

เลขที่โครงการ 1712/A009



รายงานการวิจัย

การวิจัยและพัฒนา รถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา 2017

Research and Development for Electrics Formula Student 2017

TNI

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น



คณะผู้วิจัย/ผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมล แสนอ๋ม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ผู้ร่วมวิจัย

1. อาจารย์สุระ ลาภทวี
2. อาจารย์ภาสกร พันธุ์โอภาส
3. อาจารย์จิรพงศ์ สุขาทิพย์
4. อาจารย์วิศิษฐ์ สองเมือง
5. อาจารย์นเร็นศ ชัยธานี

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นปีงบประมาณ 2560

มิถุนายน 2562

การวิจัยและพัฒนา รถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา 2017

ผศ. ดร. วิมล แสนอ้อม

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาการออกแบบและพัฒนารถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา โดยเน้นไปภาคส่วนของ การออกแบบชิ้นส่วนระบบส่งกำลัง ชิ้นส่วนช่วงล่าง และระบบความปลอดภัยในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา ดังนี้

ส่วนที่ 1 การออกแบบชิ้นส่วนในระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่านักศึกษาในส่วนของอะแดปเตอร์สเตอร์ ซึ่งมีหน้าที่ส่งผ่านแรงบิดจากสเตอร์ไปยังชุดเฟืองท้าย ในการออกแบบได้เลือกใช้วัสดุเป็นอลูมิเนียมเกรด 7075 ซึ่งเป็นเกรดที่มีความแข็งแรงสูงและมีน้ำหนักเบา การพิจารณาแรงที่กระทำกับอะแดปเตอร์สเตอร์เพื่อนำมาวิเคราะห์ความแข็งแรงพบว่า เป็นแรงบิดที่มาจากแรงเสียดทานสูงสุดระหว่างล้อกับถนน มีค่าเท่ากับ 575.6 นิวตัน-เมตร ส่งผ่านเพลาขับ ชุดเฟืองท้าย และมาที่อะแดปเตอร์สเตอร์ แรงกระทำนี้ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของอะแดปเตอร์สเตอร์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าค่า Equivalent (von-Mises) Stress สูงสุดเท่ากับ 187.5 เมกะปาสคาล และค่า Total Deformation สูงสุด 0.151 มิลลิเมตร เมื่อนำค่าความเค้นสูงสุดมาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นดึงที่วัสดุสามารถรับได้พบว่าค่าความเค้นดึงสูงสุดยังมีค่ามากกว่าค่า Equivalent (von-Mises) Stress สูงสุดที่เกิดขึ้น ทำให้รู้ว่าอะแดปเตอร์สเตอร์ที่ออกแบบนี้สามารถรับแรงได้และนำไปใช้งานได้จริงโดยมีค่าปัจจัยความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 2.68 จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่า อะแดปเตอร์สเตอร์สามารถส่งถ่ายกำลังจากเครื่องยนต์สู่ล้อได้โดยไม่เกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นงาน

ส่วนที่ 2 การออกแบบคอกม้า แล้ววิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาความแข็งแรงของคอกม้าที่ได้ออกแบบ เพื่อจะนำคอกม้าไปใช้ในรถฟอร์มูล่านักศึกษาสำหรับเข้าร่วมแข่งขันรถฟอร์มูล่านักศึกษา ซึ่งจากการศึกษาพบว่าความแข็งแรงคอกม้าโดยใช้วัสดุอะลูมิเนียม เกรด 7075 คอกม้ามีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 203.32 MPa ค่าความปลอดภัยจะมีค่าเท่ากับ 2.4755 และการเสียรูปสูงสุด 0.66156 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบความเค้นสูงสุดจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับค่าจากตารางคุณสมบัติของวัสดุ พบว่าความเค้นสูงสุดจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าน้อยกว่าค่าจากตารางคุณสมบัติของวัสดุ

ส่วนที่ 3 การออกแบบระบบไฟฟ้าของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา ซึ่งใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดกำลัง 20 กิโลวัตต์ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนแรงดันไฟฟ้า 102.4 โวลต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด 60 แอมป์ ระบบระบายความร้อนแรงดันน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หม้อน้ำขนาด 400 ตารางเซนติเมตร ระบบความปลอดภัยจะเป็นการใช้ไฟฟ้าแรงดันต่ำเพื่อไปควบคุมไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งประกอบด้วยสวิทช์ควบคุมหลัก ระบบสวิทช์ฉุกเฉิน สวิทช์ควบคุมไฟฟ้าแรงดันสูง วงจรป้องกันไฟฟ้าวัดลงโครงสร้างรถและวงจรป้องกันเบรคแตก ในการออกแบบระบบควบคุมประกอบไปด้วยคันเร่งไฟฟ้าจะมีเซนเซอร์ 2 ตัว เพื่อป้องกันกรณีที่คันเร่งตัวใดเกิดเสียหรือค้างคันเร่งอีกตัวจะยังสามารถทำงานได้ สวิทช์ควบคุมเดินหน้าหรือถอยหลัง และสวิทช์ควบคุมระบบระบายความร้อนที่ทำหน้าระบายความร้อนหม้อเตอร์และคอนโทลเลอร์



THAI-NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

TNI

Abstract

This study is a research which design and development Formula Student Electric. This work focuses on the parts of Powertrain system, parts of suspension and safety system for Formula Student Electric.

The first, design of parts in powertrain system of formula student car in parts of a sprocket adapter. The sprocket adapter responds to transmit torque form a sprocket to final drive. Aluminum series 7075 is selected for design because of high strength and light weigh. The action force to sprocket adapter was considered form maximum friction between tire and road via drive shaft and final drive set. That force was applied for analyze strong of sprocket adapter by finite element method. Result of maximum equivalent (von-mises) stress is 187.5 MPa and maximum total deformation is 0.151 mm. After that maximum equivalent (von-mises) stress was compared with tensile yield strength result is tensile yield strength more than maximum equivalent (von-mises) stress. So, the sprocket adapter can tolerate form the force and have minimum safety factor is 2.68. For analysis by finite element method was found that the workpiece was capable of transmitting power from the engine to the wheel without damaging the workpiece.

The second, design and analysis of upright part using finite element method for study of the strength. To be used in the car formula student to participate in the Formula Student Car. The study found that the strength using aluminum 7075 has a maximum stress of 203.32 MPa. The safety is 2.4755 and the maximum deformation is 0.66156 mm. The maximum stress of finite element analysis was compared to the values in the material properties. It was found that the maximum stress of finite element analysis was less than that of the material properties table.

The third, safety system for Formula Student Electric. This research uses 20 kW of motor, Li-ion batteries 102.4 voltage, Maximum current 60 ampere and cooling system have the pressure of 40 psi. Safety system is using low voltage for control height voltage, consisting of main switch, emergency switch, height voltage switch, isolation monitoring device and break over travel switch. The design of the control system consists of an electric throttle with 2 sensors for prevent any occurrence of the accelerator pedal and hold or the other will still be functional, forward or reverse control switch and cool system control switch for controlling temperatures



TNI

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ในหัวข้อเรื่องการพัฒนาสูตรมูลไฟฟ้าที่ได้รับการสนับสนุนงบประมาณการวิจัยจากกองทุนวิจัย สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น วิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความสำเร็จและความเมตตากรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่นที่สนับสนุนเครื่องมือ เครื่องจักร และสถานที่ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ตลอดจนอาจารย์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ชี้แนะ และแก้ไขสิ่งที่ผิดพลาดทั้งหลายจนกระทั่งการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี คณะที่วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณผู้สนับสนุนจากบริษัทและหน่วยงานต่าง ๆ การสนับสนุนงบประมาณและผลิตภัณฑ์ในการทำวิจัย อาทิเช่น สมาคมวิศวกรรมยานยนต์แห่งประเทศไทย บริษัทฮีโน่มอเตอร์สแมนูแฟคเจอร์ (ประเทศไทย) จำกัด บริษัท พน์ส แอสเซมบลีย์ จำกัด บริษัท ทีอาร์ดี (ไทยแลนด์) จำกัด และ บริษัท ไทยอีวีแบตเตอรี่ เป็นต้น

ขอขอบพระคุณรศ.ดร.ชุมพล อันตรเสน คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่นได้ให้กำลังใจและอำนวยความสะดวกตลอดจนให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัยจนกระทั่งสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ไพศาล สุทธิวัลย์ ที่ให้ใช้เครื่องมือทางไฟฟ้าและความรู้ในการสร้างรถฟอร์มูล่าไฟฟ้า และขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. ดอน แก้วดกและ ผศ. ดร. วิโรจน์ ทักษะ สำหรับการให้ความรู้และการทำชิ้นส่วนรถฟอร์มูล่าไฟฟ้า นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้รับความช่วยเหลือจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เกี่ยวข้องหลายท่านในการทำงานวิจัย จนประสบผลสำเร็จจึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูง ไว้ ณ ที่นี้

สำหรับประโยชน์ที่จะได้รับการจากการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบให้แก่นักเรียน นักศึกษาผู้สนใจศึกษาด้านยานยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า ที่เป็นประโยชน์ต่อสังคมและประเทศชาติต่อไป

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๘
กิตติกรรมประกาศ	๑๑
สารบัญ	๗
สารบัญภาพ	๑๒
สารบัญภาพ (ต่อ).....	๑๓
สารบัญภาพ (ต่อ).....	๑๓
สารบัญภาพ (ต่อ).....	๑๓
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษาและวิจัย	2
1.4 สถานที่ทำการวิจัย ทดลอง หรือเก็บข้อมูล	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	2
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้า.....	4
2.1.2 แบตเตอรี่	42
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	52
3 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย	57
3.1 ขั้นตอนและวิธีการศึกษาวิจัย.....	57
3.1.1 การออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 การออกแบบชิ้นส่วนช่วงล่างของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา	58
3.1.3 การออกแบบระบบความปลอดภัยในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา	58
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	59
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล	59
4 ผลการศึกษาวิจัย	60
4.1 การออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา	60
4.2 การออกแบบชิ้นส่วนช่วงล่างของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา	62
4.2.1 ผลการศึกษาตำแหน่งในการยึดคอกับช่วงล่าง	62
4.2.2 ผลศึกษาช่วงล่างของรถฟอร์มูล่านักศึกษา	62
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอกม้า	63
4.2.4 แรงที่กระทำกับคอกม้ากรณีการเข้าโค้ง	65
4.2.5 แรงที่กระทำกับคอกม้าในส่วนบน	66
4.2.6 แรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างขวาของคอกม้า	69
4.2.7 แรงที่กระทำกับคอกม้ากรณีรถขึ้น-ลงเนิน	70
4.2.8 แรงที่กระทำกับคอกม้าทั้งหมด	72
4.3 การออกแบบระบบความปลอดภัยในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา	73
4.3.1 ผลการศึกษาอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ใช้ในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา	73
4.3.2 ผลศึกษาระบบความปลอดภัยในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา	74
4.3.3 ผลการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา	75
5 สรุปการดำเนินงาน	78
5.1 การออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา	78
5.2 การออกแบบชิ้นส่วนช่วงล่างของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา	78
5.3 การออกแบบระบบความปลอดภัยในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา	79

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4 สรุปผลการแข่งขัน.....	79
5.4.1 สรุปบรรยากาศการแข่งขัน.....	79
5.4.2 สรุปการแข่งขัน Statics Event	81
5.4.2 สรุปการแข่งขัน Dynamics Event.....	82
ภาคผนวก	85
ภาคผนวก ก.....	86
เอกสารขออนุมัติโครงการ	86
ภาคผนวก ข.....	101
แนวทางการจัดการแข่งขัน	102
ภาคผนวก ค	105
รูปการดำเนินงาน.....	105
ภาคผนวก ง.....	114
เอกสารสืบเนื่องการประชุมวิชาการ	114
บรรณานุกรม	107
ประวัติผู้วิจัย	110

TNI

THAI - NICHU INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 สเตเตอร์สปลิตเฟสมอเตอร์	7
รูปที่ 2 โรเตอร์ ฝาปิดหัวท้าย และสวิตช์แรงเหวี่ยง	7
รูปที่ 3 การทำงานของสปลิตเฟสมอเตอร์	8
รูปที่ 4 กราฟคุณลักษณะของสปลิตเฟสมอเตอร์	8
รูปที่ 5 ส่วนประกอบของคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์	9
รูปที่ 6 เปรียบเทียบเวกเตอร์ไดอะแกรมสปลิตเฟสมอเตอร์และคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์	10
รูปที่ 7 กราฟคุณลักษณะของคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์	10
รูปที่ 8 คาปาซิเตอร์รันมอเตอร์	11
รูปที่ 9 กราฟคุณลักษณะคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์	12
รูปที่ 10 คาปาซิเตอร์สตาร์ทแอนดรันมอเตอร์	13
รูปที่ 11 วงจรคาปาซิเตอร์สตาร์ทแอนดรันมอเตอร์	13
รูปที่ 12 คุณลักษณะคาปาซิเตอร์สตาร์ทแอนดรันมอเตอร์	14
รูปที่ 13 ส่วนประกอบเซ็ดเดดโพลมอเตอร์	15
รูปที่ 14 หลักการทำงานของเซ็ดเดดโพลมอเตอร์	15
รูปที่ 15 คุณลักษณะของเซ็ดเดดโพลมอเตอร์	16
รูปที่ 16 ส่วนประกอบของรีฟล็กซ์มอเตอร์	16
รูปที่ 17 หลักการทำงานของรีฟล็กซ์มอเตอร์	17
รูปที่ 18 โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำรีฟล็กซ์	18
รูปที่ 19 แบบไม่มีขดลวดชดเชย	19
รูปที่ 20 แบบมีขดลวดชดเชยในมอเตอร์เหนี่ยวนำรีฟล็กซ์	19
รูปที่ 21 ส่วนประกอบของรีลักแทนซ์มอเตอร์	20
รูปที่ 22 ส่วนประกอบของฮิสเตอร์ซิสมอเตอร์แบบแยกเฟสและแบบบังขั้ว	21
รูปที่ 23 ขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส	22

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 24 โรเตอร์แบบกรงกระรอก	23
รูปที่ 25 สนามแม่เหล็กหมุนเกิดขึ้นที่ขั้วลวดสเตเตอร์.....	23
รูปที่ 26 แรงที่เกิดขึ้นกับตัวนำบนโรเตอร์	24
รูปที่ 27 คุณลักษณะมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส.....	24
รูปที่ 28 โรเตอร์คลาส A	26
รูปที่ 29 โรเตอร์คลาส C	26
รูปที่ 30 โรเตอร์คลาส D	27
รูปที่ 31 โรเตอร์คลาส E	27
รูปที่ 32 โรเตอร์คลาส F	28
รูปที่ 33 กราฟคุณลักษณะของโรเตอร์คลาส A B C และ D	28
รูปที่ 34 โรเตอร์แบบพันขลวด.....	29
รูปที่ 35 การทำงานของสลีปรีมอเตอร์	29
รูปที่ 36 ตัวอยู่กับที่ซึ่งโครน์สมอเตอร์	30
รูปที่ 37 ตัวหมุนแบบขั้วแม่เหล็กยื่น	31
รูปที่ 38 หลักการทำงานซึ่งโครน์สมอเตอร์.....	31
รูปที่ 39 การเริ่มต้นโดยการเหนี่ยวนำ.....	32
รูปที่ 40 ซิมเพล็กซ์โรเตอร์	32
รูปที่ 41 ส่วนประกอบยูนิเวอร์แซลมอเตอร์	34
รูปที่ 42 หลักการทำงานของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์.....	35
รูปที่ 43 การนำไปใช้งานยูนิเวอร์แซลมอเตอร์	36
รูปที่ 44 ส่วนประกอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	37
รูปที่ 45 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง.....	38
รูปที่ 46 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นจากภายนอก.....	39

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 47 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบซันด์.....	39
รูปที่ 48 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบซีรี่ย์.....	40
รูปที่ 49 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร.....	41
รูปที่ 50 กราฟคุณลักษณะมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร.....	42
รูปที่ 51 ถ่านคาร์บอนเคลือบสังกะสี.....	44
รูปที่ 52 ถ่านอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้ง.....	45
รูปที่ 53 ถ่านลิเทียม.....	46
รูปที่ 54 ถ่านนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์.....	48
รูปที่ 55 ผลของ equivalent (van-mises) stress จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....	60
รูปที่ 56 ผลของ Total deformation จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....	61
รูปที่ 57 ค่า safety factor จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์.....	61
รูปที่ 58 แสดงการเชื่อมต่อคอกับอุปกรณ์อื่นๆ.....	62
รูปที่ 59 แบบคอก.....	62
รูปที่ 60 การเกิดแรงจากล้อที่เกิดจากการเบรก.....	63
รูปที่ 61 แรงและทิศทางการเกิดแรงจากกรณีการเบรก.....	63
รูปที่ 62 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของคอกที่เกิดแรงกรณีการเบรก.....	64
รูปที่ 63 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอกกรณีการเบรก.....	64
รูปที่ 64 แรงและทิศทางการเกิดแรงจากกรณีการเข้าโค้ง.....	65
รูปที่ 65 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของคอกที่เกิดแรงจากเบรก.....	65
รูปที่ 66 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอกกรณีการเข้าโค้ง.....	66
รูปที่ 67 แรงและทิศทางการเกิดแรงจากแรงที่กระทำกับส่วนบนของคอก.....	66
รูปที่ 68 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของคอกจากแรงที่กระทำกับส่วนบนของคอก.....	67
รูปที่ 69 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอกกรณีจากแรงที่กระทำกับส่วนบนของคอก.....	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 70 แรงและทิศทางการณ้แรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างซ้าย.....	68
รูปที่ 71 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของคอดำกรณ้แรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างซ้าย	68
รูปที่ 72 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอดำกรณ้แรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างซ้าย.....	69
รูปที่ 73 แรงและทิศทางการณ้แรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างขวา.....	69
รูปที่ 74 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของคอดำกรณ้แรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างขวา	70
รูปที่ 75 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอดำกรณ้แรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างขวา.....	70
รูปที่ 76 แรงและทิศทางการที่กระทำกับคอดำกรณ้รถขึ้นลงเนิน	71
รูปที่ 77 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของคอดำกรณ้รถขึ้นลงเนิน.....	71
รูปที่ 78 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอดำกรณ้รถขึ้น-ลงเนิน.....	72
รูปที่ 79 แรงและทิศทางการที่กระทำกับคอดำกรณ้เกิดแรงพร้อมกันทั้งหมด	72
รูปที่ 80 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของคอดำกรณ้เกิดแรงพร้อมกันทั้งหมด.....	73
รูปที่ 81 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอดำกรณ้เกิดแรงพร้อมกันทั้งหมด.....	73
รูปที่ 82 แสดงตำแหน่งการติดอุปกรณ์และสวิตช์ต่าง ๆ ในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา.....	74
รูปที่ 83 แสดงการต่อวงจร IMD กับรีเลย์	75
รูปที่ 84 ระบบความปลอดภัยในรถไฟฟ้าฟอร์มูล่านักศึกษา.....	76
รูปที่ 85 ระบบควบคุมรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา	76

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาทางด้านยานยนต์ถือเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ ไม่ว่าจะเป็นทางด้านการขนส่ง การเดินทาง ฯลฯ ซึ่งหลายๆประเทศต่างให้ความสนใจในการพัฒนางานทางด้านยานยนต์ โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเราจะเห็นได้ชัดจากการมีรถญี่ปุ่นที่ส่งขายทั่วโลก ซึ่งการพัฒนานั้นจะให้มีประสิทธิภาพสูงต้อง เริ่มต้นจากการพัฒนาเยาวชนก่อน ซึ่งจะทำให้การพัฒนานั้น นำไปได้แบบยั่งยืนและในครั้งนี้เราได้มีแนวคิดริเริ่มพัฒนายานยนต์ไปทางรักษาสีสิ่งแวดล้อมและประหยัดพลังงานจึงพัฒนา Formula Student Electric Vehicle

การแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2017-18 Student Formula เป็นการแข่งขันสร้างรถแข่งซึ่งเปิดโอกาสให้เยาวชนได้มีโอกาสได้แสดงศักยภาพทางด้านการพัฒนายานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญและโอกาสอันดี จึงได้ร่วมส่งทีม CarreraZ Racing EV เข้าแข่งขัน TSAE Auto Challenge 2017-18 Student Formula เพื่อให้ให้นักศึกษาได้ประสบการณ์ในการแข่งขันในระดับประเทศเพื่อสร้างชื่อเสียงให้แก่สถาบันซึ่งจะเป็นผลดีต่อการพัฒนายานยนต์ในประเทศไทยต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนารถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาสำหรับการแข่งขันฟอร์มูล่านักศึกษา
- 1.2.2 เพื่อเป็นการพัฒนาศักยภาพและทักษะด้านวิศวกรรมยานยนต์
- 1.2.3 เพื่อมุ่งเน้นให้นักศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น เรียนรู้การสร้างรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา
- 1.2.4 เพื่อเป็นการเก็บเกี่ยวกับประสบการณ์ในการเข้าร่วมการแข่งขันระดับประเทศ
- 1.2.5 เพื่อศึกษาการทำงานแบบโมโนสุคริเข้าใจถึงระบบการทำงานแบบญี่ปุ่น

1.3 ขอบเขตของการศึกษาและวิจัย

- 1.3.1 การออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา
- 1.3.2 ออกแบบชิ้นส่วนช่วงล่างของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา
- 1.3.3 ออกแบบระบบความปลอดภัยในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

1.4 สถานที่ทำการวิจัย ทดลอง หรือเก็บข้อมูล

การวิจัยและการติดตั้งอุปกรณ์

- 1.4.1 ห้อง C205 (ห้องวางแผน ประชุมดำเนินงาน)
- 1.4.2 ห้อง C207 (ห้องปฏิบัติการด้านไฟฟ้า)
- 1.4.3 อาคารปฏิบัติการ K ห้อง (พื้นที่ปฏิบัติงานของการสร้างและพัฒนา Formula Student EV)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 คณาจารย์และนักศึกษาได้พัฒนาศักยภาพทางด้านวิศวกรรมยานยนต์อย่างเข้มแข็ง
- 1.5.2 สามารถออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา
- 1.5.3 ทราบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถฟอร์มูล่านักศึกษา
- 1.5.4 สามารถนำรถเข้าร่วมการแข่งขันรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาได้

1.6 แผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน (ระยะเวลาทั้งหมด 14 เดือนระหว่างเดือน พฤศจิกายน 2560 – ธันวาคม 2561)

[illegible]

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้รวบรวมทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวในงานวิจัยรถฟอร์มูล่าไฟฟ้า อาทิ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ และงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้า

2.1.1.1 การแบ่งประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้า (Electric motor classification)

มอเตอร์ไฟฟ้า (Electric motor) คือเครื่องกลที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนชนิดต่าง ๆ ซึ่งแบ่งได้เป็น ประเภทใหญ่ตามระบบไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ได้ 2 ประเภท คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current motor) และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current motor)

1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ จัดแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟส (Single phase motor) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหลายเฟส (Poly phase motor) และยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal motor) ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสและสามเฟสที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน สะดวกต่อการใช้งาน

1.1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟส สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ (Induction motor) กับมอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous motor)

1.1.1) มอเตอร์หนึ่งเฟสแบบเหนี่ยวนำ แบ่งตามลักษณะของตัวหมุน (Rotor) มี 2 แบบ คือ ตัวหมุนแบบกรงกระรอก (Squirrel cage rotor) และตัวหมุนแบบพันด้วยขดลวด (Wound rotor) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าตัวหมุนเป็นแบบอาร์เมเจอร์ (Armature)

สำหรับมอเตอร์ที่มีตัวหมุนแบบกรงกระรอก แบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด ประกอบด้วย สปลิตเฟสมอเตอร์ (Split phase motor) คาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์ (Capacitor start motor) คาปาซิเตอร์รัน

มอเตอร์ (Capacitor run motor) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มอเตอร์ที่มีคาปาซิเตอร์ต่อแบบถาวร (Permanent split capacitor motor) เช็ดเดดโพลมอเตอร์ (Shaded pole motor) และคาปาซิเตอร์สตาร์ทแอนด์รันมอเตอร์ (Capacitor start and run motor) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า มอเตอร์แบบมีคาปาซิเตอร์สองค่า (Two-value capacitor motor) ส่วนมอเตอร์ที่มีตัวหมุนแบบอาร์เมเจอร์ แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือรีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion motor) รีพัลชั่นสตาร์ทมอเตอร์ (Repulsion start motor) และ รีพัลชั่นอินดักชั่นมอเตอร์ (Repulsion induction motor)

1.1.2) มอเตอร์หนึ่งเฟสแบบซิงโครนัส แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ด้วยกันคือ เช็ดเดดโพลมอเตอร์

(Shaded pole motor) ฮีสเทรีซิสมอเตอร์ (Hysteresis motor) รีลักแตนซ์มอเตอร์ (Reluctance motor) และมอเตอร์แม่เหล็กถาวร (Permanent magnet motor)

1.2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหลายเฟส ในที่นี้หมายถึง มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส (Three phase motor) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบด้วยกัน เหมือนกันกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟส คือ มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำ และมอเตอร์ซิงโครนัส มีดังนี้

1.2.1) มอเตอร์สามเฟสแบบเหนี่ยวนำ (Three phase induction motor) แบ่งตามลักษณะของตัวหมุน มี 2 แบบ คือ ตัวหมุนแบบกรงกระรอก กับตัวหมุนแบบฟันขดลวด สำหรับมอเตอร์ที่มีตัวหมุนแบบกรงกระรอกได้มีการออกแบบลักษณะร่องของตัวนำบนตัวโรเตอร์ได้ 6 แบบ คือ คลาสเอ (Class A) คลาสบี (Class B) คลาสซี (Class C) คลาสดี (Class D) คลาสอี (Class E) และ คลาสเอฟ (Class F) ตามลำดับ ส่วนมอเตอร์ที่มีตัวหมุนแบบฟันขดลวด จะมีการฟันขดลวดที่ตัวโรเตอร์เป็นแบบสามเฟส เช่นเดียวกันกับที่สเตเตอร์มีการต่อแบบสตาร์ ผ่านทางสลีปรिंग และแปรงถ่าน ออกสู่ความต้านทานภายนอก (External variable resistance) ที่ใช้ในการเริ่มเดินมอเตอร์

1.2.2) มอเตอร์สามเฟสแบบซิงโครนัส (Three phase synchronous motor) มอเตอร์ชนิดนี้ ที่ตัวหมุนจะมีการฟันขดลวดสนามแม่เหล็กไว้เพื่อรับไฟฟ้ากระแสตรงมากระตุ้น และทำงานด้วยความเร็วซิงโครนัส

1.3) ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ เป็นมอเตอร์หนึ่งเฟสขนาดเล็ก ที่ใช้ประกอบเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องมือต่าง ๆ ซึ่งลักษณะของตัวหมุนเป็นแบบอาร์เมเจอร์

2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จัดแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ประกอบด้วย มอเตอร์ชนิดกระตุ้นฟิวด์จากภายนอก (Separated excited motor) และมอเตอร์ชนิดกระตุ้นฟิวด์จากภายในตัวเอง (Self-excited motor) สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นฟิวด์จากภายนอกมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับมอเตอร์สองแหล่งจ่าย คือจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงค่าคงที่ให้กับขดลวดฟิวด์ และจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์ ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดกระตุ้นฟิวด์จากภายใน จะมีการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแหล่งจ่ายเดียวเป็นแรงดันไฟฟ้าค่าคงที่ ให้ทั้งขดลวดฟิวด์และขดลวดอาร์เมเจอร์ มอเตอร์ชนิดนี้ยังแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด คือ มอเตอร์แม่เหล็กถาวร (Permanent magnet motor) ซีรีส์มอเตอร์ (Series motor) ชันต์มอเตอร์ (Shunt motor) และ คอมพาวด์มอเตอร์ (Compound motor) เป็นต้น

2.1.1.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสโรเตอร์แบบกรงกระรอก (Single phase squirrel cage induction motor)

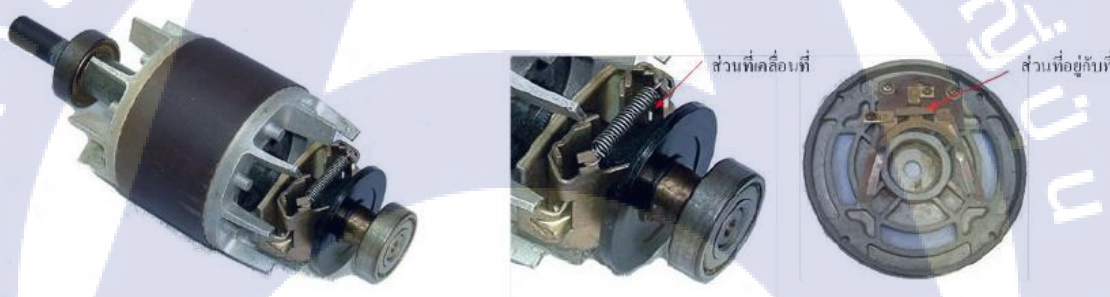
1) สปลิตเฟสมอเตอร์ (Split phase motor) เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสชนิดหนึ่ง มีใช้งานกันอย่างแพร่หลาย มักพบเห็นวางจำหน่าย ในท้องตลาด ใช้ในบ้านพักอาศัย กิจการร้านค้าร้านซ่อม และโรงงานขนาดเล็ก เนื่องจากมีความสะดวกต่อการนำไปใช้งาน ง่ายต่อการติดตั้งและบำรุงรักษา

1.1) ส่วนประกอบของสปลิตเฟสมอเตอร์ โดยมีโครงสร้างหลักอยู่ 2 ส่วนคือ ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) และส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) ซึ่งทั้งสองส่วนจะทำงานสัมพันธ์กัน โดยส่วนที่อยู่กับที่ประกอบด้วย โครงมอเตอร์ มีแกนเหล็กแผ่นบาง ๆ อัดซ้อนกันและทำเป็นร่องมีฉนวนรองรอง ใช้สำหรับพันขดลวด 2 ชุด คือ ขดรีน (Run) และขดสตาร์ท (Start) ลักษณะของขดรีนเป็นลวดเส้นโต มีความต้านทานต่ำและค่ารีแอคแตนซ์สูง ส่วนขดสตาร์ทเป็นลวดเส้นเล็ก มีความต้านทานสูงและค่ารีแอคแตนซ์ต่ำ ขดลวดทั้งสองชุดวางอยู่ในร่องมีมุมห่างกัน 90 องศาไฟฟ้า และขดสตาร์ทจะต่ออนุกรมกับสวิตช์แรงเหวี่ยง แล้วนำมาต่อขนานกับขดรีนอีกที ดังรูปที่ 1 สำหรับส่วนที่เคลื่อนที่เป็นโรเตอร์แบบกรงกระรอก ทำด้วยแผ่นโลหะบาง อัดซ้อนกันเป็นรูปทรงกระบอก และมีเพลาร้อยทะลุตรงกลางเพื่อยึดให้แน่น ที่ผิวด้านนอกจะมีตัวนำอะลูมิเนียมฝังอยู่ในร่องและลัดวงจรที่หัวท้ายของตัวนำด้วยวงแหวน หรืออาจทำเป็นครีบบระบายความร้อนอยู่ในตัว นอกจากนั้นยังมีส่วนประกอบอื่น เช่น ฝาปิดท้ายเพื่อรองรับแบร์ริงและเพลลาของโรเตอร์ให้

หมุนอยู่ในแนวศูนย์กลางพอดี ที่ฝาปิดด้านท้ายจะมีคอนแทกของสวิตช์แรงเหวี่ยงติดอยู่ทำงานสัมพันธ์กับสวิตช์แรงเหวี่ยงส่วนที่เคลื่อนที่ซึ่งติดตั้งอยู่ที่โรเตอร์ ดังรูปที่ 2



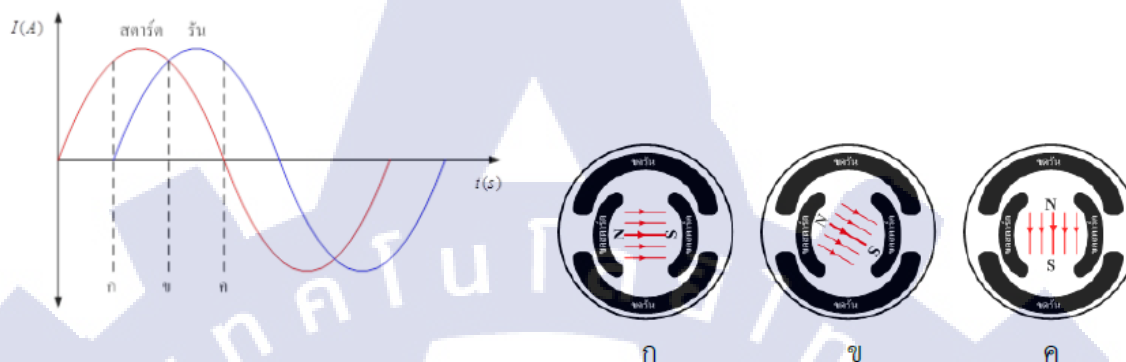
รูปที่ 1 สเตเตอร์สปลิตเฟสมอเตอร์



รูปที่ 2 โรเตอร์ ฝาปิดหัวท้าย และสวิตช์แรงเหวี่ยง

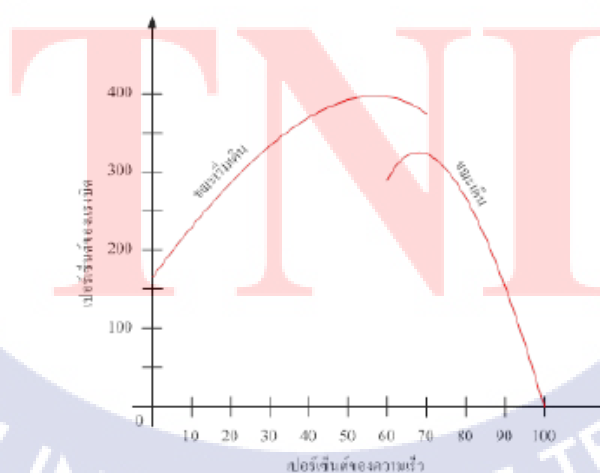
1.2) หลักการทำงานของสปลิตเฟสมอเตอร์ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสให้กับขดรีนและขดสตาร์ทที่ต่อขนานกัน จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดแต่ละชุด เนื่องจากขดลวดทั้งสองชุดมีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าในขดลวดแต่ละชุดมีความต่างเฟสกัน กระแสไฟฟ้าของขดรีนจะล่าหลังแรงดันไฟฟ้าประมาณ 60 องศาไฟฟ้า แต่กระแสไฟฟ้าของขดลวดสตาร์ทเกือบจะอินเฟสกับแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 3 การต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดลวดทั้งสองชุดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์หมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส และสนามแม่เหล็กหมุนจากสเตเตอร์นี้จะตัดกับตัวนำในโรเตอร์ ทำให้มีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นที่ตัวนำของโรเตอร์ ผลรวมของสนามแม่เหล็กทั้งสองจะทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

โรเตอร์จึงหมุนได้และหมุนในทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็กหมุน เมื่อโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วเพิ่มขึ้นประมาณ 75% ของความเร็วรอบสูงสุด สวิตช์แรงเหวี่ยงจะเปิดวงจรขดสตาร์ตออกและขดรันจะทำงานเพียงชุดเดียว



รูปที่ 3 การทำงานของสปลิตเฟสมอเตอร์

1.3) คุณลักษณะของสปลิตเฟสมอเตอร์และการนำไปใช้งาน สปลิตเฟสมอเตอร์มีแรงบิดเริ่มต้นประมาณ 1-2 เท่าของแรงบิดเต็มพิกัดดังรูปที่ 4 ส่วนกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นจะมีค่าประมาณ 5-7 เท่าของกระแสเต็มพิกัด เหมาะสมกับงานที่ต้องการความเร็วรอบคงที่ และแรงบิดที่โรเตอร์มีขนาดต่ำถึงปานกลาง เช่น หินเจียรไน เครื่องเลื่อยตัดเหล็ก สว่านแท่น เครื่องปั้มน้ำระดับไม่สูงนัก และเครื่องบดเนื้อ เป็นต้น ส่วนการกลับทางหมุนสปลิตเฟสมอเตอร์ทำได้โดยการสลับปลายสายของขดรันหรือขดสตาร์ตเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง



