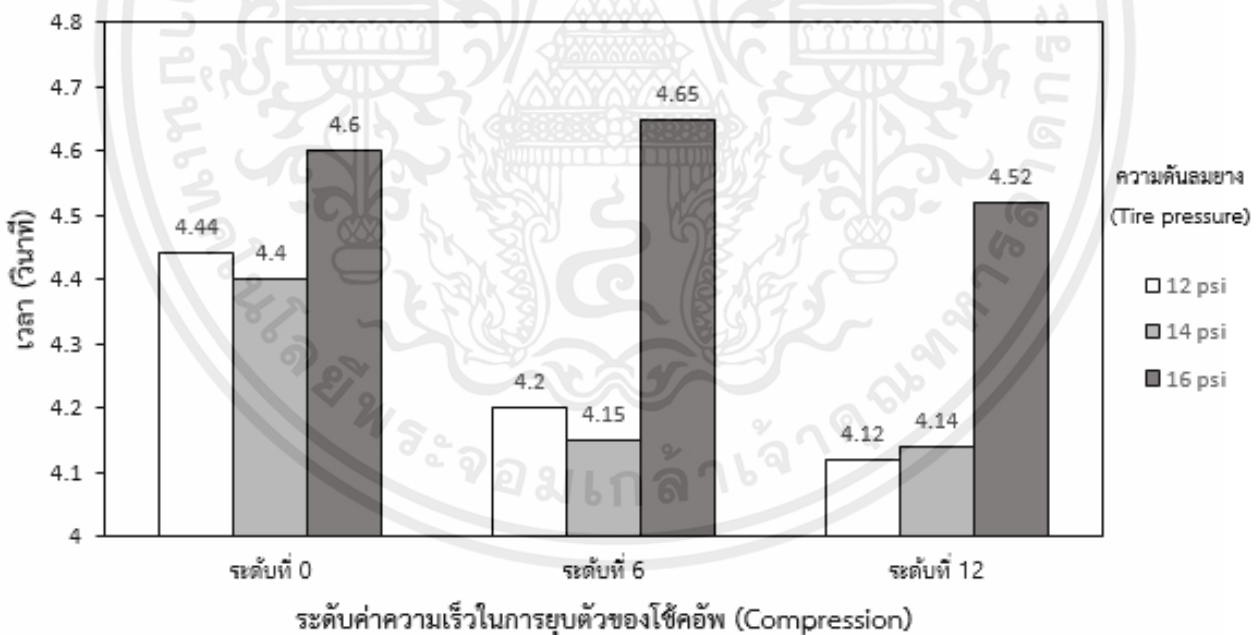
บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผล

เมื่อทำการเตรียมอุปกรณ์การทดลอง และปรับตั้งค่าต่างๆที่จะทดลองการทำงานโดยนำรถมาทำการทดลอง ซึ่งจะทำการทดลอง 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 การวิ่งทางตรง (Acceleration) ซึ่งมีการกำหนดค่าความดันลมยางที่ 12 14 และ 16 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และปรับระดับความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพที่ 0 6 และ 12 ระดับ รูปแบบที่ 2 การวิ่งสกีดแพด (Skidpad)ซึ่งมีการกำหนดค่าความดันลมยางที่ 12 14 และ 16ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และปรับระดับความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพที่ 0 4 8 และ 12 ระดับ รูปแบบที่ 3 การวิ่งทดสอบการทรงตัว (Autocross) ซึ่งมีการกำหนดค่าความดันลมยางที่ 12 14 และ 16 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) โดยใช้เวลาที่ได้จากการวิ่งทดลองและนำมาเปรียบเทียบกับเวลาที่ได้ในการแข่งขันในปี 2562

4.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

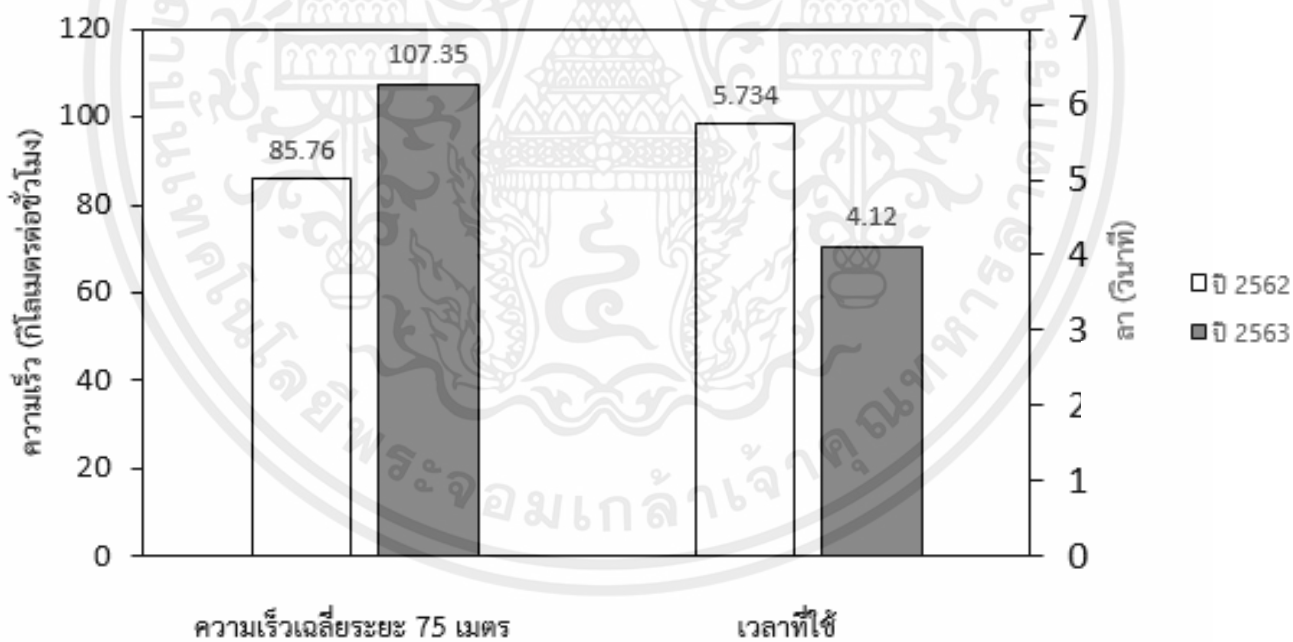
4.1.1 การวิ่งทางตรง (Acceleration)



รูปที่ 4.1 แสดงเวลาที่ใช้ต่อความดันลมยางและระดับค่าความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพของการวิ่งทางตรง (Acceleration)

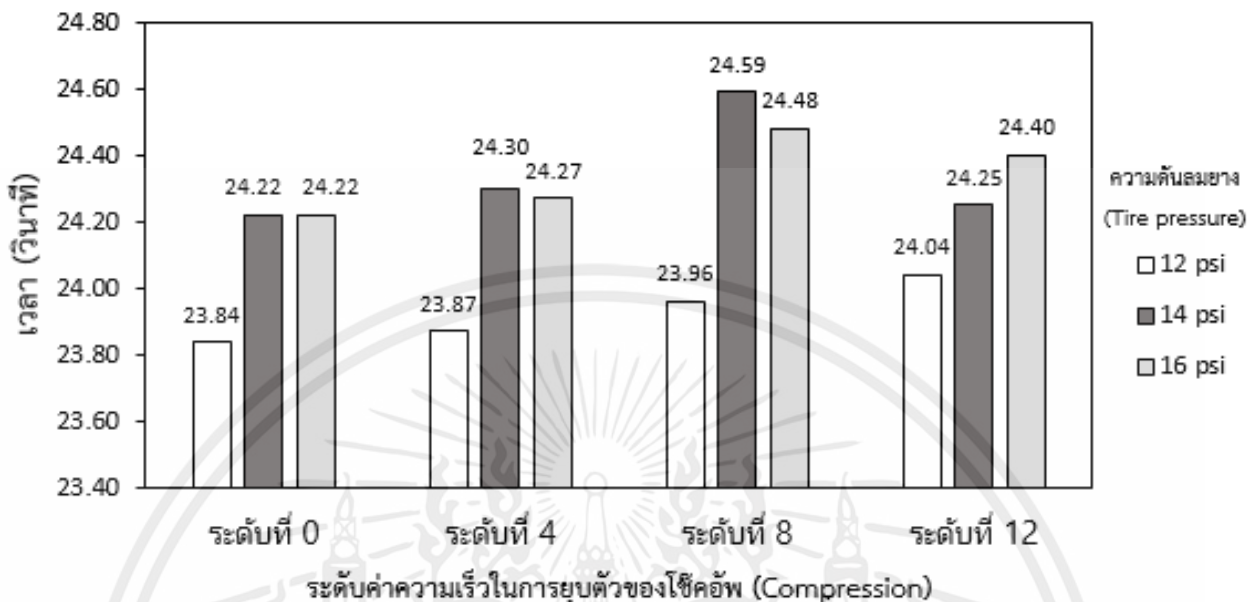
จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าความดันลมยาง 12 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลาที่ดีที่สุดคือ 4.12 วินาที ที่ระดับความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพ ระดับ 12 ความดันลมยาง 14 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลาที่ดีที่สุดคือ 4.14 วินาที ที่ระดับความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพ ระดับ 12 ความดันลมยาง 16 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลาที่ดีที่สุดคือ 4.52 วินาที ที่ระดับความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพ ระดับ 12 จะเห็นได้ว่าเวลาที่ดีที่สุดคือ ความดันลมยาง 12 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลาที่ดีที่สุดคือ 4.12 วินาที ที่ระดับความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพระดับ 12 เนื่องจากค่าดังกล่าว มีระดับความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพที่ต่ำ ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทน้ำหนักที่เหมาะสมกับความดันลมยาง 12 ปอนด์ต่อตารางนิ้วซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากอุณหภูมิของหน้าผิวสัมผัสยาง และระดับความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพที่ต่ำส่งผลให้ไม่เกิดการถ่ายเทน้ำหนักที่มากเกินไป

โดยเวลาที่เฉลี่ยในสนามการวิ่งทางตรง (Acceleration) ในปี 2562 อยู่ที่ 5.734 วินาที มีความเร็วเฉลี่ยที่ 75 เมตร เท่ากับ 85.76 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเวลาที่ดีที่สุดที่ได้ทำการทดลองในปีนี้เป็น 4.12 วินาที มีความเร็วเฉลี่ยที่ 75 เมตร เท่ากับ 107.35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อนำข้อมูลทั้งสองมาเปรียบเทียบจะเห็นว่า รถในปีนี้มีความเร็วเฉลี่ยที่ 75 เมตร มากกว่ารถในปี 2562 ถึง 21.59 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 25.175 และใช้เวลาน้อยกว่าถึง 1.61 วินาที ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 28.148



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบความเร็วและเวลาที่ใช้ในการวิ่งทางตรง (Acceleration)

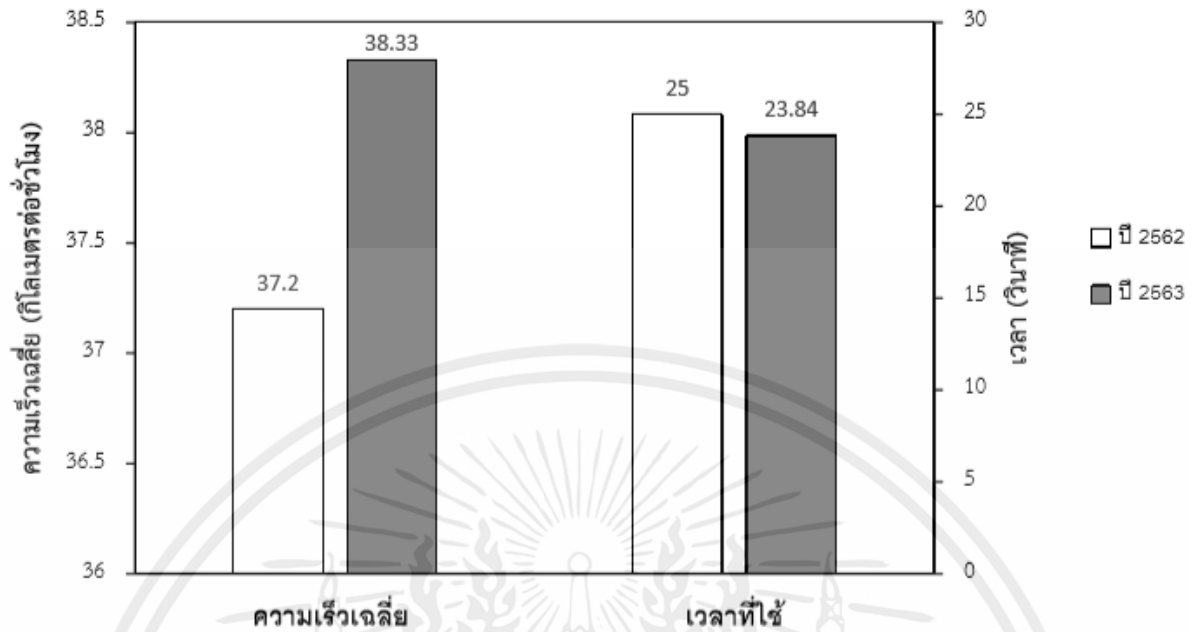
4.1.2 การวิ่งสกิดแพด (Skidpad)