รูปที่ 4 กราฟคุณลักษณะของสปลิตเฟสมอเตอร์

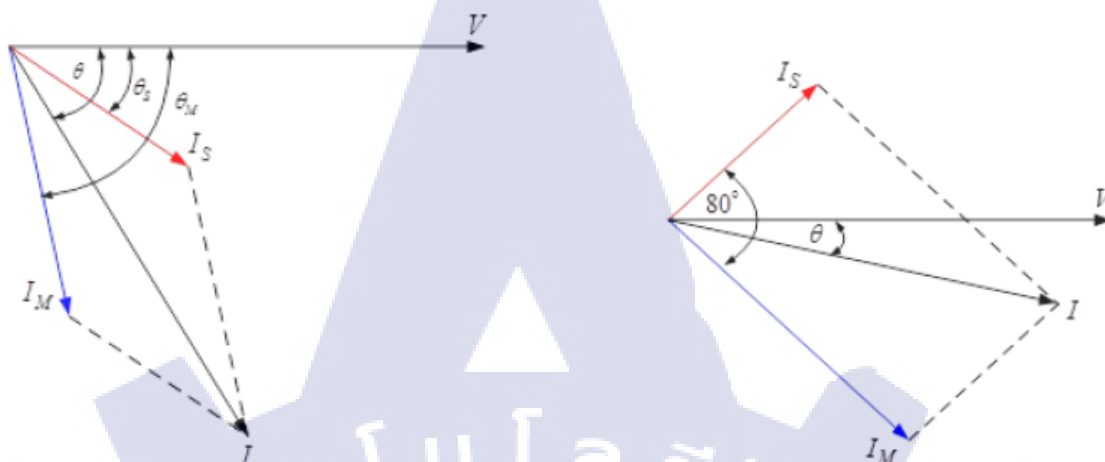
2) คาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์ (Capacitor start motor) มอเตอร์ชนิดนี้เป็นมอเตอร์แบบแยกเฟสเช่นเดียวกัน พัฒนามาจากสปลิตเฟสมอเตอร์ โดยการต่อคาปาซิเตอร์เพิ่มอีก 1 ตัว เพื่อให้มีแรงบิดตอนเริ่มเดินสูงและมีกระแสขณะเริ่มเดินลดลง

2.1) ส่วนประกอบของคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์ มีลักษณะเหมือนกับสปลิตเฟสมอเตอร์ ที่สเตเตอร์มีทั้งขดรีนและขดสตาร์ท สวิตช์แรงเหวี่ยงจะต่ออนุกรมกับขดสตาร์ทเหมือนเดิมและได้เพิ่มคาปาซิเตอร์ต่ออนุกรมกับขดสตาร์ทด้วยอีก 1 ตัว ดังรูปที่ 5 ส่วนโรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก และมีฝาปิดหัวท้ายเช่นเดียวกัน คาปาซิเตอร์ที่ใช้มีค่าความจุตั้งแต่ 21 – 189 ไมโครฟารัดและเป็นแบบอิเล็กทรอนิกส์



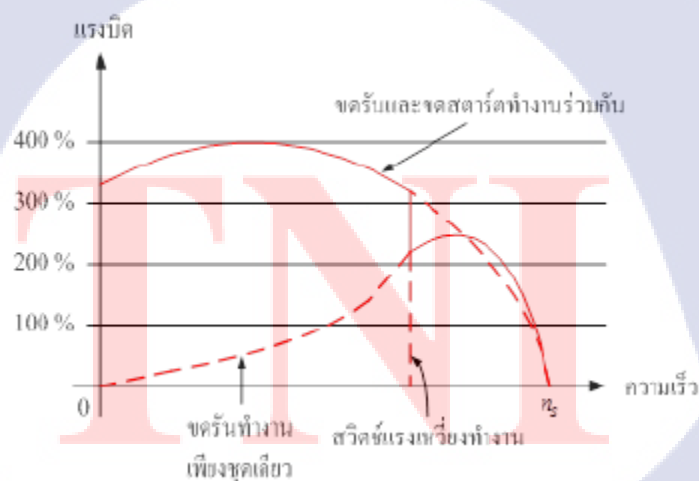
รูปที่ 5 ส่วนประกอบของคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์

2.2) หลักการทำงานของคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์ จากการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟส ให้กับขดลวดสเตเตอร์ ซึ่งมีทั้งขดรีนและขดสตาร์ทที่ต่อกันแบบขนาน โดยกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดรีนจะล่าหลังแรงดันไฟฟ้า ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดสตาร์ทจะนำหน้าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งมุมต่างเฟสระหว่างกระแสไฟฟ้าของขดสตาร์ทกับกระแสไฟฟ้าของขดรีนจะประมาณ 80 – 90 องศาไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลมาจากการต่อคาปาซิเตอร์อนุกรมกับขดสตาร์ทนั่นเอง เพื่อให้มอเตอร์มีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ดีขึ้น มุมต่างเฟสระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าแคบลง (เกือบเป็นศูนย์) ทำให้มอเตอร์มีแรงบิดเริ่มเดินสูง และกระแสเริ่มเดินลดลง แต่เมื่อมอเตอร์หมุนได้ความเร็ว 75% ของความเร็วเต็มพิกัด สวิตช์แรงเหวี่ยงจะเปิดวงจรขดสตาร์ทออก มอเตอร์จะทำงานต่อไปด้วยขดรีนเพียงชุดเดียว ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เปรียบเทียบเวกเตอร์ไดอะแกรมสปลิตเฟสมอเตอร์และคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์

2.3) คุณสมบัติของคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์และการนำไปใช้งาน มอเตอร์ชนิดนี้จะมีแรงบิดเริ่มต้นสูงประมาณ 350 – 450% ของแรงบิดเต็มพิกัด มีแรงบิดสูงสุดประมาณ 540% ของแรงบิดเต็มพิกัดดังรูปที่ 7 และมีกระแสขณะเริ่มต้นประมาณ 400–500% ของกระแสเต็มพิกัด เมื่อเปรียบเทียบกับสปลิตเฟสมอเตอร์ที่ขนาดเท่ากัน กระแสเริ่มต้นจะต่ำกว่าและให้แรงบิดที่สูงกว่า การกลับทางหมุนทำได้เช่นเดียวกับสปลิตเฟสมอเตอร์



รูปที่ 7 กราฟคุณลักษณะของคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์

พิกัดของมอเตอร์ประมาณ 1/8 - 1 แรงม้า เหมาะกับงานประเภทปั้มน้ำชนิดต่าง ๆ ปั้มลม คอมเพรสเซอร์ เครื่องบดน้ำแข็ง สายพานลำเลียง เครื่องเจาะ หินเจียรไน และงานขับโหลดด้วยสายพาน ที่มีความเร็วสูง

3) คาปาซิเตอร์รันมอเตอร์ (Capacitor run motor) คาปาซิเตอร์รันมอเตอร์ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เพอมาเน้นสปลิตคาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Permanent split capacitor motor) เป็นมอเตอร์ที่มีคาปาซิเตอร์ต่ออยู่อย่างถาวรตลอดของการทำงาน

3.1) ส่วนประกอบคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์ มีขดรีน ขดสตาร์ท และคาปาซิเตอร์ ซึ่งคาปาซิเตอร์จะต่ออนุกรมกับขดสตาร์ทเช่นเดียวกัน และเป็นชนิดบรรจุน้ำมันมีค่าความจุต่ำไม่เกิน 100 ไมโครฟารัดโรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอกมีฝาปิดหัวท้าย มอเตอร์ชนิดนี้จะประกอบเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้งาน ดังรูปที่ 8



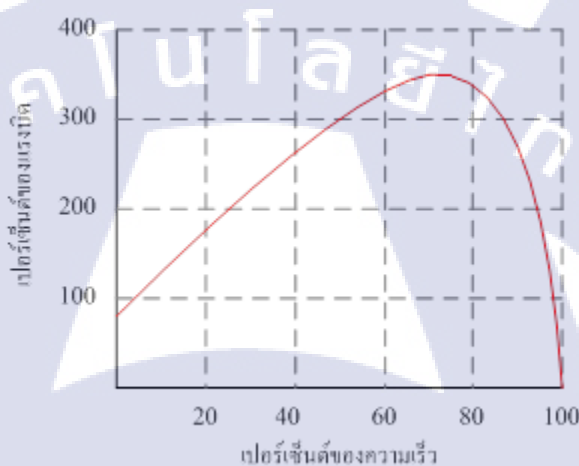
รูปที่ 8 คาปาซิเตอร์รันมอเตอร์

3.2) หลักการทำงานของคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์ อาศัยหลักการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดจากการต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดรีนและขดสตาร์ท ซึ่งขดรีน ขดสตาร์ทและคาปาซิเตอร์จะทำงาน ตลอดเวลาที่มีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ทำให้ได้ความเร็วรอบที่คงที่สม่ำเสมอ และมอเตอร์ชนิดนี้จะมีทั้งแบบแรงบิดเริ่มเดินต่ำและแบบแรงบิดเริ่มเดินปกติ

3.3) คุณลักษณะและการนำไปใช้งานคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์

ก. แบบแรงบิดเริ่มเดินต่ำ จะมีขนาดพิกัดกำลังตั้งแต่ $1/20$ - $3/4$ แรงม้า ไม่เหมาะกับการขับเคลื่อนด้วยสายพาน แต่เหมาะกับการยึดติดกับเพลาลูกเบี้ยวของมอเตอร์โดยตรง เช่น พัดลมชนิดต่าง ๆ โบลว์เวอร์และโหลตอื่น ๆ

ข. แบบแรงบิดเริ่มเดินปกติ มีขนาดพิกัดกำลังตั้งแต่ $1/6$ - $3/4$ แรงม้า มีความเหมาะสมกับการขับเคลื่อนด้วยสายพาน และโหลตที่ยึดติดกับเพลาลูกเบี้ยวของมอเตอร์โดยตรง เช่น พัดลม โบลว์เวอร์ คอมเพรสเซอร์ปั้มน้ำ และโหลตอื่น ๆ



รูปที่ 9 กราฟคุณลักษณะคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์

คาปาซิเตอร์รันมอเตอร์จะไม่นิยมการกลับทางหมุน แต่ถ้าเป็นโบลว์เวอร์ และพัดลมดูดอากาศ จะใช้สวิตช์เลือกโยก 2 ทางเพื่อเลือกกลับทิศทางการหมุน โดยขดลวดทั้งสองขดจะมีคุณสมบัติที่เหมือนกัน ทำให้เป็นได้ทั้งขดรันและขดสตาร์ทในตัวเดียวกัน

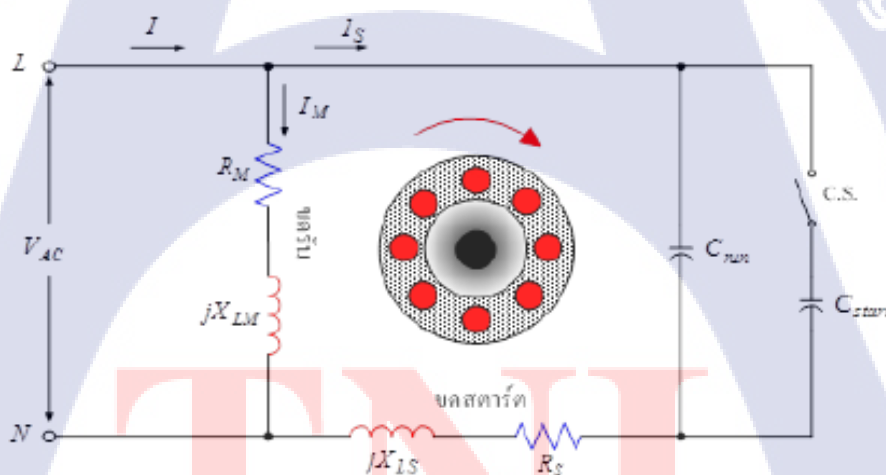
4) คาปาซิเตอร์สตาร์ทแอนด์รันมอเตอร์ (Capacitor start and run motor) คาปาซิเตอร์สตาร์ทแอนด์รันมอเตอร์ เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสที่มีคาปาซิเตอร์สองค่า หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ทูแวลวคาปาซิเตอร์มอเตอร์ (Two-valve capacitor motor) และเป็นแบบแยกเฟสเช่นเดียวกัน

4.1) ส่วนประกอบของคาปาซิเตอร์สตาร์ทแอนด์รันมอเตอร์จะมีลักษณะคล้ายกับคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์ แตกต่างกันที่มีการเพิ่มคาปาซิเตอร์รันเข้าไปอีก 1 ตัว ดังนั้น มอเตอร์ชนิดนี้จะมีทั้งขดรัน

ขดสตาร์ท สวิตช์แรงเหวี่ยง คาปาซิเตอร์สตาร์ท และคาปาซิเตอร์รันต่ออยู่ในวงจร โรเตอร์เป็นแบบกรง กระจรอกและมีฝาปิดหัวท้ายด้วย ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 คาปาซิเตอร์สตาร์ทแอนดร์รันมอเตอร์

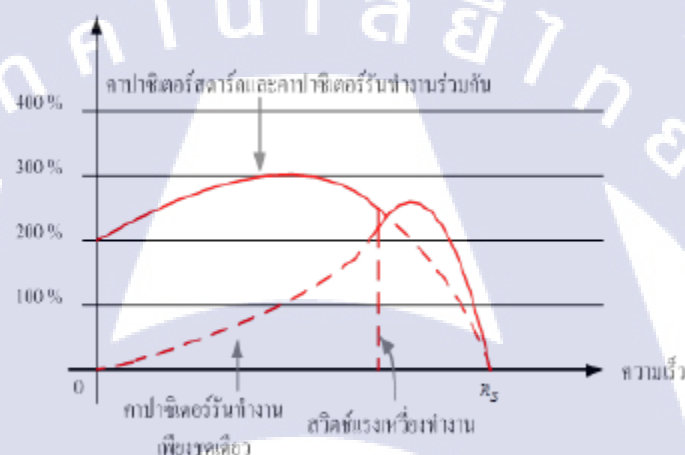


รูปที่ 11 วงจรคาปาซิเตอร์สตาร์ทแอนดร์รันมอเตอร์

4.2) หลักการทำงานของคาปาซิเตอร์สตาร์ทแอนดร์รันมอเตอร์จะมีลักษณะเดียวกันกับคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์ อาศัยความต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าในขดรัน และขดสตาร์ท ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ และโรเตอร์จะหมุนตามทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุน เนื่องจากมีคาปาซิเตอร์ 2 ค่า ตัวแรกเป็นชนิดอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่เป็นคาปาซิเตอร์สตาร์ท ซึ่งต่ออนุกรมกับสวิตช์แรงเหวี่ยง เมื่อ

มอเตอร์หมุนได้ความเร็ว 75% ของความเร็วรอบสูงสุด สวิตช์แรงเหวี่ยงจะตัดคาปาซิเตอร์สตาร์ทออก และคาปาซิเตอร์อีก 1 ตัวจะเป็นแบบบรรจุน้ำมันที่ต่ออนุกรมกับขดสตาร์ทจะทำงานโดยตลอดที่มีการจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ ดังรูปที่ 11

4.3) คุณลักษณะและการนำไปใช้งาน เนื่องจากมีคาปาซิเตอร์ 2 ค่า จะได้แรงบิดขณะเริ่มเดินสูง และให้ความเร็วรอบที่คงที่สม่ำเสมอ มีความเหมาะสมกับงานคอมเพรสเซอร์ ของเครื่องทาความเย็น และปรับอากาศ บั้มลมขนาดใหญ่ และโรงสีข้าวในครัวเรือน ส่วนการกลับทางหมุนทำได้เช่นเดียวกับคาปาซิเตอร์สตาร์ทมอเตอร์ ดังรูปที่ 12



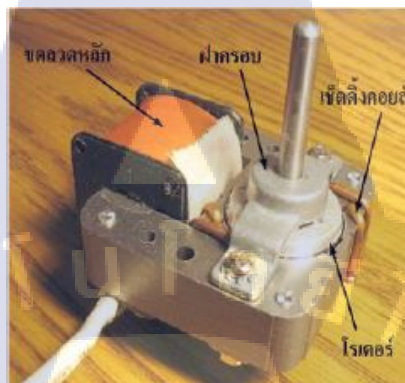
รูปที่ 12 คุณลักษณะคาปาซิเตอร์สตาร์ทแอนด์รันมอเตอร์

4.4) การควบคุมความเร็วของคาปาซิเตอร์มอเตอร์ คาปาซิเตอร์มอเตอร์ที่ใช้ปรับความเร็วรอบส่วนใหญ่จะเป็นคาปาซิเตอร์รันมอเตอร์ที่ใช้ทำเป็นมอเตอร์พัดลม เช่น พัดลมตั้งพื้น พัดลมเพดาน พัดลมติดผนัง พัดลมคอยล์เย็น-คอยล์ร้อนเครื่องปรับอากาศ ซึ่งมีวิธีการปรับความเร็วโดยใช้ขดโซ่ ใช้หม้อแปลงอโตและแบบใช้วงจร R-C ซึ่งต่ออนุกรมกับมอเตอร์ในการเปลี่ยนแทปเพื่อเพิ่มลดความเร็ว

5) เช็ดเดดโพลมอเตอร์ (Shaded Pole motor) เช็ดเดดโพลมอเตอร์ เป็นมอเตอร์ที่ใช้งานกันโดยทั่วไป มีขนาดเล็กที่พิกัดกำลังตั้งแต่ 1/300 – 1/20 แรงม้า ให้แรงบิดต่ำขณะเริ่มเดินมีความเร็วรอบคงที่ ส่วนประกอบไม่ยุ่งยากสร้างได้ง่าย ราคาถูก ทนทาน และใช้งานได้ดี

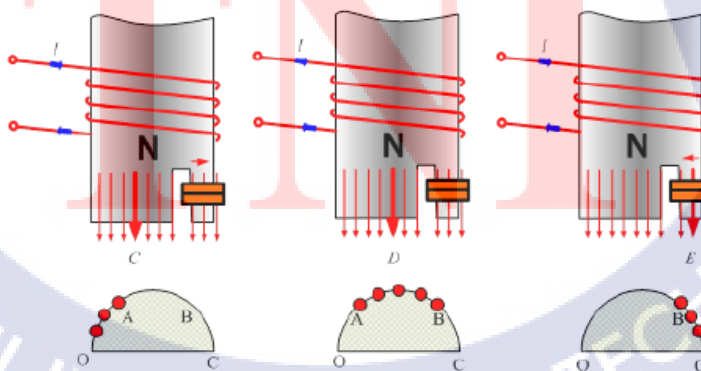
5.1) ส่วนประกอบของเช็ดเดดโพลมอเตอร์ สเตเตอร์จะมีขดลวดหลักเพียงชุดเดียวพันอยู่บนแกนเหล็กแผ่นบาง ๆ อัดซ้อนกัน และที่ปลายของแกนเหล็กทำเป็นขั้วแม่เหล็กยื่น โดยแบ่งพื้นที่ด้านหน้า

ของขั้วแม่เหล็กออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่มีพื้นที่มากเรียกว่า อันเช็ดเดดโพล และส่วนที่มีพื้นที่น้อยเรียกว่า เช็ดเดดโพล ซึ่งจะสวมไว้ด้วยตัวนำทองแดง 1 – 2 รอบ มีลักษณะคล้ายวงแหวนเรียกว่า เช็ดดิงคอยล์ ส่วนตัวหมุนจะเป็นแบบกรงกระรอกมีขนาดเล็กรองรับเพลาด้วยบูชหรือแบริ่ง ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ส่วนประกอบเช็ดเดดโพลมอเตอร์

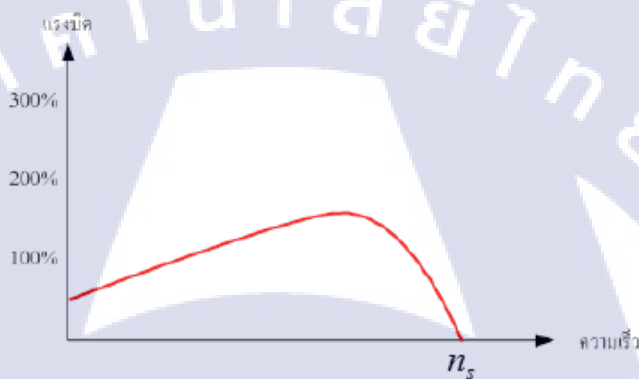
5.2) หลักการทำงานของเช็ดเดดโพลมอเตอร์ โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นไซน์ให้กับขดลวดเมนในช่วงเริ่มต้นของรูปคลื่นไซน์กระแสไฟฟ้าที่ไหลในฟิลด์คอยล์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เส้นแรงแม่เหล็กจะหนาแน่นที่อันเช็ดเดดโพล ส่วนที่ยอดของรูปคลื่นไซน์กระแสที่ไหลผ่านฟิลด์คอยล์มีค่าคงที่(เปลี่ยนแปลงน้อย) ความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กก็จะกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งอัดเช็ดเดดโพลและเช็ดเดดโพล และในตำแหน่งช่วงท้ายของรูปคลื่นไซน์ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในฟิลด์คอยล์จะลดลงอย่างรวดเร็ว เส้นแรงแม่เหล็กที่ขั้วจะมีความหนาแน่นที่เช็ดเดดโพล ส่วนที่อันเช็ดเดดโพลจะเบาบาง ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 หลักการทำงานของเช็ดเดดโพลมอเตอร์

จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กจากตอนเริ่มต้นถึงสิ้นสุดของรูปคลื่นมีลักษณะเช่นเดียวกับการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนนั่นเอง และจะทำให้โรเตอร์หมุนตามในทิศทางเดียวกับเซ็ดตั้งคอยล์

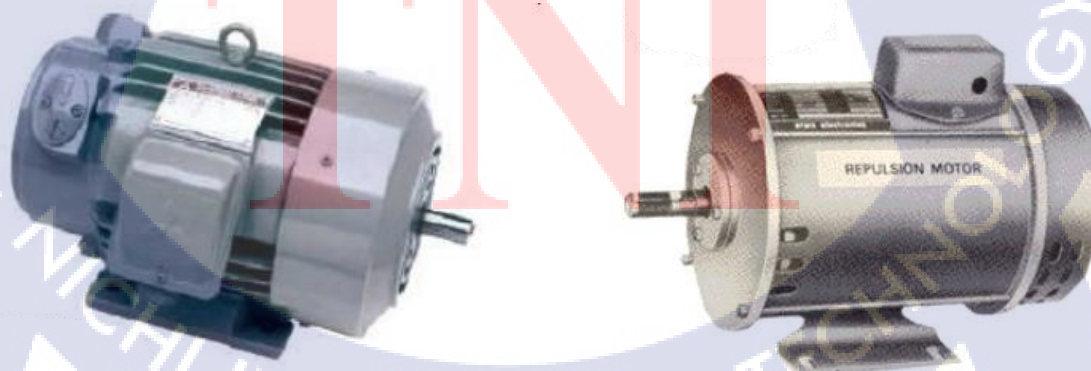
5.3) คุณสมบัติและการนำไปใช้งาน เป็นมอเตอร์ที่ให้แรงบิดต่ำประมาณ 50% ของแรงบิดเต็มพิกัด ดังรูปที่ 15 และมีกระแสเริ่มเดินสูงกว่ากระแสเต็มพิกัดเพียงเล็กน้อย เซ็ดเดโพลมอเตอร์เป็นมอเตอร์ขนาดเล็ก ใช้เป็นพัดลมขนาดเล็ก พัดลมระบายความร้อน เครื่องเป่าผม เครื่องฉายภาพยนตร์ และเครื่องฉายสไลด์ เป็นต้น



รูปที่ 15 คุณสมบัติของเซ็ดเดโพลมอเตอร์

2.1.1.3 มอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสโรเตอร์แบบพันขดลวด (Single phase wound rotor induction motor)

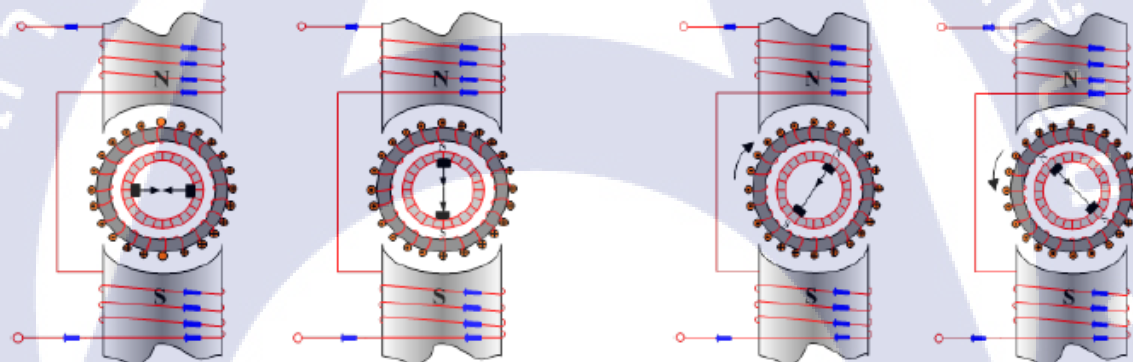
1) รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion motor)



รูปที่ 16 ส่วนประกอบของรีพัลชั่นมอเตอร์

1.1) ส่วนประกอบของรีฟลัชันมอเตอร์ ประกอบด้วยโครงสเตเตอร์มีขดลวดเพียงชุดเดียว อาจมีขั้วแม่เหล็ก 4 , 6 หรือ 8 ขั้ว โรเตอร์เป็นแบบอาร์เมเจอร์พันขดลวดได้ทั้งแบบแลป หรือแบบเวฟ แล้วต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ มีลักษณะเดียวกับโรเตอร์ของเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง มีแปรงถ่านและช่องแรงถ่านติดอยู่ที่ฝาปิดด้านหนึ่งและสัมผัสอยู่กับคอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลา แปรงถ่านจะถูกลัดวงจรเข้าด้วยกันโดยขดลวดทองแดงขนาดใหญ่และสามารถเลื่อนได้ เพื่อกำหนดทิศทางการหมุนและให้ได้แรงบิดเอาต์พุตสูงสุด นอกจากนี้ยังมีฝาปิดหัวท้ายรองรับแปรงและเพลาลูกหมุนได้อย่างสมดุล ดังรูปที่ 16

1.2) หลักการทำงานของรีฟลัชันมอเตอร์ จะอาศัยแรงผลักระหว่างขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นบนสเตเตอร์กับขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่อาร์เมเจอร์โดยที่แปรงถ่านวางอยู่ในตำแหน่งเอียงเป็นมุม 15 องศา ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา ทำให้โรเตอร์หมุนได้ตามทิศทางของการเอียงของแปรงถ่าน ถ้าแปรงถ่านวางในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับขั้วแม่เหล็กหรือวางขนานกับขั้วแม่เหล็กจะไม่มีแรงบิดเกิดขึ้นที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ไม่สามารถหมุนได้ ดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 หลักการทำงานของรีฟลัชันมอเตอร์

1.3) คุณลักษณะของมอเตอร์รีฟลัชันจะให้แรงบิดขณะเริ่มเดินสูงประมาณ 350% ของแรงบิดเต็มพิกัด และมีกระแสไฟฟ้าขณะเริ่มเดินประมาณ 3 – 4 เท่าของกระแสเต็มพิกัด

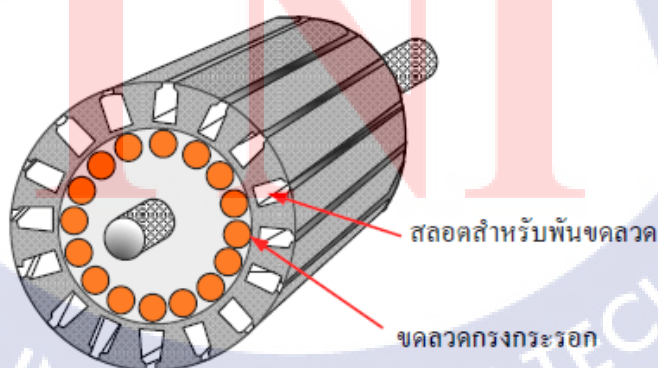
2) มอเตอร์เหนี่ยวนำเริ่มเดินแบบรีฟลัชัน (Repulsion start induction run motor) มอเตอร์ชนิดนี้จะเริ่มเดินแบบรีฟลัชัน แต่เมื่อโรเตอร์หมุนไปได้ประมาณ 75% ของความเร็วสูงสุด แล้วสวิตช์แรงเหวี่ยงจะลัดวงจรคอมมิวเตเตอร์ให้กลายเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ โรเตอร์แบบกรงกระรอกในขณะหมุนปกติ หลังจากทีคอมมิวเตเตอร์ถูกลัดวงจรแล้วแปรงถ่านจะไม่ใช้ประโยชน์แล้ว ดังนั้นแปรงถ่านอาจ

ถูกยกออกจากคอมมิวเตเตอร์ เพื่อลดการสูญเสียเนื่องจากความฝืด มอเตอร์เหนี่ยวนำเริ่มเดินแบบรีพัลชันนี้ยังแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1) ชนิดแปรงถ่านยก (Brush-lifting Type) มอเตอร์เหนี่ยวนำเริ่มเดินแบบรีพัลชันชนิดนี้แปรงถ่านจะถูกยกออกจากคอมมิวเตเตอร์เมื่อลัดวงจรแล้วโดยอัตโนมัติ และมอเตอร์ก็จะหมุนต่อไปในลักษณะของสปลิตเฟสมอเตอร์

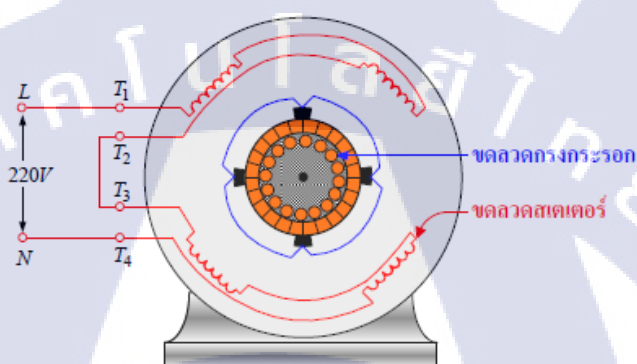
2.2) ชนิดแปรงถ่านไม่ยก (Brush-riding Type) มอเตอร์เหนี่ยวนำเริ่มเดินแบบรีพัลชันชนิดนี้จะมีคอมมิวเตเตอร์และสวิตช์แรงเหวี่ยงเช่นเดียวกับชนิดแปรงถ่านยก คือ เมื่อโรเตอร์หมุนได้ 75% ของความเร็วสูงสุด จะทำให้คอมมิวเตเตอร์นั้นถูกลัดวงจรโดยสวิตช์แรงเหวี่ยง ตาแปรงถ่านจะไม่เคลื่อนที่ออก ยังคงสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์อยู่เช่นเดิม และแปรงถ่านนี้ไม่มีความสำคัญต่อการทำงานแล้วในขณะนั้น เพราะคอมมิวเตเตอร์ถูกลัดวงจรเข้าด้วยกันแล้ว อาร์เมเจอร์จะถูกเปลี่ยนเป็นโรเตอร์แบบกรงกระรอกเช่นเดียวกับมอเตอร์เหนี่ยวนำทั่ว ๆ ไป

3) มอเตอร์เหนี่ยวนำรีพัลชัน (Repulsion Induction motor) มอเตอร์ชนิดนี้เป็นการนำเอาคุณสมบัติของมอเตอร์แบบรีพัลชันกับมอเตอร์เหนี่ยวนำรวมเข้าด้วยกันประกอบด้วย ขดลวดสเตเตอร์และขดลวดโรเตอร์ 2 ชุด โดยชุดหนึ่งเป็นแบบกรงกระรอก และอีกชุดหนึ่งเป็นขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ ชุดแปรงถ่าน 2 ชุดต่อลัดวงจร บางครั้งอาจเรียกว่า รีพัลชันมอเตอร์แบบกรงกระรอก (Squirrel Cage Repulsion Motor) คุณลักษณะของมอเตอร์ชนิดนี้จะให้ความเร็วรอบที่คงที่ โรเตอร์จะแตกต่างจากรีพัลชันมอเตอร์และมอเตอร์เหนี่ยวนำเริ่มเดินแบบรีพัลชัน คือโรเตอร์จะมีสลอตไว้สำหรับพันขดลวดและที่ใต้สลอต ทุกสลอตจะมีแท่งตัวนำที่เป็นแบบกรงกระรอกฝังอยู่ ดังรูปที่ 18

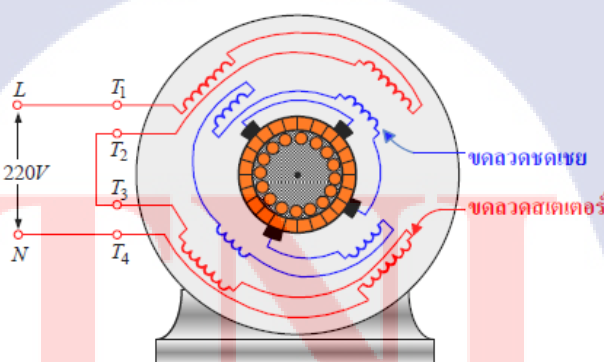


รูปที่ 18 โรเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำรีพัลชัน

ข้อดีของมอเตอร์เหนี่ยวนำรีฟลักซ์คือไม่ต้องมีอุปกรณ์ทางกลที่ทำหน้าที่ลัดวงจรคอมมิวเตเตอร์ ดังนั้น แปร่งถ่านจะสัมผัสกับคอมพิวเตอรืตลอดเวลา และให้แรงบิดเริ่มเดินสูง ดังรูปที่ 19 และสามารถกลับทาง หมุนได้โดยการเลื่อนตำแหน่งของแปร่งถ่าน นอกจากนี้ยังสามารถที่จะออกแบบให้มีขดลวดชดเชยเพิ่มเข้าไปในมอเตอร์เหนี่ยวนำรีฟลักซ์นี้ได้ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของวงจรมอเตอร์ การต่อ ขดลวดชดเชยในมอเตอร์เหนี่ยวนำรีฟลักซ์นั้นแสดงได้ดังรูปที่ 20 และถ้าต่อขดลวดชดเชยเข้าไปแล้วจะ กลับทิศทางการหมุนได้โดยการกลับปลายขดลวดชดเชยโดยไม่ต้องเลื่อนตำแหน่งของแปร่งถ่าน



รูปที่ 19 แบบไม่มีขดลวดชดเชย



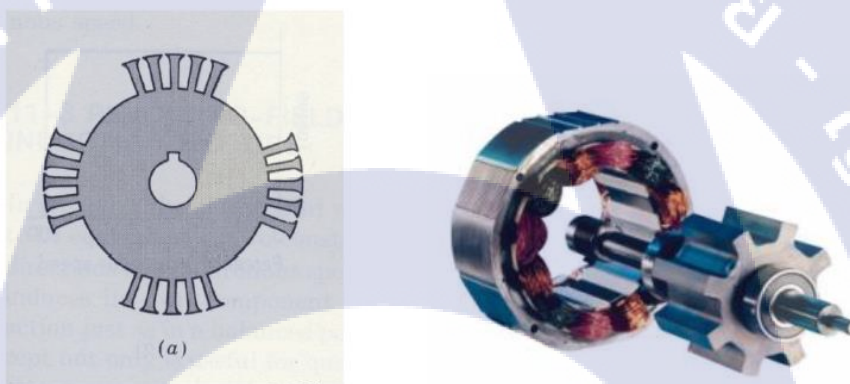
รูปที่ 20 แบบมีขดลวดชดเชยในมอเตอร์เหนี่ยวนำรีฟลักซ์

มอเตอร์เหนี่ยวนำรีฟลักซ์ยังมีใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรม ตั้งแต่ขนาด 1 แรงม้าขึ้นไป ซึ่งจะเหมาะสมกับงานขับปั๊มลูกสูบ คอมเพรสเซอร์ เครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องไส เครื่องเจาะขนาดใหญ่ เครื่องจักรงานไม้ และเครื่องลาเลียงด้วยสายพาน เป็นต้น

2.1.1.4 ซิงโครนัสมอเตอร์หนึ่งเฟส (Single phase synchronous motor)

เป็นซิงโครนัสมอเตอร์หนึ่งเฟส ชนิดไม่มีตัวกระตุ้น โดยมีคุณสมบัติดังนี้คือ ทำงานที่ไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส มีความเร็วรอบคงที่ด้วยความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน ไม่ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมากระตุ้นที่ โรเตอร์ และสามารถเริ่มหมุนได้ด้วยตนเอง

1) รีลักแตนซ์มอเตอร์ (Reluctance motor) มอเตอร์แบบนี้ถ้าเป็นแบบแยกเฟสและใช้สวิตช์แรงเหวี่ยงเพื่อแยกเฟส แต่ถ้าใช้คาปาซิเตอร์ช่วยหมุนจะเรียกมอเตอร์ชนิดนี้ว่ามอเตอร์รีลักแตนซ์ชนิดคาปาซิเตอร์ช่วยหมุนที่ตัวหมุนจะเป็นแบบกรงกระรอก เป็นโครงสร้างทางแม่เหล็กที่ไม่สมมาตร ซึ่งทำให้เส้นแรงแม่เหล็กในตัวหมุนสามารถปรับค่าได้ ส่งผลให้สามารถปรับค่ารีลักแตนซ์ได้โดยการเลื่อนตำแหน่งตัวหมุน ดังรูปที่ 21