รูปที่ 4.3 แสดงเวลาที่ใช้ต่อความดันลมยางและระดับค่าความเร็วในการยุบตัวของโช้คอัพของการวิ่งสกิดแพด (Skidpad)

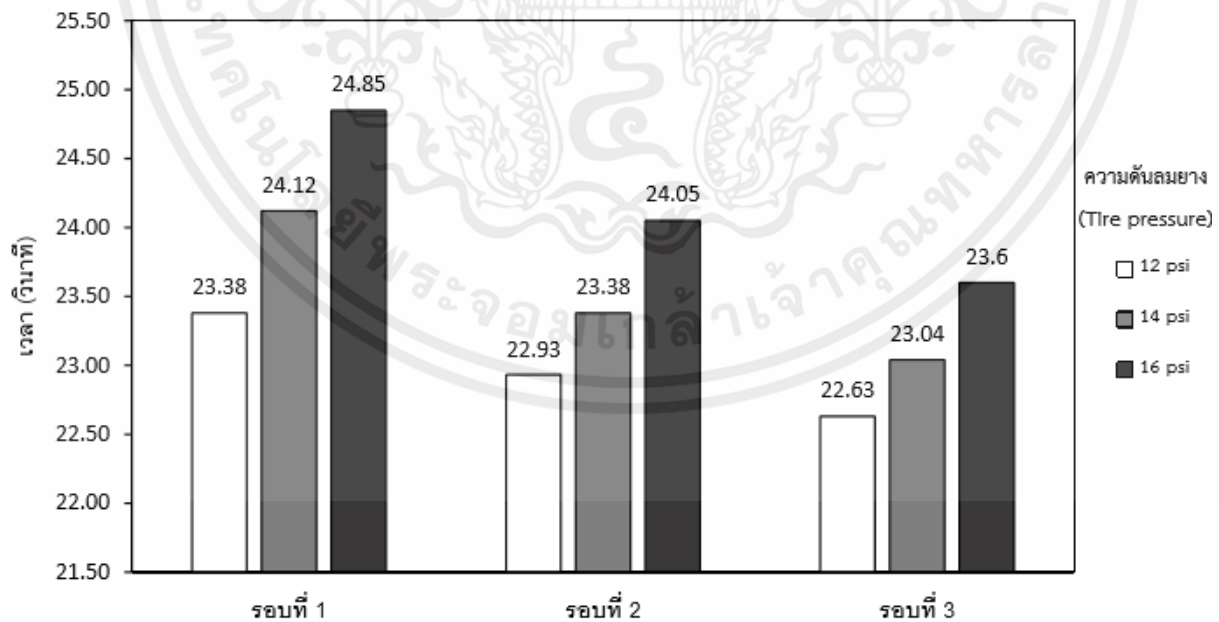
จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าความดันลมยาง 12 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลาที่ดีที่สุดคือ 23.84 วินาที ที่ระดับความเร็วในการยุบตัวของโช้คอัพ ระดับ 0 ความดันลมยาง 14 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลาที่ดีที่สุดคือ 24.22 วินาที ที่ระดับความเร็วในการยุบตัวของโช้คอัพ ระดับ 0 ความดันลมยาง 16 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลาที่ดีที่สุดคือ 24.22 วินาที ที่ระดับความเร็วในการยุบตัวของโช้คอัพ ระดับ 4 จะเห็นได้ว่าเวลาที่ดีที่สุดคือ ความดันลมยาง 12 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลาที่ดีที่สุดคือ 23.84 วินาที ที่ระดับความเร็วในการยุบตัวของโช้คอัพ ระดับ 0 เนื่องจากค่าดังกล่าว มีระดับความเร็วในการยุบตัวของโช้คที่สูงทำให้เกิดถ่ายเทน้ำหนักที่เหมาะสมของตัวรถส่งผลให้เข้าโค้งได้ ที่ความเร็วสูง และไม่เกิดอาการโอเวอร์สตีร์ (Oversteer)

โดยเวลาที่เฉลี่ยในสนามการวิ่งสกิดแพด (Skidpad) ในปี 2562 อยู่ที่ 25 วินาที มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 37.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเวลาที่ดีที่สุดที่ได้ทำการทดลองในปีนี้ คือ 23.84 วินาที มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 38.33 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อนำข้อมูลทั้งสองมาเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่า รถในปีนี้มีความเร็วเฉลี่ยที่มากกว่ารถในปี 2562 ถึง 1.13 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 3.03 และใช้เวลาน้อยกว่าถึง 1.16 วินาที ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 4.64



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบความเร็วและเวลาที่ใช้ในการวิ่งสกิดแพด (Skidpad)

4.1.3 การวิ่งทดสอบการทรงตัว (Autocross)



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาและความดันลมยางต่อรอบของการวิ่งทดสอบการทรงตัว (Autocross)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าความดันลมยาง 12 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลาที่ดีที่สุดคือ 68.15 วินาที ความดันลมยาง 14 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลาที่ดีที่สุดคือ 69.81 วินาที ความดันลมยาง 16 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลาที่ดีที่สุดคือ 71.92 วินาที จะเห็นได้ว่าเวลาที่ดีที่สุดคือ ความดันลมยาง 12 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลาที่ดีที่สุดคือ 68.15 วินาที เนื่องจากความดันลมยาง 12 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นความดันลมยางที่ทำเวลาได้ดีที่สุด ทั้งการทดลองวิ่งทางตรงและสเก็ดแพดจึงเหมาะสมที่ใช้ในการวิ่งทดสอบการทรงตัว (Autocross)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของความดันลมยางและความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพที่มีผลต่อการวิ่งของรถสูตรนักศึกษาประเภทยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์ EMRAX 228 ควบคุมโดยกล่องควบคุม BAMO Car D3 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium-ion) 369 โวลต์ (Volt) 13 กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) ในรูปแบบสนามทั้ง 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 การวิ่งทางตรง (Acceleration) รูปแบบที่ 2 การวิ่งสิดแพด (Skidpad) รูปแบบที่ 3 การวิ่งทดสอบการทรงตัว (Autocross) โดยเปรียบเทียบจากเวลาที่ใช้ในการวิ่งทดลอง

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ในการทดลองพบว่าในการวิ่งรูปแบบที่ 1 การวิ่งทางตรง (Acceleration) เมื่อใช้ความดันลมยางและระดับความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพที่เหมาะสมจะช่วยลดเวลาในการวิ่งทางตรงและลดอาการสลิปของยาง ใช้เวลาในการวิ่งน้อยที่สุดคือ 4.12 วินาที ที่ความดันลมยาง 12 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระดับความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพระดับ 12 ซึ่งทำเวลาดลลงคิดเป็นร้อยละ 28.148

5.1.2 ในการทดลองพบว่าในการวิ่งรูปแบบที่ 2 การวิ่งสิดแพด (Skidpad) เมื่อใช้ความดันลมยางและระดับความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพที่เหมาะสมจะทำให้เกิดถ่ายเทน้ำหนักที่เหมาะสมของตัวรถส่งผลให้เข้าโค้งได้ที่ความเร็วสูง และไม่เกิดอาการโอเวอร์สตีร์ (Oversteer) ใช้เวลาในการวิ่งน้อยที่สุดคือ 23.84 วินาที ที่ความดันลมยาง 12 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระดับความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพระดับ 0 ซึ่งทำเวลาดลลงคิดเป็นร้อยละ 4.64

5.1.3 ในการทดลองพบว่าในการวิ่งรูปแบบที่ 3 การวิ่งทดสอบการทรงตัว (Autocross) เป็นการทดสอบที่รวมรูปแบบการทดสอบทั้ง 2 รูปแบบคือ การวิ่งทางตรง (Acceleration) และการวิ่งสิดแพด (Skidpad) จึงสามารถนำความสัมพันธ์ของความดันลมยางและความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพ จากการทดสอบการวิ่งทางตรง (Acceleration) และการวิ่งสิดแพด (Skidpad) มาปรับใช้ได้ตามความเหมาะสมของสนาม หากรูปแบบสนามมีโค้งจำนวนมาก ควรปรับแต่งลมยางและความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพให้คล้ายกับรูปแบบการทดสอบรูปแบบการวิ่งสิดแพด (Skidpad) หากรูปแบบสนามมีทางตรงจำนวนมากควรปรับแต่งลมยางและความเร็วในการยวบตัวของโช้คอัพให้คล้ายกับรูปแบบการทดสอบรูปแบบการวิ่งทางตรง

(Acceleration) ใช้เวลาในการวิ่งน้อยที่สุดคือ 68.15 วินาที ที่ความดันลมยาง 12 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ระดับความเร็วในการยุดตัวของใช้ค้อพระดับ 6

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ความดันลมยางต้องเช็คก่อนการทดลองทุกครั้ง เพราะความดันลมยางจะเพิ่มขึ้น และลดลงตาม อุณหภูมิของยาง

5.2.2 ค่าความดันลมยางและระดับความเร็วในการยุดตัวของใช้ค้อที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย อย่าง เช่น น้ำหนักรถ น้ำหนักผู้ขับ กำลังของมอเตอร์ ระดับแบตเตอรี่ หรือลักษณะการขับขี่ของผู้ขับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mark Allison (2013). FORMULA ELECTRIC SYSTEM: DESIGN AND INTEGRATION
- [2] Marcos Luz Junior (2017). Kinematic Design and Finite Element Analysis of a Suspension System for a Four Wheel Drive Electric Formula Student Vehicle
- [3] V.A. Kalmakov (2016). Development of Formula Student Electric Car Battery Design Procedure
- [4] Nicola Bianchi (2013). Formula SAE Electric Competition: Electrical Motor Design
- [5] Xuanyang Hu (2017). Development of a high-power-density motor for Formula SAE electric race car
- [6] Stefano Pasquale (2019). Thermal management of electric motors. Formula. Thermal analysis of cooling water pipes by electric motors
- [7] Nijmeijer (2014). TRACTION CONTROL OF AN ELECTRIC FORMULA STUDENT RACING CAR
- [8] shray Chandra (2014). Safety system of an electric vehicle for formula racing
- [9] Jamshoro (2013). The design of SAE formula electric vehicles combined with battery safety systems and race protection
- [10] สถาบันยานยนต์ (2563). ความรู้ยานยนต์ไฟฟ้าเบื้องต้น
- [11] SAE International (2562). 2018-2019 Formula SAE Rules INTRODUCTION. Accessed December 28. Available from
- [12] SAE Thailand (2561). “TSAE Automotive Handbook and Directory 2018” TSAE Steering Thailand’s Automotive Industry to Ever Higher Standards พิมพ์ครั้งที่ 5, บริษัท กรังด์ปรีซ์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด หน้า 17-19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] พูลพร แสงบางปลา และคณะ (2558). “สมาคมวิศวกรรมยานยนต์ไทย (สวยท)” ปีที่ 17 ฉบับที่ 1 [1มกราคม-มิถุนายน 2558] หน้า 32-38.
- [14] ศรณศักดิ์ ลาภใหญ่, ศราวุธ คามิระแปง และอโนชา กัณนิกา (2551). การวิเคราะห์และออกแบบ โครงสร้างรถ TSAE Student Formula
- [15] จิรเมธ บุญศักดิ์, พัฒน์สินี สอนเย็น และรัตภูมิ เกศกะงาม. (2556). “การศึกษาพฤติกรรมตัวแปร เชิง ปริมาตรและความยาวของระบบท่อไอเสียสำหรับรถแข่งสูตรนักศึกษา” ปรินูญานินพธ์ คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สำำาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
- [16] Kirt Yodpradit (2018). Battery in Electric Vehicles — แบตเตอรี่ในรถ EV
- [17] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2559). รู้จักแบตเตอรี่ ตอนที่ 4 วารสารเทคโนโลยีวัสดุ ฉบับที่ 80 มกราคม – มีนาคม 2559
- [18] สถาบันยานยนต์ (2561). การศึกษาและพัฒนาระบบหล่อเย็นสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้ใน ยานยนต์ ไฟฟ้าใน ประเทศไทย



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
ตารางแสดงค่าความเร็วในการทดสอบการวิ่งของรถไฟฟ้าสูตร
นักศึกษาแบบทางตรง (Acceleration) สกิดแพด (Skid pad) และ
ทดสอบการทรงตัว (Autocross)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ตารางแสดงเวลาที่ใช้และความเร็วเฉลี่ยต่อความดันลมยางและระดับความเร็วในการยวบตัวของ โช้คอัพ ในการวิ่งทางตรง (Acceleration)

| ลำดับ | ความดันลมยาง (psi) | ระดับความเร็วในการยวบตัวของ โช้คอัพ (ระดับ) | เวลา (s) | ความเร็วเฉลี่ย (km/hr) |
|-------|--------------------|---|----------|------------------------|
| 1 | 16 | 0 | 4.6 | 102.08 |
| 2 | 16 | 6 | 4.65 | 101.50 |
| 3 | 16 | 12 | 4.52 | 103.00 |
| 4 | 14 | 0 | 4.4 | 104.38 |
| 5 | 14 | 6 | 4.15 | 107.26 |
| 6 | 14 | 12 | 4.14 | 107.37 |
| 7 | 12 | 0 | 4.44 | 103.92 |
| 8 | 12 | 6 | 4.2 | 106.68 |
| 9 | 12 | 12 | 4.12 | 107.60 |