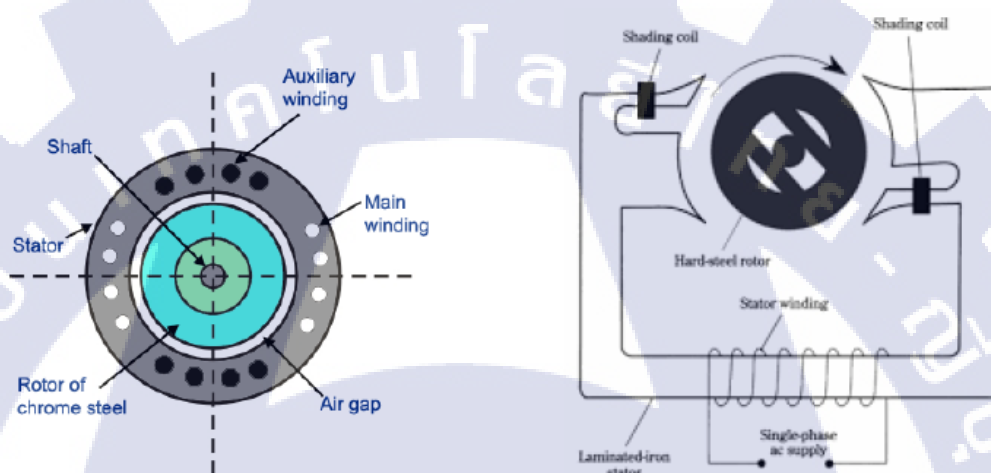


รูปที่ 21 ส่วนประกอบของรีลักแตนซ์มอเตอร์

เมื่อขดลวดที่พันอยู่ที่สเตเตอร์สร้างสนามแม่เหล็กหมุนจะเกิดแรงบิดรีลักแตนซ์ขึ้นบนตัวหมุนไม่สมมาตร ถ้าแรงบิดนี้เพียงพอที่จะช่วยหมุนมอเตอร์ขณะที่โหลดได้ มอเตอร์จะเริ่มหมุนเหมือนกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ และเมื่อหมุนมาถึงความเร็วสูงสุดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ แรงบิดรีลักแตนซ์จะดึงตัวหมุนให้หมุนที่ความเร็วของสนามแม่เหล็ก ดังนั้น มอเตอร์จะหมุนเหมือนกับซิงโครนัสมอเตอร์คุณลักษณะของรีลักแตนซ์มอเตอร์ คือทำงานด้วยความเร็วคงที่ นิยมใช้ในกล้องถ่ายรูป ระบบบันทึกในเครื่องมือวัดต่าง ๆ

2) ฮิสเทอรีซิสมอเตอร์ (Hysteresis motor) การทำงานของฮิสเทอรีซิสมอเตอร์ ทำงานได้โดยการควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กหมุน ซึ่งทำงานเหมือนมอเตอร์แบบแยกเฟส ที่สเตเตอร์จะมีขดลวด 2 ชุด พันอยู่ แล้วต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าหนึ่งเฟส มอเตอร์ชนิดนี้อาจเป็นแบบบังขั้ว และแบบคาปาซิ

เตอร์ช่วยหมุน หรืออาจใช้คาปาซิเตอร์ช่วยหมุน ร่วมกับแบบบังขั้วแต่จะไม่มีการใช้อุปกรณ์สวิตช์แรงเหวี่ยง ตัวหมุนเป็นรูปทรงกระบอก ทำจากเหล็กกล้าผิวเรียบชุบโครม (Chrome-steel) มีค่าการรักษาอานาแม่เหล็กสูง (Retentivity) ซึ่งทำให้ค่าการสูญเสียฮิสเตอร์ซิสสูง ไม่มีการพันขดลวดในตัวหมุน เนื่องจากตัวหมุนทำจากเหล็กกล้าที่มีค่าการรักษาอานาแม่เหล็กสูง จึงทำให้ยากในการเปลี่ยนขั้วแม่เหล็ก ตัวหมุนจะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส เพราะขั้วของตัวหมุนจะถูกล็อกทางสนามแม่เหล็กด้วยสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ด้วยขั้วแม่เหล็กที่ตรงกันข้าม



รูปที่ 22 ส่วนประกอบของฮิสเตอร์ซิสมอเตอร์แบบแยกเฟสและแบบบังขั้ว

3) ซิงโครนัสมอเตอร์แม่เหล็กถาวร (Permanent magnet Synchronous motor) การทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์แม่เหล็กถาวร จะมีลักษณะเดียวกันกับฮิสเตอร์ซิสมอเตอร์โดยการควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กหมุนที่ขดลวดสเตเตอร์ ซึ่งมีขดลวด 2 ชุดพันอยู่ แล้วต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟหนึ่งเฟส สนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้น เกิดจากความต่างเฟสของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดทั้งสองชุดตัวหมุนจะเป็นขั้วแม่เหล็กยื่นแบบแม่เหล็กถาวร มีขั้วเหนือและขั้วใต้เรียงกัน อาจจะเป็นแบบ 2 ขั้ว 4 ขั้ว หรือ 6 ขั้ว เส้นแรงแม่เหล็กในช่องอากาศ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จะมีการกระจายตัวไม่เท่ากัน เนื่องจากต้องวิ่งผ่านความไม่สมมาตรของช่องอากาศ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับในโรเตอร์มีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ เพื่อสร้างแรงบิดให้ มีค่าคงตัว เนื่องจากตัวหมุนเป็นแม่เหล็กถาวร การสูญเสียในขดลวดโรเตอร์จึงไม่เกิดขึ้น

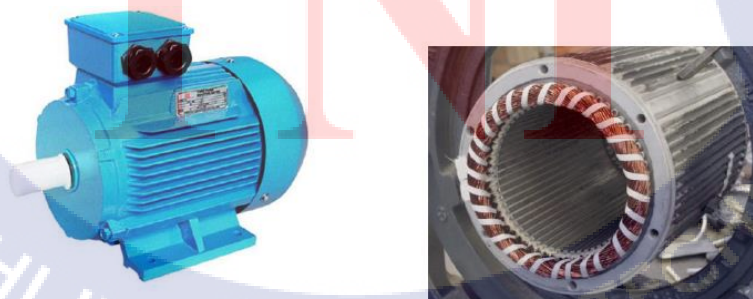
มอเตอร์ชนิดนี้จะมีค่าตัวประกอบกำลัง (Power factor) และประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดอื่น(ที่กำลังเท่ากัน) มีน้ำหนักเบา ขนาดเล็ก มีแรงเฉื่อยต่ำ และหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส แต่มีข้อด้อยคือ ราคาแพง คุณสมบัติทางแม่เหล็กจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและเวลาในการใช้งาน

2.1.1.5 มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส (Three phase induction motor)

1) มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบกรงกระรอก (Three phase squirrel cage induction motor) เป็นมอเตอร์ที่นิยมใช้งานกันโดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรม มีข้อดีคือ มีโครงสร้างไม่ยุ่งยาก ปราศจากแปรงถ่าน ทำให้การสูญเสียเนื่องจากความฝืดมีค่าน้อย การบำรุงรักษาต่ำ ให้แรงบิดในขณะเริ่มเดินสูง และมีตัวประกอบกำลังสูง การเริ่มเดินทำได้ไม่ยาก มีความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ สร้างง่าย ทนทาน ราคาถูก และมีประสิทธิภาพสูง แต่มีข้อเสียคือ การเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของมอเตอร์ทำได้ยาก ซึ่งแต่เดิมจะมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบด้วยวิธีคอนซีควเอนโพลกับแบบใช้ขดลวดหลายชุด แต่ปัจจุบันได้มีการพัฒนาชุดควบคุมอินเวอร์เตอร์สำหรับปรับความเร็วรอบของมอเตอร์และเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

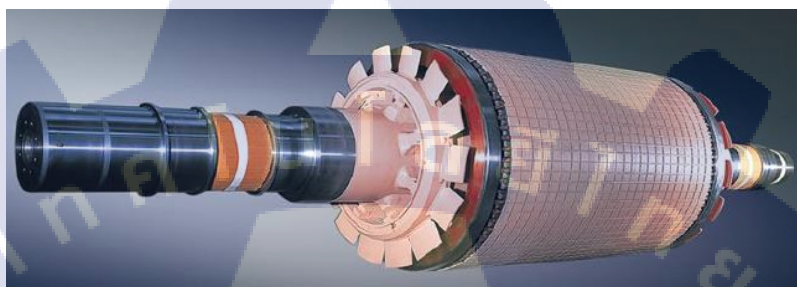
1.1) ส่วนประกอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบกรงกระรอกโดยซึ่งจะมีส่วนประกอบหลักอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) กับส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor)

1.1.1) ส่วนที่อยู่กับที่ประกอบด้วย โครงสร้างอาจจะทำด้วยเหล็กหล่อ หรือเหล็กเหนียว ทำหน้าที่รองรับส่วนต่าง ๆ ของมอเตอร์ เช่น แกนเหล็ก และขดลวดสเตเตอร์ รองรับฝาปิดหัวท้ายและแบร็ริงเพื่อให้โรเตอร์หมุนได้อย่างอิสระ แกนเหล็กจะเป็นเหล็กแผ่นบาง ๆ วางซ้อนกันปัดเป็นร่องสำหรับวางขดลวด สเตเตอร์โดยจะมีขดลวด 3 ชุด คือ เฟส A, B, และ C ซึ่งแต่ละเฟสจะมีมุมห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า ซึ่งกันและกัน มีทั้งการพันขดลวดแบบชั้นเดียว และแบบสองชั้น ดังรูปที่ 23

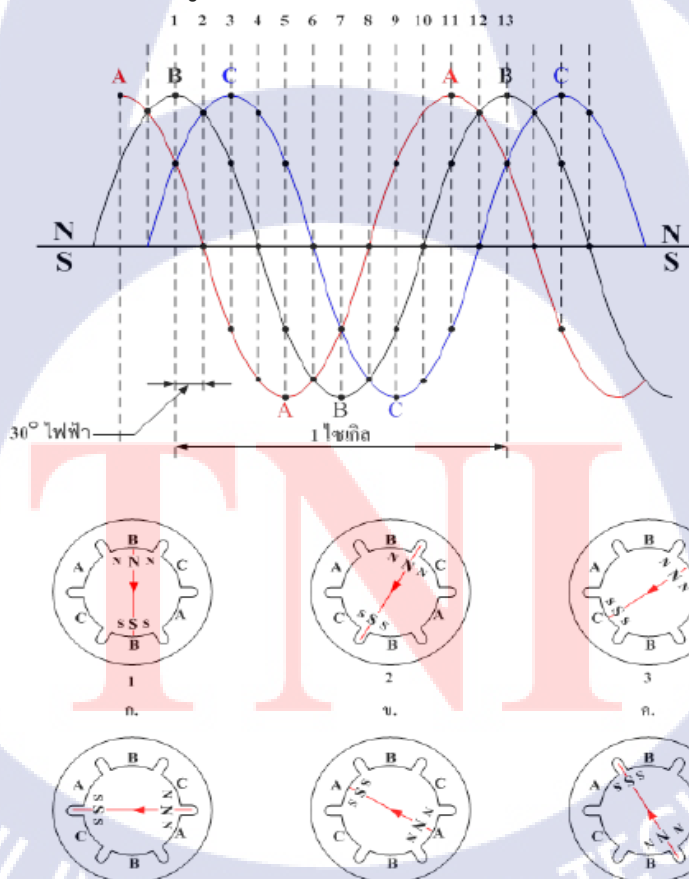


รูปที่ 23 ขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

1.1.2) ส่วนที่เคลื่อนที่หรือเรียกว่าโรเตอร์ เป็นแบบกรงกระรอก ประกอบด้วย แกนเหล็กที่ทำมาจากแผ่นเหล็กบาง ๆ มีลักษณะทรงกระบอกกลมอัดซ้อนกันโดยมีเพลาร้อยทะลุเพื่อยึดให้แน่นที่ผิวของโรเตอร์จะมีสลอตไปตามทางยาวและในสลอตจะมีแท่งตัวนำทองแดง หรืออะลูมิเนียมฝังอยู่โดยรอบ และที่ส่วนปลายตัวนำทองแดงจะเชื่อมติดกับวงแหวนที่มีลักษณะคล้ายกรงกระรอก และปลายทั้งสองด้านอาจจะทำเป็นครีระบายความร้อนด้วยก็ได้

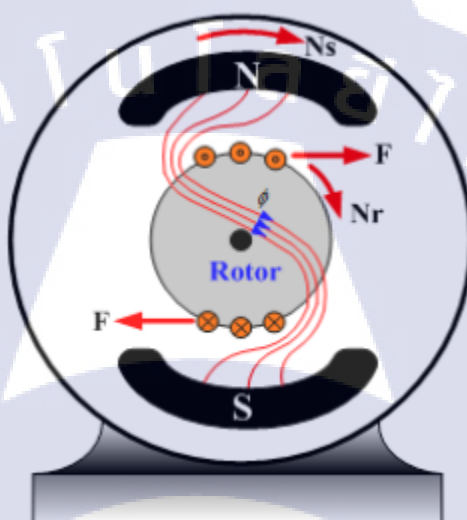


รูปที่ 24 โรเตอร์แบบกรงกระรอก

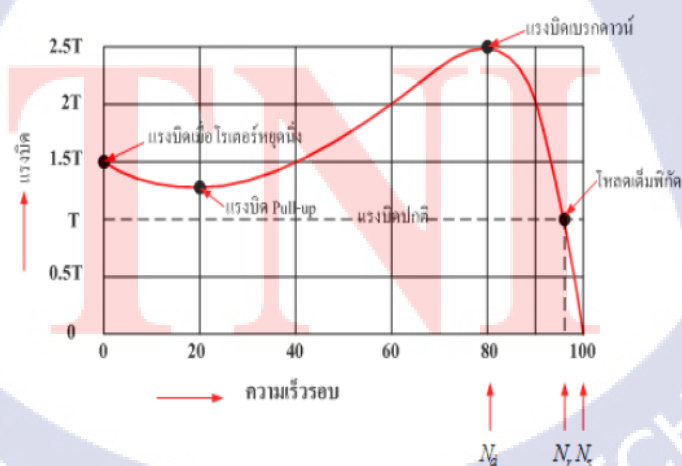


รูปที่ 25 สนามแม่เหล็กหมุนเกิดขึ้นที่ขดลวดสเตเตอร์

1.2) หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ให้กับขดลวดสเตเตอร์ซึ่งมีอยู่ 3 ชุด คือ เฟส A, B และ C จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนที่ขดลวดสเตเตอร์ด้วยความเร็ว $N_s = 120 f/P$ (rpm) ดังรูปที่ 5.3 และสนามแม่เหล็กหมุนที่เกิดขึ้นจะไปตัดกับตัวนำที่โรเตอร์ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำและเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบตัวนำของโรเตอร์ ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กที่สเตเตอร์กับเส้นแรงแม่เหล็กที่โรเตอร์จะทำให้เกิดแรงขึ้นกับตัวนำของโรเตอร์ และถ้ามีตัวนำหลายตัววางอยู่บนโรเตอร์โดยรอบที่จะเกิดเป็นการหมุน ดังรูปที่ 25



รูปที่ 26 แรงที่เกิดขึ้นกับตัวนำบนโรเตอร์



รูปที่ 27 คุณสมบัติของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

1.3) คุณสมบัติและการนำไปใช้งาน มอเตอร์ชนิดนี้จะให้แรงบิดเริ่มต้นสูง โดยประมาณ 1.5 เท่าของแรงบิดเต็มพิกัด และมีแรงบิดเบรกดาวน์ประมาณ 2.5 เท่าของแรงบิดเต็มพิกัด ดังรูปที่ 27 นิยมนำไปใช้กับเครื่องกลึง เครื่องไส เครื่องกัด เครื่องเจียรไนราบและตั้ง ขับปั๊มไฮดรอลิก ขับปั๊มน้ำ และขับเคลื่อนเพรสเซอร์ การต่อใช้งานขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์ มีการต่อ 2 แบบคือ แบบสตาร์และแบบเดลตา การจะต่อใช้งานแบบใดจะต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับแรงดันไฟฟ้าที่แผ่นป้ายของมอเตอร์และระบบไฟฟ้าของประเทศนั้น ๆ วิธีการกลับทางหมุนทำได้โดยการสลับสายจ่ายไฟเข้ามอเตอร์คู่ใดคู่หนึ่ง ความเร็วของโรเตอร์ (N_r) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส สามารถวัดได้ที่ปลายเพลลาของมอเตอร์ด้วยเครื่องวัดความเร็วรอบ (Tachometer) มีหน่วยวัดเป็นรอบต่อนาที ซึ่งความเร็วรอบของโรเตอร์มีค่าต่ำกว่าความเร็วซิงโครนัสเสมอ และผลต่างของความเร็วทั้งสองเรียกว่าความเร็วสลลิป (Slip speed) ดังนั้นจะได้ค่า

$$\text{ความเร็วสลลิป} = N_s - N_r \quad (\text{rpm})$$

แต่ค่าของสลลิปจะอยู่ในรูปของร้อยละ เมื่อเทียบกับความเร็วซิงโครนัส

$$\text{ดังนั้น} \quad S = (N_s - N_r) / N_s$$

$$\text{หรือ} \quad \%S = (N_s - N_r) / N_s * 100$$

$$\text{หรือ} \quad N_r = (1 - S) / N_s \quad (\text{rpm})$$

สำหรับความถี่ในตัวโรเตอร์ ขณะที่โรเตอร์ยังไม่หมุน หรือกำลังจะหมุน ความถี่ของโรเตอร์จะเท่ากับความถี่ของแหล่งจ่ายที่ป้อนให้กับมอเตอร์ แต่เมื่อโรเตอร์หมุนออกตัวไปแล้วความถี่ของโรเตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าสลลิป ซึ่งความถี่ของโรเตอร์จะลดต่ำลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้ความเร็วที่พิกัด ดังนั้นจะได้สมการดังนี้

$$\text{ความถี่ของโรเตอร์} \quad f_r = Sf \quad (\text{Hz})$$

$$\text{กำลังอินพุตที่จ่ายให้มอเตอร์} \quad P_{in} = \sqrt{3} * VI \cos \theta \quad (\text{W})$$

$$\text{กำลังเอาต์พุตที่เพลลาของมอเตอร์} \quad P_{out} = 2\pi * N_r * T_r / 60 \quad (\text{W})$$

$$\text{กำลังสูญเสีย} \quad P_{loss} = P_{out} - P_{in} \quad (\text{W})$$

$$\text{ประสิทธิภาพ} \quad \% \eta = (P_{out} / P_{in}) * 100$$

1.4) ชนิดของโรเตอร์กรงกระรอก (Type of squirrel cage rotor)

1.4.1) โรเตอร์คลาส A ตัวนำของโรเตอร์จะฝังอยู่ในสลอตที่อยู่ใกล้ผิวหน้าของโรเตอร์จัดเป็นมอเตอร์พื้นฐานให้แรงบิดเริ่มหมุนปกติและสลลปปกติ กรงกระรอกมีความต้านทานต่ำและค่ารีแอกแตนซ์ต่ำด้วยกระแสเริ่มหมุนจะมีค่าประมาณ 6 เท่า ของกระแสเต็มพิกัด ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดเล็กที่มีขั้วน้อย แรงบิดเริ่มเดินจะมีค่าประมาณ 2 เท่าของแรงบิดเต็มพิกัด แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่และมีจำนวนขั้วมาก แรงบิดเริ่มเดินจะมีค่าประมาณ 1.1 เท่าของแรงบิดเต็มพิกัด มอเตอร์คลาส A จะนำไปใช้กับพัดลม เครื่องปั๊มลม ขั้วสายพานส่งของ และใช้กับงานที่ไม่มีการหยุดและเริ่มหมุนบ่อย ดังรูปที่ 28 มีรหัสอักษร F-R



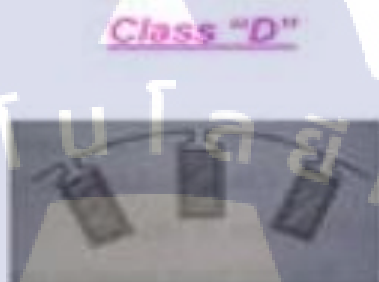
รูปที่ 28 โรเตอร์คลาส A

1.4.2) โรเตอร์คลาส B เป็นมอเตอร์ที่ใช้แรงบิดเริ่มหมุนปกติ กระแสขณะเริ่มหมุนต่ำและมีสลลปปกติ สามารถเริ่มหมุนในขณะที่มีตัวนำจะฝังอยู่ในสลอตที่ลึกและแคบ มีค่ารีแอกแตนซ์สูง มอเตอร์คลาส B จะใช้กับโหลดที่ความเร็วรอบคงที่ และงานที่ไม่ต้องการแรงบิดสูงมากนัก เช่น พัดลมดูดอากาศ และใช้เป็นตัวดันกำลังส่งขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังรูปที่ 29 มีรหัสอักษร B-E



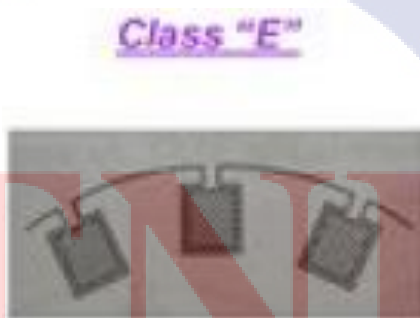
รูปที่ 29 โรเตอร์คลาส C

1.4.2) โรเตอร์คลาส D เป็นมอเตอร์ที่ให้แรงบิดเริ่มหมุนสูง กระแสเริ่มหมุนต่ำ และมีสลิปสูง ความต้านทานของตัวนำในโรเตอร์จะมีค่าสูงจึงทำให้เกิดแรงบิดขณะเริ่มหมุนสูง กระแสเริ่มหมุนที่แรงดันไฟฟ้าปกติจะเหมือนกับมอเตอร์คลาส C สลิปที่โหลดเต็มพิกัดจะเปลี่ยนแปลงระหว่าง 5% ถึง 20% ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่นำไปใช้ มอเตอร์ชนิดนี้จะใช้กับงานที่ต้องการแรงบิดเริ่มหมุนสูง เช่น เครื่องตัด เครื่องบดโลหะขนาดใหญ่ เครื่องพิมพ์กระดาษ รวมทั้งโหลดที่มีอัตราเร่งเฉลี่ยของแรงบิดสูง



รูปที่ 30 โรเตอร์คลาส D

1.4.5) โรเตอร์คลาส E เป็นมอเตอร์ที่ให้แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ กระแสเริ่มหมุนปกติ และมีสลิปต่ำ มีขนาดตั้งแต่ 7.5 แรงม้าขึ้นไป และจะต้องใช้ความต้านทานจากภายนอกต่อเข้ากับส่วนที่อยู่กับที่ เพื่อใช้ในการเริ่มหมุน มีลักษณะของสล็อตที่โรเตอร์ ดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 โรเตอร์คลาส E

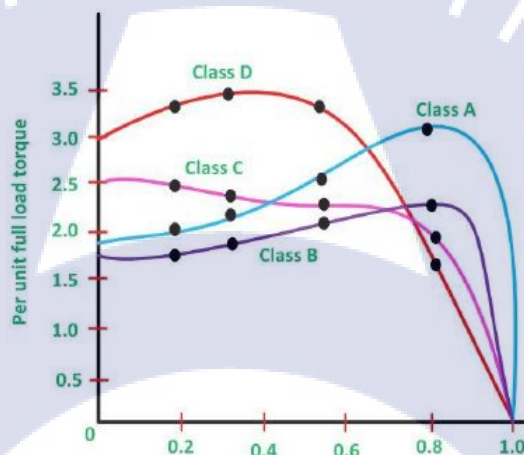
1.4.6) โรเตอร์คลาส F เป็นมอเตอร์ที่ให้แรงบิดเริ่มหมุนต่ำ กระแสเริ่มหมุนต่ำ และมีสลิปปกติ การออกแบบทำให้โรเตอร์มีค่ารีแอกเตอร์สูงจะทำให้กระแสเริ่มหมุนต่ำ แรงบิดเริ่มหมุนจะมีค่าประมาณ 1.25 เท่า ของแรงบิดเต็มพิกัด ดังรูปที่ 5.11

Class "F"



รูปที่ 32 โรเตอร์คลาส F

ซึ่งกราฟคุณลักษณะของโรเตอร์คลาส A B C และ D ดังรูปที่ 33

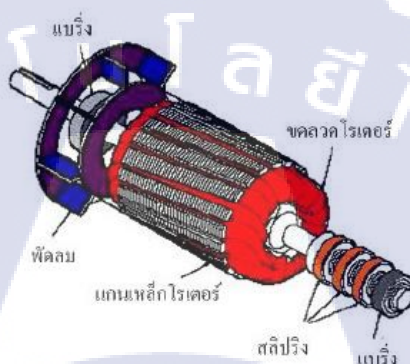


รูปที่ 33 กราฟคุณลักษณะของโรเตอร์คลาส A B C และ D

มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบพันขดลวด (Three phase wound rotor induction motor) มอเตอร์ชนิดนี้ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสลีปรिंगมอเตอร์ มีส่วนประกอบคล้ายกับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก แตกต่างกันเฉพาะที่โรเตอร์จะเป็นแบบพันขดลวด

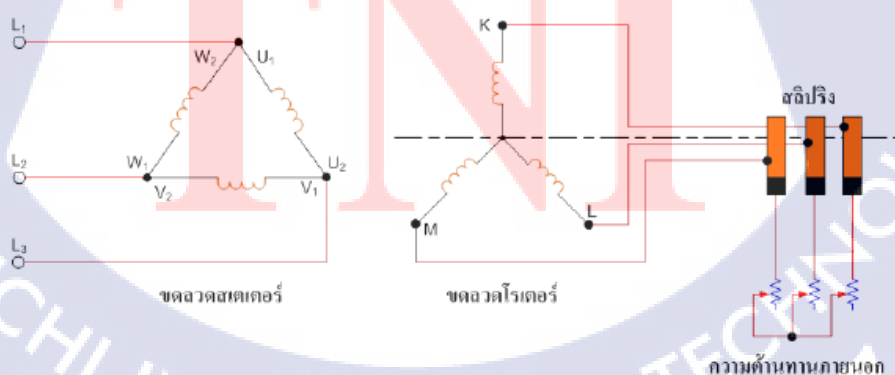
2.1) ส่วนที่อยู่กับที่หรือขดลวดสเตเตอร์จะมีลักษณะที่เหมือนกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบกรงกระรอก ประกอบด้วยขดลวด 3 ชุด มี เฟส A, B และ C ตามลำดับ ขดลวดแต่ละชุดวางมุมห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า รับแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลจากการหมุนที่เพลลาของมอเตอร์

2.2) ส่วนที่เคลื่อนที่หรือเรียกว่าโรเตอร์ เป็นโรเตอร์แบบพันขดลวด ขดลวดที่ใช้พันเป็นขดลวดทองแดงอย่างดี มีจำนวน 3 ชุด หรือ 3 เฟส พันอยู่ในสล็อตของโรเตอร์ แต่ละเฟสจะวางมุมห่างกัน 120 องศาไฟฟ้า เช่นเดียวกัน และต้องพันขดลวดให้มีค่าจำนวนขั้วแม่เหล็กเท่ากับจำนวนขั้วแม่เหล็กที่สเตเตอร์ด้วย และขดลวดทั้ง 3 ชุด จะต่อแบบสตาร์ และปลายอีกด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับสลิปริง 3 วง ที่ติดอยู่บนเพลาด้านหนึ่ง ซึ่งจะมีแปรงถ่านสัมผัสอยู่ เพื่อต่อไปยังอุปกรณ์ควบคุมภายนอก (ความต้านทานปรับค่าได้) ดังรูปที่ 34



รูปที่ 34 โรเตอร์แบบพันขดลวด

2.3) การทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โรเตอร์แบบพันขดลวดอาศัยการเกิดสนามแม่เหล็กหมุนที่สเตเตอร์ จากการได้รับกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ที่ป้อนเข้ามา และทำให้โรเตอร์หมุนตามทิศทางของสนามแม่เหล็กหมุนเหมือนกันกับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก แต่จะแตกต่างเฉพาะตอนเริ่มเดินเท่านั้นดังรูปที่ 35



รูปที่ 35 การทำงานของสลิปริงมอเตอร์

โดยขณะเริ่มเดินมอเตอร์ต้องปรับความต้านทานภายนอกไว้ที่ตำแหน่งที่มีค่าความต้านทานสูงสุด จะทำให้ได้ค่าแรงบิดเริ่มต้นมีค่าสูงสุด กระแสเริ่มต้นจะลดลง และเมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์เพิ่มขึ้นแล้วค่อย ๆ ลดความต้านทานภายนอกลง ขณะเดียวกันมอเตอร์จะมีอัตราการหมุนเร็วขึ้น และเมื่อลดความต้านทานภายนอกเท่ากับศูนย์สลีปรिंगจะถูกตัดวงจร ขณะที่มอเตอร์จะมีความเร็วรอบสูงสุด

2.4) คุณสมบัติและการนำไปใช้งาน มอเตอร์สลีปรिंगจะเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสขนาดใหญ่ ส่วนมากจะใช้กับงานหนัก ใช้กับลูกรีดในโรงงานรีดเหล็ก ใช้กับลูกโม่ในโรงงานปูนซิเมนต์ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมหนักทั้งนั้น ในขณะเริ่มเดินจะให้แรงบิดที่สูงและลดค่ากระแสไฟฟ้าขณะเริ่มเดินด้วย

2.1.1.6 ซิงโครนัสมอเตอร์ (Synchronous motor)

ซิงโครนัสมอเตอร์มีส่วนประกอบเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสามารถทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับได้ โดยการนำต้นกำลังมาขับ ซิงโครนัสมอเตอร์ที่กล่าวถึงนี้ เป็นซิงโครนัสมอเตอร์ 3 เฟสที่มีขนาดใหญ่ใช้งานในอุตสาหกรรมหนัก

1) ส่วนประกอบของซิงโครนัสมอเตอร์ มีส่วนประกอบ 2 ส่วน ด้วยกัน

1.1) ตัวอยู่กับที่ ประกอบด้วยแกนเหล็กแผ่นบาง ๆ อัดซ้อนกันทาเป็นสล็อตโดยรอบใช้สำหรับพันขดลวด 3 เฟส มีการพันขดลวดแบบแลป ดังรูปที่ 36



รูปที่ 36 ตัวอยู่กับที่ซิงโครนัสมอเตอร์

1.2) ตัวหมุน เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น รอบ ๆ ขั้วแม่เหล็กจะถูกพันเป็นขดลวดสนามโดยต่ออนุกรมกัน และจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวดเพื่อให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่คงตัว โดยขดลวดสนามแม่เหล็กที่ตัวหมุนนี้จะต่อเข้ากับวงแหวนหรือสลีปรึงจำนวน 2 วงเพื่อรับไฟกระแสตรงจากแหล่งจ่ายภายนอก และ

ที่ตัวหมุนยังฝังแท่งตัวนำไว้ที่ผิวของขั้วแม่เหล็กทุก ๆ ขั้ว ทำเป็นกรงกระรอกเหมือนกับตัวหมุนของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส เรียกว่า ขดลวดแดมเปอร์เพื่อใช้ช่วยหมุนมอเตอร์ ดังรูปที่ 37



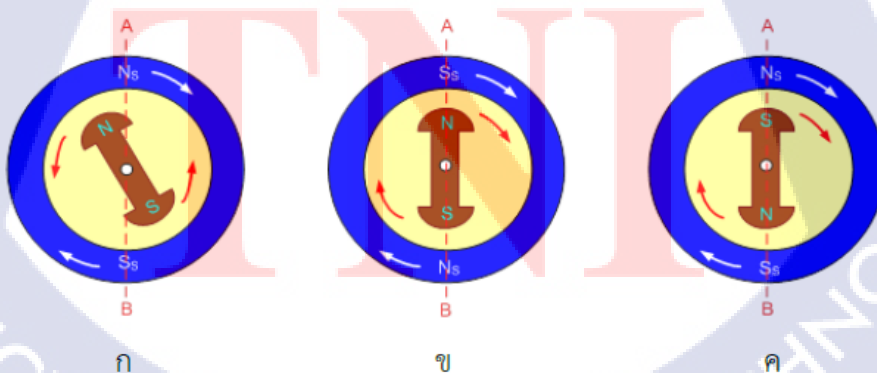
รูปที่ 37 ตัวหมุนแบบขั้วแม่เหล็กยื่น

2) คุณลักษณะทั่วไปของซิงโครนัสมอเตอร์ มีดังนี้

2.1) โรเตอร์หมุนด้วยความเร็วรอบเดียวกับความเร็วสนามแม่เหล็กหมุน มีความเร็วรอบคงที่ และสามารถปรับความเร็วรอบได้ โดยการเปลี่ยนแปลงความถี่ จากสมการ

2.2) สามารถทำงานด้วยตัวประกอบกำลังค่าต่าง ๆ โดยทำงานได้ทั้งตัวประกอบกำลังล่าช้าและนำหน้า

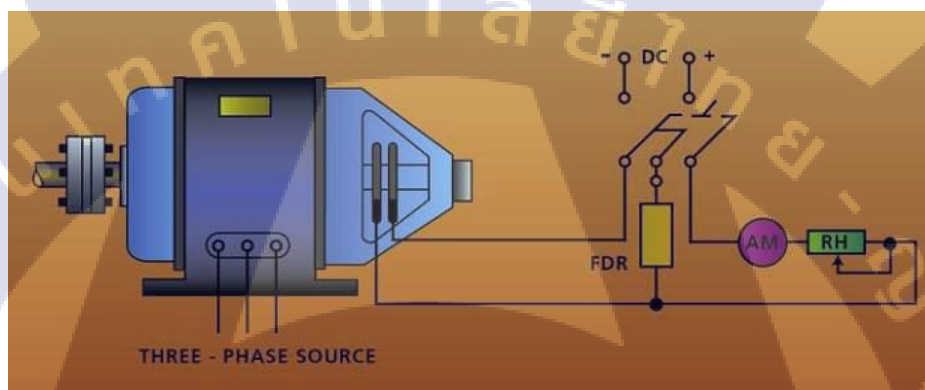
2.3) ไม่สามารถหมุนได้ด้วยตัวเอง และสามารถทำให้หมุนที่ความเร็วใกล้เคียงกับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนได้ โดยการซิงโครไนซ์เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า



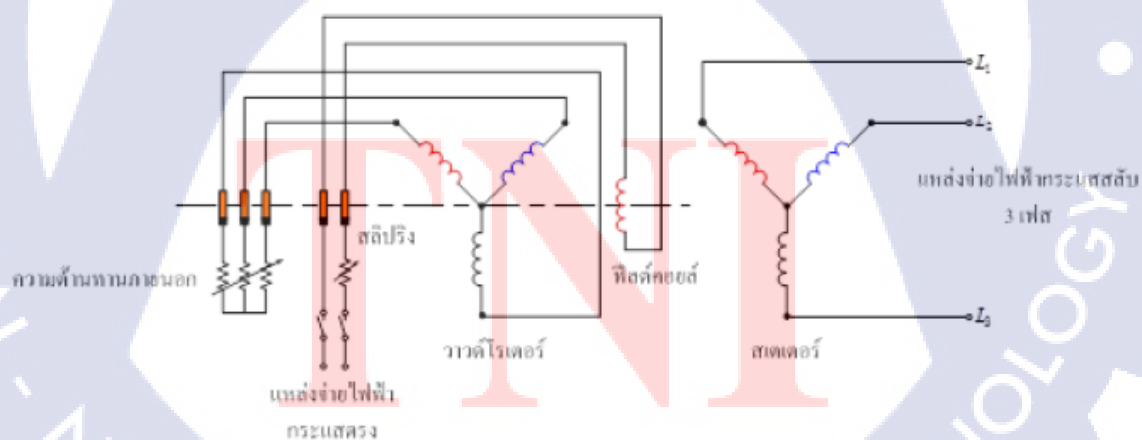
รูปที่ 38 หลักการทำงานซิงโครนัสมอเตอร์

3) หลักการทำงานซิงโครสมอเตอร์ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับขดลวดสเตเตอร์และหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัส จากนั้นโรเตอร์จะหมุนตามซึ่งทำงานเหมือนกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสแบบกรงกระรอก ครั้นเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวดสนามแม่เหล็กหมุนที่ตัวโรเตอร์ จะเกิดชั่วแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์เช่นเดียวกัน เป็นชั่วแม่เหล็กที่คงตัวโดยจะหมุนเกาะติดกับชั่วแม่เหล็กที่สเตเตอร์ด้วยความเร็วซิงโครนัส จึงเรียกว่าซิงโครสมอเตอร์ ดังรูปที่ 38

4) การเริ่มเดินซิงโครสมอเตอร์ ซิงโครสมอเตอร์ไม่สามารถเริ่มเดินได้ด้วยตัวเอง จึงช่วยให้สามารถเริ่มเดินมอเตอร์ได้ 2 วิธี ดังนี้