ตารางที่ ก.2 ตารางเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยที่ระยะ 75 เมตร และ เวลา ของ รถปี 2562 และ รถปี 2563 ในการวิ่งทางตรง (Acceleration)

| | ปี 2562 | ปี 2563 | ความแตกต่าง | ร้อยละ |
|---------------------------------------|---------|---------|-------------|--------|
| ความเร็วเฉลี่ยที่ระยะ 75 เมตร (km/hr) | 85.76 | 107.35 | 21.59 | 25.175 |
| เวลา (s) | 5.734 | 4.12 | 1.614 | 28.148 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางแสดงเวลาที่ใช้และความเร็วเฉลี่ยต่อความดันลมยางและระดับความเร็วในการยวบตัวของ
โซ่ค้อพ ในการวิ่งสกิดแพด (Skid pad)

| ลำดับ | ความดันลมยาง (psi) | ระดับความเร็วในการยวบตัวของ โซ่ค้อพ (ระดับ) | เวลา (s) | ความเร็วเฉลี่ย (km/hr) |
|-------|--------------------|--|----------|---------------------------|
| 1 | 16 | 0 | 24.22 | 38.41 |
| 2 | 16 | 4 | 24.27 | 37.81 |
| 3 | 16 | 8 | 24.48 | 37.45 |
| 4 | 16 | 12 | 24.4 | 37.42 |
| 5 | 14 | 0 | 24.22 | 38.5 |
| 6 | 14 | 4 | 24.3 | 38.3 |
| 7 | 14 | 8 | 24.59 | 37.76 |
| 8 | 14 | 12 | 24.25 | 37.57 |
| 9 | 12 | 0 | 23.84 | 39.98 |
| 10 | 12 | 4 | 23.87 | 39.29 |
| 11 | 12 | 8 | 23.96 | 38.87 |
| 12 | 12 | 12 | 24.04 | 38.6 |

ตารางที่ ก.5 ตารางเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ย และ เวลา ของ รถปี 2562 และ รถปี 2563 ใน
การวิ่งสกิดแพด (Skid pad)

| | ปี 2562 | ปี 2563 | ความแตกต่าง | ร้อยละ |
|------------------------|---------|---------|-------------|--------|
| ความเร็วเฉลี่ย (km/hr) | 37.2 | 38.33 | 1.13 | 3.038 |
| เวลา (s) | 25 | 23.84 | 1.16 | 4.640 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ตารางแสดงเวลาที่ใช้และความเร็วเฉลี่ยต่อความดันลมยางและระดับความเร็วในการยวบตัวของ
โช้คอัพ ในการวิ่งทดสอบการทรงตัว (Autocross)

| ลำดับ | ความดัน ลมยาง (psi) | ระดับความเร็วในการ ยวบตัวของโช้คอัพ (ระดับ) | เวลา (s) | | | | ความเร็ว เฉลี่ย (km/hr) |
|-------|---------------------------|---|----------|----------|----------|-------|-------------------------------|
| | | | รอบที่ 1 | รอบที่ 2 | รอบที่ 3 | รวม | |
| 1 | 12 | 6 | 23.38 | 22.93 | 22.63 | 68.94 | 36.38 |
| 2 | 14 | 6 | 24.12 | 23.38 | 23.04 | 70.54 | 41.36 |
| 3 | 16 | 6 | 24.85 | 24.05 | 23.6 | 72.5 | 39.27 |

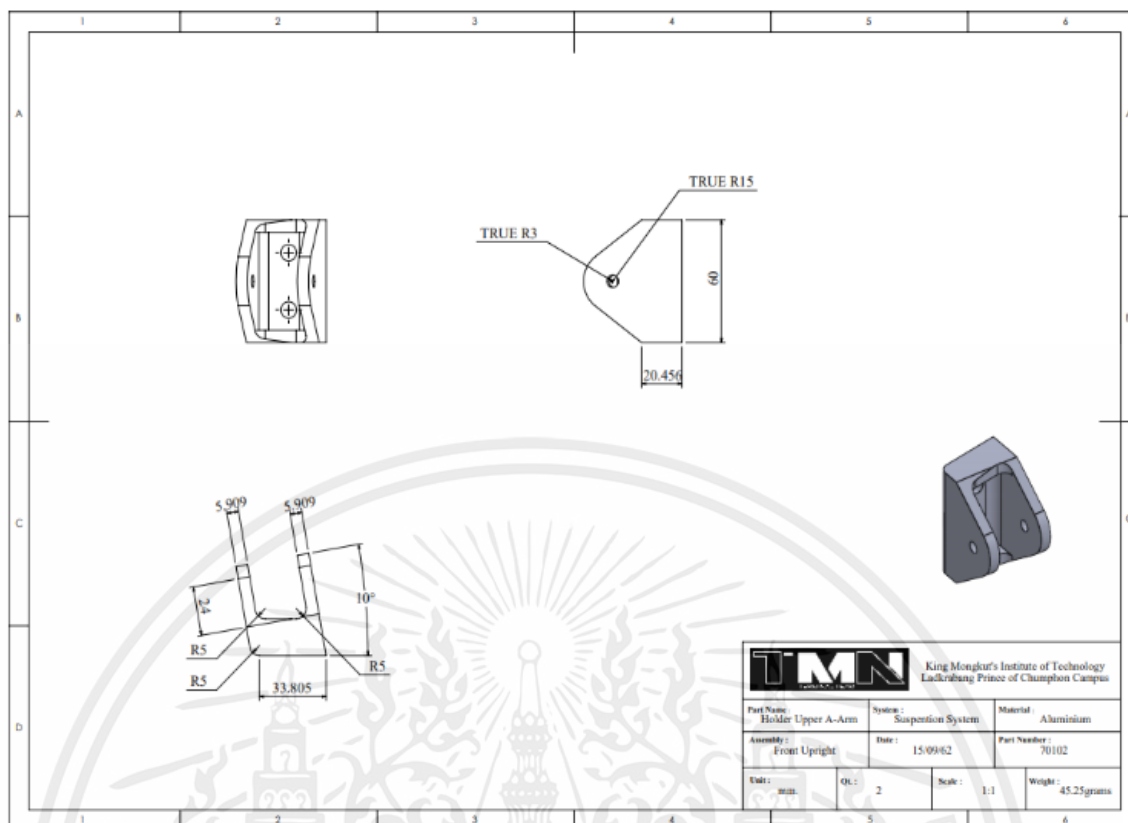
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

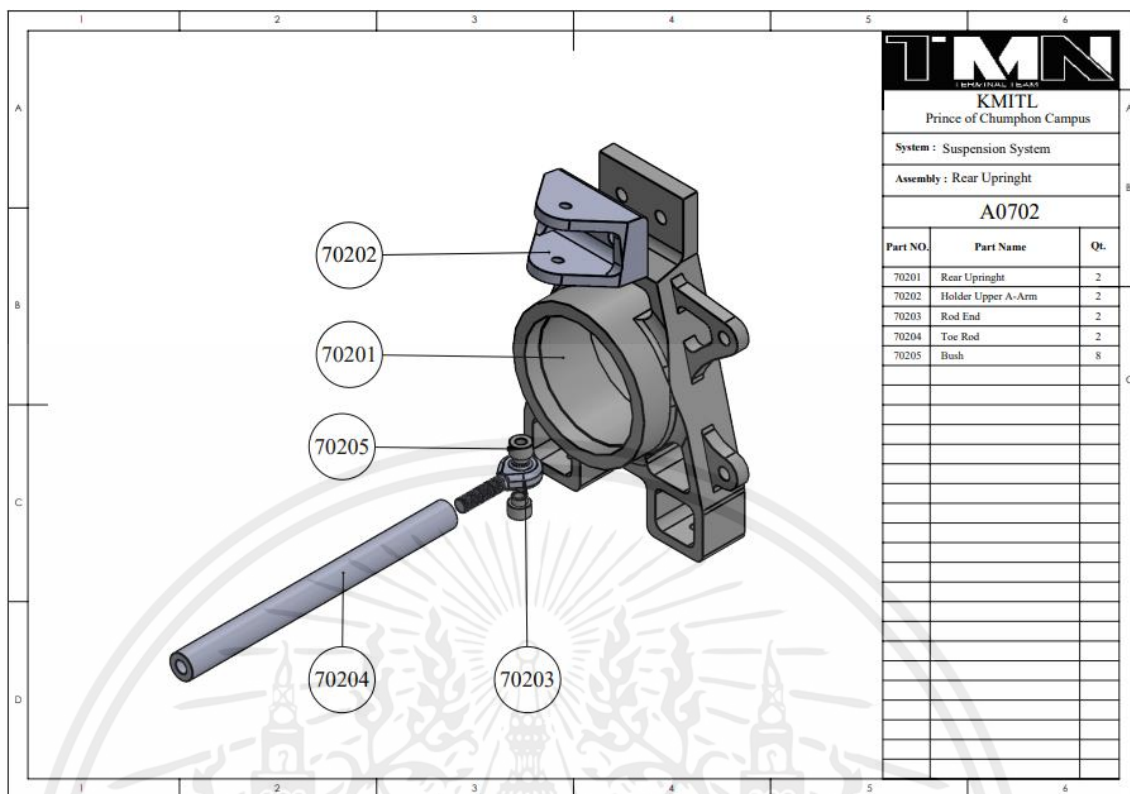
ชิ้นส่วนประกอบต่างๆของระบบช่วงล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

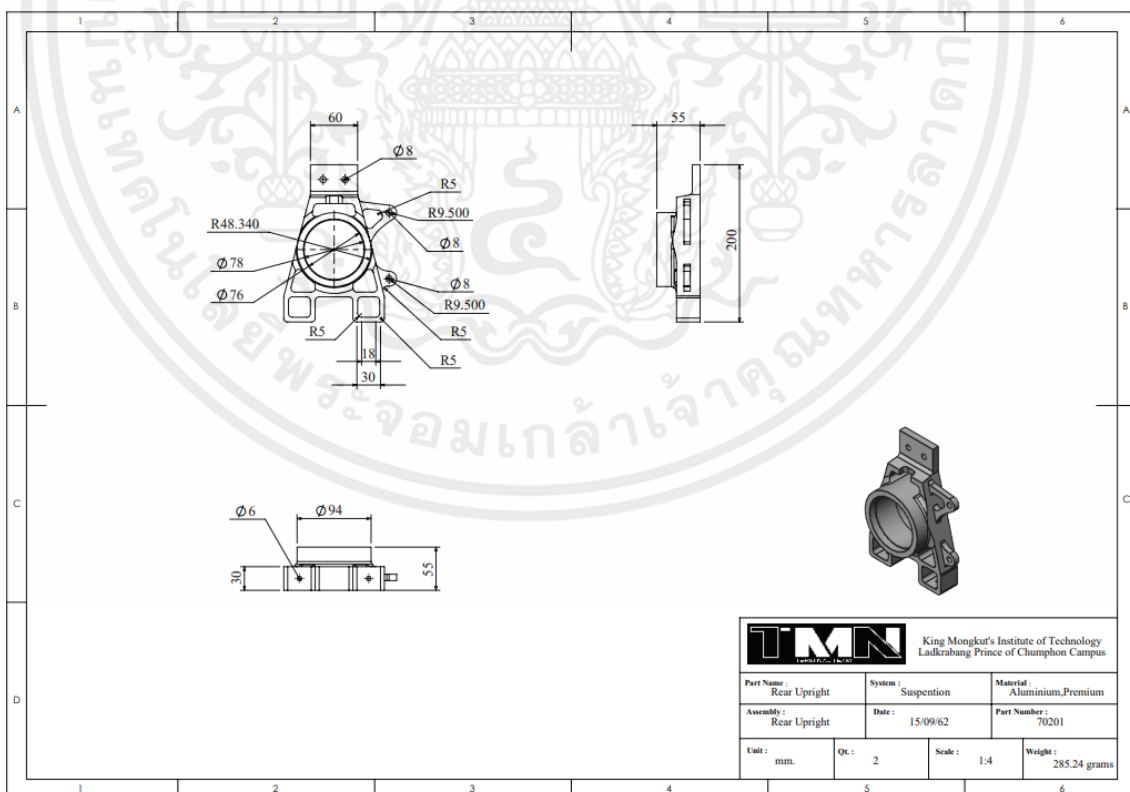


รูปที่ 3 จุดยึดปีกนกบนของคอม้าหน้า (Holder Upper A-Arm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