รูปที่ 39 การเริ่มเดินโดยการเหนี่ยวนำ



รูปที่ 40 ซิมเพล็กซ์โรเตอร์

4.1) การเริ่มเดินโดยการเหนี่ยวนำ เป็นการเริ่มเดินโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำลักษณะเดียวกันกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ซึ่งที่ตัวหมุนจะมีขดลวดกรงกระรอกและขดลวดแคมเปอร์ฝังอยู่ที่ผิวหน้าของขั้วแม่เหล็กบนตัวหมุนทุก ๆ ขั้ว โดยเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ให้กับขดลวดสเตเตอร์ มอเตอร์จะหมุนหลังจากนั้นให้จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับตัวโรเตอร์เพื่อให้เกิดขั้วแม่เหล็กหมุนและจะหมุนด้วยความเร็วซิงโครนัสดังรูปที่ 39 ในขณะที่เริ่มเดินมอเตอร์จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำค่าสูงเกิดขึ้นในขดลวดโรเตอร์ เป็นอันตรายต่อฉนวนขดลวดโรเตอร์ อาจทำให้เสียหาย วิธีแก้ปัญหาโดยการนำหม้อแปลงแบบออโตต่อเข้ากับขดลวดสเตเตอร์ หรืออาจใช้ความต้านทานค่าสูงต่อคร่อมที่ขดลวดโรเตอร์ก็ได้ ซิงโครนัสมอเตอร์มีแรงบิดค่อนข้างต่ำ เนื่องจากความต้านทานของขดลวดแคมเปอร์มีค่าต่ำสามารถทำให้ซิงโครนัสมอเตอร์มีแรงบิดเริ่มเดินสูงได้ โดยการพันขดลวด 3 เฟส(เฟสวาวด์) แทนขดลวดแคมเปอร์ที่ตัวโรเตอร์ และต่อเข้ากับความต้านทานภายนอกที่ปลายเพลลาของโรเตอร์จะมีสลีปริงติดตั้งอยู่ทั้งหมด 5 วง เป็นของขดลวดเฟสวาวด์ 3 วง และใช้ป้อนไฟกระแสตรง 2 วง ตัวหมุนแบบนี้เรียกว่า ซิมเพล็กซ์โรเตอร์ (Simplex rotor) ดังรูปที่ 40 โดยต่อตรงเข้ากับเพลลาของซิงโครนัสมอเตอร์ จากนั้นขั้วซิงโครนัสมอเตอร์ให้มีความเร็วเท่ากับความเร็วซิงโครนัสและมีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับพิกัดแรงดันของซิงโครนัสมอเตอร์ ตรวจสอบลำดับเฟสโดยการใช้หลอดซิงโครไนซ์ เมื่อลำดับเฟสตรงกันแล้วให้จ่ายกระแสไฟฟ้า 3 เฟส ให้กับขดลวดสเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์ หลังจากนั้นให้ปลดแหล่งจ่ายไฟของต้นกำลังขับออก มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะกลายเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และเป็นโหลดของซิงโครนัสมอเตอร์

5) การใช้งานซิงโครนัสมอเตอร์ ซิงโครนัสมอเตอร์จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำจะนำไปใช้กับโหลดที่มีความเร็วรอบคงที่ สามารถปรับความเร็วรอบได้ในย่านที่กว้างโดยการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่จ่ายให้มอเตอร์ บางครั้งจะใช้กับงานที่มีความเร็วรอบสูง เช่น ขับพัดลม โบลเวอร์ ขับเครื่องกำเนิดกระแสตรง บั๊มแรงเหวี่ยง บั๊มลูกสูบ อุตสาหกรรมยาง กระดาษ และทอผ้า นอกจากนี้ยังใช้ปรับปรุงตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าให้ทำงานเหมือนตัวคาปาซิเตอร์ หรือเรียกว่าซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ (Synchronous condenser) และใช้ปรับแรงดันไฟฟ้าที่ปลายทางของสายส่ง

2.1.1.7 ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal motor)

เป็นมอเตอร์ขนาดเล็กที่ให้ความเร็วรอบจัดมาก ส่วนมากจะใช้ประกอบเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก ใช้กับเครื่องมือช่าง และมีใช้งานในครัวเรือน ให้แรงบิดเริ่มหมุนดี มีความสะดวกต่อการใช้งาน

1) ส่วนประกอบยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ มีทั้งหมด 5 ส่วนได้แก่

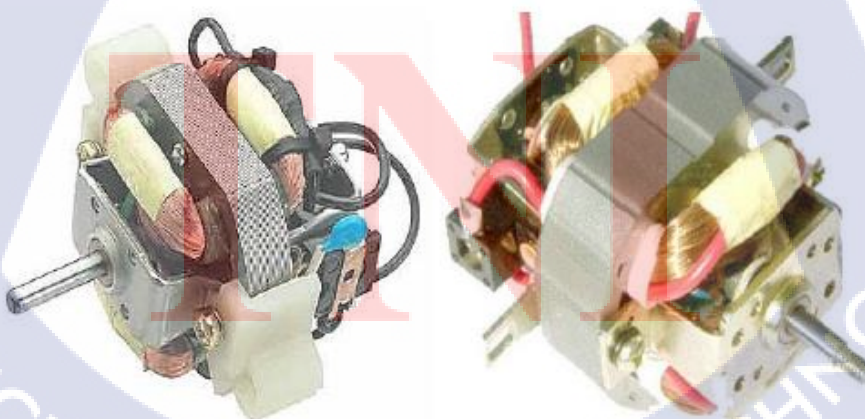
1.1) ขั้วแม่เหล็กสเตเตอร์ เป็นขั้วแม่เหล็กยื่น ทำจากเหล็กแผ่นบาง ๆ อัดเรียงกันด้วยหมุดย้ำ ส่วนมากจะหาเป็นชนิด 2 ขั้ว ที่แกนเหล็กสเตเตอร์มีขดลวดทองแดงพันไว้ เพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดนี้

1.2) ขดลวดอาร์เมเจอร์ เป็นส่วนที่หมุน ทำจากเหล็กแผ่นบาง ๆ อัดเรียงติดกันแน่นเข้ากับเพลลาและที่ผิวด้านนอกจะหาเป็นสล็อตไปตามทางยาวไว้โดยรอบ อาจเป็นแบบสล็อตตรงหรือสล็อตเฉียง และที่ปลายด้านหนึ่งจะมีคอมมิวเตเตอร์ติดตั้งอยู่ ส่วนภายในสล็อตของอาร์เมเจอร์จะพันไว้ด้วยขดลวดทองแดงและปลายของขดลวดจะต่อเข้ากับซี่ของคอมมิวเตเตอร์

1.3) คอมมิวเตเตอร์ ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าที่มาจากแปรงถ่านเข้าไปยังขดลวดอาร์เมเจอร์ คอมมิวเตเตอร์ประกอบด้วยซี่ทองแดงหลาย ๆ ซี่วางเรียงเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก และมีฉนวนไม่ก้ำกั้นระหว่างซี่ทองแดงแต่ละซี่

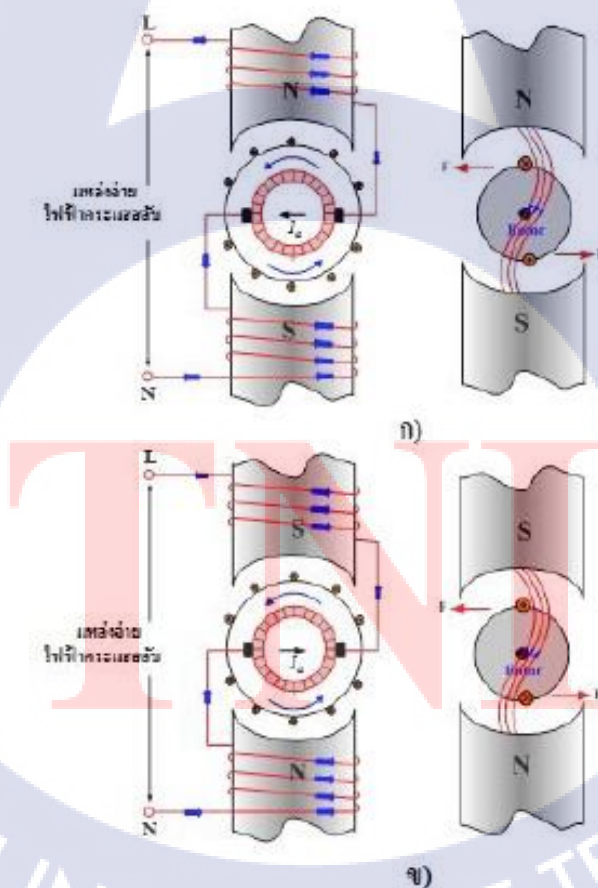
1.4) ฝาปิดหัวท้าย ทำจากเหล็กเหนียวยึดเข้ากับโครงด้วยสลักเกลียว ฝาปิดหัวท้ายนี้เป็นตัวยึดส่วนที่หมุนให้เคลื่อนที่อยู่ในแนวศูนย์กลาง และเป็นที่ติดตั้งแปรงที่รองรับเพลลาอาร์เมเจอร์ และฝาปิดด้านหนึ่งจะติดตั้งช่องแปรงถ่าน 2 ชุด

1.5) แปรงถ่าน ทำจากผงกราไฟต์ มีหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายภายนอกเข้าสู่คอมมิวเตเตอร์ แปรงถ่านนี้จะบรรจุอยู่ในช่องอย่างเหมาะสม



รูปที่ 41 ส่วนประกอบยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

2) หลักการทำงานของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับให้กับวงจรของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ ดังรูปที่ 42 โดยในซีกบวกของรูปคลื่นไซน์กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้ามอเตอร์ที่ขั้วไลน์ (L) และไหลออกจากมอเตอร์ที่ขั้วนิวทรัล (N) ที่สเตเตอร์จะเกิดขั้วเหนืออยู่ด้านบนและเกิดขั้วใต้อยู่ด้านล่างตัวนาของอาร์เมเจอร์ด้านบนจะมีกระแสไหลเข้า และด้านล่างจะมีกระแสไหลออก ผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดสเตเตอร์กับขดลวดอาร์เมเจอร์จะทำให้เกิดแรง (F) และหมุนทวนเข็มนาฬิกา แต่ถ้าในซีกลบของรูปคลื่นไซน์กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้ามอเตอร์ที่ขั้วนิวทรัล และไหลออกจากมอเตอร์ที่ขั้วไลน์ ที่สเตเตอร์จะเกิดขั้วเหนืออยู่ด้านล่าง และขั้วใต้อยู่ด้านบน ตัวนาของอาร์เมเจอร์ด้านล่างจะมีกระแสไหลเข้าและไหลออกที่ตัวนาด้านบน ดังนั้นผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดสเตเตอร์กับขดลวดอาร์เมเจอร์จะทำให้เกิดแรงและหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเช่นกัน ดังรูปที่ 42 ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ใช้ได้ทั้งไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 42 หลักการทำงานของยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

3) คุณลักษณะและการนำไปใช้งาน ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์จะให้แรงบิดขณะเริ่มเดินสูงมาก มีความเร็วสูงและขณะที่ไม่มีโหลดความเร็วรอบอาจสูงถึง 20,000 รอบต่อนาที อาจจะทำให้เกิดอันตรายได้ แต่สามารถแก้ไขได้โดยการใช้ชุดเฟืองเกียร์ต่อเข้ากับเพลาของมอเตอร์เพื่อลดความเร็วรอบและเพิ่มแรงบิด ส่วนใหญ่จะนำไปใช้งานประกอบเข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ เช่น จักรเย็บผ้า สว่านมือถือไฟฟ้า กบไสไม้ไฟฟ้า เครื่องดูดฝุ่น เครื่องผสมอาหาร เลื่อยจิ๊กซอร์ และเครื่องขัดกระดาษทราย

การกลับทิศทางการหมุนสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสที่ขดลวดอาร์เมเจอร์หรือขดลวดฟิลด์อย่างใดอย่างหนึ่ง ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ สามารถควบคุมความเร็วรอบของการหมุนได้ด้วย การใช้ความต้านทาน การเพิ่ม ลดขดลวดสนามแม่เหล็ก และการใช้สวิตช์แรงเหวี่ยง เป็นต้น



รูปที่ 43 การนำไปใช้งานยูนิเวอร์แซลมอเตอร์

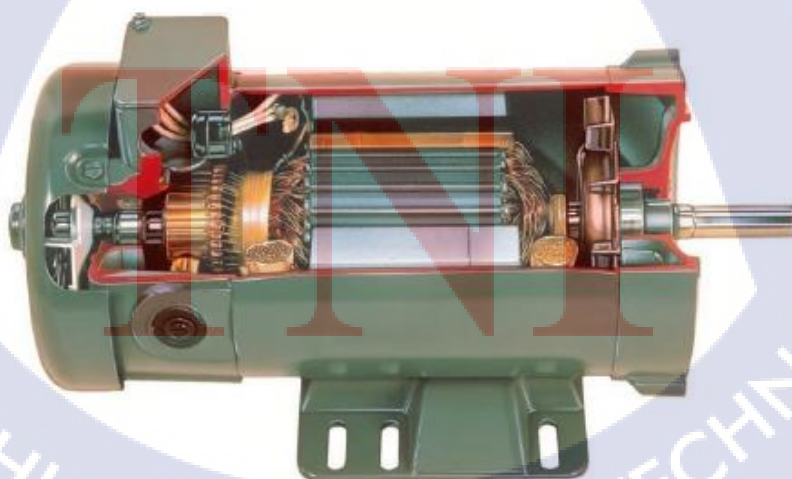
2.1.1.8 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(Direct current motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล มีทั้งชนิดกระตุ้นฟิวด์จากภายนอก และชนิดกระตุ้นฟิวด์ด้วยตัวเอง ส่วนประกอบจะมีลักษณะเหมือนกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง และนามาหาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงได้ด้วย

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้านการปรับความเร็วรอบตั้งแต่ต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้ในโรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลี เอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะ และเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนในรถไฟ

1) ส่วนประกอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ

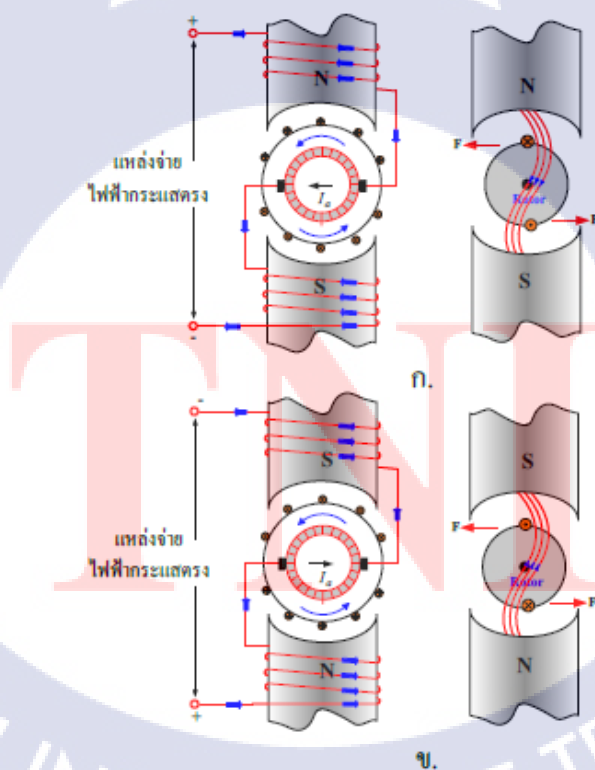
1.1) ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) ประกอบด้วยโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจร และยึดส่วนประกอบอื่น ๆ ให้แข็งแรงทนด้วยเหล็กหล่อ หรือเหล็กเหนียว รูปทรงกระบอก และยังมีขั้วแม่เหล็ก มีลักษณะเป็นขั้วแม่เหล็กยื่นทำด้วยเหล็กแผ่นบาง ๆ เคลือบด้วยฉนวนเรียงซ้อนกัน ผิวด้านหน้าเป็นรูปโค้งรับกับทรงกลมของอาร์เมเจอร์ และที่แกนเหล็กจะพันด้วยขดลวดทองแดง ทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าจากภายนอก เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น อาจจะมี 2 ขั้ว 4 ขั้ว หรือหลายขั้วขึ้นอยู่กับการออกแบบมอเตอร์ นอกจากนั้นยังมีแปรงถ่านและช่องติดตั้งไว้สัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์เพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยมีฝาปิดหัวท้ายสำหรับรองรับแปรง และเพลาลูกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 44



รูปที่ 44 ส่วนประกอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

1.2) ตัวหมุนหรืออาร์เมเจอร์ มีลักษณะเป็นทุ่นทรงกระบอก ทาด้วยแกนเหล็กแผ่นบาง ๆ อัดซ้อนกันที่ผิวด้านหน้าของทรงกระบอก จะทำเป็นสลอตเพื่อใช้สำหรับพันขดลวดอาร์เมเจอร์ อาจจะเป็นแบบแลปหรือแบบเวฟ และที่ปลายด้านหนึ่งของขดลวดจะต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ที่มีลักษณะเป็นซี่ทองแดง หลาย ๆ ซี่ ประกอบเป็นรูปทรงกระบอก และระหว่างซี่จะมีฉนวนไม่ก้ำกั้นไว้ ที่ตัวหมุนจะมีเพลายู่ตรงกลางร้อยทะลุเพื่อยึดแกนเหล็กและคอมมิวเตเตอร์ไว้ให้แน่น และสวมเข้ากับแบร็ง เพื่อให้หมุนอยู่ในแนวศูนย์กลาง

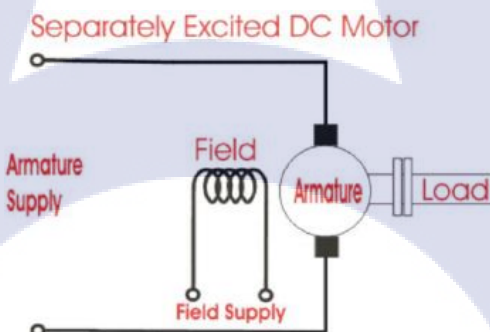
1.2) ประแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะไหลผ่านแปรงถ่านเข้าสู่คอมมิวเตเตอร์และขดลวดอาร์เมเจอร์ เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่ขดลวดอาร์เมเจอร์ สำหรับกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลผ่านขดลวดสนามแม่เหล็กเพื่อสร้างขั้วเหนือและขั้วใต้ ซึ่งจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น 2 สนาม ผลรวมของสนามแม่เหล็กจากขดลวดสเตเตอร์และสนามแม่เหล็กขดลวดอาร์เมเจอร์จะทำให้เกิดแรงขึ้นที่ขดลวดอาร์เมเจอร์และเมื่อพันตัววนอยู่ที่อาร์เมเจอร์โดยรอบก็จะเกิดเป็นการหมุนและแรงบิดขึ้น เป็นไปตามกฎมือซ้ายของมอเตอร์ หรือกฎมือซ้ายของเฟรมมิ่ง (Fleming left hand rule) ดังแสดงในรูปที่ 45



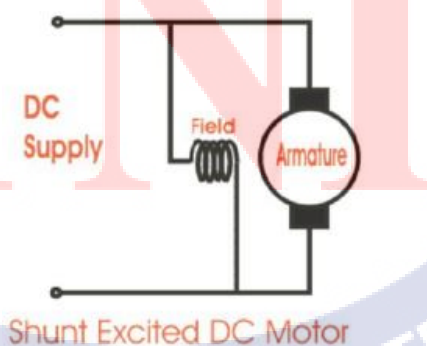
รูปที่ 45 หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

3) ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

3.1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นฟิลด์จากภายนอก เป็นมอเตอร์ที่มีขดลวดฟิลด์และขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ รับไฟฟ้ากระแสตรงป้อนให้กับมอเตอร์จาก 2 แหล่งจ่าย โดยแหล่งจ่ายแรกเป็นไฟฟ้ากระแสตรงค่าคงที่ป้อนให้กับขดลวดฟิลด์ ส่วนอีกแหล่งจ่ายหนึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ จ่ายให้กับขดลวดอาร์เมเจอร์โดยการค่อย ๆ ปรับค่าจากศูนย์โวลต์จนกระทั่งถึงแรงดันเต็มพิกัดของมอเตอร์ และความเร็วรอบของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่อาร์เมเจอร์การเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบจะอยู่ในย่านที่กว้าง ส่วนแรงบิดที่เกิดขึ้นที่อาร์เมเจอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าและเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดอาร์เมเจอร์ ดังนั้นมอเตอร์แบบนี้แรงบิดเริ่มเดินต่ำซึ่งไม่สามารถนำไปเริ่มเดินกับโหลดที่หนัก ๆ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 46 การนำไปใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม จะใช้เป็นตัวขับเคลื่อนคอนโทรลวาล์วในระบบเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม รถไฟ และการขนส่งระบบราง

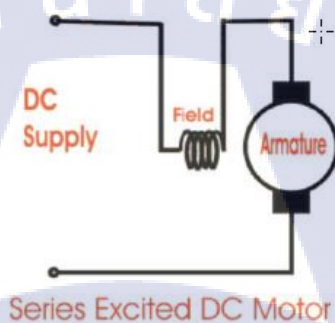


รูปที่ 46 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นจากภายนอก



รูปที่ 47 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบชัณฑ์

3.2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขั้วตื้น มอเตอร์ชนิดนี้จะเป็นชนิดกระตุ้นฟิวด์จากภายในตัวเอง ขดลวดฟิวด์และขดลวดอาร์เมเจอร์จะรับไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายเดียวกัน ลักษณะการต่อของขดลวดฟิวด์และขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นแบบขนาน ดังแสดงในรูปที่ 47 จึงทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากัน และเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่ ดังนั้นคุณลักษณะมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานจึงให้ความเร็วรอบที่คงที่ และแรงบิดขณะเริ่มเดินต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่น และมอเตอร์ไฟฟ้าแบบขั้วตื้นจึงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความเร็วรอบค่อนข้างคงที่ เช่น เครื่องกลึง เครื่องมือกล และเครื่องจักรกลงานไม้



รูปที่ 48 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบซีรีย์

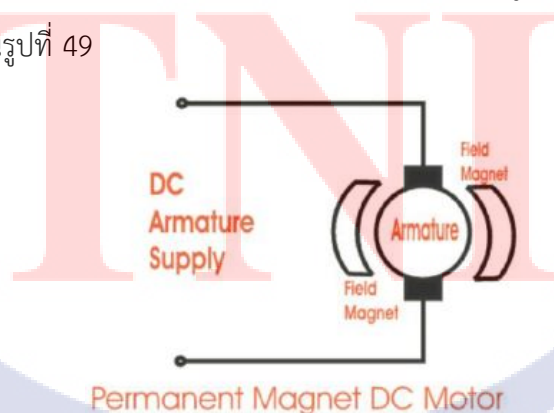
3.3) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซีรีย์ มีลักษณะการต่อขดลวดฟิวด์และขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นแบบอนุกรมจึงทำให้กระแสฟิวด์และกระแสอาร์เมเจอร์มีค่าเท่ากัน ตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด คุณลักษณะของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบซีรีย์จะให้แรงบิดเริ่มเดินสูง มีอัตราเร่งของแรงบิดที่ดี และมีการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบอย่างเห็นได้ชัดจากสภาวะไม่มีโหลดถึงมีโหลดเต็มพิกัด นั่นคือ เมื่อมีโหลดมากความเร็วรอบจะต่ำ แต่ถ้าไม่มีโหลดความเร็วรอบจะสูงอาจเป็นอันตรายได้ ดังแสดงในรูปที่ 48 มอเตอร์แบบนี้จึงนำไปใช้ชักยก (hoists) ปั่นจั่น (Cranes) รถราง รถไฟฟ้า สายพานลำเลียง และใช้ในการเริ่มเดินเครื่องยนต์

3.4) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบคอมพาวด์ เป็นมอเตอร์ที่อาศัยการทำงานร่วมกันของขดลวดซีรีย์ (ซึ่งให้แรงบิดเริ่มเดินสูง) และขดลวดขั้วตื้น (ซึ่งให้ความเร็วรอบคงที่) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม และแบ่งตามลักษณะการต่อขดลวดฟิวด์ได้ 2 แบบคือ

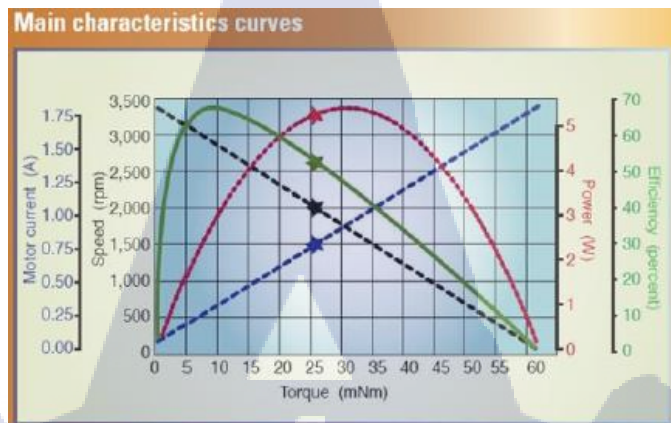
ก. มอเตอร์คอมมูเลทีฟคอมปาวด์ มีลักษณะการต่อขดลวดซีรี่ส์ที่ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเสริมหรือมีทิศทางเดียวกับเส้นแรงแม่เหล็กขดลวดขั้วคู่ คุณลักษณะเป็นมอเตอร์ที่ให้แรงบิดเริ่มเดินสูง และมีความเร็วรอบคงที่อยู่มาก ๆ หนึ่งในขณะไม่มีโหลด จึงนำไปใช้ขับโหลดหนัก ๆ เช่น เครื่องอัดย้า เครื่องตัดโลหะ เครื่องม้วนโลหะ และลิฟต์

ข. มอเตอร์แบบดิฟเฟอเรนเชียลคอมปาวด์ มีลักษณะการต่อขดลวดซีรี่ส์ให้มีเส้นแรงแม่เหล็กหักล้างหรือสวนทางกับเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดขั้วคู่ จึงทำให้เส้นแรงแม่เหล็กต่อขั้วลดลง และเมื่อมอเตอร์ได้รับโหลดเพิ่มขึ้นความเร็วรอบของมอเตอร์จะคงที่อยู่วัฒนหนึ่งแล้วจึงเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของโหลด มอเตอร์แบบนี้จะให้แรงบิดเริ่มเดินต่ำ จึงไม่นิยมนำมาใช้ในปัจุบัน

3.5) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร โดยส่วนที่อยู่กับที่ของมอเตอร์แบบนี้จะเป็นขั้วสนามแม่เหล็ก ซึ่งทำด้วยแม่เหล็กถาวรติดอยู่ที่โครงของมอเตอร์ อาจจะมี 1 คู่ หรือมากกว่าก็ได้ แม่เหล็กถาวรเป็นส่วนสำคัญสร้างขึ้นจากเซรามิก อลูมิโก หรือแร่ธาตุพิเศษอื่น ๆ ที่อยู่บนพื้นโลก และปัจจุบันได้มีการพัฒนาสร้างวัสดุที่เป็นแม่เหล็กถาวรแบบใหม่ คือ ซามาเรียมโคบอลต์ และนีโอไดเมียมเหล็ก โบรอน ตัวมอเตอร์ถูกสร้างให้อยู่ภายในโครงอันเดียวกัน มีขนาดกะทัดรัด และมีประสิทธิภาพสูง สำหรับส่วนที่หมุนจะเป็นขดลวดอาร์เมเจอร์พันด้วยขดลวดทองแดงปลายด้านหนึ่งต่อเข้ากับคอมมิวเตเตอร์ หลักการทำงานเกิดจากผลรวมของเส้นแรงแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวรที่สเตเตอร์กับเส้นแรงแม่เหล็กของขดลวดอาร์เมเจอร์ จึงทำให้เกิดแรงบิด และการหมุนที่ตัวอาร์เมเจอร์ขึ้น คุณลักษณะทั่วไปของแรงบิดและความเร็วรอบจะเป็นเส้นตรง แรงบิดและความเร็วรอบที่เกิดขึ้นจะถูกควบคุมโดยการปรับแรงดันของอาร์เมเจอร์ ดังแสดงในรูปที่ 49



รูปที่ 49 วงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร



รูปที่ 50 กราฟคุณลักษณะมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร

มอเตอร์แบบนี้จะนำไปใช้ขับเคลื่อนส่วนต่าง ๆ ในรถยนต์ ใช้กับดีสก์ไดรฟ์คอมพิวเตอร์ ในโรงงาน ทำของเล่นเด็ก และเครื่องมือทางไฟฟ้าแบบไร้สายต่าง ๆ เช่น สว่าน และไขควงมือถือ แปร่งสีฟัน ฯลฯ

2.1.2 แบตเตอรี่

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยน พลังงานเคมีที่เก็บไว้เป็นพลังงานไฟฟ้า ได้มีการค้นพบว่า มีการใช้แบตเตอรี่ตั้งแต่สมัย บาบิโลเนียน เมื่อประมาณ 500 ปีก่อนคริสตกาล แต่แบตเตอรี่ที่มีใช้ในปัจจุบัน เป็นการค้นคว้าทดลองของนักวิทยาศาสตร์เมื่อ 200 ปีที่แล้ว ซึ่งแบ่งตามลักษณะของการใช้งานได้เป็น 4 ชนิดดังนี้

1) แบตเตอรี่ปฐมภูมิ เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วไม่สามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือที่มักเรียกกันว่า “ถ่าน” มีอยู่หลายชนิด เช่น ถ่านอัลคาไลน์ ถ่านลิเทียม เป็นต้น แบตเตอรี่แบบนี้มีหลายขนาด ใช้ในวิทยุ นาฬิกา เก็บพลังงานได้สูง อายุการใช้งานสูง แต่เมื่อถูกใช้หมดจะกลายเป็นขยะมลพิษ

2) แบตเตอรี่ทุติยภูมิ เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วสามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ แบตเตอรี่มือถือ และถ่านรุ่นใหม่ ๆ เป็นต้น

3) แบตเตอรี่เชิงกลเป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วนำกลับมาชาร์จประจุใหม่ได้ โดยการเปลี่ยนขั้วอิเล็กโทรดขั้วลบของแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้ว ซึ่งทำให้มีการชาร์จประจุอย่างรวดเร็ว เช่น แบตเตอรี่ชนิดอลูมิเนียม-อากาศ

4) แบตเตอรี่ผสม เป็นแบตเตอรี่ที่มีเซลล์ของเชื้อเพลิงผสมอยู่ โดยขั้วอิเล็กโทรดข้างหนึ่งเป็น ก๊าซและอีกข้างหนึ่งเป็นขั้วของตัวเอง เช่น แบตเตอรี่ชนิดซิงค์-โบรมีน

ปัจจุบันนิยมใช้งาน ทั้งแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งส่วนใหญ่มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบ ที่มีคราบเป็นพิษ และผลเสียต่อสภาพแวดล้อม แบตเตอรี่ที่เข้ามาทดแทนแบตเตอรี่ตะกั่ว ในอนาคตสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1) แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม (NiCd) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาแพงกว่าแบตเตอรี่ตะกั่ว แต่สามารถชาร์จประจุได้มากกว่า และอายุการใช้งานยาวนาน

2) แบตเตอรี่ชนิดโซเดียม-ซัลเฟอร์ (NaS) เป็นแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นของพลังงานต่ำ ราคาแพง สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 350°C

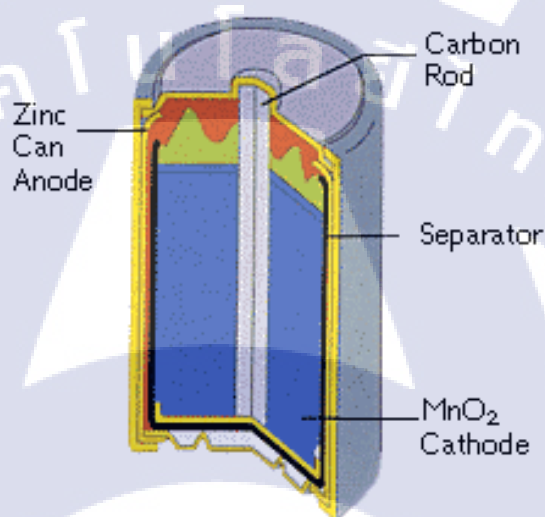
3) แบตเตอรี่ชนิดซิงค์-โบรมีน (ZnBr) เป็นแบตเตอรี่ที่ให้แรงดันไฟฟ้าสูง ราคาถูก อายุการใช้งานที่ยาวนาน เหมาะสำหรับใช้กับรถไฟฟ้า แต่มักมีปัญหาจากการรั่วของประจุที่เก็บ และก๊าซโบรมีนเป็น ก๊าซที่อันตราย

4) แบตเตอรี่ชนิดวาเนเดียม-รีดอกซ์ (Vanadium-Redox) แบตเตอรี่แบบนี้สามารถชาร์จประจุ ได้ทันทีเพียงแค่เปลี่ยนอิเล็กโทรไลต์ มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน อัตราการรั่วของประจุต่ำ มีความหนาแน่นของพลังงานสูง ใช้งานง่าย ราคาถูก ถึงแม้ว่าวาเนเดียมจะมีพิษต่อสิ่งมีชีวิต แต่จะปลอดภัยเมื่ออยู่ใน ภาชนะบรรจุที่ได้มาตรฐาน

2.1.2.1 แบตเตอรี่ปฐมภูมิ

แบตเตอรี่ปฐมภูมิ เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วไม่สามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมา ใช้ใหม่ได้ หรือที่มักเรียกกันว่า “ถ่าน” มีอยู่หลายชนิด เช่น ถ่านอัลคาไลน์ ถ่านลิเทียม เป็นต้น แบตเตอรี่ แบบนี้มีหลายขนาด ใช้ในวิทยุ นาฬิกา เก็บพลังงานได้สูง อายุการใช้งานสูง แต่เมื่อถูกใช้หมดจะกลายเป็น ขยะมลพิษ

ในช่วงเวลาที่ผ่านมา ถ่านไฟฉายแบบอัลคาไลน์ที่ใช้แล้วทิ้งนั้นเป็นที่นิยมกันมากในหมู่นักเดินป่าทั้งหลาย แต่ในระยะหลังนี้ถ่านไฟฉายอีกประเภทหนึ่งที่มีความนิยมเพิ่มมากขึ้นคือถ่านลิเทียม ซึ่งมีน้ำหนักเบา ให้พลังงานสูง ใช้ได้ดีในที่อากาศเย็นและสามารถเก็บไว้ได้นาน นอกจากนี้ ในปัจจุบันผู้ผลิตยังได้ผลิตถ่านลิเทียมในขนาด AA ออกมาอีกด้วย แต่อย่างไรก็ดี ตลาดถ่านไฟฉายในปัจจุบันไม่ได้แข่งที่ประเภทถ่านอัลคาไลน์หรือลิเทียมเพียงอย่างเดียว แต่จะเป็นการแข่งขันกันระหว่างถ่านไฟฉายแบบที่ใช้



รูปที่ 51 ถ่านคาร์บอนเคลือบสังกะสี

แล้วทิ้ง (Throwaways) กับแบบที่สามารถประจุไฟเข้าไปใหม่ได้ (Rechargeables) หรือที่เรียกกันว่าถ่านแบบรีชาร์จ ถ่านไฟฉายในตลาดปัจจุบันที่ใช้กันในการเดินป่า สามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

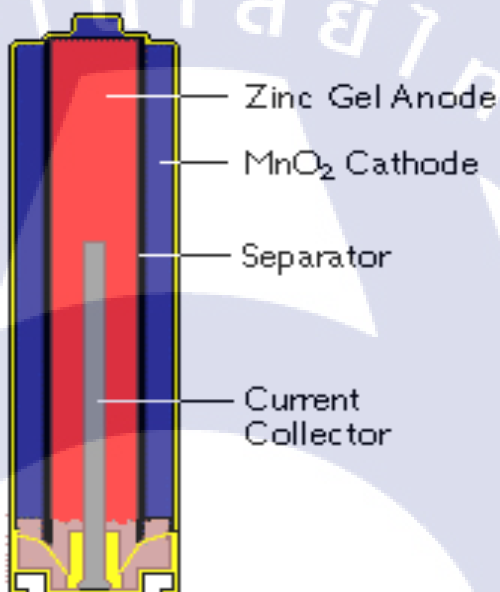
1) ถ่านคาร์บอนเคลือบสังกะสี (Carbon-zinc cells)

ถ่านไฟฉายทุกๆ ไปจะมีหลักการทำงานคร่าวๆ คือ ใช้คาร์บอนเป็นขั้วบวก หุ้มด้วยแอมโมเนียมคลอไรด์ และเคลือบด้านนอกด้วยสังกะสีซึ่งเป็นขั้วลบ เมื่อมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นจะให้อิเล็กทรอนิกส์ออกมา และเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แต่ถ้าปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวเกิดการย้อนกลับก็จะทำให้เราสามารถประจุไฟเข้าไปในแบตเตอรี่ใหม่ได้หรือที่เรียกว่าการรีชาร์จนั่นเอง แต่

ถ่านคาร์บอนเคลือบสังกะสีในประเภทนี้เป็นถ่านไฟฉายรุ่นแรกๆ ที่ไม่สามารถจะรีชาร์จได้ และในปัจจุบันก็ได้มีถ่านประเภทอื่นๆ ออกมาแทนที่จำนวนมาก

2) ถ่านอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้ง (Disposable alkaline cells)

ถ่านอัลคาไลน์ที่ใช้แล้วทิ้งได้เริ่มมีใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1958 (พ.ศ. 2501) ซึ่งเมื่อแรกเริ่มนั้นเป็นที่นิยมกันมากเพราะสามารถให้พลังงานได้มากกว่าถ่านไฟฉายแบบเก่า แต่ในระยะหลังเริ่มมีคนตระหนักถึงปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เนื่องมาจากการใช้ถ่านอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้งกันมากขึ้น เนื่องจากไฟฉายประเภทนี้มีสารปรอทเป็นส่วนประกอบและเนื่องจากปริมาณการใช้งานที่นิยมกันมากจน



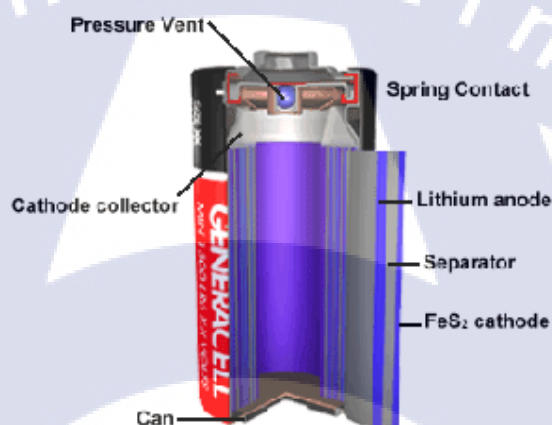
รูปที่ 52 ถ่านอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้ง

ทำให้เกิดปัญหาขยะมีพิษเพิ่มมากขึ้นทั่วโลก ดังนั้นผู้ผลิตจึงได้พยายามมากขึ้นที่จะพัฒนาถ่านอัลคาไลน์ให้ไม่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม ในช่วงปลายทศวรรษที่ 1980 ได้มีผู้ผลิตถ่านอัลคาไลน์แบบที่มีสารปรอทต่ำลงออกมา และในปี 1990 ก็ได้มีถ่านอัลคาไลน์แบบปลอดสารปรอทเกิดขึ้น (เช่น ถ่านดูราเซลล์ และอีเนอร์จิเซออร์ ที่นิยมกันในปัจจุบันนั่นเอง) แต่ถึงอย่างไรก็ตาม การที่มีปริมาณการใช้งานถ่านอัลคาไลน์จำนวนมากในปัจจุบันก็ยังก่อให้เกิดปัญหาเรื่องขยะพิษไปทั่วโลกอยู่ดี ยกตัวอย่างเช่น เฉพาะใน

ประเทศอเมริกามีการทิ้งถ่านอัลคาไลน์จำนวนถึง 2 พันล้านก้อนต่อปี ข้อเสียที่สำคัญของถ่านอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้งนี้ก็คือจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างมากในสภาพอากาศที่หนาวเย็น

3) ถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จ (Rechargeable alkaline)

ถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จเริ่มมีใช้เมื่อ ค.ศ. 1993 ให้พลังงาน 1.5 โวลต์เท่ากับถ่านอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้ง แต่เมื่อมีการชาร์จใหม่เรื่อยๆ ประสิทธิภาพของถ่านจะลดลงตามจำนวนการชาร์จในแต่ละครั้ง ถึงแม้จะมีการดูแลรักษาและชาร์จอย่างถูกต้องก็ตาม เมื่อชาร์จไปประมาณสิบครั้งประสิทธิภาพจะลดลงเหลือประมาณ 60% และเมื่อชาร์จไปสามสิบครั้งประสิทธิภาพจะลดลงเหลือเพียง 40% และลดลงไปเรื่อยๆ ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จกับถ่านนิแคดจึงเห็นได้ชัดว่าถ่านนิแคดมีอายุการใช้



รูปที่ 53 ถ่านลิเทียม

งานนานกว่ากันมาก นอกจากนี้ เพื่อให้ถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จมีอายุการใช้งานยาวนานที่สุด เราควรจะต้องรีชาร์จถ่านอย่างสม่ำเสมอและอย่าปล่อยให้แบตเตอรี่หมดเกลี้ยง และจำเป็นจะต้องใช้เครื่องชาร์จเฉพาะด้วย

บริษัทเยอรมนีบริษัทหนึ่งได้ผลิตถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จยี่ห้อ Accucell ขึ้น โดยความสามารถมากขึ้น ซึ่งมีข้อดีที่สำคัญกว่าถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จสมัยก่อนคือสามารถรีชาร์จได้นับร้อยครั้งโดยที่ประสิทธิภาพไม่ตกลงไปมากนัก ทำให้มีคนหันมาให้ความสนใจและเป็นที่นิยมมากขึ้น

4) ถ่านลิเทียม (Lithium cells)

ได้มีการเริ่มใช้ถ่านลิเทียมครั้งแรกกับไฟฉายติดศีรษะที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรม ซึ่งในขณะนั้นมีราคาแพงมากถึง 20 เหรียญสหรัฐ แต่มีอายุการใช้งานยาวนานมากและยังสามารถใช้งานในสภาพอากาศที่หนาวเย็นมากๆ ได้อีกด้วย แต่เนื่องจากมันมีสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบ จึงถูกห้ามนำขึ้นเครื่องบินไม่ว่าจะติดตัวขึ้นไปหรือใส่ในกระเป๋าเดินทางที่โหลดไว้ใต้เครื่อง ดังนั้น บริษัทผู้ผลิตจึงได้พัฒนาถ่านลิเทียมประเภทนี้ออกมากลายเป็นลิเทียมไดออกไซด์คลอไรด์ซึ่งใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานต่ำ เช่น หลอด LED (Light-emitting diode) สามารถนำขึ้นเครื่องบินได้ มีการผลิตออกมาในขนาด AA และยังมีราคาที่ถูกลงอีกด้วย (ประมาณ 9 – 11 เหรียญสหรัฐ) เมื่อเทียบกับว่าถ่านก้อนหนึ่งสามารถใช้ได้นานหลายเดือน

เมื่อเร็วๆ นี้ บริษัทเอเวอร์เรต อีเนอร์จีเซอร์ ได้ผลิตถ่านไฟฉายแบบลิเทียมไอรอนไดซัลไฟด์ (Lithium-iron disulfide) ในขนาด 1.5 โวลต์ AA ออกมาสำหรับใช้กับกล้องถ่ายรูปแบบอัดโนมิตี ข้อดีของถ่านชนิดนี้คือมีน้ำหนักเบากว่าถ่านอัลคาไลน์ถึง 60% และสามารถเก็บเอาไว้ได้นานถึงสิบปี แต่อย่างไรก็ดี ผู้เชี่ยวชาญได้กล่าวว่าถ่านลิเทียมแบบนี้เมื่อเกิดปฏิกิริยาทางเคมีภายในแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของตัวถ่านลดลงเมื่อใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำ เช่น ไฟฉาย นอกจากนี้ ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ ในการผลิตถ่านลิเทียมแบบนี้จำเป็นต้องใช้พลังงานในการผลิตถ่านหนึ่งก้อนมากกว่าที่ตัวถ่านไฟฉายเองสามารถจะให้พลังงานได้ โดยใช้พลังงานในการผลิตมากกว่าถึง 50 เท่า ซึ่งความจริงที่น่าเศร้าอีกอย่างก็คือถ่านแบบนี้ไม่สามารถจะรีชาร์จใหม่ได้ด้วย

5) ถ่านนิกเกิลแคดเมียมหรือนิแคด (Nickel-cadmium cells, Nicads)

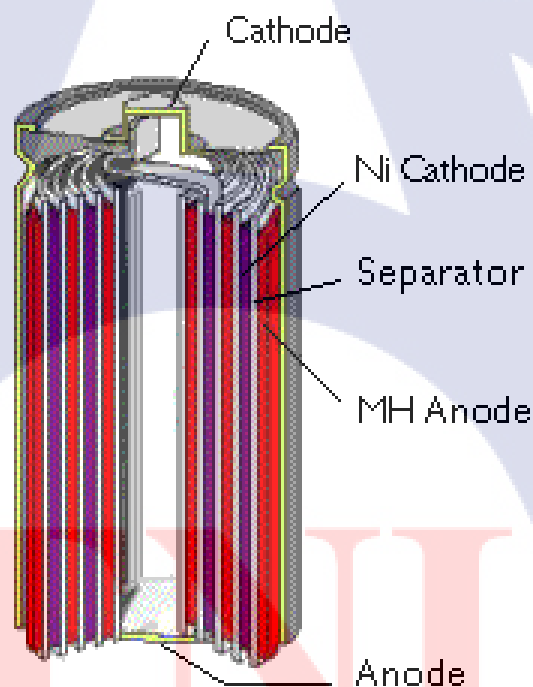
ถ่านนิแคดเป็นถ่านที่สามารถรีชาร์จได้ เริ่มมีใช้ครั้งแรกในช่วงทศวรรษ 1950 และสามารถจะรีชาร์จใหม่ได้นับร้อยครั้ง แต่ในสมัยนั้น นักเดินป่าส่วนใหญ่จะไม่นิยมใช้ถ่านนิแคดเนื่องจากปัญหาสำคัญเกี่ยวกับการชาร์จแบตเตอรี่ นั่นคือเราจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ให้หมดเกลี้ยงก่อนถึงจะชาร์จใหม่ได้ มิฉะนั้นจะทำให้เกิดเมมรี่เอฟเฟกต์ (Memory Effect) ซึ่งหมายถึงการชาร์จแบตเตอรี่ได้เพียงบางส่วน ไม่สามารถชาร์จได้เต็มที่ ซึ่งเกิดจากการชาร์จแบตเตอรี่ในขณะที่แบตเตอรี่เดิมยังไม่หมดดี ทำให้การชาร์จครั้งต่อไปจะใช้เวลาสั้นลงเนื่องจากแบตเตอรี่จะเก็บความจำในการชาร์จที่สั้นที่สุดเอาไว้ และทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดน้อยลง หรือหากเราชาร์จทิ้งเอาไว้นานเกินไปก็จะทำให้แบตเตอรี่ร้อนมาก

และเสียหายได้อีกเช่นกัน ถ่านนิแคดยังให้พลังงานเพียง 1.2 โวลต์ซึ่งน้อยกว่าถ่านอัลคาไลน์ที่ให้พลังงาน 1.5 โวลต์อีกด้วย และนอกจากนี้สารแคดเมียมยังเป็นสารพิษที่อันตรายมากอีกด้วย

อย่างไรก็ดี ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาถ่านนิแคดให้มีคุณภาพดีขึ้นมาก สามารถรีชาร์จได้ง่ายขึ้น และยังมีองค์กรหรือสมาคม (ในต่างประเทศ) ที่คอยรับเก็บถ่านนิแคดที่ใช้แล้วเพื่อเอาไปรีไซเคิลและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งไม่ทำให้เกิดปัญหากับสภาพแวดล้อมอีกด้วย

6) ถ่านนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Nickel-metal hydride, NiMH)

ถ่าน NiMH นี้มีประสิทธิภาพอยู่ตรงกลางระหว่างถ่านนิแคดและถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จ ถ่าน NiMH ให้พลังงาน 1.2 โวลต์เหมือนถ่านนิแคดและสามารถชาร์จใหม่ได้หลายร้อยครั้งเช่นกัน แต่การชาร์จถ่าน NiMH จะไม่เกิดเมมโมรีเอฟเฟกต์เหมือนถ่านนิแคด ถั่วถ่าน NiMH จะสามารถรีชาร์จด้วยตัวเอง



รูปที่ 54 ถ่านนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์

ประมาณ 1-4 % ของพลังงานที่เหลืออยู่ทุกวัน แต่เราไม่สามารถเก็บถ่าน NiMH เอาไว้นานเท่ากับถ่านอื่นๆ

การดูแลรักษาแบตเตอรี่

1. เก็บรักษาในที่อุณหภูมิไม่สูงเกินไป ไม่ควรนำไปตากแดด
2. หลีกเลี่ยงการเก็บในที่เปียกชื้น
3. ควรทำการชาร์ตไฟตามระยะที่บอกไว้ในคู่มือใช้งาน เช่น การใช้งานครั้งแรกควรชาร์ตไฟไว้นาน 10 ชั่วโมงหรือมากกว่าเป็นต้น
4. ชั่วโหมงหรือมากกว่าเป็นต้น
5. ไม่ควรนำแบตเตอรี่เก็บไว้ในตัวอุปกรณ์ หากยังไม่ได้ใช้งาน

2.1.2.2 แบตเตอรี่ทุติยภูมิ

เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วสามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ แบตเตอรี่มือถือ และถ่านรุ่นใหม่ๆ เป็นต้น แบตเตอรี่ชนิดอัดกระแสไฟใหม่ได้หรือ เซลล์ทุติยภูมิ สามารถอัดกระแสไฟใหม่ได้หลังจากไฟหมดเนื่องจากสารเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้โดยการอัดกระแสไฟเข้าไปใหม่ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้อัดไฟนี้เรียกว่า ชาร์จเจอร์ หรือ รีชาร์จเจอร์ แบตเตอรี่ชนิดอัดกระแสไฟใหม่ได้ที่เก่าแก่ที่สุดซึ่งใช้อยู่จนกระทั่งปัจจุบันคือ "เซลล์เปียก" แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (lead-acid battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้จะบรรจุในภาชนะที่ไม่ได้ปิดผนึก (unsealed container) ซึ่งแบตเตอรี่จะต้องอยู่ในตำแหน่งตั้งตลอดเวลาและต้องเป็นพื้นที่ที่ระบายอากาศได้เป็นอย่างดี เพื่อระบายก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาและแบตเตอรี่ชนิดจะมีน้ำหนักมากรูปแบบสามัญของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือ แบตเตอรี่รถยนต์ ซึ่งสามารถจะให้กระแสไฟฟ้าได้ถึงประมาณ 10,000 วัตต์ในช่วงเวลาสั้นๆ และมีกระแสตั้งแต่ 450 ถึง 1100 แอมแปร์ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่คือ กรดซัลฟิวริกซึ่งสามารถเป็นอันตรายต่อผิวหนังและตาได้ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่มีราคาแพงมากเรียกว่า แบตเตอรี่เจล (หรือ "เจลเซลล์") ภายในจะบรรจุอิเล็กโทรไลต์ประเภทเคมี-โซลิด (semi-solid electrolyte) ที่ป้องกันการหกได้ดี และแบตเตอรี่ชนิดอัดไฟใหม่ได้ที่เคลื่อนย้ายได้สะดวกกว่าคือประเภท "เซลล์แห้ง" ที่นิยมใช้กันใน โทรศัพท์มือถือ และแล็ปท็อป (Notebook) ปัจจุบันนิยมใช้งาน ทั้งแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งส่วนใหญ่มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบ ที่มีคราบเป็นพิษ และผลเสียต่อสภาพแวดล้อม แบตเตอรี่ที่เข้ามาทดแทนแบตเตอรี่ตะกั่ว ในอนาคตสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทได้แก่

- 1) แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม (NiCd) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาแพงกว่าแบตเตอรี่ตะกั่ว แต่สามารถชาร์จประจุได้มากกว่า และอายุการใช้งานยาวนาน

2) แบตเตอรี่ชนิดโซเดียม-ซัลเฟอร์ (NaS) เป็นแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นของพลังงานต่ำ ราคาแพง สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 350°C

3) แบตเตอรี่ชนิดซิงค์-โบรมีน (ZnBr) เป็นแบตเตอรี่ที่ให้แรงดันไฟฟ้าสูง ราคาถูก อายุการใช้งานที่ยาวนาน เหมาะสำหรับใช้กับรถไฟฟ้า แต่มักมีปัญหาจากการรั่วของประจุที่เก็บ และก๊าซโบรมีนเป็นก๊าซที่อันตราย

4) แบตเตอรี่ชนิดวานาเดียม-รีดอกซ์ (Vanadium-Redox) แบตเตอรี่แบบนี้สามารถชาร์จประจุได้ทันทีเพียงแค่เปลี่ยนอิเล็กโทรไลต์ มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน อัตราการรั่วของประจุต่ำ มีความหนาแน่นของพลังงานสูง ใช้งานง่าย ราคาถูก ถึงแม้ว่าวานาเดียมจะมีพิษต่อสิ่งมีชีวิต แต่จะปลอดภัยเมื่ออยู่ในภาชนะบรรจุที่ได้มาตรฐาน

แบตเตอรี่ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้กันอย่างกว้างขวางทั้งในวงการอุตสาหกรรมและในชีวิตประจำวัน ที่เห็นได้ชัดคือถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่ที่ใช้ในรถยนต์รวมทั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงการวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม นอกจากนี้นับตั้งแต่วิทยุรับส่งชนิดมือถือและโทรศัพท์มือถือได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในแวดวงโทรคมนาคม

2.1.2.3 ประเภทของแบตเตอรี่

1) ถ่านไฟฉายทั่วไป ถ่านประเภทนี้เป็นถ่านแบบเก่า ประเภทใช้แล้วทิ้ง ไม่สามารถอัดประจุใหม่ได้ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือแมงกานีสออกไซด์รวมทั้งตัวกลางที่ช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีอื่น ๆ เช่น เกลือแอมโมเนีย ถ่านไฟฉายประเภทนี้นับเป็นอันตรายอย่างหนึ่งซึ่งไม่สามารถทิ้งรวมกับขยะทั่วไปอื่น ๆ ได้

2) ถ่านอัลคาไลน์ ถ่านประเภทนี้ไม่สามารถนำกลับมาอัดไฟใช้อีกแต่จำเป็นต้องทิ้งไปเมื่อเสื่อมหรือหมดอายุ ขนาดที่ใช้โดยทั่วไปมีตั้งแต่ขนาด AAA, AA, A, C, D และ 9 โวลต์ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่นำไปใช้ เช่น ของเด็กเล่น ไฟฉายหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ตามบ้านเรือนโดยทั่วไป ปัจจุบันจึงนิยมนำมาใช้แทนถ่านไฟฉายแบบเก่ามากขึ้น

3) ถ่านกระดุม ถ่านประเภทนี้มักใช้ทั่วไปกับนาฬิกาข้อมือ เครื่องคิดเลข เครื่องช่วยฟัง กล้องถ่ายรูปและเครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กอื่น ๆ ส่วนประกอบที่สำคัญของถ่านประเภทนี้คือ โปรทซิลเวอร์ ออกไซด์ แคดเมียม หรือลิเทียม การจำแนกชนิดจึงมักเรียกตามเซลล์ที่เป็นส่วนประกอบซึ่งดูได้จากหีบห่อ

ที่บรรจุ เช่น ชนิดปรอท/สังกะสี ชนิดคาร์บอน/สังกะสี ชนิดซิลเวอร์ออกไซด์ และสังกะสี/อากาศ เป็นต้น ถ่านประเภทนี้เมื่อหมดอายุต้องแยกทิ้งหรือรวบรวมขายคืนให้กับบริษัทผู้ผลิต โดยสามารถดูรายละเอียดได้จากหีบห่อที่บรรจุ

4) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด เป็นแบตเตอรี่ซึ่งใช้ในรถยนต์และรถมอเตอร์ไซด์ โดยมีปริมาณตะกั่วบรรจุไว้ตามกำหนด และมีกรดกำมะถันเป็นตัวช่วยในการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ส่วนใหญ่แบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถนำมาอัดประจุไฟใหม่ได้ แต่เมื่อหมดอายุควรรีบนำกากแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วไปรีไซเคิล

5) แบตเตอรี่ชนิดนิเกิล-แคดเมียม เป็นแบตเตอรี่ที่นำมาอัดไฟใช้ใหม่ได้ซ้ำแล้วซ้ำอีก โดยมากใช้กับวิทยุมือถือ โทรศัพท์มือถือ อุปกรณ์ไฟฟ้า และของเล่นเด็ก ถ่านประเภทนี้จะมีแคดเมียมและนิเกิลเป็นส่วนประกอบที่สำคัญซึ่งถือว่าเป็นวัตถุอันตรายที่ต้องกำจัดหรือทิ้งอย่างถูกวิธี โดยทั่วไปแล้วบริษัทผู้รับซื้อกลับคืนเพื่อนำไปกำจัดให้ถูกต้อง

2.1.2.4 พืชภัยและอันตรายจากแบตเตอรี่

พืชภัยและอันตรายจากแบตเตอรี่มาจากสารที่ใช้ในการทำแบตเตอรี่ที่สำคัญคือสารตะกั่ว สารแมงกานีส สารแคดเมียม สารนิเกิล สารปรอท และสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น กรดซัลฟูริก เป็นต้น สารพิษต่าง ๆ เหล่านี้หากไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกวิธีโอกาสที่จะเกิดการปนเปื้อนต่อแหล่งน้ำ ผิวดิน พืชดิน และบรรยากาศแล้วแพร่ไปสู่คน พืช และสัตว์ก็มีสูง ลักษณะของผลกระทบที่เกิดขึ้นมีดังนี้

1) ทำให้เกิดการเจ็บป่วยอย่างเฉียบพลัน หรืออย่างเรื้อรัง สืบเนื่องมาจากการสัมผัสกับสารพิษหรือกากแบตเตอรี่ใช้แล้วที่มีสารพิษเป็นส่วนประกอบอยู่ ซึ่งมักพบในคนงานที่ประกอบกิจการในโรงงานทำไฟฉายและแบตเตอรี่ หรือคนงานเก็บขยะมูลฝอยและชาวบ้านที่มาขุดคุ้ยขยะ โดยสารพิษเหล่านี้สามารถเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจเอาฝุ่นและไอระเหยเข้าไปและโดยการกินอาหารที่มีสารดังกล่าวปนเปื้อน นอกจากนี้ยังคงดูดซึมผ่านทางผิวหนังได้อีกด้วย

2) ทำให้เกิดการปนเปื้อนต่อดิน น้ำใต้ดิน และแหล่งน้ำผิวดินใกล้เคียงที่ใช้เป็นแหล่งน้ำอุปโภคบริโภคในครัวเรือน ส่วนใหญ่มาจากการทิ้งแบตเตอรี่ที่เหลือใช้แล้ว ทำให้สารพิษดังกล่าวปนเปื้อนลง ในดินน้ำก็จะชะสารพิษที่ปนเปื้อนแล้วซึมผ่านชั้นดินและแหล่งน้ำส่งต่อมายังพืช และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ต่อไป

3) ทำให้เกิดภาวะมลพิษทางอากาศจากการแพร่กระจายของไอสารเคมี หรือฝุ่นละอองจากการเผาขยะมูลฝอยที่มีกากแบตเตอรี่ทั้งปะปนอยู่ มลพิษทางอากาศอาจถูกสูดหายใจเข้าสู่ร่างกาย โดยเฉพาะคนงานที่เก็บขยะมูลฝอย ชาวบ้านที่มาขุดคุ้ยแยกขยะมูลฝอยและประชาชนที่อาศัยอยู่รอบ ๆ สถานที่กำจัดขยะ

2.1.2.5 การป้องกันปัญหามลพิษจากแบตเตอรี่

1) สำหรับประชาชนทั่วไป ไม่ควรนำกากแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้อีกโดยเด็ดขาดไม่ทั้งกากแบตเตอรี่รวมทั้งถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วลงสู่แหล่งน้ำ ท่อระบายน้ำ ฯลฯ ห้ามนำกากแบตเตอรี่รวมทั้งถ่านไฟฉายไปเผาโดยเด็ดขาด หลีกเลี่ยงการสัมผัสกับกากแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วโดยตรงรวมทั้งถ่านไฟฉายที่ใช้แล้วที่แตกร้าว ควรสวมถุงมือป้องกัน

2) สำหรับผู้ประกอบการและคนงาน ควรสวมเครื่องป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เช่น หน้ากาก กรองฝุ่น ถุงมือ ในขณะที่ปฏิบัติงาน คนงาน ควรระมัดระวังในเรื่องสุขอนามัย เช่น ไม่ควรรับประทาน อาหาร ดื่มน้ำ สูบบุหรี่ในบริเวณและขณะทำงานผู้ประกอบการต้องจัดให้มีระบบระบายอากาศและกำจัดมลพิษในบริเวณที่ทำงานจัดให้มีบริการตรวจสุขภาพคนงานเป็นพิเศษโดยเฉพาะการตรวจเลือด และปัสสาวะเพื่อดูปริมาณสารพิษเหล่านั้นห้ามนำกากแบตเตอรี่ที่ใช้แล้วไปทิ้งในที่สาธารณะ ทางโรงงานจะต้องปฏิบัติตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ.2531) เรื่องกำหนดวิธีการเก็บทำลายฤทธิ์ กำจัด ฝัง ทิ้ง เคลื่อนย้าย และการขนส่งปฏิภาณหรือวัสดุที่ไม่ใช่แล้ว เช่น การใช้ปูนขาวทำลายฤทธิ์ และนำไปทิ้งในหลุมที่ปูด้วยวัสดุกันซึม หรือบดอัดด้วยดินเหนียวตามมาตรฐานที่กำหนด

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นเร็นศ ชัยธานีและคณะ (2559) ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงของแบตเตอรี่รถฟอร์มูล่าไฟฟ้า นักศึกษาด้วยวิธีการทางไฟไนท์อิลเมนต์ พบว่า แบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับการแข่งขันรถฟอร์มูล่าไฟฟ้า นักศึกษาเป็นแบตเตอรี่ลิเทียมโพลีเมอร์ (Li-Pro4) มีลักษณะเป็นก้อนทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มม. ยาว 394 มม. น้ำหนัก 3.15 กก. ต่อ 1 ก้อน ใช้ทั้งหมด 32 ก้อน ซึ่งจำเป็นจะต้องทำการประกอบเข้าด้วยกันโดยได้ทำการประกอบแยกกันเป็น 3 ชุด โดย 2 ชุดจะแบ่งเป็นชุดละ 12 ก้อน และอีก 1 ชุด จะ

แบ่งเป็น 8 ก้อน จากกติกาการแข่งขันตัวโครงของแบตเตอรี่ต้องสามารถทนต่อความเร่งในแนวราบได้ไม่น้อยกว่า 40 เท่าของแรงโน้มถ่วง(g) และทนต่อความเร่งในแนวตั้งได้ไม่น้อยกว่า 20 เท่าของแรงโน้มถ่วง(g) อีกทั้งยังต้องการใช้โครงของแบตเตอรี่มีน้ำหนักเบาด้วย จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบ โครงของแบตเตอรี่ให้สามารถทนต่อความเร่งดังกล่าวได้และมีน้ำหนักเบา โครงของแบตเตอรี่ทำมาจากอลูมิเนียมเกรด 5083 ซึ่งมีราคาถูกและมีความแข็งแรงเพียงพอ การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงของแบตเตอรี่นั้นใช้วิธีการทางไฟไนต์อีเลเมนต์มาทำการวิเคราะห์ ซึ่งพบว่าโครงของแบตเตอรี่สามารถทนต่อความเร่งตามแนวนอน 40 g และทนต่อความเร่งในแนวตั้ง 20 g ได้

จิรพงศ์ สุชาติพิทยและคณะ (2559) ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเสื้อเฟืองหล่อความเร็วสำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาด้วยวิธีการทาง พบว่า การออกแบบเสื้อเฟืองหล่อความเร็วของรถไฟฟ้าสำหรับนักศึกษาให้สามารถทนต่อแรงขับเคลื่อนของ มอเตอร์ต้นกำลังที่มีขนาด 50 กิโลวัตต์ แรงบิด 160 นิวตัน*เมตร ใช้การส่งกำลังเป็นแบบโซสเตอร์ที่มีอัตราทดเท่ากับ 3 : 1 โดยที่เสื้อเฟืองหล่อความเร็วนี้ต้องทนต่อแรงกระทำจากภายนอกได้และต้องมือน้ำหนักเบา เสื้อเฟืองหล่อความเร็วทำมาจากเหล็กหล่อเทา ซึ่งมีค่าความแข็งแรงสูง การวิเคราะห์ใช้เทคนิคทางไฟไนต์อีเลเมนต์ ด้วยโปรแกรม ANSYS R16.2 ผลการวิเคราะห์พบว่าเสื้อเฟืองหล่อความเร็วสามารถทนต่อแรงภายนอกได้และมีค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยเท่ากับ 15.8

ไฟไนต์อีเลเมนต์

ชูจิต งามวงศ์ และคณะ (2559) ศึกษา การวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอกม้าสำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาด้วยวิธีการไฟไนต์อีเลเมนต์ พบว่า งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับการออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอกม้า สำหรับรถแข่งฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาโดยโปรแกรม ANSYS R16.2 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้คอกม้าที่มีน้ำหนักเบาและสามารถรับแรงต่าง ๆ ที่มากระทำได้ คอกม้าทำจากอลูมิเนียม เกรด 6061-T651 มีความแข็งแรงสูงและน้ำหนักเบา จากการออกแบบระบบรองรับน้ำหนักและระบบบังคับเลี้ยวทำให้ทราบถึงตำแหน่งจุดยึดของปีกนกบน-ล่าง จุดยึดเบรก และจุดยึดระบบบังคับเลี้ยว จากนั้นทำการออกแบบรูปทรงของคอกม้า แล้วทำการวิเคราะห์ความแข็งแรง ผลจากการวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอกม้าพบว่ามีค่าแฟกเตอร์ความปลอดภัยเท่ากับ 2.5 ซึ่งให้ค่าความแข็งแรงมีเพียงพอผลต่อการใช้งานกับรถแข่งฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

ภาสกร พันธุ์โอภาส และคณะ (2559) ศึกษา การออกแบบระบบระบายความร้อนของมอเตอร์ สำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา พบว่า ระบบระบายความร้อนของมอเตอร์สำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้า นักศึกษาใช้รูปแบบการระบายความร้อนด้วยน้ำ ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบเพื่อหาขนาดของหม้อน้ำที่เหมาะสมต่อการระบายความร้อนของมอเตอร์ โดยมอเตอร์ที่ใช้เป็นชนิดไร้แปรงถ่านมีขนาด 20 กิโลวัตต์ และประสิทธิภาพ 90 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ 10 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือจะกลายเป็นความร้อนที่ต้องระบายออกไป งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคของพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณโดยโปรแกรม ANSYS R16.2 เพื่อวิเคราะห์หาขนาดหม้อน้ำที่เหมาะสมสำหรับการระบายความร้อนเพื่อให้มอเตอร์ทำงานอย่างเต็มประสิทธิภาพ ผลจากการจำลองการทำงาน และการวิเคราะห์พบว่าต้องใช้หม้อน้ำขนาด 400 ตารางเซนติเมตร หลังจากนั้นเลือกขนาดที่เหมาะสมที่มีจากตัวแทนจำหน่าย

จิรพงศ์ สุชาติพิทยและคณะ (2561) ศึกษาเกี่ยวกับ การออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของ คอม่่าอะลูมิเนียมเกรด 7075 สำหรับรถฟอร์มูล่านักศึกษาด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้น ศึกษาการออกแบบคอม่่า แล้ววิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อศึกษาความแข็งแรงของคอม่่า ที่ได้ออกแบบ เพื่อจะนำคอม่่าไปใช้ในรถฟอร์มูล่านักศึกษาสำหรับเข้าร่วมแข่งขันรถฟอร์มูล่านักศึกษา ซึ่งจากการศึกษาพบว่าความแข็งแรงคอม่่าโดยใช้วัสดุอะลูมิเนียม เกรด 7075 คอม่่ามีค่าความเค้นสูงสุด เท่ากับ 203.32 MPa ค่าความปลอดภัยจะมีค่าเท่ากับ 2.4755 และการเสียรูปสูงสุด 0.66156 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบความเค้นสูงสุดจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับค่าจากตาราง คุณสมบัติของวัสดุ พบว่าความเค้นสูงสุดจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าน้อยกว่าค่าจาก ตารางคุณสมบัติของวัสดุ

วิศิษฐ์ สองเมือง และคณะ (2561) ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับรถฟอร์มูล่า ไฟฟ้านักศึกษา พบว่าในการออกแบบระบบไฟฟ้าของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา ซึ่งใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด กำลัง 20 กิโลวัตต์ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนแรงดันไฟฟ้า 102.4 โวลต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด 60 แอมป์ ระบบระบายความร้อนแรงดันน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หม้อน้ำขนาด 400 ตารางเซนติเมตร ระบบ ความปลอดภัยจะเป็นการใช้ไฟฟ้าแรงดันต่ำเพื่อไปควบคุมไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งประกอบด้วยสวิตช์ควบคุม หลัก ระบบสวิตช์ฉุกเฉิน สวิตช์ควบคุมไฟฟ้าแรงดันสูง วงจรป้องกันไฟฟ้ารั่วลงโครงสร้างรถและวงจร ป้องกันเบรคแตก ในการออกแบบระบบควบคุมประกอบไปด้วยคันเร่งไฟฟ้าจะมีเซนเซอร์ 2 ตัว เพื่อ

ป้องกันกรณีที่คันเร่งตัวใดเกิดเสียหรือค้างคันเร่งอีกตัวจะยังสามารถทำงานได้ สวิตช์ควบคุมเดินหน้าหรือถอยหลัง และสวิตช์ควบคุมระบบระบายความร้อนที่ทำหน้าระบายความร้อนหม้อเตอร์และคอนโวลเลอร์

นเร็นศ ชัยธานีและคณะ (2561) ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบชิ้นส่วนในระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่านักศึกษา พบว่า การออกแบบชิ้นส่วนในระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่านักศึกษาในส่วนของขาประคองเฟืองท้ายและอะแดปเตอร์สเตอร์ แรงบิดที่ล้อสูงสุดเท่ากับ 23.14 นิวตัน-เมตร โดยคิดค่าความปลอดภัย 3 เท่าตัวของแรงบิดที่ล้อจะมีค่าเท่ากับ 69.42 นิวตัน-เมตร แรงเสียดทานที่เกิดระหว่างพื้นถนนกับยางสลิคและแรงที่เกิดขึ้นกับอะแดปเตอร์สเตอร์ ค่าเท่ากับ 2,121.44 นิวตัน วิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์แบบขาประคองเฟืองท้ายและอะแดปเตอร์สเตอร์โดยใช้วัสดุเป็นอลูมิเนียม 7075 ค่า Von Mises Stress ที่ได้สูงสุดมีค่าเพียง 12.0 เมกกะปาสคาล และผลจากการสร้างแบบจำลองของอะแดปเตอร์สเตอร์ ได้ค่า Von Mises Stress ที่ได้สูงสุดมีค่า 11.4 เมกกะปาสคาล ซึ่งทั้งสองค่าแสดงให้เห็นว่าแรงที่กระทำกับชิ้นงานยังไม่ทำให้เกิดความเสียหายหรือทำให้อลูมิเนียม 7075 ซึ่งมีค่า Yield strength มากถึง 95 เมกกะปาสคาล เสียรูปได้ ส่วนการพิจารณาในเรื่องการเสียรูป ชิ้นงานขาประคองเฟืองท้ายมีการเปลี่ยนแปลงเพียง 0.075 มิลลิเมตร และชิ้นงานอะแดปเตอร์สเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงเพียง 0.0123 มิลลิเมตร จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าชิ้นงานสามารถส่งถ่ายกำลังจากเครื่องยนต์สู่ล้อได้โดยไม่เกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นงาน

S. Laptawee et al (2018) ศึกษาการออกแบบระบบป้องกันไฟกระชากของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา พบว่า ตัวควบคุมมอเตอร์ในรถยนต์ไฟฟ้ามักจะมี ความจุภายในมีความต้านทานอนุกรมเทียบเท่าต่ำมาก (ESR) เป็นผลให้เมื่อเริ่มต้นการเชื่อมต่อแบตเตอรี่กับตัวควบคุมมอเตอร์มีกระแสไฟไหลเข้า (สามารถเข้าถึงมากกว่า 1,000A) ตามด้วยแรงดันไฟกระชากเนื่องจากแบตเตอรี่และตัวเหนี่ยวนำสายเคเบิล ทั้งกระแสไฟกระชากและแรงดันไฟฟ้าอาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น: ความเสียหายของตัวควบคุมมอเตอร์หรือโหลดตัวเก็บประจุตัวอื่นตัวเก็บประจุแพ็คตัวเองซึ่งไม่ได้รับการจัดอันดับสำหรับกระแสไฟไหลเข้าพัลส์หลักก่อนที่ยานพาหนะ กรณีที่พบบ่อยที่สุดการเชื่อมการติดต่อของคอนแทคซึ่งไม่สามารถกำหนดได้โดยเพียงแค่มอง วงจรชาร์จประจุไฟล่งหน้าจะช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้โดยไม่ จำกัด กระแสการทำงานของระบบทางเดินหายใจ ระบบจัดการแบตเตอรี่ มีชาร์จประจุไฟล่งหน้าอยู่ในตัว เมื่อรถยนต์ขับเคลื่อนในตอนแรก วงจรประจุไฟล่งหน้าจะเปิดใช้งานรีเลย์ก่อนประจุ จากนั้น