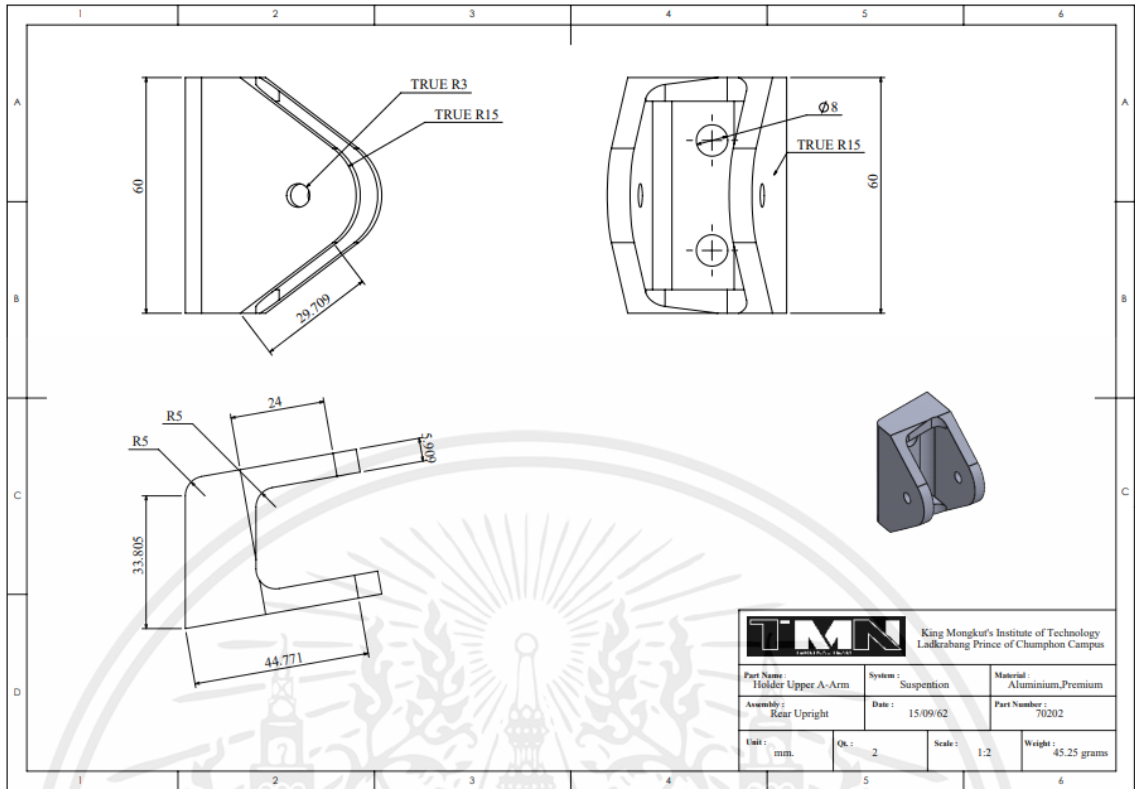


รูปที่ 4 ส่วนประกอบของคอม้าหลัง (Rear Upright Assembly)

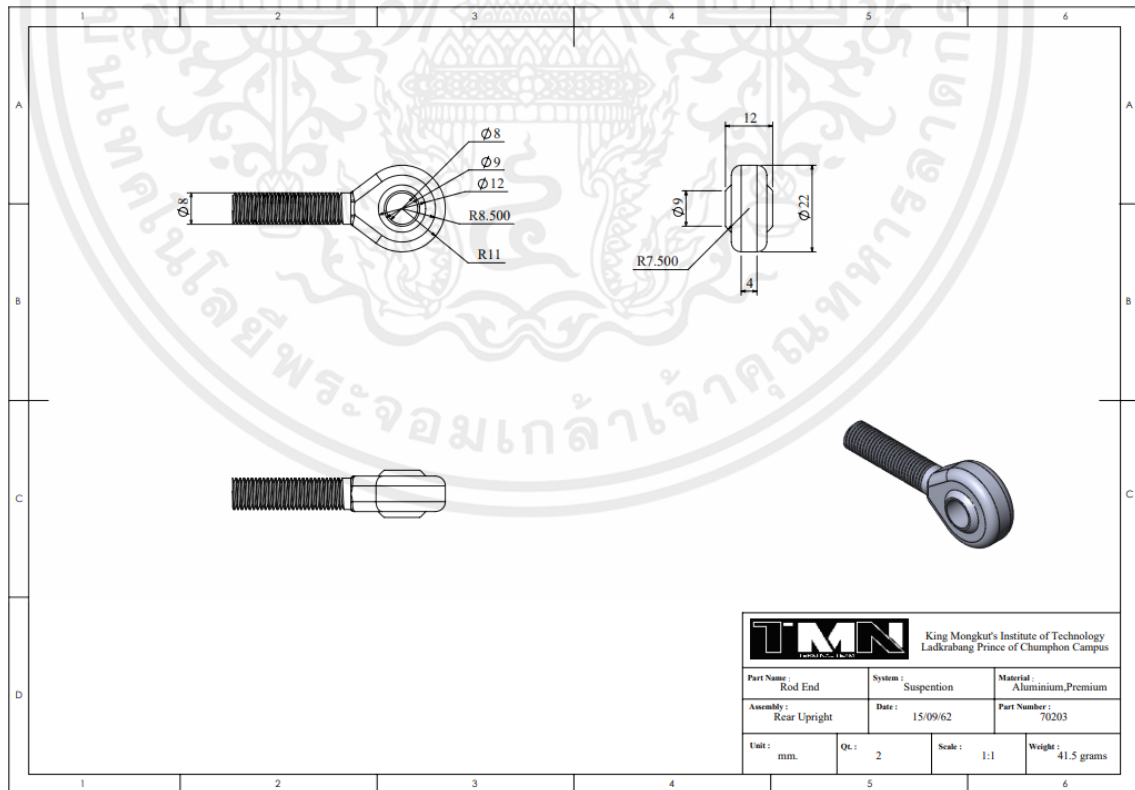


รูปที่ 5 คอม้าหลัง (Rear Upright)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

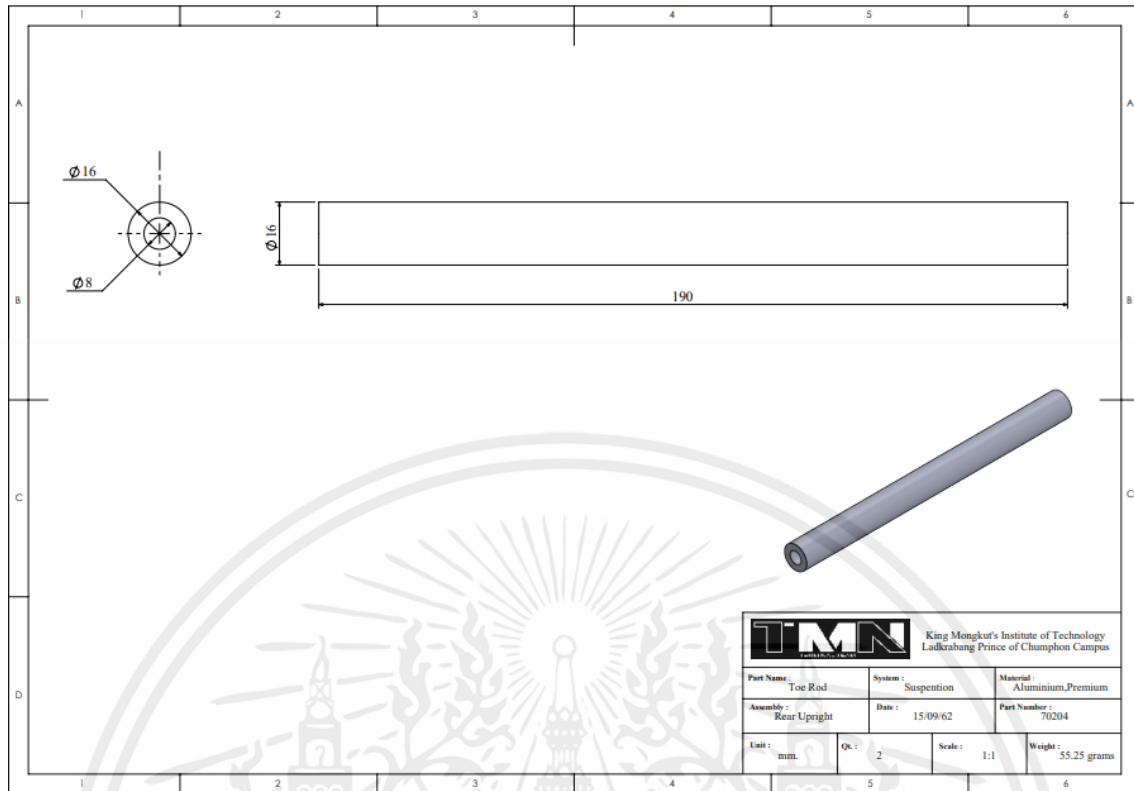


รูปที่ 6 จุดยึดปีกนกบนของคอม้าหน้า (Holder Upper A-Arm)

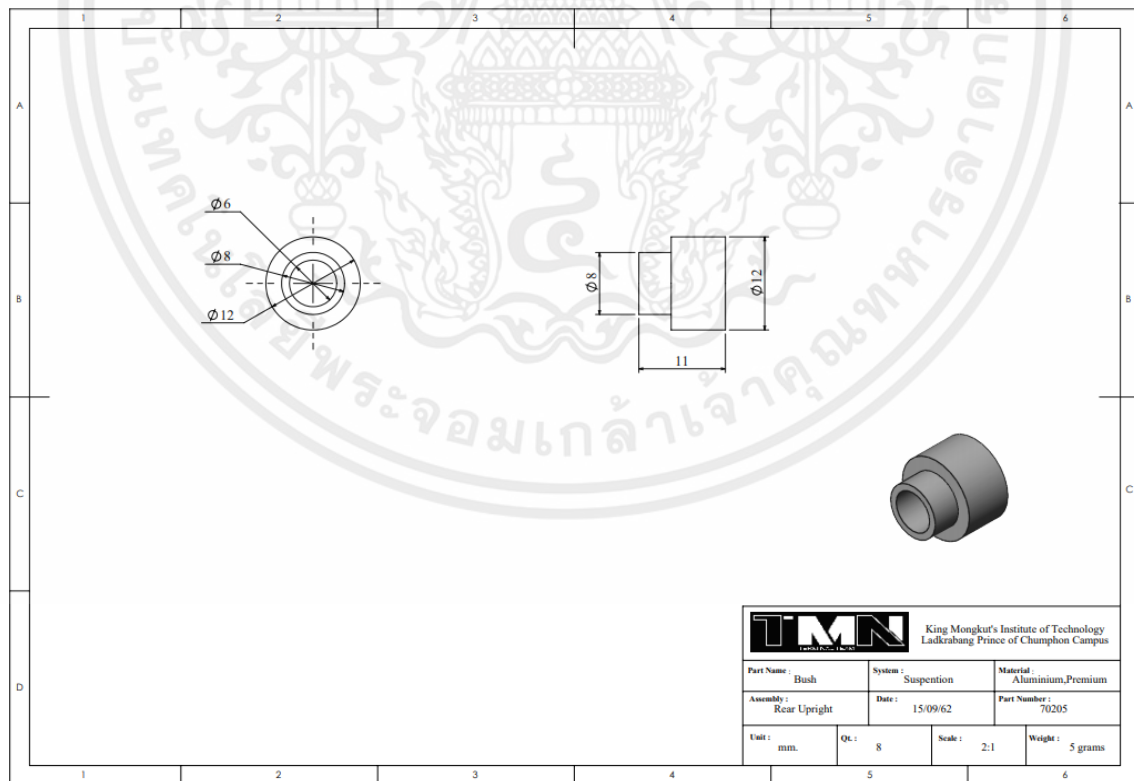


รูปที่ 7 ลูกปืนตาเหล็ก ชนิดเกลียวนอก (Rod end bearing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

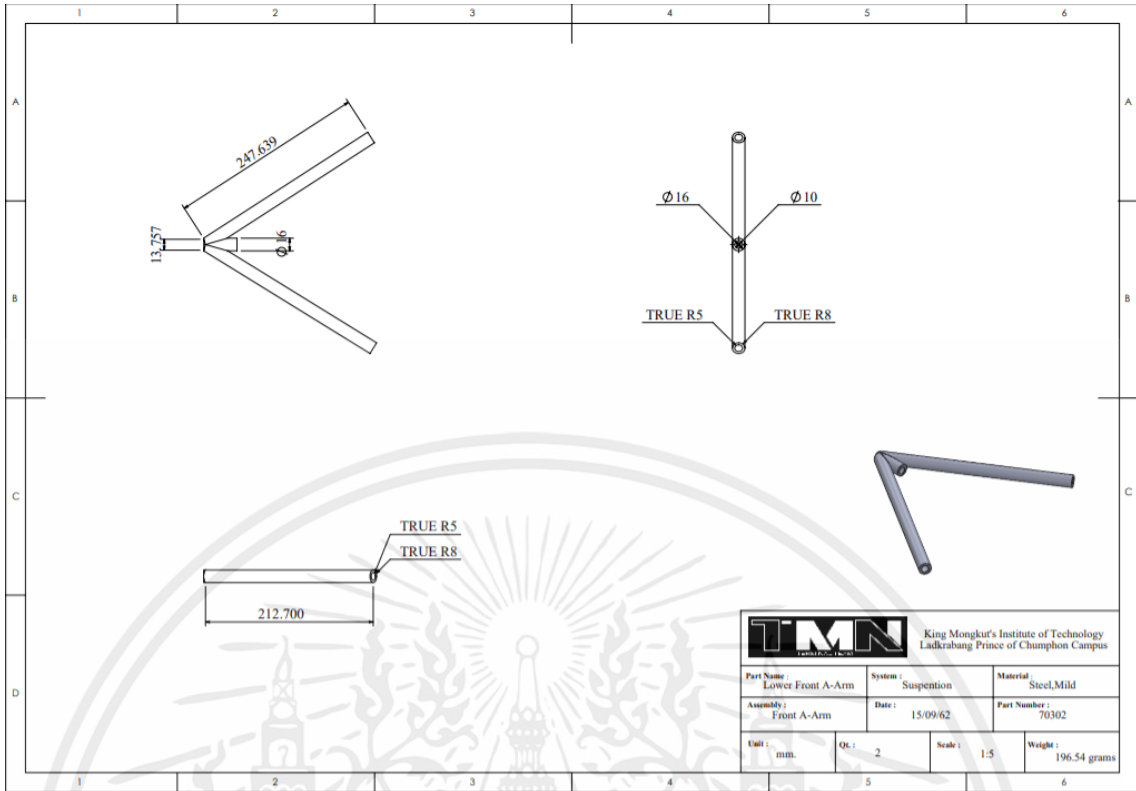


รูปที่ 8 แท่งปรับองศาหม้อโท (Toe Rod)

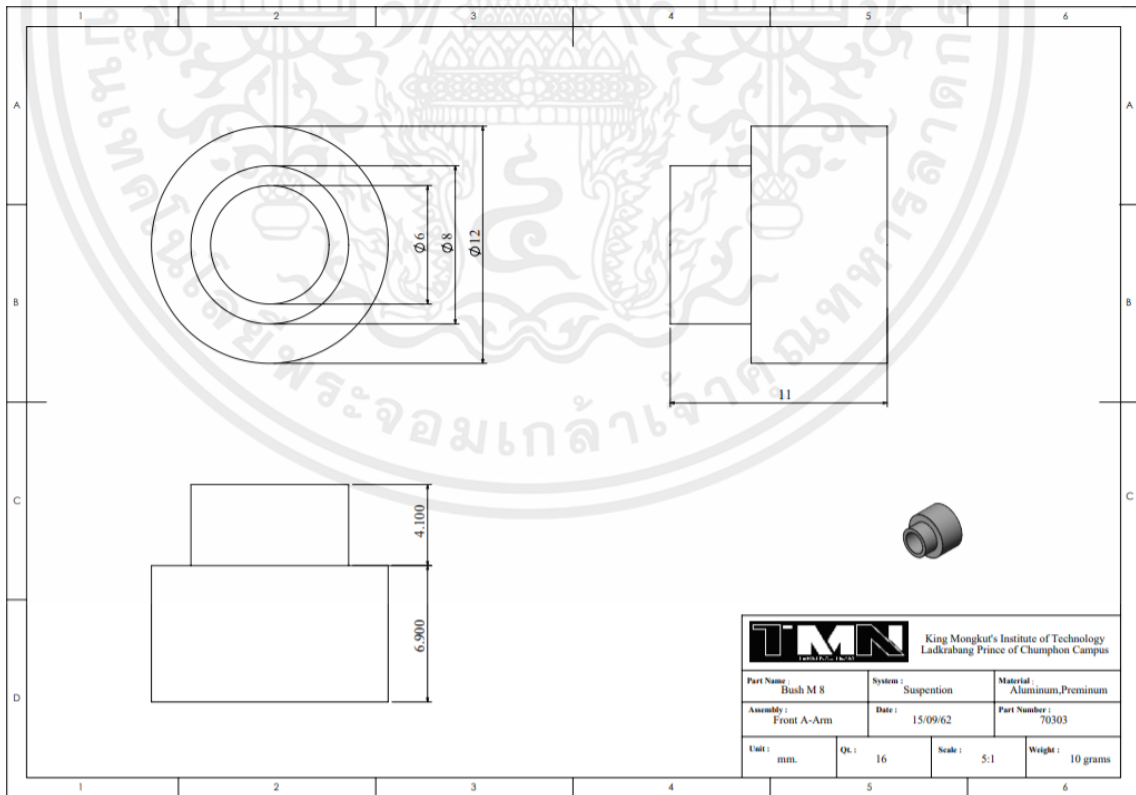


รูปที่ 9 บุชขนาด 6 มิลลิเมตร (6 mm. Bush)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

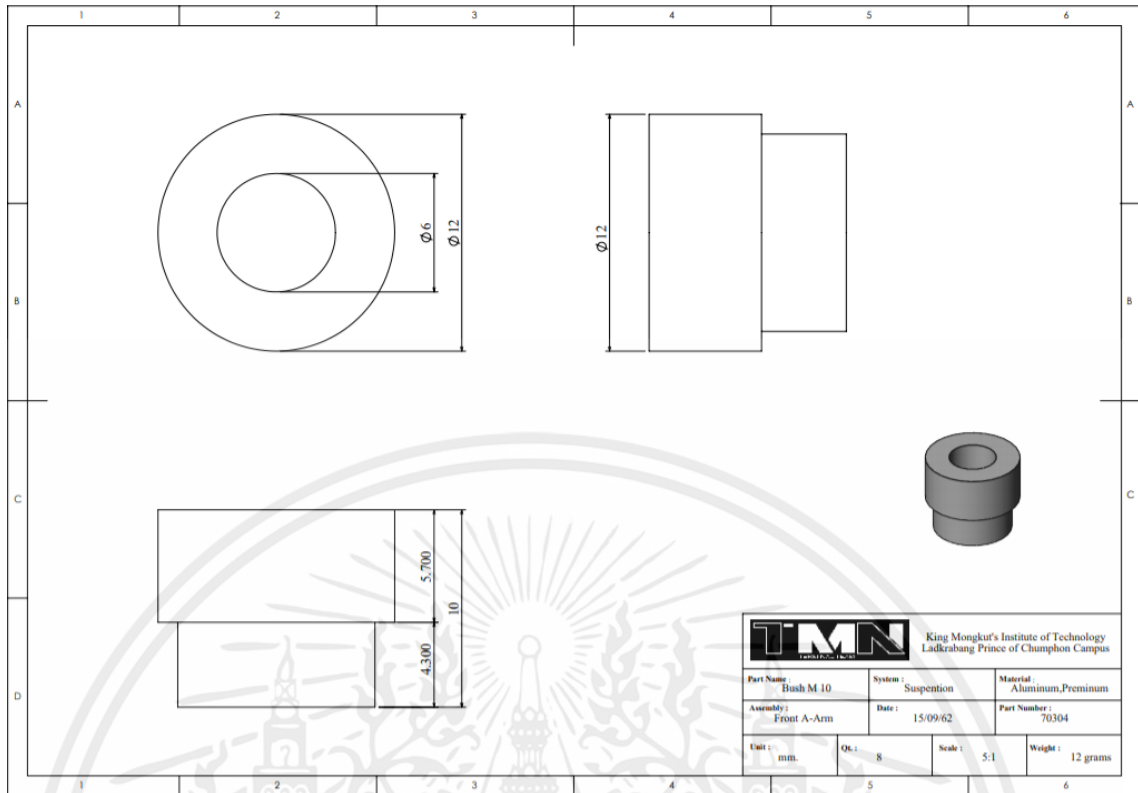


รูปที่ 12 ปีกนกลาง ด้านหน้า (Lower Front A-Arm)

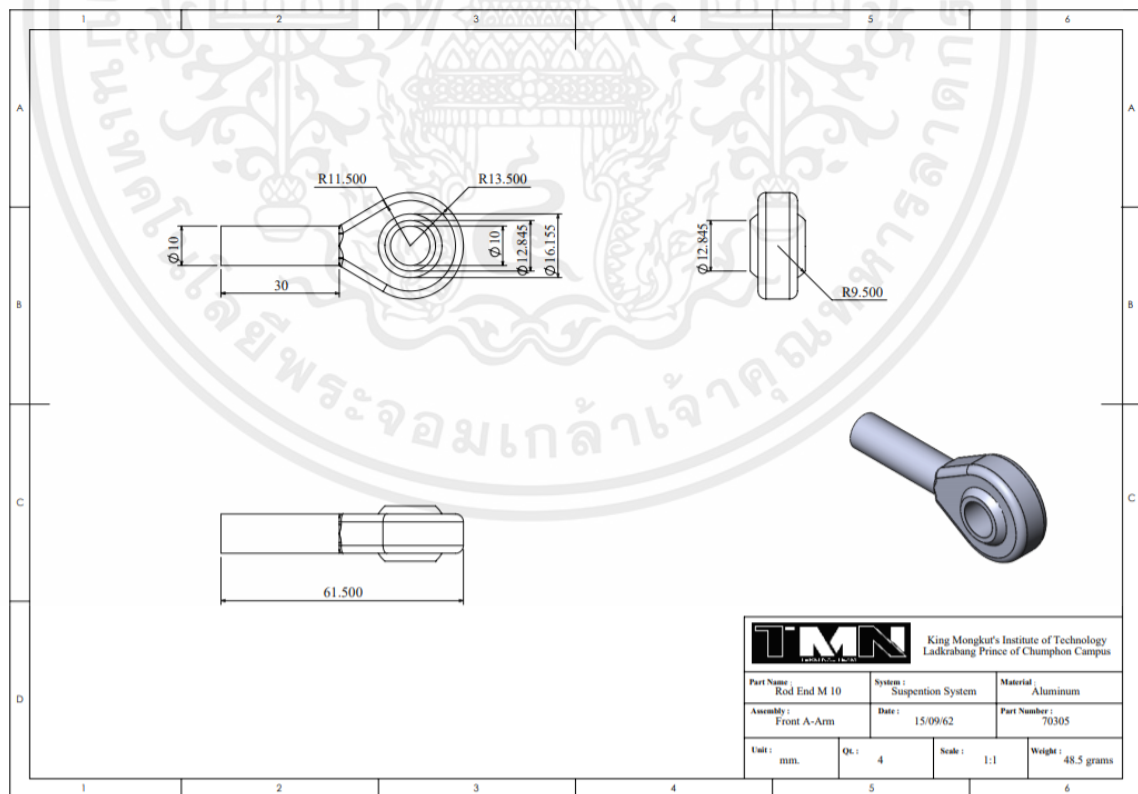


รูปที่ 13 บูชขนาด 6 มิลลิเมตร (6 mm. Bush)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

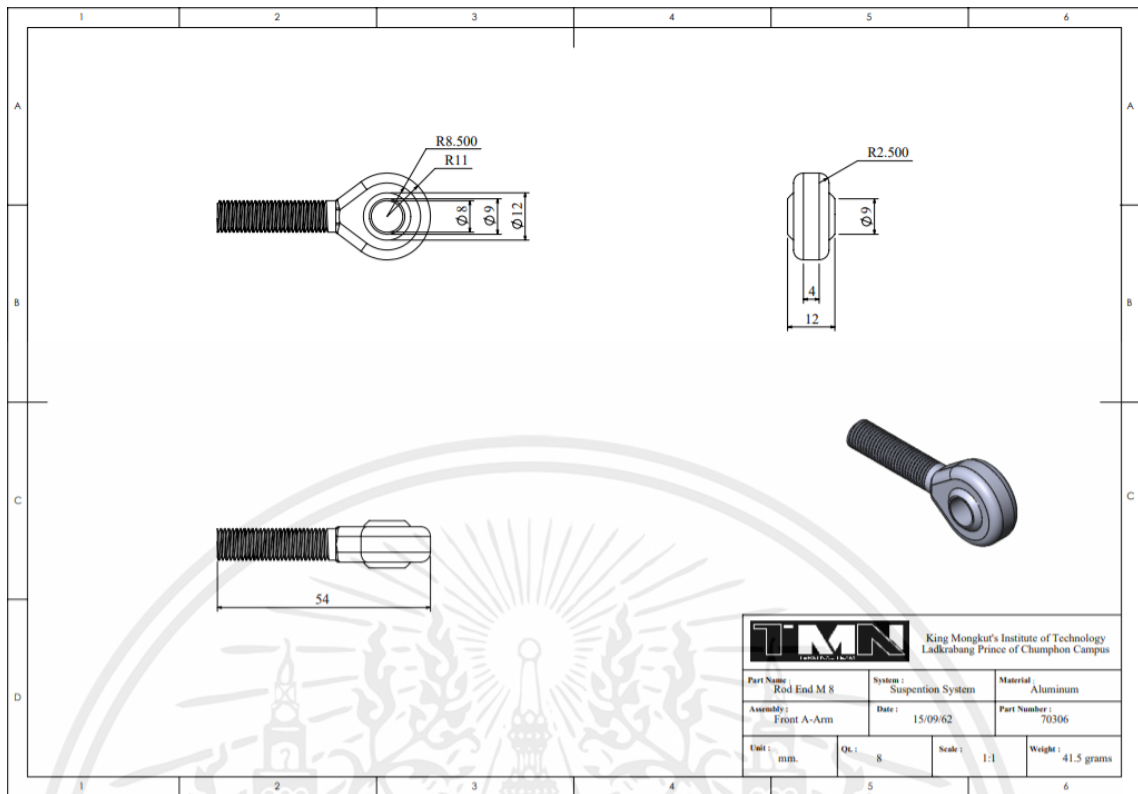


รูปที่ 14 บุชขนาด 6 มิลลิเมตร (6 mm. Bush)