หลังจากประมาณ 1-2 วินาที จะช่วยใช้ป้องกันการกระชากของกระแสไฟฟ้าและกระแสสามารถผ่านทาง ด้านทานที่น้อยลงได้

Prajwal, C.P. et al (2013) ศึกษา อัลกอริทึมอย่างง่ายที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของอัตราทดเกียร์ สุดท้ายในไฟฟ้า พบว่า ความต้องการของรถแข่งมีความแตกต่างจากรถธรรมดา รถแข่งจะต้องมีอัตราเร่งที่สูงมากและความเร็วสูงสุดมากขึ้นกว่ารถยนต์ทั่วไป นอกจากนี้การออกแบบของอัตราทดเกียร์ที่แน่นอนขนส่งผลไฮบริดเป็นผู้ที่ทำให้การใช้งานมากกว่าหนึ่งแหล่งที่มาของพลังงาน ในบทความนี้เราจะพิจารณาระบบไฮบริดซึ่งประกอบด้วยเครื่องยนต์ IC และมอเตอร์ไฟฟ้าอัตราทดเกียร์ที่ดีที่สุดได้รับการออกแบบเพื่อให้รถสูตรทำงานเป็นรถยนต์ไฟฟ้า การออกแบบที่จะขยายไปยังรวมถึงเครื่องยนต์ IC และระบบไฮบริดแบบคู่ขนานจำลองเพื่อทดสอบลักษณะการทำงานของยานพาหนะการออกแบบที่สมบูรณ์ของอัตราทดเกียร์จะขึ้นอยู่กับกฎพื้นฐานของฟิสิกส์และด้วยเหตุนี้ความเรียบง่ายเป็นที่หลักของการออกแบบ

Berry, W.B. et al (1994) ศึกษาการแข่งขันและการพัฒนาทางวิศวกรรมของรถยนต์ไฟฟ้าระหว่างอุตสาหกรรมและมหาวิทยาลัยงาน วิจัยนี้จะทบทวนความก้าวหน้าการเริ่มต้นของแนวคิดการพัฒนาเพื่อส่งเสริมการพัฒนาของรถยนต์ไฟฟ้าแนวคิดคือการมีทีมงานที่มหาวิทยาลัยเตรียมความพร้อมระบบขับเคลื่อนไฟฟ้าสำหรับรถแข่ง formula และการแข่งขันรถยนต์เหล่านี้ที่แข่งเหตุการณ์ปกติกระตือรือร้นคิดเห็นในการพัฒนาโปรแกรมการเตรียมความพร้อมของยานพาหนะนั้นหนึ่งและเป็นผลการดำเนินงานเริ่มต้น

Adcock, P. et al (1993) ศึกษา การคาดการณ์ผลการดำเนินงานสำหรับที่นั่งเดียวจูนีเยอร์ฟอร์มูล่ารถแข่งไฟฟ้า พบว่า วิธีการจัดตั้งช่วงที่ใช้ได้สำหรับประสิทธิภาพสูงรถแข่งไฟฟ้าเมื่อมันอยู่ในขั้นตอนการออกแบบเป็นปัจจัยสำคัญในการตัดสินใจการกำหนดค่ายานพาหนะพื้นฐานเช่นแบตเตอรี่ชนิดมวลแบตเตอรี่รถยนต์ลักษณะอากาศพลศาสตร์ลากมวลมอเตอร์ ขนาดอื่น ๆ เพื่อผลการคำนวณช่วงมีเหตุผล , จำลองควรเท่าที่เป็นไปได้ใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะวงจรที่เกิดขึ้นจริง มันจึงเป็นที่พึงปรารถนาที่จำลองวงจรควรจะสะท้อนถึงการใช้งานที่คาดการณ์ไว้สำหรับรถแข่งไฟฟ้า ข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ดังนั้นสำหรับ formula Junior

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

ในการศึกษารถฟอร์มูล่าไฟฟ้า ได้ศึกษาและออกแบบรถฟอร์มูล่าไฟฟ้าโดยใช้โครงสร้างรถเดิม จากรถฟอร์มูล่าขับเคลื่อนโดยเครื่องยนต์แล้วทำการดัดแปลงโครงเพื่อใส่แบตเตอรี่ และใช้มอเตอร์แบบ ติดล้อ(Inwheel Motor) แต่เกิดปัญหาเกี่ยวกับการรับน้ำหนักที่ต่างกันในแต่ละล้อ ส่งผลให้การรับภาระ ของระบบวงจรควบคุมมอเตอร์ของแต่ละล้อที่ต่างกัน ทำให้เกิดความเสียหายกับระบบควบคุมมอเตอร์ จึงได้มีการนำปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อ ปีที่แล้วมาปรับปรุงแก้ไข โดยการออกแบบโครงสร้างใหม่ ระบบการ ขับเคลื่อนใหม่โดยใช้มอเตอร์ตัวเดียวและออกแบบระบบเกียร์ทด มีการออกแบบการระบายความร้อน ให้กับมอเตอร์และระบบควบคุม และออกแบบชุดบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่ใหม่โดยแบ่งเป็น 3 ชุด เพื่อ กระจายน้ำหนักและสร้างความสมดุลให้กับตัวรถ

3.1 ขั้นตอนและวิธีการศึกษาวิจัย

3.1.1 การออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

ในออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาซึ่งเป็นระบบขับเคลื่อนที่ล้อ หลัง ทำหน้าที่ถ่ายทอดกำลังจากเครื่องยนต์ผ่านชุดคลัชชุดเกียร์ โซ่กำลัง เฟืองโซ่ เพลาขับไปยังล้อ จึงถือเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้รถวิ่งได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ในการแข่งขันรถฟอร์มูล่านักศึกษานั้น หนึ่งใน หัวใจสำคัญในการออกแบบคือการออกแบบให้ตัวรถมีน้ำหนักเบาที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะหากตัวรถ มีน้ำหนักเบาก็จะทำให้แรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนก็จะน้อยลงรถก็จะทำอัตราเร่งได้ดี ดังนั้นในการออกแบบ ชิ้นส่วนต่าง ๆ นอกจากจะต้องสามารถรับแรงที่มากกระทำได้แล้วยังต้องคำนึงถึงน้ำหนักของชิ้นส่วนนั้น ๆ อีกด้วย ซึ่งการออกแบบและการวิเคราะห์ความแข็งแรงของอะแดปเตอร์ซึ่งเป็นหนึ่งในชิ้นส่วนของ ระบบส่งกำลังของรถ ติดตั้งอยู่ระหว่างสเตอร์กับชุดเฟืองท้าย โดยมีเป้าหมายให้อะแดปเตอร์สามารถรับ แรงที่มากกระทำและมีน้ำหนักเบา โดยใช้โปรแกรม CATIA ในการออกแบบรูปทรงของชิ้นส่วน หลังจาก นั้นก็นำชิ้นส่วนที่ออกแบบแล้วไปทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหา ค่าความเค้น (Stress), การเสียรูป (Deformation) ที่เกิดจะขึ้นกับอะแดปเตอร์ ในโปรแกรม Ansys เพื่อ

ป้องกันการเกิดความเสียหายที่เกิดขึ้นและสามารถนำไปสร้างชิ้นงานจริงเพื่อใช้ในรถฟอร์มูล่านักศึกษาได้

3.1.2 การออกแบบชิ้นส่วนช่วงล่างของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

ในออกแบบชิ้นส่วนช่วงล่างของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา เป็นการศึกษาการออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอม้า จะเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบคอม้าสำหรับรถฟอร์มูล่านักศึกษาและการวิเคราะห์คอม้าสำหรับรถฟอร์มูล่านักศึกษาด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์

3.1.2.1 ศึกษาช่วงล่างของรถฟอร์มูล่านักศึกษา ในการศึกษาาระบบช่วงล่างของรถฟอร์มูล่านักศึกษา เพื่อหาตำแหน่งและจุดยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ ในระบบช่วงล่างกับชิ้นงานที่จะทำการออกแบบ

3.1.2.2 ออกแบบคอม้าสำหรับรถฟอร์มูล่านักศึกษา นำผลการศึกษาาระบบช่วงล่างของรถฟอร์มูล่านักศึกษา เพื่อออกแบบตำแหน่งการยึดต่าง ๆ ของคอม้ากับระบบช่วงล่าง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการออกแบบชิ้นส่วนคอม้าสำหรับวัสดุอะลูมิเนียม เกรด 7075

3.1.2.3 การวิเคราะห์คอม้าสำหรับรถฟอร์มูล่านักศึกษาด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการศึกษาวิเคราะห์คอม้าสำหรับรถฟอร์มูล่านักศึกษาด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ จะเป็นวิเคราะห์ความแข็งแรงการเสียรูปของคอม้า และการหาค่าความปลอดภัย

3.1.3 การออกแบบระบบความปลอดภัยในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

ในการศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อออกแบบรถไฟฟ้านักศึกษา เพื่อใช้ในการแข่งขันรถฟอร์มูล่านักศึกษาที่ได้มีการจัดการแข่งขันในประเทศไทย โดยจะศึกษาเกี่ยวกับ อุปกรณ์ต่างที่ใช้ในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา ระบบความปลอดภัยออกแบบระบบไฟฟ้าในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาและออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

3.1.3.1 ศึกษาอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ใช้ในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาอุปกรณ์หลักของรถไฟฟ้าประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ หม้อน้ำ ปั๊มน้ำ ไฟฉุกเฉินและหน้าจอมอนิเตอร์ เพื่อนำรายละเอียดจากอุปกรณ์มาวิเคราะห์ออกแบบการติดตั้งระบบไฟฟ้าในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

3.1.3.2 ศึกษาความปลอดภัยในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา ในการศึกษาความปลอดภัยของรถฟอร์มูล่า จะเป็นการศึกษาระบบความปลอดภัยที่มีการกำหนดในกฎกติกาการแข่งขัน

3.1.3.3 ออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาในการออกแบบระบบไฟฟ้าจะมุ่งเน้นออกแบบระบบไฟฟ้าในฟอร์มูล่านักศึกษาให้มีประสิทธิภาพและมีความปลอดภัย

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ในการศึกษาวิจัยในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้าครั้งนี้ ได้มีการสนับสนุนมากมายในทั้งในและนอกสถาบัน

3.2.1 โปรแกรมเขียนและจำลองความแข็งแรงของชิ้นส่วนรถฟอร์มูล่าไฟฟ้า

3.2.2 โปรแกรมจำลองทางไฟฟ้า

3.2.3 เครื่องมือและวัสดุต่าง ๆ ที่ใช้ในสร้างรถฟอร์มูล่านักศึกษา

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3.1 จากการศึกษาภาคทฤษฎีรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับกติกาต่าง ๆ ในการสร้างรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านั้น จึงได้มีการสรุปข้อมูลเกี่ยวกับกติกาเป็นรายด้านและบันทึกข้อมูลเป็นข้อมูลออนไลน์ เพื่อสะดวกในการใช้งาน

3.3.2 รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบส่งกำลังรถฟอร์มูล่าไฟฟ้าและมีประสิทธิภาพสูงสุด

3.3.3 รวบรวมข้อมูลจากการทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของแบตเตอรี่เมื่อถูกใช้งาน

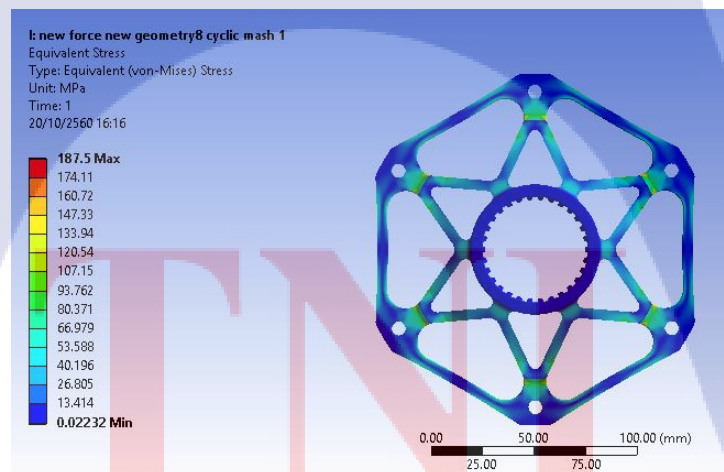
3.3.4 บันทึกผลการทดสอบรถเพื่อบันทึกเป็นสถิติในการทำความเร็วในการขับเคลื่อนในรูปแบบต่าง ๆ

บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาเกี่ยวกับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา จากแนวทางของทีม จึงเริ่มประชุมวางแผนการทำงานโดยเริ่มจากวางแผนความคิดของรถว่าจะไปทิศทางไหน โดยทางทีมเริ่มต้นจากการนำรถที่เข้าแข่งขันในปีที่ผ่านมาของรถที่เป็นเครื่องยนต์มาแก้ไขใส่มอเตอร์โดยการเริ่มออกแบบจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยมีการออกแบบบนพื้นฐานกฎกติกาที่กำหนดโดยมาตรฐาน SAE ตามกติกาสากลที่ใช้ในการแข่งขันทั่วโลกโดยทางทีมวิจัยได้ดำเนินงานตามแผนงานที่กำหนดโดยแบ่งกลุ่มการทำงานในระบบต่างๆ โดยเริ่มจากการนำรถคันเก่ามีวิเคราะห้และเริ่มออกแบบตามหลักวิศวกรรมโดยมีการร่วมมือจากคณาจารย์และนักศึกษา

4.1 การออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

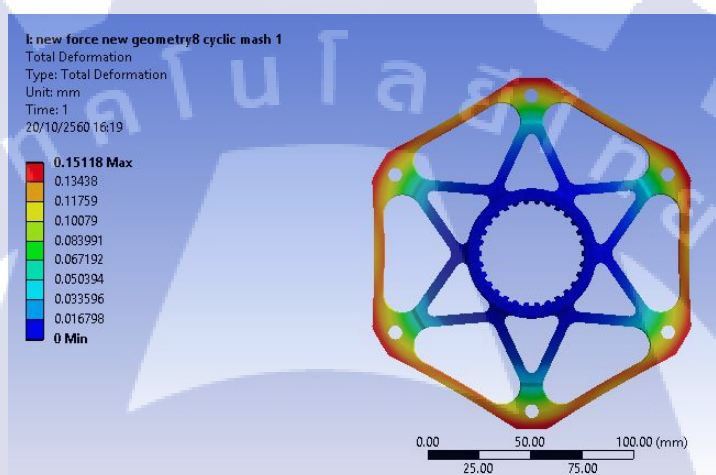


รูปที่ 55 ผลของ equivalent (van-mises) stress จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

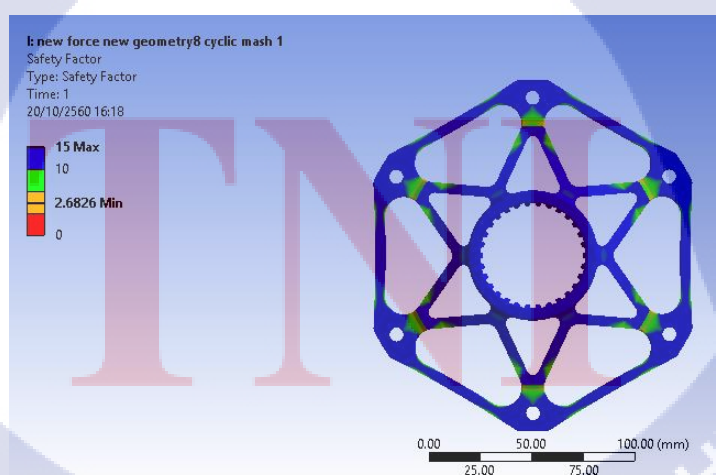
จากการวิเคราะห์ความเสียหายด้วยโปรแกรมพบว่าค่าความเค้นและค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นกับอะแดปเตอร์เนื่องจากแรงบิดที่เกิดจากแรงปฏิกิริยาที่ล้อ ผลก็คือ ค่า Equivalent (von-

Mises) Stress สูงสุดเท่ากับ 187.5 MPa และค่า Total Deformation สูงสุด 0.151 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 55 และรูปที่ 56 เมื่อนำค่าความเค้นสูงสุดมาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นดิ่งที่วัสดุสามารถรับได้

พบว่าค่าความเค้นดิ่งสูงสุดยังมีค่ามากกว่าค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้น ทำให้รู้ว่าอะแดปเตอร์สเตอร์ที่ออกแบบนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริงและมีค่าปัจจัยความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 2.68 ที่ได้จากโปรแกรมดังรูปที่ 57



รูปที่ 56 ผลของ Total deformation จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

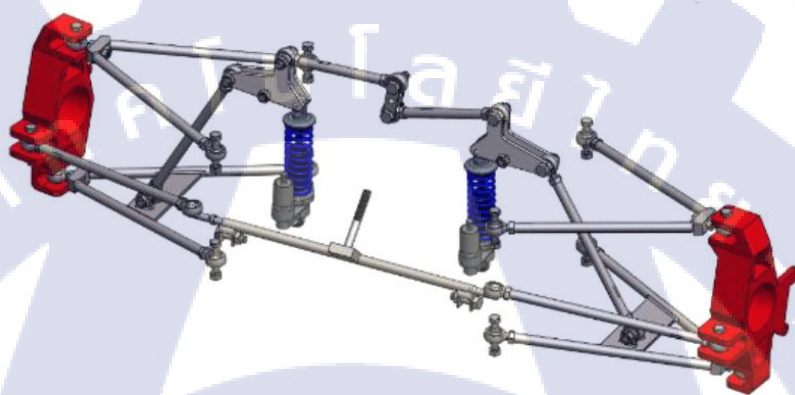


รูปที่ 57 ค่า safety factor จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

4.2 การออกแบบชิ้นส่วนช่วงล่างของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

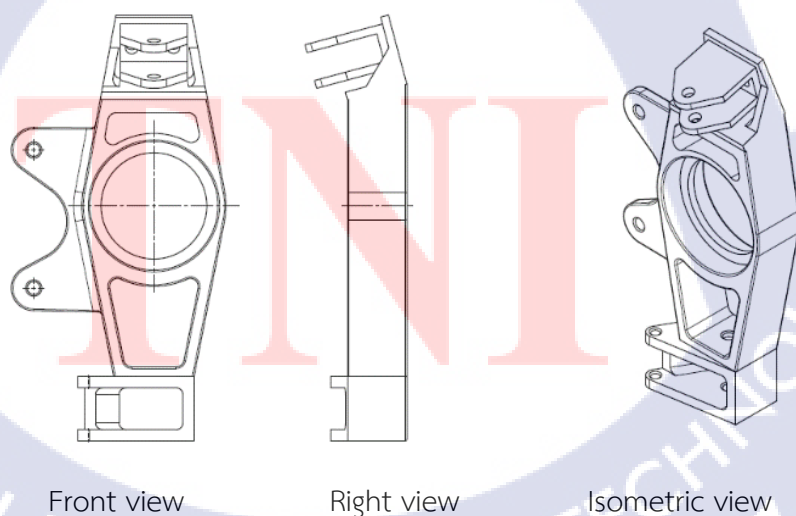
4.2.1 ผลการศึกษาตำแหน่งในการยึดคอกม้ากับช่วงล่าง

จากการศึกษาพบว่าตำแหน่งการยึดประกอบไปด้วย จุดยึดกลางล้อโดยผ่านลูกป็นดังรูปที่ 58 ซึ่งมีหน้าที่ในการยึดคอกม้ากับงานเบรกและล้อ จุดยึดดิสเบรก จุดยึดปั้มเบรก และจุดยึดกับแขนสำหรับปรับมุมโท



รูปที่ 58 แสดงการเชื่อมต่อคอกม้ากับอุปกรณ์อื่นๆ

4.2.2 ผลศึกษาช่วงล่างของรถฟอร์มูล่านักศึกษา



Front view

Right view

Isometric view

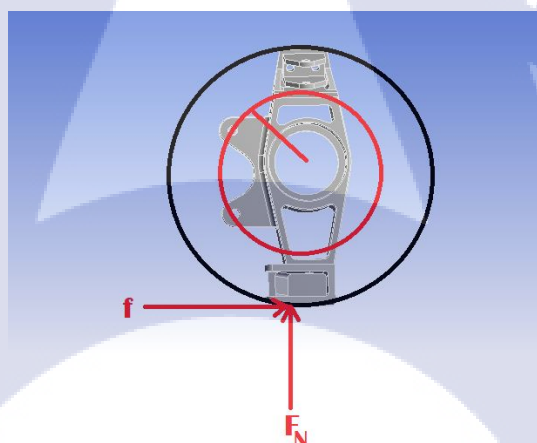
รูปที่ 59 แบบคอกม้า

การออกแบบคอม้า ของจุดต่าง ๆ นั้นอ้างอิงมาจากช่วงล่างที่ได้ทำการออกแบบของรถฟอร์มูล่า นักศึกษาที่จะใช้ในการแข่งขัน ซึ่งคอม้าวัสดุเป็นเหล็ก ตำแหน่งการยึดระหว่างคอม้ากับแขนสำหรับปรับ มุมโท ดังแสดงในรูปที่ 59

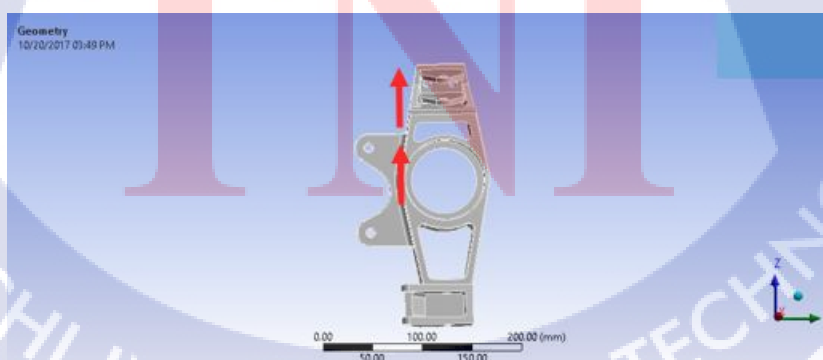
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอม้า

4.2.3.1 แรงกระทำกับคอม้ากรณีการเบรก

ในการคำนวณหาแรงเบรก จากงานวิจัยของ Anshul Dhakar and Rishav Ranjan เมื่อความเร็ว สูงสุด 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รถมีฐานล้อเท่ากับ 1.6 เมตร จุดศูนย์กลาง 0.3 เมตร น้ำหนักรถเท่ากับ 300 กิโลกรัม และใช้ยางสลิคสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน 2.59 จะได้แรงที่กระทำกับคอม้าเท่ากับ $3500\hat{k}$ นิวตัน ดังรูปที่ 60 ซึ่งแรงจะกระทำกับคอม้าในทิศทางแนวแกน Z

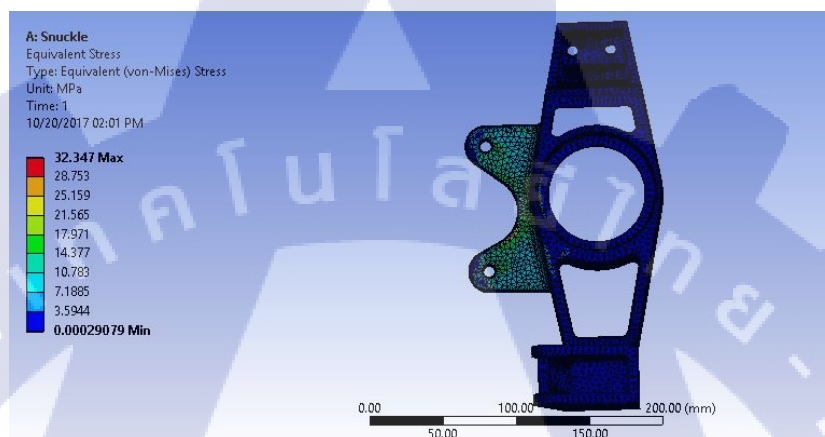


รูปที่ 60 การเกิดแรงจากล้อที่เกิดจากการเบรก



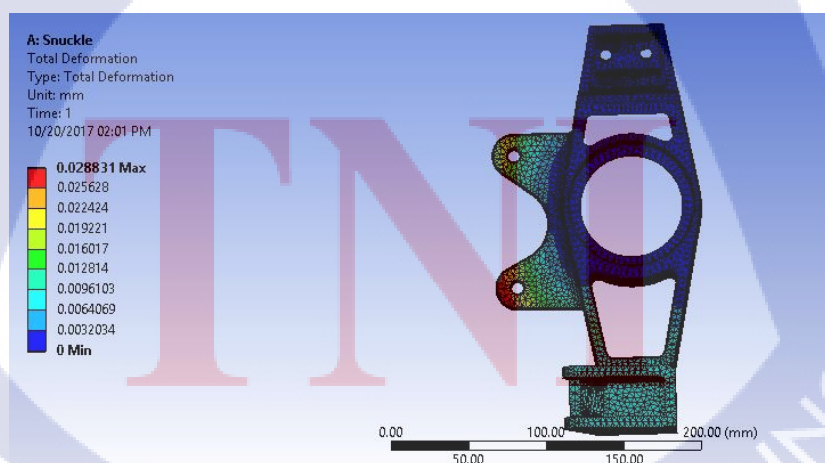
รูปที่ 61 แรงและทิศทางการเกิดแรงจากกรณีการเบรก

4.2.3.2 ผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอกม้าและค่าความปลอดภัยกรณีการเบรก จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะได้ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนคอกม้าจะมีค่าเท่ากับ 32.347 MPa ดังรูปที่ 62 และค่าความปลอดภัยจะมีค่าเท่ากับ 15



รูปที่ 62 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของคอกม้าที่เกิดแรงกรณีการเบรก

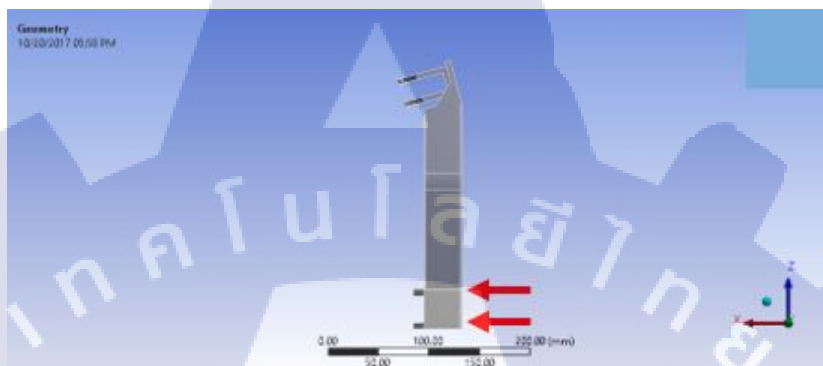
4.2.3.3 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอกม้ากรณีการเบรก จากการวิเคราะห์การเสียรูปของคอกม้าที่เกิดจากแรงเบรกจะมีค่าเท่ากับ 0.028 มิลลิเมตรดังรูปที่ 63



รูปที่ 63 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอกม้ากรณีการเบรก

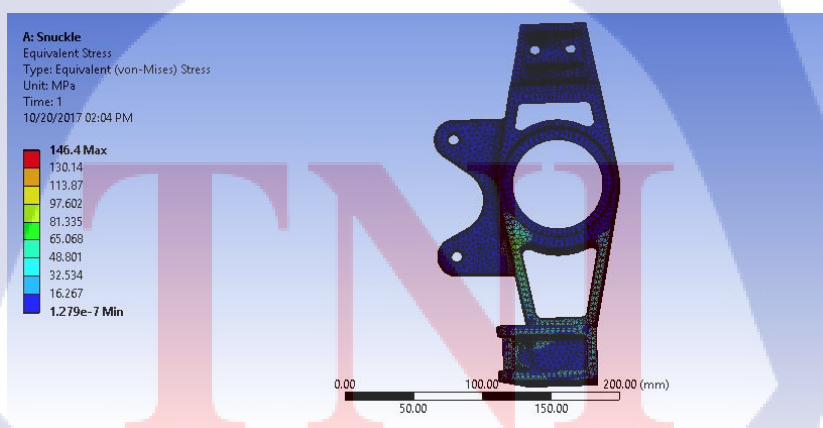
4.2.4 แรงที่กระทำกับคอกม้ากรณีการเข้าโค้ง

ในการคำนวณหาแรงจากกรณีการเข้าโค้ง จากงานวิจัยของ Anshul Dhakar and Rishav Ranjan เมื่อรถมีในการเข้าโค้งเท่ากับ 9.125 เมตร ความเร็วเข้าโค้ง 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะได้แรงที่กระทำกับคอกม้าเท่ากับ 2750 นิวตัน รูปที่ 64 64 ซึ่งแรงจะกระทำกับคอกม้าในทิศทางแนวแกน X



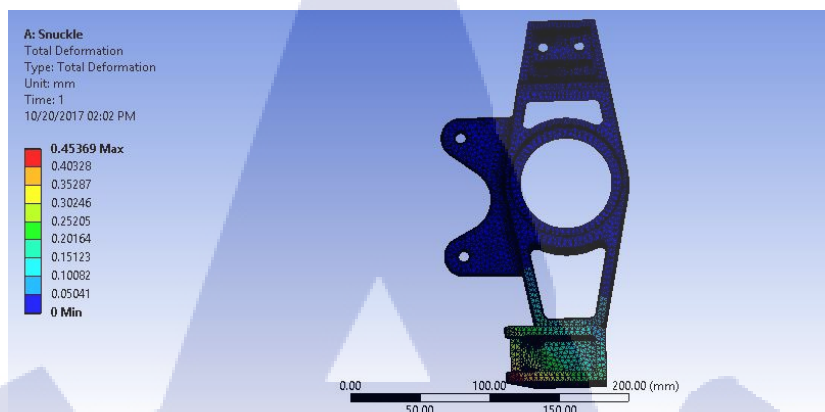
รูปที่ 64 แรงและทิศทางการเกิดแรงจากกรณีการเข้าโค้ง

3.2.4.1 ผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอกม้าและค่าความปลอดภัยจากกรณีการเข้าโค้ง จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะได้ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนคอกม้าจะมีค่าเท่ากับ 146.4 MPa ดังรูปที่ 65 และค่าความปลอดภัยจะมีค่าเท่ากับ 3.4379



รูปที่ 65 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของคอกม้าที่เกิดแรงจากเบรก

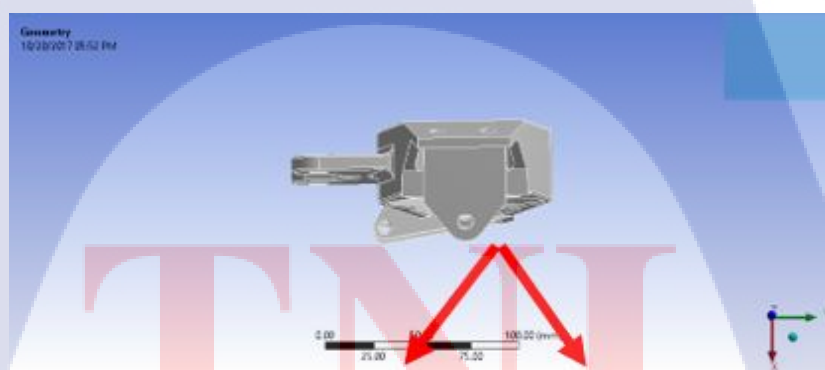
3.2.4.2 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอกม้าจากกรณีการเข้าโค้ง จากการวิเคราะห์การเสียรูปของคอกม้าจะมีค่าเท่ากับ 0.4537 มิลลิเมตรดังรูปที่ 66



รูปที่ 66 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอกม้ากรณีการเข้าโค้ง

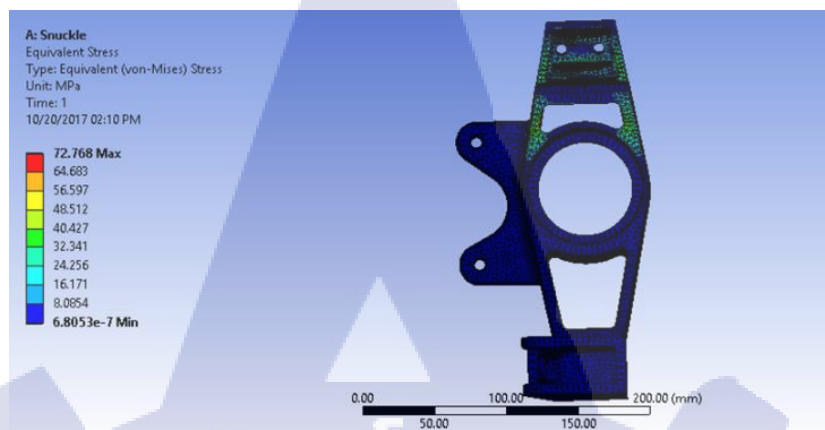
4.2.5 แรงที่กระทำกับคอกม้าในส่วนบน

ในการคำนวณหาแรงที่กระทำกับคอกม้าในส่วนบน จากงานวิจัยของ Anshul Dhakar and Rishav Ranjan ซึ่งแขนที่ตั้งส่วนบนของคอกม้ากับตัวรถ จำนวน 2 แขนทำมุมกันและกันเท่ากับ 50 องศา แรงขนาดเท่ากับ 1500 นิวตัน จะได้แรงที่กระทำกับคอกม้าเท่ากับ $1359\hat{i} - 633.93\hat{j}$ และ $1359\hat{i} + 633.93\hat{j}$ นิวตัน รูปที่ 67 ซึ่งแรงที่กระทำจะอยู่ในระนาบ XY



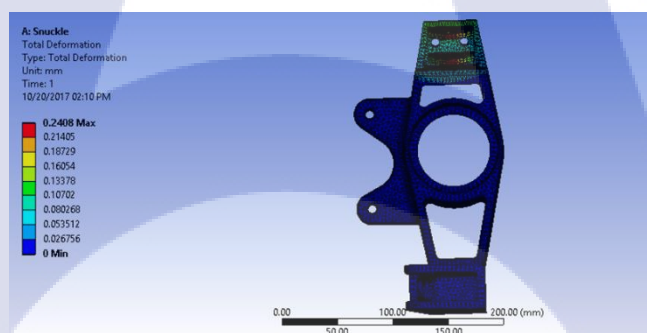
รูปที่ 67 แรงและทิศทางการเกิดแรงจากแรงที่กระทำกับส่วนบนของคอกม้า

4.2.5.1 ผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอกม้าและค่าความปลอดภัยกรณีจากแรงจากการกระทำกับส่วนบนของคอกม้า จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะได้ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนคอกม้าจะมีค่าเท่ากับ 72.77 MPa ดังรูปที่ 68 และค่าความปลอดภัยจะมีค่าเท่ากับ 6.9167



รูปที่ 68 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของคอม้าจากแรงที่กระทำกับส่วนบนของคอม้า

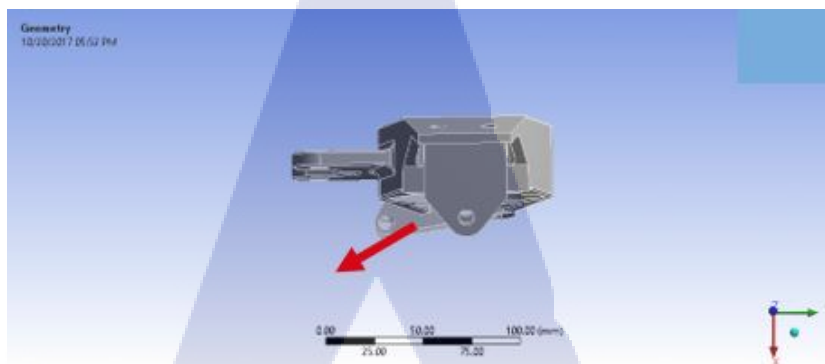
4.2.5.2 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอม้าจากแรงที่กระทำกับส่วนบนของคอม้า จากการวิเคราะห์การเสียรูปของคอม้าจะมีค่าเท่ากับ 0.2408 มิลลิเมตรดังรูปที่ 69



รูปที่ 69 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอม้ากรณีจากแรงที่กระทำกับส่วนบนของคอม้า