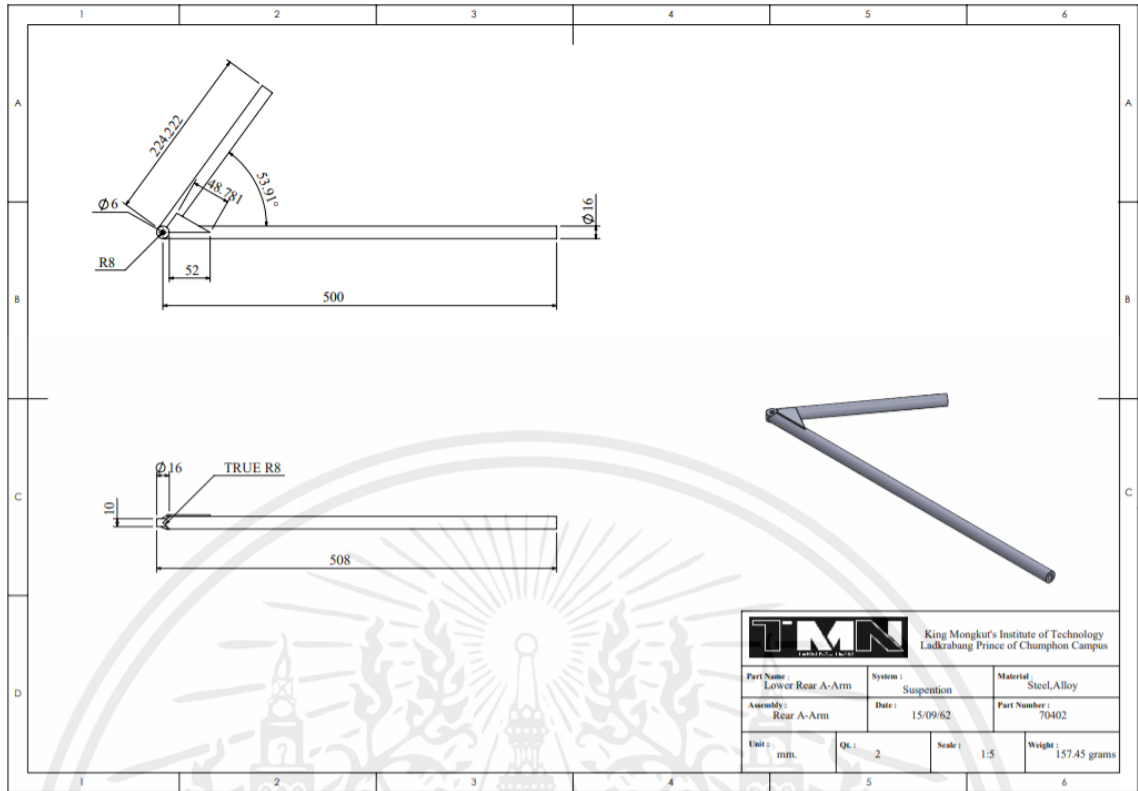
รูปที่ 15 ลูกปืนตาเหล็ก ชนิดเกลียวนอก (Rod end bearing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

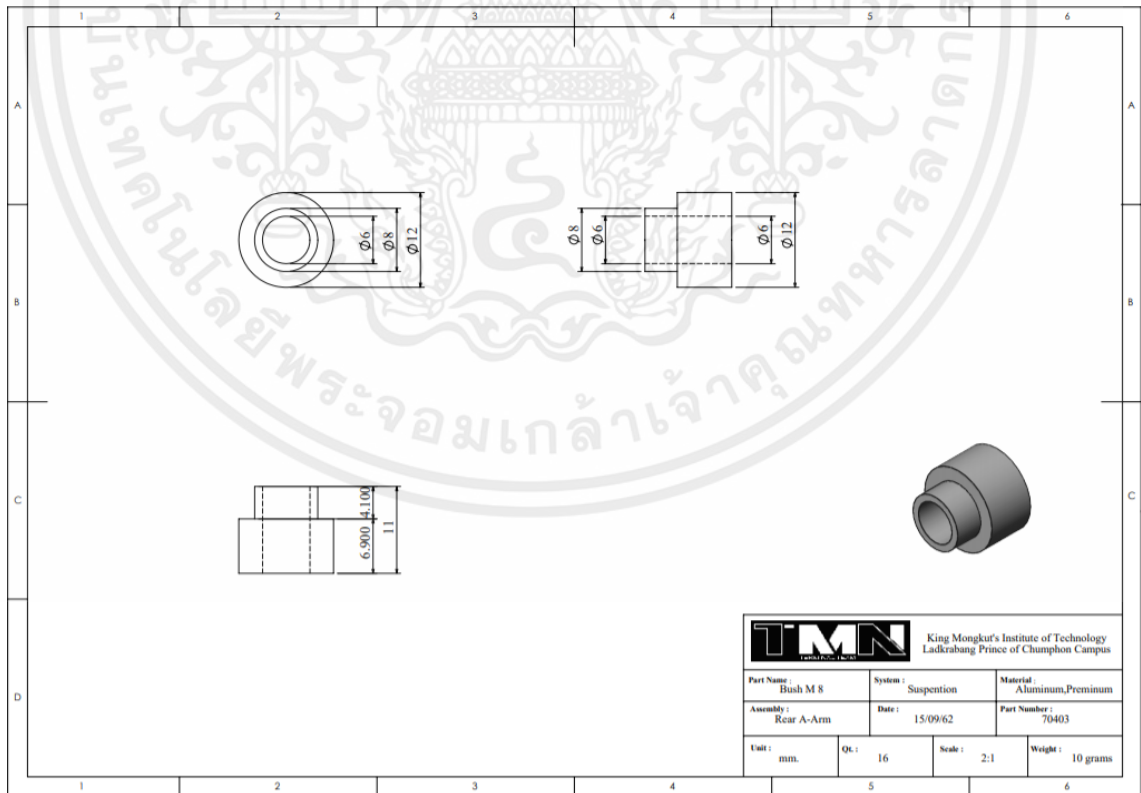


รูปที่ 16 ลูกปืนตาเหล็ก ชนิดเกลียวนอก (Rod end bearing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

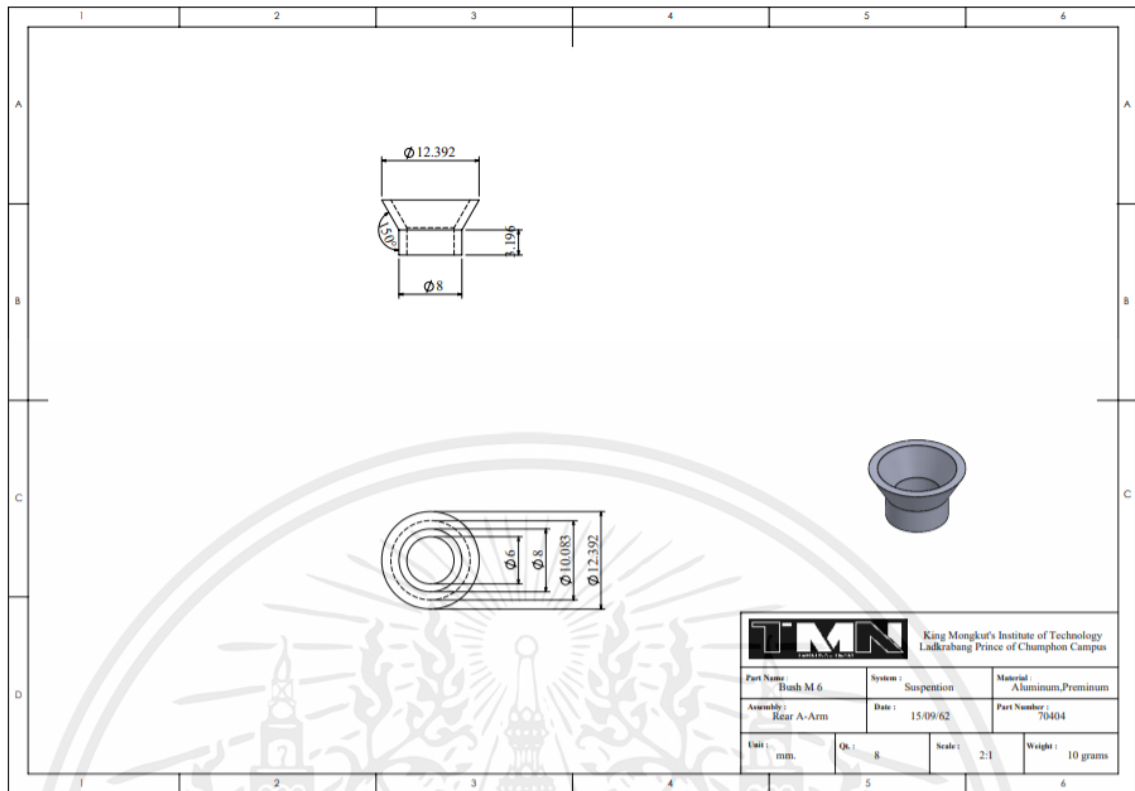


รูปที่ 19 ปีกนกบน ด้านหลัง (Lower Rear A-Arm)

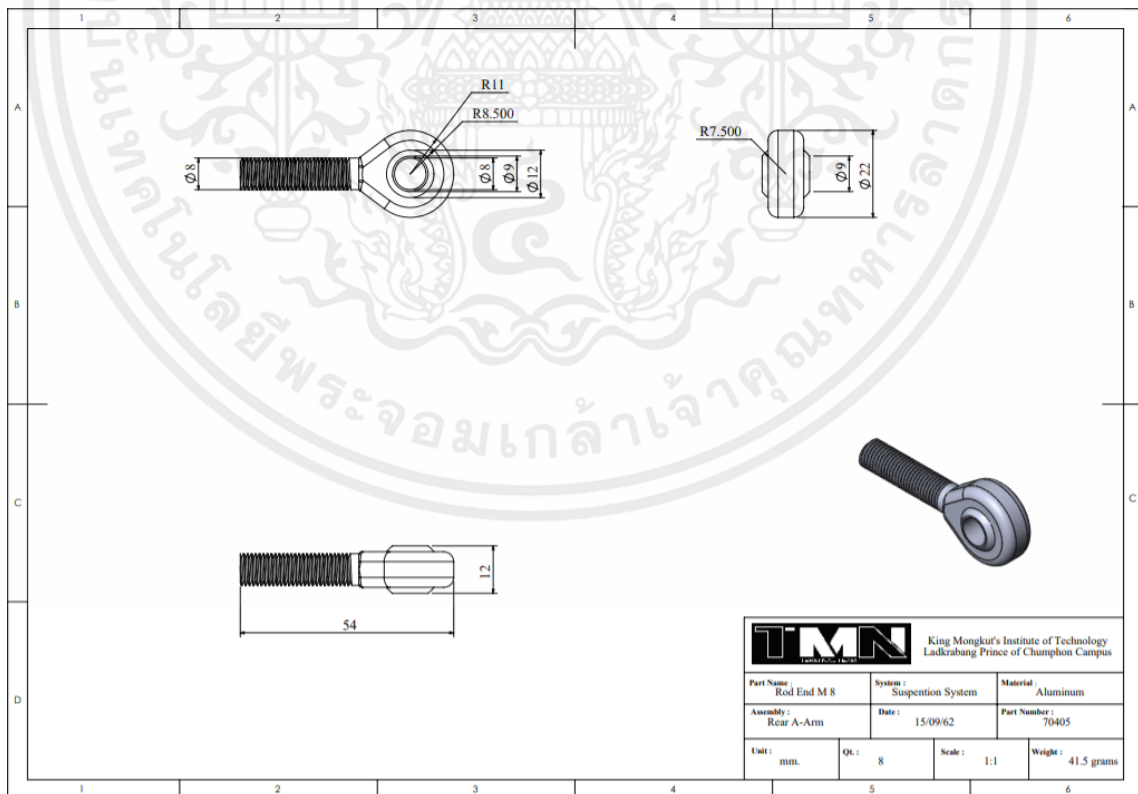


รูปที่ 20 บูชขนาด 6 มิลลิเมตร (6 mm. Bush)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