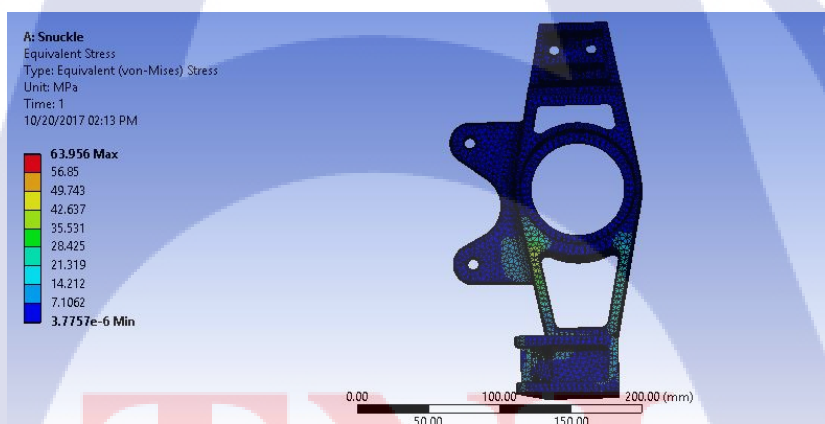
4.2.6 แรงที่กระทำกับคอม้าในส่วนล่างข้างซ้าย

ในการคำนวณหาแรงที่กระทำกับคอม้าในส่วนล่างข้างซ้าย จากงานวิจัยของ Anshul Dhakar and Rishav Ranjan ซึ่งแขนที่ติดกับส่วนล่างข้างซ้ายกับตัวรถ ทิศ 330 องศา จากแกน x แรงขนาดเท่ากับ 1750 นิวตัน จะได้แรงที่กระทำกับคอม้าเท่ากับ $1515\hat{i} - 875\hat{j}$ นิวตัน รูปที่ 70 ซึ่งแรงที่กระทำจะอยู่ในระนาบ XY



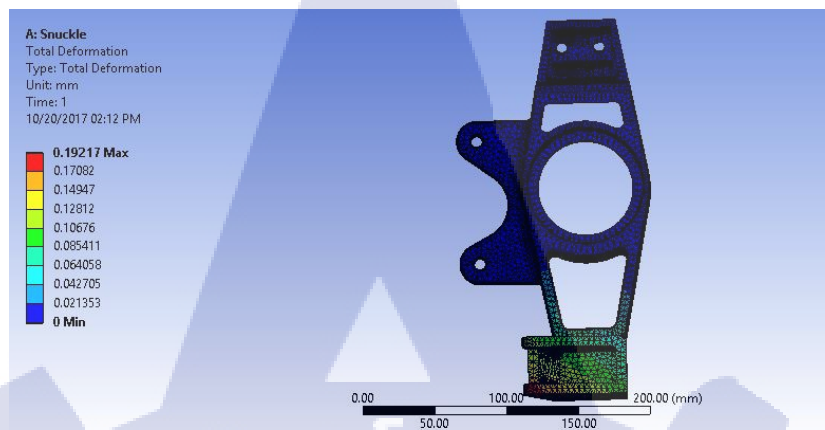
รูปที่ 70 แรงและทิศทางการกระจายแรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างซ้าย

3.2.5.1 ผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอกม้าและค่าความปลอดภัยการกระจายแรงที่กระทำกับคอกม้าในส่วนล่างข้างซ้าย จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะได้ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนคอกม้าจะมีค่าเท่ากับ 63.96 MPa ดังรูปที่ 71 และค่าความปลอดภัยจะมีค่าเท่ากับ 7.8698



รูปที่ 71 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของคอกม้าการกระจายแรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างซ้าย

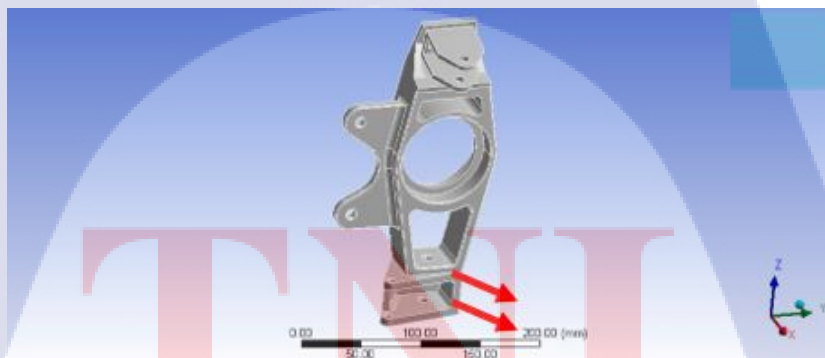
3.2.5.2 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอกม้าจากแรงที่กระทำกับส่วนบนของคอกม้า จากการวิเคราะห์การเสียรูปของคอกม้าจะมีค่าเท่ากับ 0.19217 มิลลิเมตรดังรูปที่ 72



รูปที่ 72 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอม้ากรณีแรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างซ้าย

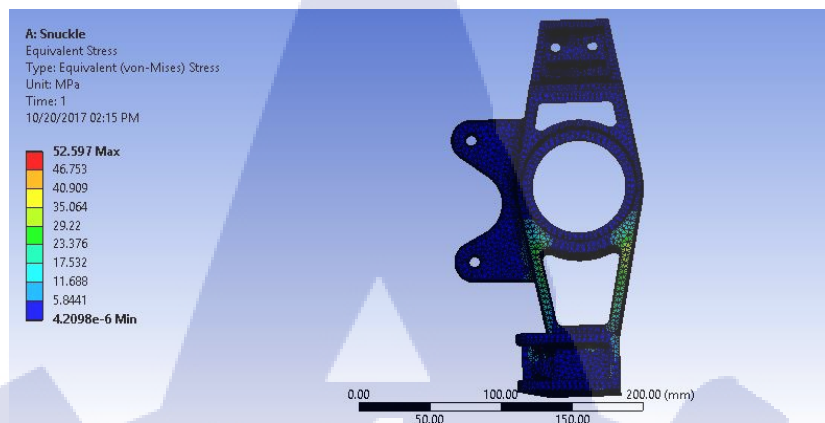
4.2.6 แรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างขวาของคอม้า

ในการคำนวณหาแรงจากกระทำกับส่วนล่างข้างซ้ายจากงานวิจัยของ Anshul Dhakar and Rishav Ranjan ซึ่งแขนที่ติดกับส่วนล่างข้างขวากับตัวรถ ทิศ 30 องศา จากแกน x แรงขนาดเท่ากับ 1750 นิวตัน จะได้แรงที่กระทำกับคอม้าเท่ากับ $1515\hat{i} + 875\hat{j}$ นิวตัน ดังรูปที่ 73 ซึ่งแรงที่กระทำจะอยู่ในระนาบ XY



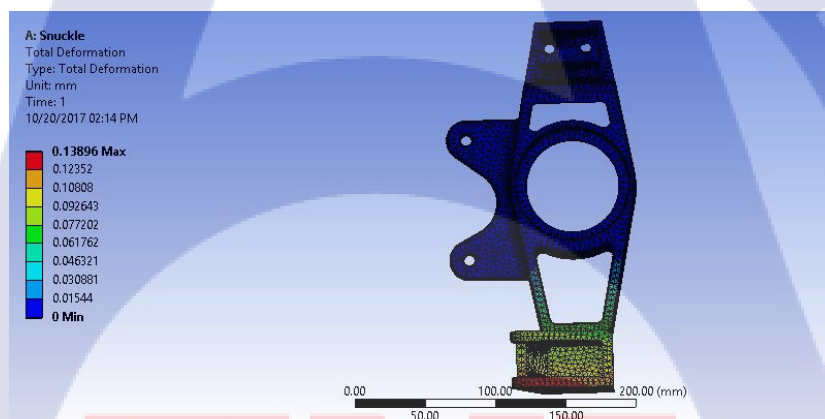
รูปที่ 73 แรงและทิศทางกรณีแรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างขวา

4.2.6.1 ผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอม้าและค่าความปลอดภัยกรณีแรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างขวาของคอม้า จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะได้ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนคอม้าจะมีค่าเท่ากับ 52.697 MPa ดังรูปที่ 74 และค่าความปลอดภัยจะมีค่าเท่ากับ 9.5694



รูปที่ 74 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของค้อม้ากรณีแรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างขวา

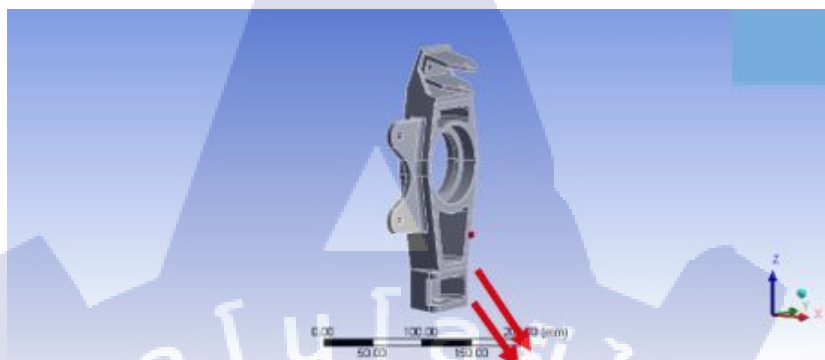
4.2.6.2 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของค้อม้าจากแรงที่กระทำกับส่วนบนของค้อม้า จากการวิเคราะห์การเสียรูปของค้อม้าที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 0.13896 มิลลิเมตรดังรูปที่ 75



รูปที่ 75 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของค้อม้ากรณีแรงที่กระทำกับส่วนล่างข้างขวา

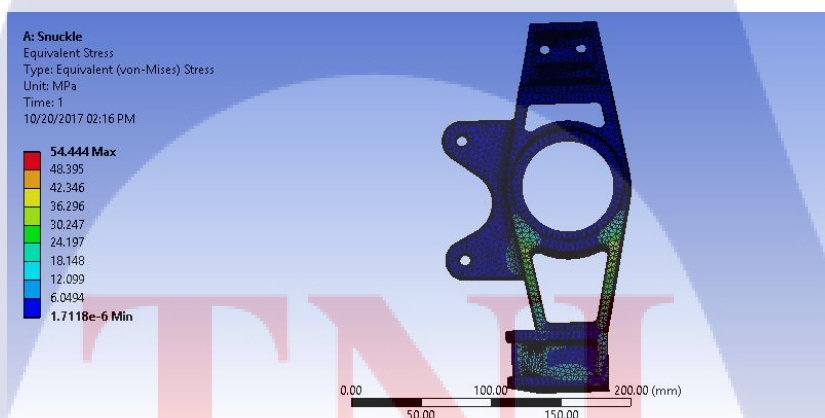
4.2.7 แรงที่กระทำกับค้อม้ากรณีรถขึ้น-ลงเนิน

ในการคำนวณหาแรงที่กระทำกับค้อม้ากรณีรถขึ้น-ลงเนิน จากงานวิจัยของ Anshul Dhakar and Rishav Ranjan ซึ่งแขนที่ติดกับตัวรถ ทิศ 330 องศา จากแกน x (ระนาบ XZ) แรงขนาดเท่ากับ 3000 นิวตัน จะได้แรงที่กระทำกับค้อม้าเท่ากับ $1500\hat{i} - 2598\hat{k}$ นิวตัน ดังรูปที่ 76 ซึ่งแรงที่กระทำจะอยู่ในระนาบ XZ



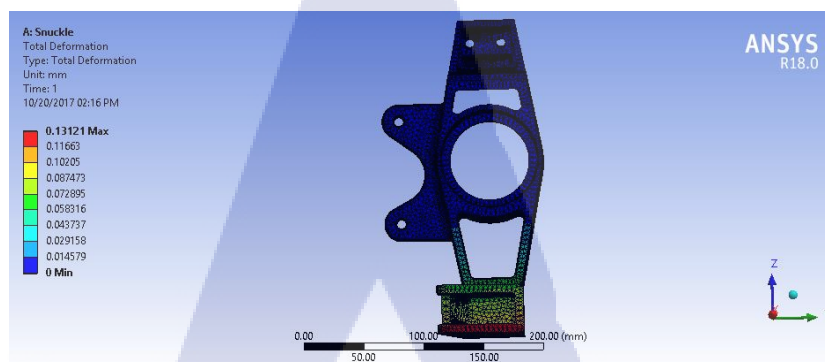
รูปที่ 76 แรงและทิศทางที่ทำกับคอกม้ากรณีรถขึ้นลงเนิน

4.2.7.1 ผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอกม้าและค่าความปลอดภัยกรณีแรงที่กระทำกับคอกม้าจากการรถขึ้น-ลงเนิน จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะได้ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนคอกม้าจะมีค่าเท่ากับ 54.444 MPa ดังรูปที่ 77 และค่าความปลอดภัยจะมีค่าเท่ากับ 9.2446



รูปที่ 77 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของคอกม้ากรณีรถขึ้นลงเนิน

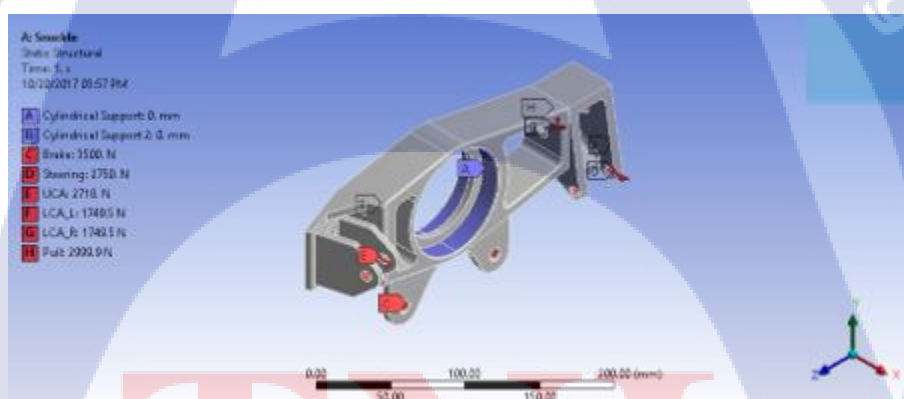
4.2.7.2 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอกม้ากรณีแรงที่กระทำกับคอกม้าจากการรถขึ้น-ลงเนิน จากการวิเคราะห์การเสียรูปของคอกม้าที่เกิดจะมีค่าเท่ากับ 0.13121 มิลลิเมตรดังรูปที่ 78



รูปที่ 78 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอกม้ากรณีรถขึ้น-ลงเนิน

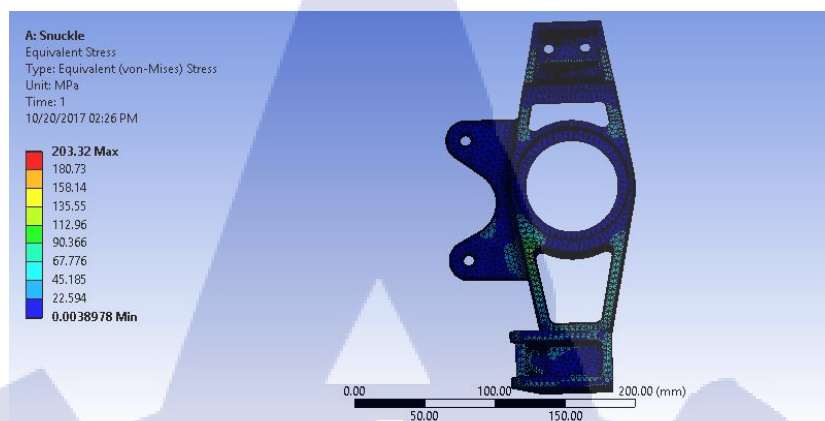
4.2.8 แรงที่กระทำกับคอกม้าทั้งหมด

ในการคำนวณหาแรงที่กระทำกับคอกม้าทั้งหมด 6 แรง คือแรงที่เกิดจากการเบรก การเข้าโค้ง แรงดึงของคอกม้าส่วนบน ส่วนล่าง-ซ้ายขวาและรถขึ้น-ลงเนิน จากงานวิจัยของ Anshul Dhakar and Rishav Ranjan จะพบว่าแรงต่าง ๆ ที่กระทำกับคอกม้า ดังรูปที่ 79



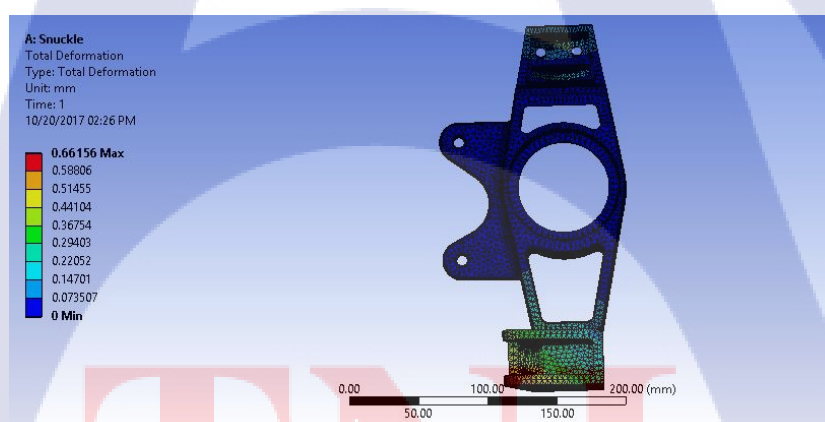
รูปที่ 79 แรงและทิศทางที่กระทำกับคอกม้ากรณีเกิดแรงพร้อมกันทั้งหมด

4.2.8.1 ผลวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอกม้าและค่าความปลอดภัยกรณีแรงที่กระทำกับคอกม้าทั้งหมดพร้อมกัน จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะได้ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนคอกม้าจะมีค่าเท่ากับ 203.32 ดังรูปที่ 80 และค่าความปลอดภัยจะมีค่าเท่ากับ 2.4755



รูปที่ 80 ผลการวิเคราะห์ความเค้นของคอค้มำกรณีเกิดแรงพร้อมกันทั้งหมด

4.2.8.2 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอค้มำกรณีแรงที่กระทำกับคอค้มำกรณีแรงที่กระทำกับคอค้มำทั้งหมดพร้อมกัน จากการวิเคราะห์การเสียรูปของคอค้มำที่เกิดจะมีค่าเท่ากับ 0.66156 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 81รูปที่ 81



รูปที่ 81 ผลวิเคราะห์การเสียรูปของคอค้มำกรณีเกิดแรงพร้อมกันทั้งหมด

4.3 การออกแบบระบบความปลอดภัยในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

4.3.1 ผลการศึกษาอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ใช้ในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

ผลการศึกษารายละเอียดอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ประกอบด้วย

4.3.1.1 มอเตอร์ไฟฟ้า มีกำลังสูงสุด 40 กิโลวัตต์ ใช้แรงดันไฟฟ้า 72 – 96 โวลต์ และแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 120 โวลต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด 500 แอมป์ มีน้ำหนัก 30 กิโลกรัม

4.3.1.2 แหล่งพลังงาน เป็นแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน แรงดันไฟฟ้าต่อเซลล์ 3.2 โวลต์ 20 แอมป์ ทั้งหมด 96 เซลล์ ต่อแบบอนุกรม 32 เซลล์แล้วขนานกัน 3 ชุด รวมเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน แรงดันไฟฟ้า 102.4 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 60 แอมป์

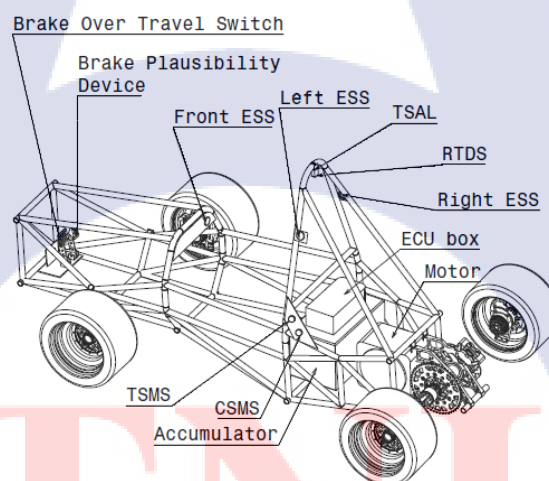
4.3.1.3 ปั๊มน้ำไฟฟ้า มีแรงดันน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จำนวน 2 ตัว ใช้ไฟเลี้ยงขนาด 12 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 2.6 แอมป์

4.3.1.4 หม้อน้ำขนาด 400 ตารางเซนติเมตร ความยาวรวม 223 มิลลิเมตร จำนวน 112 ครีบ

4.3.1.5 หน้าจอมอนิเตอร์ ขนาด 3 นิ้ว x 5 นิ้ว 12 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 1 แอมป์

4.3.2 ผลศึกษาระบบความปลอดภัยในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

ระบบความปลอดภัยในรถไฟฟ้านักศึกษาประกอบด้วย



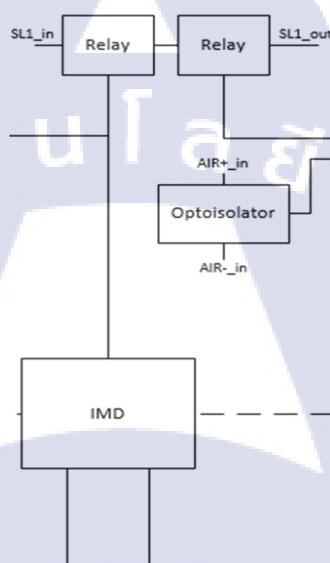
รูปที่ 82 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์และสวิตช์ต่าง ๆ ในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

4.3.2.1 สวิตช์ควบคุมหลัก (MB) เป็นสวิตช์ชนิดปกติเปิด เพื่อใช้ควบคุมสวิตช์ต่าง ๆ ในรถไฟฟ้า อีกทั้ง ดังรูปที่ 1

4.3.2.2 สวิตช์ฉุกเฉิน (ESS) เป็นสวิตช์ชนิดปกติปิด ทั้งสามตัว คือติดตั้งด้านหน้าที่ไว้สำหรับให้คนขับปิดเปิด ด้านข้างซ้ายขวา 2 จุด ดังรูปที่ 1 จะเป็นการแสดงตำแหน่งการติดตั้งสวิตช์ฉุกเฉิน

4.3.2.3 สวิตช์ควบคุมแรงดันสูง (TSMS) เป็นสวิตช์ชนิดปกติปิด จะใช้ควบคุมวงจรรีเลย์อีกครั้ง ในการเปิดปิด แบตเตอรี่ โดยจะติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 1

4.3.2.4 วงจรป้องกันไฟฟ้ารั่วลงโครงสร้างรถ (IMD) วงป้องกันไฟฟ้ารั่วลงโครงยี่ห้อ Bender ISOMETER IR155-3203 ความต้านทาน 100 กิโลโอห์ม ตัดวงจรเมื่อกระแสไฟฟ้าสูงสุดได้ 350 แอมป์ และต่อกับวงจรรีเลย์เพื่อหยุดการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 2



รูปที่ 83 แสดงการต่อวงจร IMD กับรีเลย์

4.3.2.5 วงจรป้องกันเบรกแตก (BS) เป็นสวิตช์ชนิดปกติปิด จะทำงานในขณะที่เบรกไม่ทำงาน สวิตช์จะสั่งให้มอเตอร์หยุดการทำงาน โดยจะติดตั้งอุปกรณ์ดังรูปที่ 83

4.3.3 ผลการออกแบบระบบไฟฟ้าสำหรับรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา จะเป็นออกแบบเกี่ยวกับระบบความปลอดภัยและระบบควบคุมรถไฟฟ้า

4.3.3.1 ระบบความปลอดภัย ในการออกแบบระบบความปลอดภัยในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา เป็นการนำแรงดันไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ ในการควบคุมการเปิดปิดไฟฟ้าแรงดันสูงผ่านแม่เหล็ก รีเลย์ ซึ่งประกอบไปด้วย สวิตช์ควบคุมหลัก สวิตช์ฉุกเฉิน สวิตช์ควบคุมแรงดันสูง วงจรป้องกันไฟฟ้ารั่วลง โครงสร้างรถและวงจรป้องกันเบรกแตก ดังแสดงในรูปที่ 84

ควบคุมระบบระบายความร้อนที่ทำหน้าระบายความร้อนให้มอเตอร์และคอนโทลเลอร์ เพื่อป้องกันความเสียหายกับมอเตอร์และคอนโทลเลอร์ ดังรูปที่ 85



บทที่ 5

สรุปการดำเนินงาน

5.1 การออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

จากการออกแบบชิ้นส่วนในระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษาและการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าชิ้นงานที่ออกแบบมีความแข็งแรงทนทานสามารถรองรับการใช้งานในรูปแบบของการแข่งขันได้ โดยชิ้นงานสามารถส่งถ่ายกำลังจากเครื่องยนต์สู่ล้อได้โดยไม่เกิดความเสียหายขึ้นกับชิ้นงาน สามารถประกอบเข้ากับชิ้นส่วนอื่น ๆ ในระบบส่งกำลังที่ได้เลือกมาใช้ อาทิเช่น ชุดเฟืองท้าย ลูกปืน หัวเพลาดรอปพอดและสเตอร์หลังสำหรับโซ่เบอร์ 520

5.2 การออกแบบชิ้นส่วนช่วงล่างของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

จากการศึกษาความแข็งแรงคอม้าโดยใช้วัสดุอะลูมิเนียม เกรด 7075 พบว่าจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะได้ค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนคอม้ากรณีมีการเข้าโค้งจะมีค่าสูงสุดโดยจะมีความเค้นจะมีค่าเท่ากับ 146.4 MPa โดยจะเกิดแรงในส่วนขาส่วนล่างของคอม้า ค่าความปลอดภัยจะมีค่าเท่ากับ 3.4379 และการเสียรูปสูงสุดจะเกิดขึ้นบริเวณตำแหน่งยึดส่วนล่างด้านซ้ายของคอม้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.4537 มิลลิเมตรซึ่งเกิดจากการกรณีรถเข้าโค้งเช่นเดียวกัน และวิเคราะห์ความแข็งแรงของคอม้าเมื่อใส่แรงที่กระทำกับคอม้าพร้อมกันทั้งหมด พบว่าคอม้ามีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 203.32 MPa ค่าความปลอดภัยจะมีค่าเท่ากับ 2.4755 และการเสียรูปสูงสุด 0.66156 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความเค้นสูงสุดจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับค่าจากตารางคุณสมบัติของวัสดุพบว่าความเค้นสูงสุดจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ยังมีค่าสูงกว่าค่าจากตารางคุณสมบัติของวัสดุ

5.3 การออกแบบระบบความปลอดภัยในรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา

จากการศึกษาพบว่ารถไฟฟ้าฟอร์มูล่านักศึกษาใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาดกำลัง 20 กิโลวัตต์ แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออนแรงดันไฟฟ้า 102.4 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 60 แอมป์ ระบบระบายความร้อนแรงดันน้ำ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หม้อน้ำขนาด 400 ตารางเซนติเมตร ความยาวรวม 223 มิลลิเมตร จำนวน 112 ครีบ ระบบความปลอดภัยจะเป็นการใช้ไฟฟ้าแรงดันต่ำเพื่อไปเปิดปิดไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งประกอบด้วยสวิตช์ควบคุมหลัก ระบบสวิตช์ฉุกเฉิน สวิตช์ควบคุมแรงดันสูง วงจรป้องกันไฟฟ้าวรัวลง โครงสร้างรถและวงจรป้องกันเบรคแตกระบบควบคุมรถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา ในการออกแบบระบบควบคุมประกอบไปด้วยคันเร่งไฟฟ้าจะมีเซนเซอร์ 2 ตัว เพื่อป้องกันกรณีที่คันเร่งตัวใดตัวหนึ่ง เกิดเสียหรือค้างคันเร่งอีกตัวจะยังสามารถทำงานได้ สวิตช์ควบคุมเดินหน้าถอยหลังผ่านคอนโทลเลอร์ อีกทั้งยังมีสวิตช์ควบคุมระบบระบายความร้อนที่ทำหน้าระบายความร้อนหม้อเตอร์และคอนโทลเลอร์

5.4 สรุปผลการศึกษา

5.4.1 สรุปบรรยากาศการแข่งขัน

CarreraZ Racing Team ของทางสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ได้ทำการวิจัย และพัฒนารถ Formula Students เพื่อเข้าร่วมการแข่งขันรายการ 15th TSAE Auto Challenge 2019 Student Formula ระหว่างวันศุกร์ ที่ 18 ถึงวันอาทิตย์ ที่ 20 มกราคม 2562 ณ สนามแข่งรถปทุมธานีสปีดเวย์ ซึ่งทางสมาคมวิศวกรรมยานยนต์แห่งประเทศไทยได้จัดการแข่งขันในครั้งนี้ขึ้น

ในปีนี้ทางทีมได้ส่งรถ Student Formula เข้าร่วมการแข่งขันด้วยกัน 2 ประเภท นั่นก็คือ Student Formula Engine และ Student Formula EV โดยทางนักศึกษา CarreraZ Racing Team ได้นำความรู้ตามหลัก MONOZUKURI มาประยุกต์ใช้ในการวิจัยและพัฒนารถ Student Formula ทั้ง 2 ประเภทการแข่งขัน โดยทางสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ได้ส่งรถ Student Formula เข้าร่วมการแข่งขันประเภทรถ Student Formula Engine 32 ทีม และการแข่งขันประเภทรถ Student Formula EV 7 ทีม

ทางนักศึกษา CarreraZ Racing Team ได้ทำการวิจัย และพัฒนารถ Student Formula ภายใต้คอนเซ็ปต์ Racing Revolution โดยมีเป้าหมายเพื่อคว้าแชมป์ และรักษาอันดับการแข่งขันให้อยู่ในระดับต้นๆ ของตาราง โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ แก๊ซจุดบกพร่องของตัวรถ รวมถึงการทำงานของทีมในปีที่ผ่านมา นำข้อเสียหรือจุดบกพร่องมาแก้ไข และพัฒนาในจุดที่ได้อยู่แล้วให้ดียิ่งขึ้นไปอีก ทั้งนี้ทาง CarreraZ Racing Team ได้ทำการรวบรวมข้อมูล และแลกเปลี่ยนความรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีการพัฒนาจากทีมต่างๆ ที่เข้าร่วมการแข่งขัน ทั้งในประเทศ และต่างประเทศ เพื่อให้พร้อมสำหรับการเข้าร่วมการแข่งขันในครั้งนี้นี้ ทีมงานทั้งหมดได้ดำเนินการวิจัย และพัฒนาหลังจบการแข่งขันในปีที่ผ่านมา โดยได้แบ่งการทำงานออกเป็นฝ่ายต่าง ๆ อันได้แก่ ฝ่ายดำเนินงานหลักของทีม ฝ่ายเครื่องยนต์ ฝ่ายช่วงล่าง ฝ่ายบอร์ดี ฝ่ายสปอนเซอร์ นักขับ เป็นต้น โดยในแต่ละสัปดาห์จะมีการประชุมเพื่ออภิปรายผลการดำเนินงาน ชี้แจงปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น และร่วมกันแสดงความคิดเห็น เพื่อหาแนวทางในการพัฒนาและแก้ไขปัญหาคือต่อไป

การแข่งขัน 15th TSAE Auto Challenge 2019 Student Formula ในวันศุกร์ ที่ 18 มกราคม 2562 ทางทีมงานจำนวน 41 คน ได้เดินทางโดยรถยนต์ส่วนตัว ออกจากสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น เวลา 06.00 น. และถึงสนามปทุมธานีสปีดเวย์ เวลา 07.00 น. ใช้เวลาการเดินทาง 1 ชั่วโมงโดยประมาณ การ Inspection ตัวรถแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1. Student Formula Engine และ 2. Student Formula EV โดยการ Inspection ตัวรถของ Student Formula Engine เริ่มขึ้นเมื่อเวลา 10:30 น. เป็นการตรวจสอบเชิงเทคนิคด้านความปลอดภัย ตรวจสอบสภาพรถเพื่อให้พร้อมสำหรับการแข่งขัน โดยยึดถือตามกฎของ TSAE 2018 ทีม CarreraZ Racing แต่พบปัญหาบริเวณ Front wing ที่ไม่เป็นไปตามกฎระบุไว้ ทางทีมงานจึงได้ทำการวิเคราะห์ และแก้ไข โดยใช้เวลาให้น้อยที่สุด และยังคงประสิทธิภาพการทำงานดีที่สุดด้วยเช่นกัน จึงทำให้ตัวรถผ่านการ Inspection ในเวลา 11:30 น. ไปได้ด้วยดี และได้ Noise Test ต่อทันทีหลัง Inspection ผ่าน ผลการ Noise Test เป็นไปตามกฎระบุไว้ ในวันที่ 2 ทางทีมงานได้นำรถไป Tilt Test และ Brake Test ผลการ Tilt Test และ Brake Test เป็นไปตามกฎระบุไว้

ในส่วนการ Inspection ตัวรถของ Student Formula EV เริ่มขึ้นเมื่อเวลา 14:15 น. เป็นการตรวจสอบเชิงเทคนิคด้านความปลอดภัย ตรวจสอบสภาพรถเพื่อให้พร้อมสำหรับการแข่งขัน โดยยึดถือตามกฎของ TSAE 2018 ทีม CarreraZ Racing แต่พบปัญหาบริเวณไม่มีฝาครอบ maintenance plug ไม่มี

emergency ที่ charger และไม่มีวงจร brake pulse ซึ่งไม่เป็นไปตามกฎระบุไว้ ทางทีมงานจึงได้ทำการวิเคราะห์ และแก้ไข โดยใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน ทำให้การ Inspection ผ่านในวันที่ 2 หลังจากนั้นทำการ Tilt Test และ Brake Test ซึ่งผลการ Tilt Test และ Brake Test เป็นไปตามกฎระบุไว้

5.4.2 สรุปการแข่งขัน Statics Event

ภารกิจในวันแรกนอกเหนือจากการ Inspection แล้ว ยังมีการแข่งขัน Design Presentation และ Cost Presentation รายการแรก คือ Design Presentation เป็นการนำเสนอจุดเด่นในการออกแบบและพัฒนา ประกอบด้วยข้อมูลทางเทคนิคด้านต่าง ๆ รายการต่อมา ก็คือ Cost Presentation เป็นการนำเสนอเกี่ยวกับขั้นตอนการผลิต ต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ของตัวรถ และนำเสนอวิธีการลดต้นทุนของรถในส่วนต่าง ๆ ตามที่การแข่งขันกำหนด โดยที่ยังคงประสิทธิภาพ และความปลอดภัยอยู่

หลังจากเสร็จสิ้นภารกิจทั้งหมดที่สนาม ทีมงานทั้งหมดได้เดินทางไปยังที่พัก ซึ่งอยู่ห่างจากสนามแข่งเป็นระยะทางประมาณ 15 กิโลเมตร เมื่อถึงที่พัก ทุกคนต่างนำสัมภาระ ของใช้ส่วนตัวไปเก็บในห้องพัก และได้ประชุมทีมในเวลาต่อมา หัวหน้าทีม สมาชิกทั้งหมด รวมถึงอาจารย์ผู้ควบคุมทีม ได้พูดคุยกันเกี่ยวกับการทำงานของทีมที่สำเร็จลุล่วง รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมดภายในวันแรก และนัดหมายการเดินทางไปยังสนามและการทำงานของทีมในวันถัดไป การประชุมที่เกิดขึ้นเป็นไปอย่างราบรื่น สมาชิกทั้งหมดแยกย้ายทำภารกิจส่วนตัวและพักผ่อน เพื่อให้พร้อมสำหรับการทำงานในวันถัดไป

ในวันที่ 2 ได้มีการแข่งขัน Business Presentation ซึ่งเป็นการนำเสนอเกี่ยวกับกลยุทธ์ทางการตลาด จุดเด่นของรถ กลุ่มลูกค้าเป้าหมาย และการกำหนดราคาขาย

ทางทีมได้แบ่งฝ่ายการนำเสนอทั้งของ Design Presentation, Cost Presentation และ Business Presentation การแข่งขันของ Presentation ทั้ง 3 ประเภทเป็นไปอย่างราบรื่นด้วยผลคะแนน ดังนี้

- Design Presentation	คะแนนเต็ม 150 คะแนน ได้	76.90	คะแนน อันดับที่ 2
- Cost Presentation	คะแนนเต็ม 100 คะแนน ได้	45.00	คะแนน อันดับที่ 1
- Business Presentation	คะแนนเต็ม 150 คะแนน ได้	63.609	คะแนน อันดับที่ 17

5.4.3 สรุปการแข่งขัน Dynamics Event

ในวันที่ 2 การกิจแรกของทีมในการแข่งขัน Dynamics Event ของ Student Formula Engine และ Student Formula EV คือ การแข่งขันใน Skid - pad Station และ Acceleration Station ซึ่ง Skid - pad Station คือ การทดสอบความเร็วในการขับ โดยลักษณะเส้นทางเป็นเลข 8 ส่วน Acceleration Station คือ การทดสอบอัตราเร่งของรถ โดยระยะทางที่กำหนดเท่ากับ 75 เมตร และ การกิจสุดท้าย คือ การแข่งขันใน Autocross Station ซึ่ง Autocross Station คือ การทดสอบความเร็วที่ดีที่สุดที่ตัวรถจะทำได้ โดยผลการแข่งขันใน Autocross Station นั้น มีผลต่อการจัดลำดับเพื่อแข่งขันใน Endurance Station ในวันสุดท้าย การแข่งขันทั้ง 3 stations เป็นไปอย่างราบรื่นด้วยผลคะแนน ดังนี้