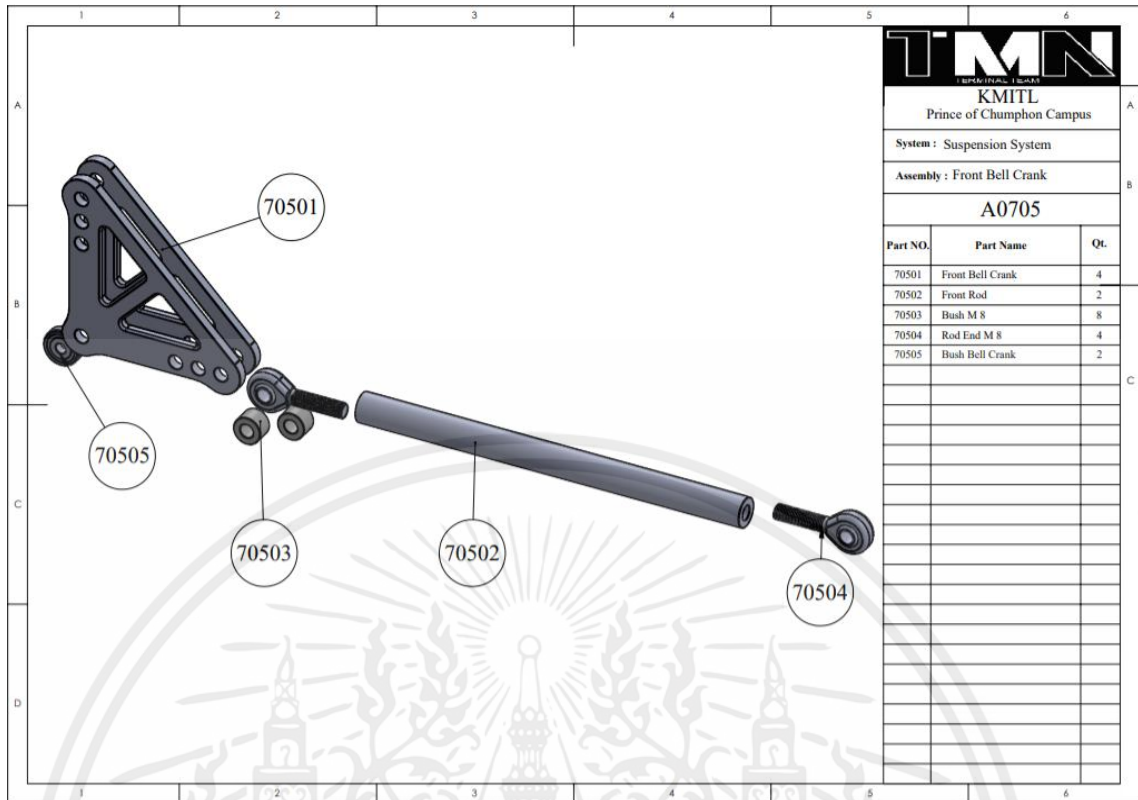


รูปที่ 21 บูชขนาด 6 มิลลิเมตร (6 mm. Bush)

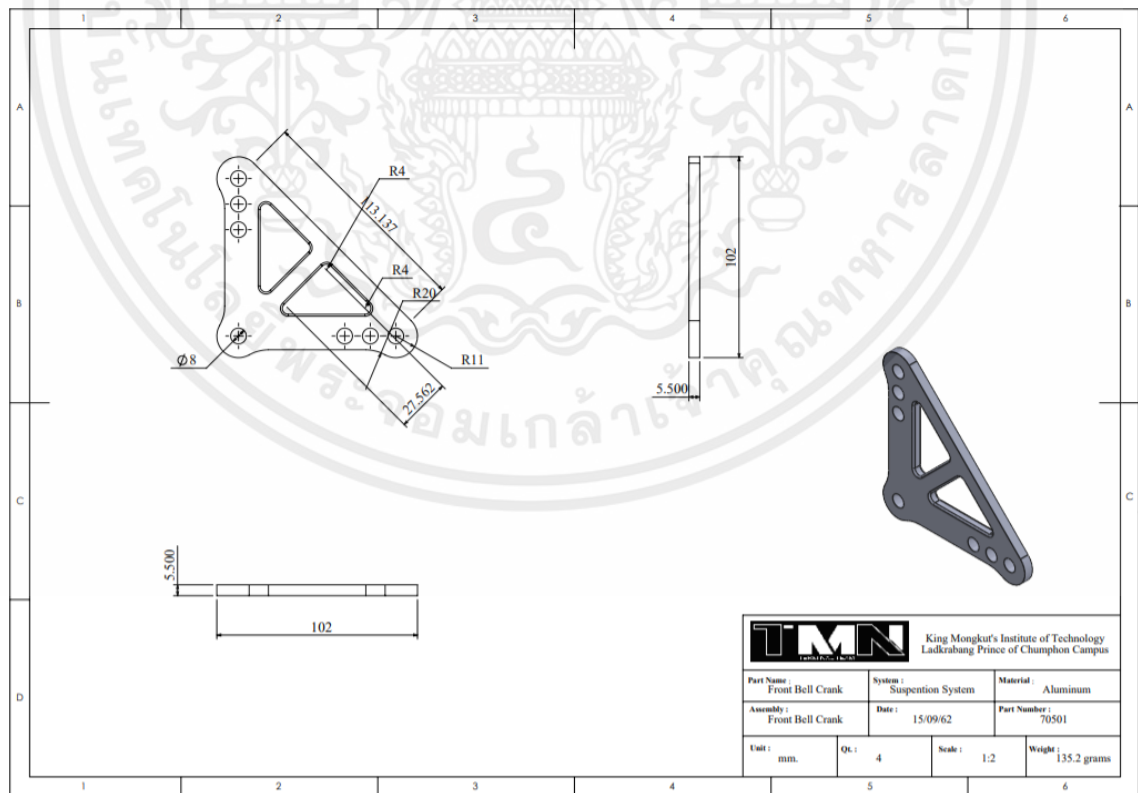


รูปที่ 22 ลูกปืนตาเหล็ก ชนิดเกลียวนอก (Rod end bearing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

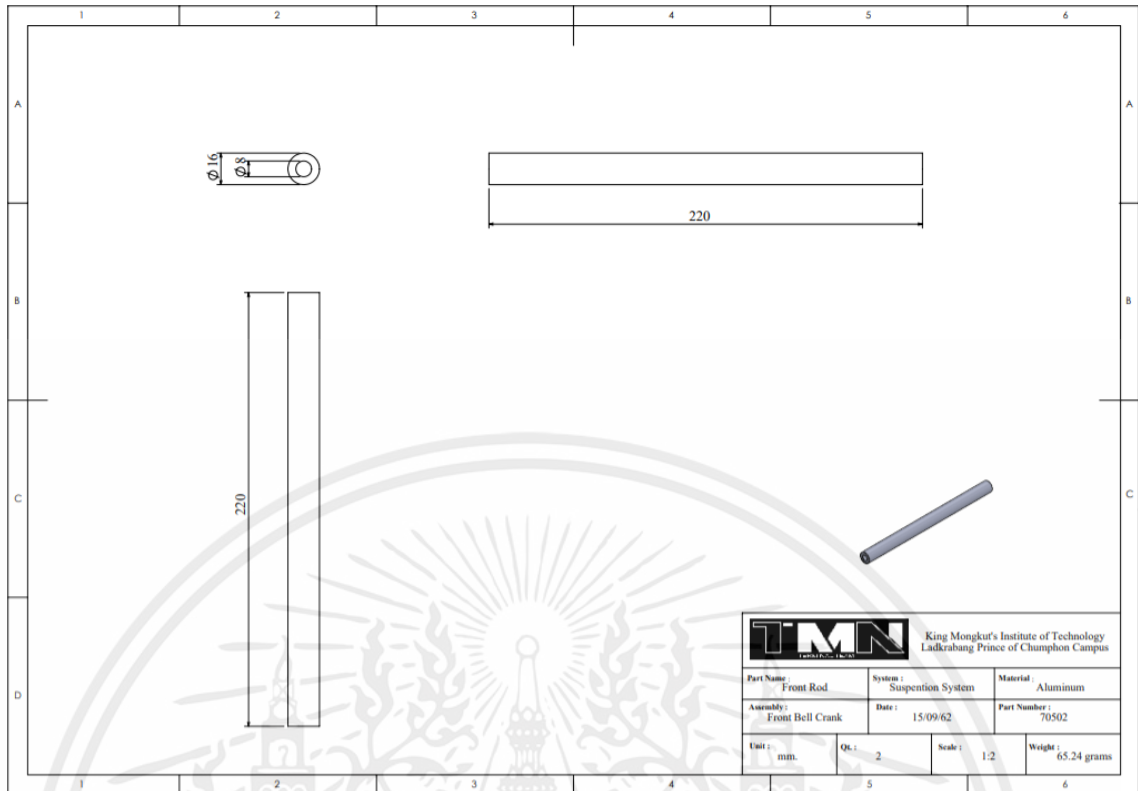


รูปที่ 23 ส่วนประกอบชุดกระเดื่องมุมฉาก (Front Bell Crank Assembly)

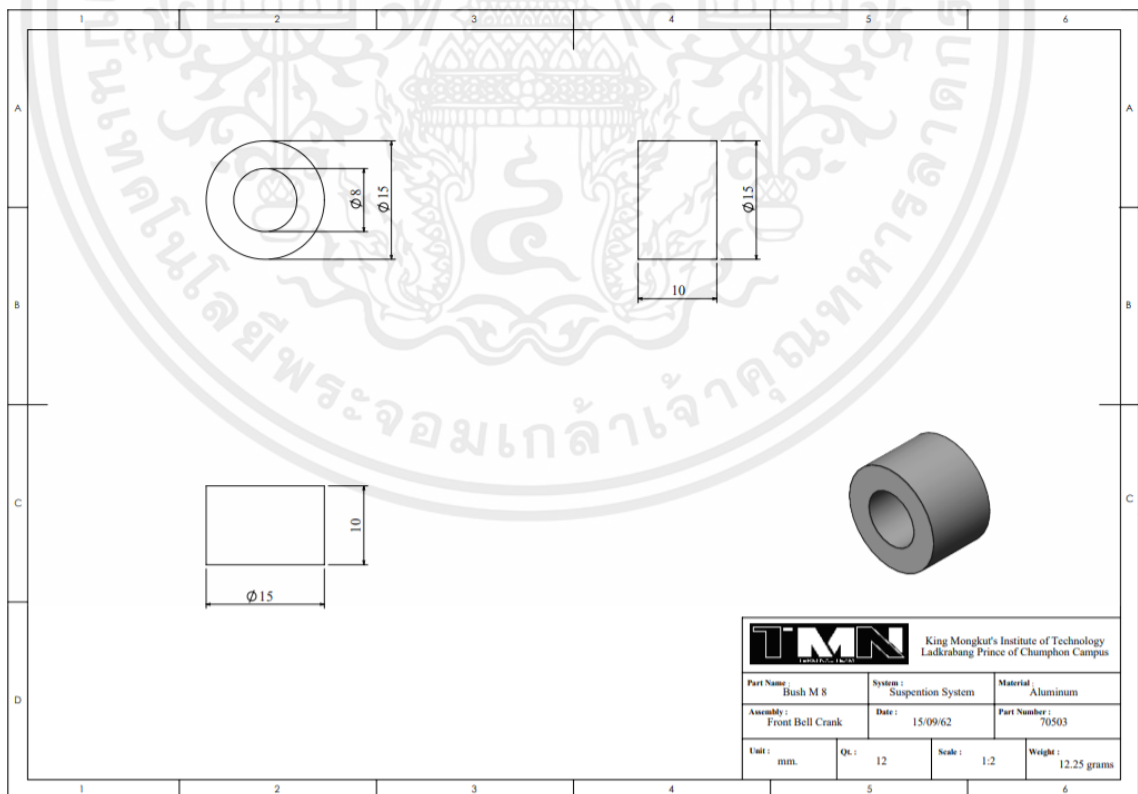


รูปที่ 24 กระเดื่องมุมฉากทระยะใช้ค (Bell Crank)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

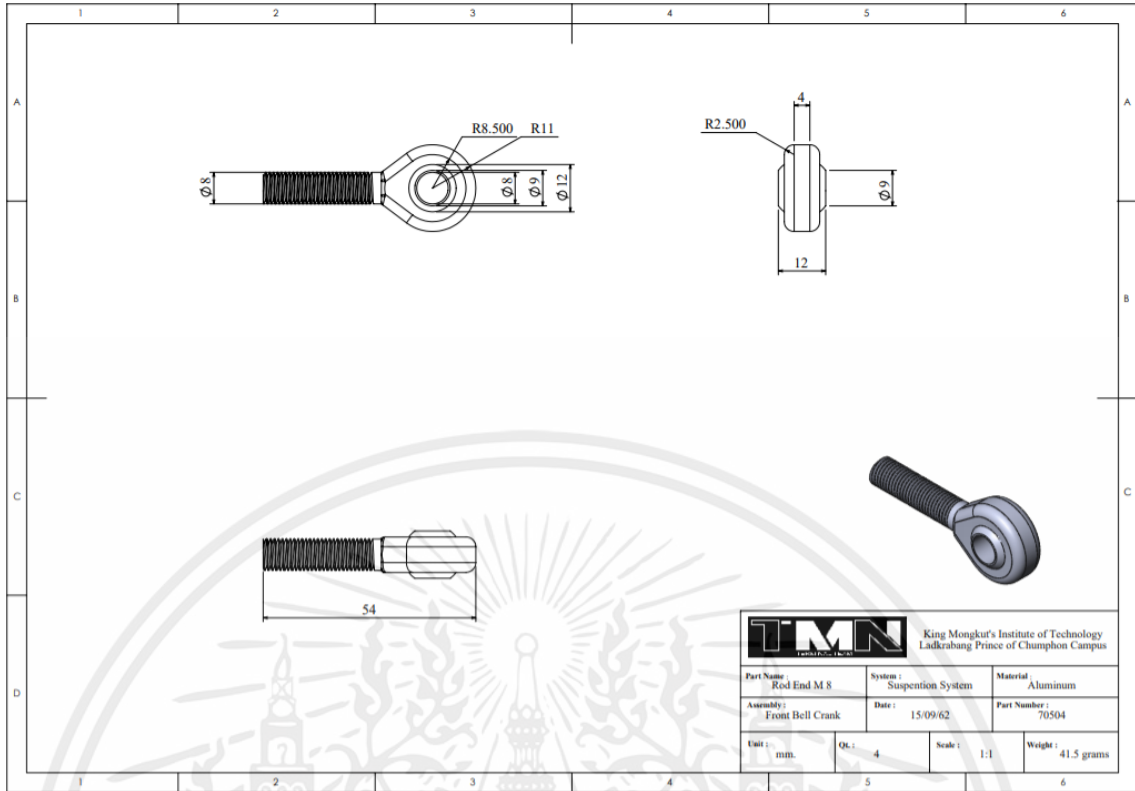


รูปที่ 25 แท่งปรับระดับโช้คอัพ (Shock up Rod)

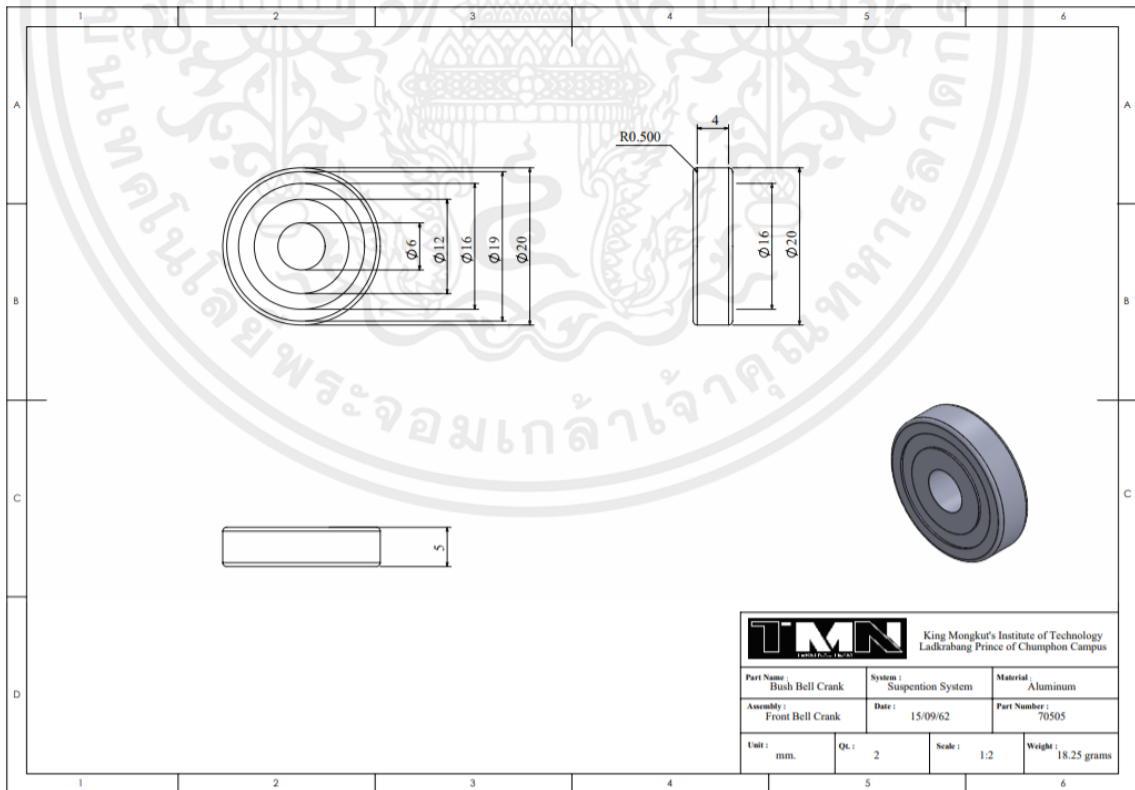


รูปที่ 26 บูชขนาด 8 มิลลิเมตร (8 mm. Bush)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

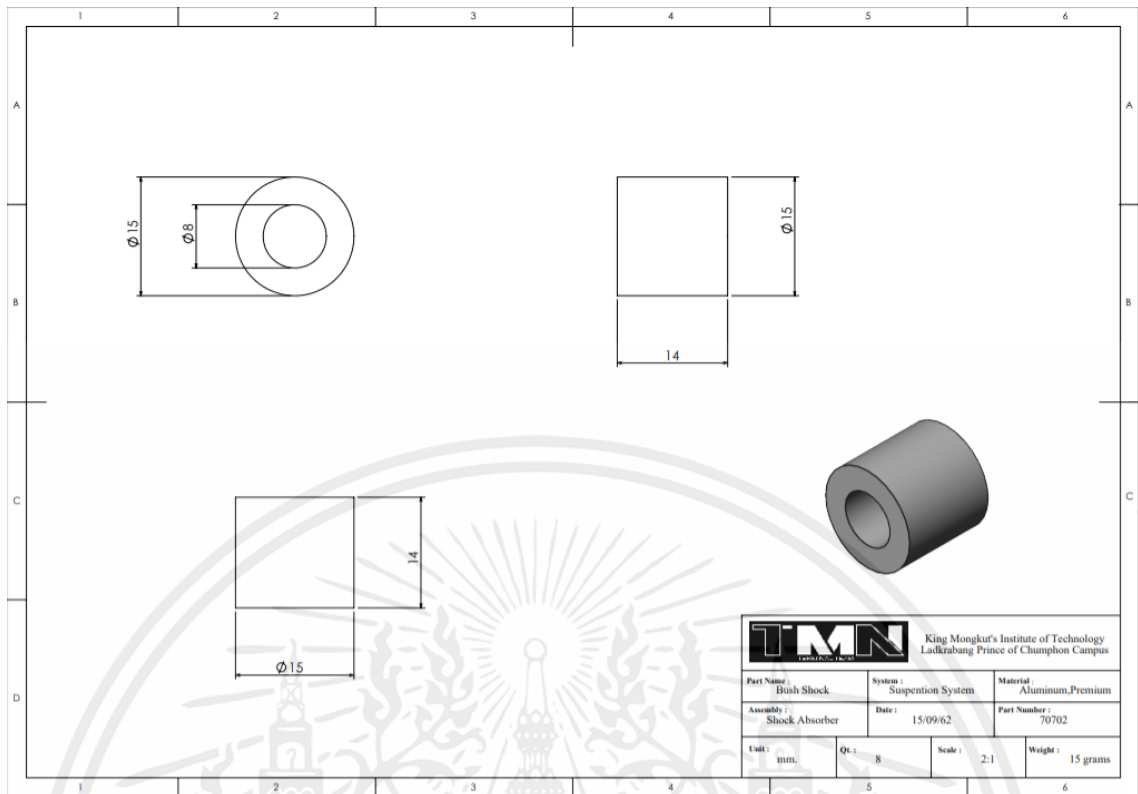


รูปที่ 27 ลูกปืนตาเหล็ก ชนิดเกลียวนอก (Rod end bearing)



รูปที่ 28 ลูกปืนขนาด 6 มิลลิเมตร (Ball bearing 6 mm.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 31 บูชขนาด 8 มิลลิเมตร (8 mm. Bush)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



| | |
|------------------|---|
| ชื่อผู้เขียน | นายกฤษดา ไชยลำยา |
| วัน/เดือน/ปีเกิด | 12 มีนาคม 2542 |
| เกิดที่ | จังหวัดยะลา |
| ที่อยู่ | 9/6 หมู่ 2 ตำบล ลำพะยา อำเภอ เมือง จังหวัด ยะลา 95160 |

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนนิบงชนูปถัมภ์
- สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากคณะราษฎรบำรุง
จังหวัดยะลา
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2562 จากสถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขต
ชุมพรเขตรอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ใน
รายการ TSAE Auto Challenge 2017 - 2018 Student
Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ใน
รายการ TSAE Auto Challenge 2018 - 2019 Student
Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ใน
รายการ TSAE Auto Challenge 2019 - 2020 Student
Formula

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



| | |
|------------------|--|
| ชื่อผู้เขียน | นายจิริยุทธ คุระจอก |
| วัน/เดือน/ปีเกิด | 13 กรกฎาคม 2540 |
| เกิดที่ | จังหวัดนครศรีธรรมราช |
| ที่อยู่ | 47 หมู่ 1 ตำบล หัวไทร อำเภอ หัวไทร จังหวัด นครศรีธรรมราช 80170 |

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนหัวไทรเรือนประชาบาล
- สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 3 จากโรงเรียนหัวไทรบำรุงราษฎร์
- สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพจากวิทยาลัยเทคนิค นครศรีธรรมราช
- สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงจากวิทยาลัยเทคนิค นครศรีธรรมราช
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2562 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2017 - 2018 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2018 - 2019 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2019 - 2020 Student Formula

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



| | |
|------------------|---|
| ชื่อผู้เขียน | นายณัฐวุฒิ กาญจนามัย |
| วัน/เดือน/ปีเกิด | 12 พฤศจิกายน 2540 |
| เกิดที่ | จังหวัดสุราษฎร์ธานี |
| ที่อยู่ | 94/9 หมู่ 4 ตำบล ทุ่งหลวง อำเภอ เวียงสระ จังหวัด สุราษฎร์ธานี 84190 |

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนปัญญาทิพย์
- สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนปัญญาทิพย์
- สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพจากวิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี
- สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงจากวิทยาลัยเทคนิคสุราษฎร์ธานี
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2562 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2017 - 2018 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2018 - 2019 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2019 - 2020 Student Formula

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



| | |
|------------------|--|
| ชื่อผู้เขียน | นายปวีศ หลุนบุชา |
| วัน/เดือน/ปีเกิด | 6 มีนาคม 2541 |
| เกิดที่ | จังหวัดสุรินทร์ |
| ที่อยู่ | 58 หมู่ 6 ตำบล ตาเมียง อำเภอ พนมดงรัก จังหวัด สุรินทร์ 32140 |

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนบ้านหนองคันนา
- สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนบ้านกรวดวิทยาคาร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2562 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2017 - 2018 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2018 - 2019 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2019 - 2020 Student Formula

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



| | |
|------------------|---|
| ชื่อผู้เขียน | นายพงศกร บุญศิริกร |
| วัน/เดือน/ปีเกิด | 6 สิงหาคม 2541 |
| เกิดที่ | จังหวัดกาฬสินธุ์ |
| ที่อยู่ | 81 หมู่ 11 ตำบล หนองกุงศรี อำเภอ หนองกุงศรี จังหวัด กาฬสินธุ์ 46220 |

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนคำไฮวิทยา
- สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหนองกุงศรีวิทยาคาร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2562 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2017 - 2018 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2018 - 2019 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2019 - 2020 Student Formula

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



| | |
|------------------|---|
| ชื่อผู้เขียน | นายพงษ์ภักดิ์ บัญศิริกร |
| วัน/เดือน/ปีเกิด | 6 สิงหาคม 2541 |
| เกิดที่ | จังหวัดกาฬสินธุ์ |
| ที่อยู่ | 81 หมู่ 11 ตำบล หนองกุงศรี อำเภอ หนองกุงศรี จังหวัด กาฬสินธุ์ 46220 |

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนคำไฮวิทยา
- สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหนองกุงศรีวิทยาคาร
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2562 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2017 - 2018 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2018 - 2019 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2019 - 2020 Student Formula

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



| | |
|------------------|--|
| ชื่อผู้เขียน | นายสันติพงษ์ ลีสม |
| วัน/เดือน/ปีเกิด | 13 กุมภาพันธ์ 2542 |
| เกิดที่ | จังหวัดบุรีรัมย์ |
| ที่อยู่ | 197 หมู่ 10 ตำบล สำโรงใหม่ อำเภอ ละหานทราย จังหวัด บุรีรัมย์ 31170 |

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนบ้านสันติสุข
- สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนละหานทรายรัชดาภิเษก
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2562 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2017 - 2018 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2018 - 2019 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2019 - 2020 Student Formula

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



| | |
|------------------|---|
| ชื่อผู้เขียน | นายสิงหนาท ภูแมนเขียน |
| วัน/เดือน/ปีเกิด | 16 ตุลาคม 2541 |
| เกิดที่ | จังหวัดกรุงเทพมหานคร |
| ที่อยู่ | 95 หมู่บ้าน พรพิมาน ซอย พหลโยธิน 48 แยก 53 ถนน พหลโยธิน แขวง ท่าแร้ง เขต บางเขน กรุงเทพมหานคร 10220 |

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนสหกรณ์นิคมกสิกรรมทุ่งสง
- สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสารวิทยา
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2562 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2017 - 2018 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2018 - 2019 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2019 - 2020 Student Formula

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



| | |
|------------------|--|
| ชื่อผู้เขียน | นายอภิสิทธิ์ นุ่มทอง |
| วัน/เดือน/ปีเกิด | 30 ตุลาคม 2540 |
| เกิดที่ | จังหวัดนครศรีธรรมราช |
| ที่อยู่ | 218 ถนน สะพานยาว ตำบล โพธิ์เสด็จ อำเภอ เมือง จังหวัด นครศรีธรรมราช 80000 |

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาจากโรงเรียนอนุบาลนครศรีธรรมราช (ฉ.นครอุทิศ)
- สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาจากโรงเรียนกัลยาณีศรีธรรมราช
- สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูงจากวิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2562 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2017 - 2018 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2018 - 2019 Student Formula
- เข้าร่วมการแข่งขันกับทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์ในรายการ TSAE Auto Challenge 2019 - 2020 Student Formula

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้