- Skid – pad Station	คะแนนเต็ม 75 คะแนน ได้ 10.10 คะแนน อันดับที่ 1
- Acceleration Station	คะแนนเต็ม 100 คะแนน ได้ 4.50 คะแนน อันดับที่ 1
- Autocross Station	คะแนนเต็ม 125 คะแนน ได้ 34.15 คะแนน อันดับที่ 1

ในส่วนของ Student Formula EV ทาง CarreraZ Racing Team ได้ทำการนำรถ Student Formula EV เข้าสู่ Station เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการแข่งขันในเวลา 15:30 น. ท่ามกลางสายตาผู้ชมมากมายที่ตั้งใจรับชม และให้กำลังใจ ใน Station Endurance ทาง CarreraZ Racing Team ได้ออกสตาร์ท และสามารถทำเวลาใน Lap ที่ 1 ได้ 95.33 วินาที และทำเวลาดีขึ้นเรื่อย ๆ จนจบ Lap ที่ 11 จึงนำรถเข้าสู่ Pit เพื่อเปลี่ยนนักขับ และตรวจสอบความพร้อมของรถ โดยมีเวลาเพียง 3 นาที เมื่อรถเข้าประจำที่ นักขับที่ 1 ก็ปลดเข็มขัดนิรภัยไต่ออกจากกรดด้วยความรวดเร็ว และนักขับที่ 2 ก็ลงไปประจำที่ รัดเข็มขัดนิรภัยอย่างรวดเร็ว นักขับที่ 1 และสมาชิกทีมช่วยกันตรวจสอบความพร้อมของรถ และนำรถไปประจำที่พร้อมออกวิ่งต่อใน Lap ที่ 12 เมื่อกรรมการให้สัญญาณธงออกตัวนักขับที่ 2 ก็ออกตัวไปอย่างรวดเร็ว และทำได้ 90.26 วินาที และดีขึ้นเรื่อย ๆ จบ Lap ที่ 22 รถวิ่งเข้า Pit พร้อมเสียงปรบมือพร้อมตรวจสอบระบบ Emergency ผลการแข่งขันของ Station Endurance คะแนนเต็ม 300 คะแนน ทาง CarreraZ Racing Team ได้คะแนน 87.49 คะแนน ซึ่งเป็นอันดับที่ 1 ของการแข่งขันประเภท รถไฟฟ้า

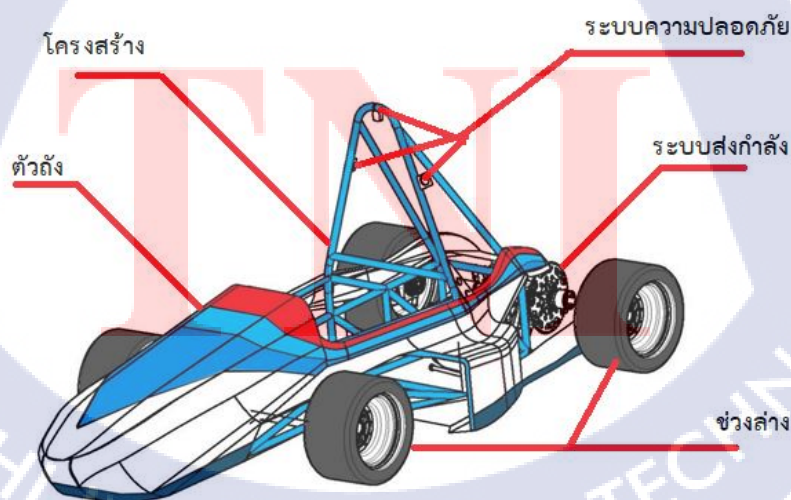
หลังจากที่ทุกทีมแข่งขันจบใน Station สุดท้าย แต่ละทีมได้มีการพูดคุย แลกเปลี่ยนทรรศนะ แลกเปลี่ยนความรู้ซึ่งกันและกัน เพื่อนำไปพัฒนารถคันต่อไป และในเวลา 18:30 น. ประธานในพิธีมอบรางวัลแก่ทีมที่ชนะเลิศการแข่งขัน ซึ่งผลการแข่งขันทีมที่มีผลงานรวมยอดเยี่ยมในประเภท Student Formula Engine ทีมชนะเลิศได้แก่ ทีมจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รองอันดับ 1 ทีมจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และรองอันดับ 2 ทีมจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

ในส่วนของผลการแข่งขันทีมที่มีผลงานรวมยอดเยี่ยมในประเภท Student Formula EV ทีมชนะเลิศได้แก่ ทีมจากสถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น

สรุปผลของ CarreraZ Racing Team สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น สามารถเข้าร่วมการแข่งขันได้ในทุก Station โดยไม่มีปัญหาใด ๆ ซึ่งปีนี้ทางทีมได้นำปัญหาของครั้งก่อนมาแก้ไข และปรับปรุงพัฒนาทำให้ทางทีมสามารถเก็บคะแนนได้ครบ ทำให้คะแนนรวมดีขึ้นมาก ได้รับรางวัลรองชนะเลิศอันดับ 2 Cost Event และได้รับรางวัลชนะเลิศอันดับ 1 Overall Student Formula Electric Vehicles

5.4.4 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการวิจัยและพัฒนาารถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา เพื่อเข้าร่วมการแข่งขันฟอร์มูล่านักศึกษา(ประเทศไทย) พบว่ารถฟอร์มูล่าไฟฟ้านักศึกษา ประกอบด้วย โครงสร้าง ตัวถัง ระบบส่งกำลัง ช่วงล่าง และระบบความปลอดภัย ดังรูปที่ 59 ซึ่งมีการพัฒนาระบบส่งกำลัง ระบบช่วงล่างและระบบความปลอดภัย



รูปที่ 59 ส่วนประกอบของรถฟอร์มูล่านักศึกษา



ภาคผนวก

TNI

ภาคผนวก ก
เอกสารขออนุมัติโครงการ

TNI

แบบเสนอโครงการวิจัยสำหรับบุคลากรภายใน
สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

- ข้อ 1. ชื่อโครงการ (ภาษาไทย)การวิจัยและพัฒนาารคฟอร์มูล่าไฟฟ้า
(ภาษาอังกฤษ)Research and Development for Electric Formula
- ข้อ 2. ประเภทของงานวิจัย ☒งานวิจัยเชิงวิชาการ ☐งานวิจัยเพื่อการเรียนการสอน
- ข้อ 3. สาขาที่ทำการวิจัยสาขาที่ทำการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์
- ข้อ 4. การบูรณาการกระบวนการวิจัยกับการจัดการเรียนการสอน ในรายวิชา
EEN-207เครื่องจักรกลไฟฟ้า
EEN-208ปฏิบัติการเครื่องจักรกลไฟฟ้า
EEN-301ระบบควบคุม/EEN-302 ปฏิบัติการระบบควบคุม
ENG-492Extra Curriculum Activity in Engineering 2
ENG-494 Extra Curriculum Activity in Engineering 4
AEN-302 Automotive Engineering Laboratory 1
AEN-304 Automotive Engineering Laboratory 2
- ข้อ 5. คณะผู้ดำเนินงานวิจัย
- 5.1 ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายสุระ ลวภทวี
(ภาษาอังกฤษ) Mr..Sura.Laptawee

คุณวุฒิ

- วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์และอิเล็กทรอนิกส์), มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีวิศวกรรม), สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ตำแหน่ง

อาจารย์ประจำ

สถานที่ทำงาน

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ประสบการณ์ในงานวิจัย

การสื่อสารที่มีความความปลอดภัย

ประวัติการได้รับทุน.....ไม่มี.....

ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่

[1] sura laptawee and Wimol San-Um, “The Development of Chaotic Jerk Oscillator and Its Application to Synchronization in Chaotic-Masking Secure Communications” Proceeding

of ICIBIR 2012, International Conference on Business and Industrial Research, Thai-Nichi Institute of Technology, Bangkok.

[2] **sura laptawee** and Wimol San-Um, "Implementation of Rössler Chaotic System through Inherent Exponential Nonlinearity of a Diode with Two-Channel Chaotic Synchronization Applications" 4th International Conference on Intelligent Control and Information Processing 2013 (ICICIP 2013), Beijing International Convention Center (BICC), Beijing, China.

5.2 ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายณเร็นชัยธานี
(ภาษาอังกฤษ) Mr.Naren.Chaitanee

คุณวุฒิ

- วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(วิศวกรรมเครื่องกล), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมเครื่องกล), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตำแหน่ง

อาจารย์ประจำ

สถานที่ทำงาน

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ประสบการณ์ในงานวิจัย

- Machines design

- Automation control

ประวัติการได้รับทุน.....ไม่มี.....

ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่

- ระบบควบคุมเครื่องทดสอบเครื่องยนต์แบบกระแสไหลวนต้นทุนต่ำ, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, 2554

[1] การไหลราบเรียบเป็นคาบและการถ่ายเทความร้อนในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้วยแผ่นกั้นเอียงมุม 20°, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 2553

[2] A Hybrid Fuzzy - PID Controller for Tableting Machine with Force Control, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, 2553

[3] การประยุกต์วิธีการหาขอบภาพเพื่อใช้กับโปรแกรมสั่งงานเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22, 2551

5.3 ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายภาสกรพันธุ์โอภาส
(ภาษาอังกฤษ) Mr.Phatsakon.Phanophat

คุณวุฒิ

- วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต(การตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม), มหาวิทยาลัย

รามคำแหง

- ครุศาสตรบัณฑิต(อุตสาหกรรมศิลป์),สถาบันราชภัฏนครราชสีมา

ตำแหน่ง อาจารย์ประจำ

สถานที่ทำงาน สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ประสบการณ์ในงานวิจัย

- วิศวกรรมยานยนต์

ประวัติการได้รับทุน

- การพัฒนารถไฟฟ้าเพื่อการแข่งขัน

- การพัฒนาสื่อการเรียนการสอนสำหรับการทำงานของระบบสมองกลในการควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์เบนซิน

ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่

[1] **Pasakorn Phano-phat**, Wisit Songmuang, Weerayut Keawsupsak, Passavee Danpitakkul, Krittaphartn Pisitcharoen, and Nuttapol Limjeeararus. "Design of a Handy Battery Switching System for an Electric Three-wheeler" *The 5 th TSME International Conference on Mechanical Engineering, (ICoME 2014)*.

[2] A. Amtip, R. Sutthisong, **P. Phano-phat**, D. Kaewdook, S. Tamna, W. Wongsuwan, J. Chaichanawong, N. Limjeeararus (2011). Improvement of a throttle enhancing engine performance of FSAE racing cars, The 7th International Conference on Automotive Engineering (ICAE-7), Bangkok, Thailand, March 29, 2011.

[3] R. Sutthisong, A. Amtip, **P. Phano-phat**, D. Kaewdook, W. Wongsuwan, J. Chaichanawong, N. Limjeeararus (2011.) Improvement of a runner for high torque and power at mid-range engine speeds, The 7th International Conference on Automotive Engineering (ICAE-7), Bangkok, Thailand, March 29, 2011

- Optimization of Engine Intake Manifold for Maximum Torque and Power of CBR5 0 0 Engine for Student Formula Racing Car

5.4 ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายวิศิษฐ์ สองเมือง

(ภาษาอังกฤษ) Mr. Wisit Soongmuang

คุณวุฒิ

- อดุสทศกรรณศศตรบ้ณคิต (เทคโนโลยียนยนต), สทศบ้ณเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร

เหนือ

ด้ณท่ง อจจวรย์ประจ้ว
 สทศนท่งท่งท่ง สทศบ้ณเทคโนโลยีไทย-ญ่ปุ่น
 ประสบการณ้ในงนวิจัย
 วิศวกรรมยนยนต
 ประวัติการได้รบทุน.....ไม่มี.....
 ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่

[1] PasakornPhano-phat, **WisitSongmuang**, WeerayutKeawsupsak, PassaveeDanpitakkul, Krittaphartn Pisitcharoen, and NuttapolLimjeerajarus. "Design of a Handy Battery Switching System for an Electric Three-wheeler" *The 5 th TSME International Conference on Mechanical Engineering, (ICoME 2014)*.

5.5 ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายชูกิต.งมวงค์
 (ภาษาอังกฤษ) Mr.ChookidNgamwong

คุณวุฒิ

- ครุศศตรอดุสทศกรรณบ้ณคิต (วิศวกรรมเครื่องกล), สทศบ้ณเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระ
 นครเหนือ
 - วิศวกรรมศศตรมหบบ้ณคิต (เทคโนโลยีวิศวกรรม), สทศบ้ณเทคโนโลยีไทย-ญ่ปุ่น

ด้ณท่ง อจจวรย์ประจ้ว
 สทศนท่งท่งท่ง สทศบ้ณเทคโนโลยีไทย-ญ่ปุ่น
 ประสบการณ้ในงนวิจัย
 -วิศวกรรมการผลิต
 ประวัติการได้รบทุน.....ไม่มี.....
 ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่

[1]ชูกิต งมวงค์, จินตวัฒน์ ไชยชนะวงค์, ผลกระทบของสภาวะการตัดเฉือนที่มีผลต่อความเรียบของผิวงานกลึง. The 2nd **TNI** Academic Conference, กรุงเทพมหานคร, 17 พฤษภาคม 2555.

5.6 ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายสมบัติ ทำนา
 (ภาษาอังกฤษ) Mr. SombatTamna

คุณวุฒิ

- วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

- วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตำแหน่ง อาจารย์ประจำ

สถานที่ทำงาน สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ประสบการณ์ในงานวิจัย

- Computational Fluid Dynamics (CFD)
- Finite Element Analysis
- Enhancement Heat Transfer

ประวัติการได้รับทุน.....ไม่มี.....

ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่

[1]**Tamna, S.**,Poonperm, R., Promvong, P. and Thianpong, C., “Laminar Convection Heat Transfer in Square Channel Fitted Diagonally with 45° V-Discrete Baffles”, *Advanced Materials Research*, Vols. 931-932 (2014) pp 1149-1153

[2]Skullong, S., **Tamna, S.** and Promvong, P., “Turbulent Convection in a Solar Air Heater Channel with Baffles/Winglets”, *International Conference and Utility Exhibition 2014on: Green Energy for Sustainable Development*, Chonburi, Thailand, March 19-21, 2014

[3]**Tamna, S.**,Skullong, S., Promvong, P. and Thianpong, C., “Numerical Analysis of Turbulent Flow and Heat Transfer in a Square Channel with U-Shaped Baffles”, *The 18th International Annual Symposiumon Computational Science and Engineering*, Chonburi, Thailand, March 17-19, 2014

[4]**Tamna, S.**,Promvong, P. and Pimsarn, M., “Turbulent flow and heat transfer in square duct fitted diagonally with 45° end-cut V-baffles”, *The 18th International Annual Symposiumon Computational Science and Engineering*, Chonburi, Thailand, March 17-19, 2014

5.7 ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายจิรพงศ์ สุขาทิพย์

(ภาษาอังกฤษ) Mr.JirapongSukatip

คุณวุฒิ

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมเครื่องกล), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
 ตำแหน่ง อาจารย์ประจำ
 สถานที่ทำงาน สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
 ประสบการณ์ในงานวิจัย
 - CAD/CAM
 ประวัติการได้รับทุน.....ไม่มี.....
 ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่.....ไม่มี.....

ข้อ6. ผู้ทรงคุณวุฒิ หรือ ที่ปรึกษาโครงการวิจัย

ชื่อ-นามสกุล(ภาษาไทย) ดร.โยชิตะ ยูซะกุ
 (ภาษาอังกฤษ) Dr.Yusaku Yoshida

คุณวุฒิ

Ph.D, Gunma University (Japan)

M. D, Gunma University

B. D, Gunma University

ตำแหน่ง ผู้เชี่ยวชาญจากThe Japan International Cooperation Agency (JICA)

สถานที่ทำงาน The Japan International Cooperation Agency (JICA)

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ประสบการณ์ในงานวิจัย

- Automotive

ผลงานวิจัยที่พิมพ์ออกเผยแพร่

[1] “Performance Characteristics of Micro Hydro Generation with Spiral Turbine”,
 PhuminYaowapunth, AprirakMahaprom, WichianJantachote and **Yusaku Yoshida**, 24th ME-Nett,
 Ubonratchathani, August 20-22, 2010.

[2] “Influence of Daylight Exposure of Biodiesel on Engine Characteristics”,
 WarachitPhayom, WichianJantachote and **Yusaku Yoshida**, 9th Annual Meeting of Thai Society
 for Agricultural Engineering, Jan.31-Feb.1, Chiang Mai, 2008.

[3] “Performance Test of Electric Car on Road”, Surin, WichianJantachote and
Yusaku Yoshida, 21st ME-Nett, Chonbri, October 17-19, 2007.

“Development of High-Temperature Catalytic Combustor with Starting Burner (Part2. Approach for High Temperature Limit and Performance Test of Developed Combustor)”, Yoshida Yusaku, Iguchi Mabito, Matsumo Kazuhisa and Takeda Michio, Vol.34 No.6 Journal of GTSJ, 2006-11. (Japan)

ข้อ7. รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการวิจัยที่นำเสนอขอรับทุนอุดหนุนการวิจัย โดยละเอียด

7.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ในปัจจุบันยังมีการแข่งขันรถฟอร์มูล่าที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากำลังเป็นที่นิยมในต่างประเทศ ซึ่งในประเทศไทยก็เริ่มมีการแข่งขัน ในปี 2557 โดยจัดให้มีการสาธิตแสดงการแข่งขันรถฟอร์มูล่าสำหรับนักเรียน นักศึกษา ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ให้ได้ผ่านการทดสอบและทดลองวิ่งเหมือนกับการแข่งขันรถฟอร์มูล่าที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์อาทิเช่น การแข่งขันการนำเสนองานออกแบบและต้นทุน Acceleration Endurance Auto-Cross Skid-Pad เป็นต้น สถานศึกษาที่เข้าร่วมแข่งขันได้แก่ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์และสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ซึ่งได้รับความสนใจเป็นอย่างดีจากผู้เข้าชมและสถานศึกษาต่างๆ

ในปีนี้ จึงมีการพัฒนารถฟอร์มูล่าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อให้รถฟอร์มูล่าขับเคลื่อนไฟฟ้ามีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น และปรับปรุงแก้ไขรถฟอร์มูล่าขับเคลื่อนไฟฟ้าให้ถูกต้องตามกติกาที่เปลี่ยนไปในแต่ละปี ให้สามารถเข้าร่วมแข่งขันรถฟอร์มูล่าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

7.2 วัตถุประสงค์

7.2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

7.2.2 เพื่อออกแบบระบบระบายความร้อนของมอเตอร์และชุดควบคุมมอเตอร์

7.2.3 เพื่อออกแบบบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่ของรถฟอร์มูล่าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

7.3 ขอบเขตของการวิจัย

7.3.1 เนื้อหาของการวิจัย

7.3.1.1 การออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อหาอัตราทดที่เหมาะสมกับขนาดของมอเตอร์ น้ำหนักตัวรถและลักษณะการแข่งขัน

7.3.1.2 เพื่อออกแบบระบายความร้อนของระบบมอเตอร์และชุดควบคุมมอเตอร์ ไม่ให้อุณหภูมิสูงเกินอุณหภูมิทำงานของอุปกรณ์

7.3.1.3 เพื่อออกแบบบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่ของรถฟอร์มูล่าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าให้สามารถทนต่อความเร่งในแนวราบได้ไม่น้อยกว่า 40g และแนวตั้ง ไม่น้อยกว่า 20g(ตามกติกาการแข่งขัน)

7.3.1.4 เพื่อศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้าต่อระยะทางต่อน้ำหนัก

รวม

7.3.2 กลุ่มเป้าหมาย หรือ ประชากร

นักศึกษาและคณาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่นอุตสาหกรรมยานยนต์

7.3.3 ระยะเวลาของการวิจัย

ระยะเวลา 9 เดือน

7.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

7.4.1 คณาจารย์และนักศึกษาได้พัฒนาศักยภาพทางด้านวิศวกรรมยานยนต์อย่างเข้มแข็ง

7.4.2 สามารถออกแบบและพัฒนาระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

7.4.3 เข้าใจการระบายความร้อนของมอเตอร์และชุดควบคุมมอเตอร์

7.4.4 สามารถออกแบบบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่ของรถฟอร์มูล่าขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า

7.3.4 ทราบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้าต่อระยะทางต่อน้ำหนักรวม

7.4.6 สามารถเข้าร่วมงานประชุมงานวิชาการระดับชาติ

7.5 หน่วยงานที่คาดว่าจะมีการนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

7.5.1 ได้ผลงานวิจัยตีพิมพ์หรือนำเสนองานวิจัยในงานประชุมงานวิจัยระดับชาติในนามสถาบัน

7.5.2 องค์ความรู้จากการศึกษาวิจัยที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยอื่นๆ ในอนาคต

7.5.3 สามารถบันทึกเป็นผลงานสำหรับการประกันคุณภาพของสถาบัน

7.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[1] ZhibinShuai, Hui Zhang, Junmin Wang, Jianqiu Li, and MinggaoOuyang, "Lateral Motion Control for Four-wheel-independent-drive Electric Vehicles Using Optimal Torque Allocation and Dynamic Message Priority Scheduling," Control Engineering Practice, Vol. 24, pp. 55-66, 2014.

[2] Rajesh Rajamani, "Vehicle Dynamics and Control", Springer Berlin Heidelberg, New York, USA, 2006.

[3] UweKiencke and Lars Nielsen, "Automotive Control Systems: For Engine, Driveline, and Vehicle 2nd Ed", Springer Berlin Heidelberg, New York, USA, 2005.

[4] JörnßenReimpell, Helmut Stoll and Jürgen W. Betzler, "The Automotive Chassis: Engineering Principles 2nd Ed", Butterworth-Heinemann, 2001.

[5]Stephen W. Moore and Peter J. Schneider, "A Review of Cell Equalization Methods for Lithium Ion and Lithium Polymer Battery Systems," SAE Technical Paper, 2001.

[6] James Edward Francfort, "Hybrid Electric Vehicle and Lithium Polymer NEV Testing",

Advanced Vehicle Testing Activity, Idaho National Laboratory, P.O. Box 1625, Idaho Falls, ID. 83415-3830.

[7] Evan Jenkins, Dave Baker, Matt Grusenmeyer, Shane Marcks and Adam Baldan, "FASE Chassis: Phase IV Report", University of Delaware, 2010

[8] William B. Riley and Albert R. George "Design, Analysis and Testing of a Formula SAE Car Chassis", Cornell University, 2002

[9] Alejandro Diaz, Osvaldo Fernandez, Ricardo Gonzalez and Christian Ramos, "FASE 2015 Chassis and suspension 25% Report", Florida International University, 2015

[10] Prof. Dr.-Ing. Karlheinz H. Bill and Stefan Dallmer, "Design and construction of the brake systems for the 'Formula Student' - Racing Cars BRC08 /Brc09", 2008-2009

[11] Abrams and Ryan, "Formula SAE Race Car Analysis :Simulation & Testing of the Engine as a Structural Member" The University of Western Ontario, Canada, 2008

[12] Bill Canis, "Battery Manufacturing for Hybrid and Electric Vehicles: Policy Issues", Congressional Research Service, 2013

[13] J.-M. Tarascon, "Key challenges in future Li-battery research", Laboratoire de Réactivité et Chimie des Solides, Université de Picardie Jules Verne, and ALISTORE-ERI European Research Institute, 80039 Amiens, France, 2010

[14] Mehu Oswal, Jason Paul and Runhua Zhao, "A comparative study of Lithium-Ion Batteries" University of southern California, California, USA, 2010

[15] Yinjiao Xing, Eden W. M. Ma, Kwok L. Tsui and Michael Pecht, "Battery Management Systems in Electric and Hybrid Vehicles" Center for Prognostics and System Health Management (PHMC), City University of Hong Kong, Hong Kong, China, 2011

[16] Venkatasailanathan Ramadesigan, Paul W. C. Northrop, Sumitava De, Shriram Santhanagopalan, Richard D. Braatz, c and Venkat R. Subramanian, "Modeling and Simulation of Lithium-Ion Batteries from a Systems Engineering Perspective", Department of Energy, Environmental and Chemical Engineering, Washington University, St. Louis, Missouri 63130, USA, 2012

[17] Samuel Reineman, "Design and Analysis of a Battery for a Formula Electric Car", Massachusetts Institute of Technology, 2013

7.7.2 ตารางแสดงภาระงานวิจัย (ชั่วโมงการปฏิบัติงาน)

รายนามคณะผู้วิจัย	เนื้อหา/กิจกรรมที่รับผิดชอบในการทำวิจัย	สัดส่วนภาระงานในการทำวิจัย (%)	เทียบเป็นชั่วโมงการปฏิบัติงาน (ชั่วโมง/สัปดาห์/ภาคการศึกษา)
1. นายณเร็นศ ชัยธานี	การออกแบบบรรจุภัณฑ์ของแบตเตอรี่	40	7.5
2. นายภาสกร พันธุ์โอภาส	ระบบช่วงล่างรถฟอร์มูล่าไฟฟ้า	20	5
3. นายจิรพงศ์ สุขาทิพย์	โครงสร้างของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้า	10	1
4. นายชุตติง งามวงศ์	ตัวถังของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้า	10	1
5. นายวิศิษฐ์ สองเมือง	ตัวถังของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้า	10	1
6. นายสุระ ลาภทวี	ระบบส่งกำลังของรถฟอร์มูล่าไฟฟ้า	5	1
7. นายสมบัติ ทำนา	ระบบระบายความร้อนของมอเตอร์	5	1

7.7 สถานที่ทำการวิจัย ทดลอง หรือเก็บข้อมูล

7.7.1 ห้อง C205 (ห้องวางแผน ประชุมดำเนินงาน)

7.7.2 ห้อง C207 (ห้องปฏิบัติการด้านไฟฟ้า)

7.7.3 อาคารปฏิบัติการ K105 (พื้นที่ปฏิบัติงานของการสร้างและพัฒนา Formula Student Electric Vehicle)

7.8 อุปกรณ์การวิจัย

- Brushless Motor
- Battery Li Ion
- Controller
- CNC

7.9 งบประมาณค่าใช้จ่ายตลอดโครงการ

งบประมาณของโครงการรวมทั้งสิ้น 300,000 บาท ขอสนับสนุนจากกองทุนวิจัย รวม 200,000 บาท ขอสนับสนุนจากกิจการนักศึกษา 50,000 บาทสนับสนุนจาก บริษัทTRDจำกัด50,000 บาทรายละเอียดงบประมาณโครงการโดยรวมในการจัดทำรถแข่ง Student Formula Electric Vehicle

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคารวม (บาท)	หมายเหตุ
1.	ระบบส่งกำลัง- ชุดโซ่ สเตอริโอเพลาขับ(torque sensing limited slip differential)	1 set	40,000	ขอสนับสนุนจากกองทุนวิจัย
2.	ระบบช่วงล่างรถ - ระบบบังคับเลี้ยวระบบเบรก ดุมล้อ คอกม้า ล้อและยาง	1 set	40,000	ขอสนับสนุนจากกองทุนวิจัย
3.	Chassis and Body part - โครงรถบอดี้รถ	1 set	40,000	ขอสนับสนุนจากกองทุนวิจัย
4.	ระบบไฟฟ้าควบคุมมอเตอร์ - มอเตอร์ คอลโทลเลอร์ระบบความปลอดภัย แบตเตอรี่ (ปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม)	1 set	40,000	ขอสนับสนุนจากกองทุนวิจัย
5.	ระบบความปลอดภัย - เข็มขัดนิรภัย มาตรฐานFIA - ชุดแข่ง มาตรฐานFIA	1 set	90,000	ขอสนับสนุนจากกองทุนวิจัย
6.	อื่นๆ –ค่าสมัคร ค่าที่พัก ค่าอาหาร เดินทาง	1	50,000	ขอสนับสนุนจากกิจการนักศึกษา
	งบประมาณทั้งหมด รวม (สามแสนห้าหมื่นบาทถ้วน)		300,000.00	

ข้อ 8. ค่าจ้างเพิ่มเติมโครงการวิจัยนี้เป็นการทำงานร่วมระหว่างอาจารย์กับนักศึกษา ในแนวการทำงานแบบ Monozukuriซึ่งเป็นการนำเสนอผลงานของนักศึกษา สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น เพื่อแลกเปลี่ยนพัฒนาความรู้ในระดับสากลให้เป็นที่ยอมรับในระดับอุดมศึกษา และมีการแลกเปลี่ยนเทคโนโลยีและความสัมพันธ์ระหว่างบริษัทและสถาบันการศึกษาอื่นๆ สามารถนำความรู้จากการวิจัยครั้งนี้ไปใช้งานในด้านวิศวกรรมยานยนต์ต่อไป

ข้อ 9. หลักเกณฑ์และแนวปฏิบัติข้าพเจ้าเข้าใจและยินดีปฏิบัติตามหลักเกณฑ์และแนวปฏิบัติเกี่ยวกับทุนอุดหนุนงานวิจัยของสถาบันฯ ทุกประการ พร้อมนี้ ได้ส่งแบบเสนอขอรับทุนอุดหนุนการวิจัย จำนวน 1 ชุด ตามกำหนดในประกาศ มาประกอบการพิจารณา

(ลงชื่อ).....

(นายณเร็นศ ชัยธานี)

หัวหน้าโครงการวิจัย

...../...../.....

เอกสารแนบ

☐ ประวัติผู้วิจัยและผู้ร่วมทีมวิจัย โดยระบุประวัติการได้รับทุนและผลงานวิจัยที่พิมพ์ออก

เผยแพร่ (บอกผลงานที่สำคัญๆ ไม่จำเป็นต้องบอกครบทุกเรื่อง)

☐ รายละเอียดคุณสมบัติและราคาของอุปกรณ์ หรือลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์ ที่ต้องใช้ในการวิจัย (กรณีขอซื้อเพิ่มเติม)

☐ รายละเอียดการปฏิบัติหน้าที่ของผู้ช่วยนักวิจัย เช่น หน้าที่ที่ต้องปฏิบัติ ชั่วโมงการทำงาน

ประวัติผู้ช่วยนักวิจัย อัตราค่าตอบแทน (กรณีมีการขอค่าตอบแทนผู้ช่วยนักวิจัย)

☐ เอกสารอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

ข้อ 10. ความเห็นของหัวหน้าภาค/หัวหน้าหน่วย

.....
.....

(ลงชื่อ).....

(.....)

ตำแหน่ง

...../...../.....

ข้อ 11. ความเห็นของรองคณบดีฝ่ายวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์

ความเห็นของหัวหน้าภาค/หัวหน้าหน่วย

.....

.....

(ลงชื่อ).....

(.....)

ตำแหน่ง

...../...../.....

ข้อ 12. ความเห็นของคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

ไม่อนุญาตให้.....ดำเนินการวิจัย
เนื่องจาก

.....

อนุญาตให้.....ดำเนินการวิจัยตามกรอบโครงการวิจัยที่
เสนอ และจะติดตามผลงานวิจัยจนแล้วเสร็จโครงการ

(ลงชื่อ).....

(.....)

ตำแหน่ง

...../...../.....



ภาคผนวก ข

แนวทางการจัดการแข่งขันTSAE Auto Challenge 2014-15 Student Formula

Electric

TNI

แนวทางการจัดการแข่งขัน

TSAE Auto Challenge 2017- 2018 Student Formula Electric

วัตถุประสงค์

- ❖ ส่งเสริมสนับสนุนการพัฒนาทักษะวิศวกรรมยานยนต์และยานยนต์ไฟฟ้า
- ❖ เสริมสร้างบุคลากรด้านยานยนต์ในประเทศไทย
- ❖ สนับสนุนการออกแบบการสร้างยานยนต์ไฟฟ้าและการจัดการอย่างครบวงจร
- ❖ ส่งเสริมให้เกิดนวัตกรรมด้านยานยนต์ไฟฟ้าโดยฝีมือคนไทย
- ❖ เพื่อนำไปสู่การแข่งขันระดับโลก

ประเภทการแข่งขัน

- ❖ รถยนต์ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็น Formula car (Formula Electric car)
- ❖ ในการแข่งขันปีนี้การแข่งขันเป็นการสาธิตการแข่งขัน (Demonstration) เพื่อเตรียมการจัดการแข่งขันเต็มรูปแบบในปีต่อไป (จะมีการคิดคะแนนให้แต่ยังไม่มีการจัดลำดับอย่างเป็นทางการ)
- ❖ การแข่งขันจัดร่วมกับรถ Student Formula ที่ใช้เครื่องยนต์ ICE ใช้กติกาตาม SAE Formula <http://students.sae.org/competitions/formulaseries>

ข้อกำหนดทั่วไป

- ❖ เป็นยานยนต์ที่มี 4 ล้อ
- ❖ มีที่นั่งเดียว (ผู้ขับขี่)
- ❖ เป็นการแข่งขันทypes ออกแบบและสร้างทางวิศวกรรม
- ❖ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 600 VDC
- ❖ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนเท่านั้น
- ❖ พลังงานไฟฟ้าที่ดึงจากแบตเตอรี่ไม่เกิน 85 kW (รายละเอียดเพิ่มเติมดูได้จากกติกา SAE)
- ❖ สามารถใช้ระบบ Regenerating energy ได้แต่ใช้ได้เมื่อความเร็วเกิน 5 กมต่อชม
- ❖ ระบบเก็บไฟฟ้าที่ใช้ได้คือ Battery และหรือ Super Capacitor (Fuel cell ไม่สามารถใช้ได้)
- ❖ รายละเอียดเพิ่มเติมอย่างละเอียดสามารถศึกษาได้จากกติกาของ SAE

ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับการสาธิตการแข่งขัน (Demonstration)

- ❖ สามารถนำรถเก่าที่เคยเข้าร่วมแข่งขัน Student Formula มาสร้างเป็นรถ Formula Electric ได้
- ❖ ต้องมี advisor สองคนคือ Team advisor* และ Electric system advisor*
- ❖ ต้องมีผู้รับผิดชอบระบบไฟฟ้าของทีม (Electric system officer*) จำนวน 1 คน
- ❖ สมาชิกและนักขับของทีมต้องไม่ซ้ำกับทีม Formula เครื่องยนต์ ICE
- ❖ แต่ละสถาบันการศึกษาสามารถส่งทีมเข้าแข่งได้ไม่เกิน 1 ทีมสำหรับ Formula Electric (ไม่นับรวมกับรถ Formula เครื่องยนต์ ICE ที่สามารถส่งเข้าแข่งขันได้ไม่เกิน 1 ทีมเช่นกัน)*
รายละเอียดหน้าที่ดูได้จากกติกาของ SAE

กติกาการแข่งขัน

- ❖ ใช้กติกา SAE Student Formula 2018 เป็นกติกาหลักประกอบกับกติกาของสมาคมเพื่อความเหมาะสมสำหรับการแข่งขันในประเทศไทย (TSAE Local rules)
- ❖ กติกา SAE Student Formula 2018 สามารถ Download ได้จาก <http://students.sae.org/competitions/formulaseries/rules/>
- ❖ TSAE local rule สามารถ Download ได้จาก <http://www.tsae.or.th>

ทุนสนับสนุน

กองทุนจะสนับสนุนเฉพาะทีมที่สมัครเข้าร่วมแข่งขันสัทธิการแข่งขันท และขอให้ทีมจัดส่งเอกสารประกอบการขอทุนดังนี้

1. เอกสารชี้แจงเหตุผลความจำเป็นในการขอทุน
2. แนวทางการออกแบบสร้างรถเชิงวิศวกรรม
3. งบประมาณในการสร้างรถ
4. เอกสารแสดงความพร้อมในการออกแบบและจัดสร้างรถ (ระบุอุปกรณ์ช่วยออกแบบ, ภาพถ่าย workshop และอุปกรณ์ประจำ workshop)
5. หนังสือรับรองการเข้าร่วมแข่งขันจากสถาบันการศึกษา

*** (สมาคมจะพิจารณาการสนับสนุนทุนแก่ผู้เข้าร่วมสัทธิการแข่งขันทโดยทีมที่ต้องการขอทุนจะต้องสมัครขอทุนตามรายละเอียดดังที่แจ้งไว้ข้างต้น)**

คุณสมบัติของผู้สมัคร

- สมัครเป็นทีม
- สมาชิกทีมทุกคนต้องเป็นสมาชิกของ TSAE

- ผู้ร่วมแข่งขันหลักต้องมาจากสถาบันการศึกษา และเป็นตัวแทนอย่างเป็นทางการของสถาบันหรือวิทยาเขตของสถาบันนั้น (ในกรณีมีหลายวิทยาเขต) ในทีมต้องมีอย่างน้อย 10 คนและไม่เกิน 30 คนซึ่งประกอบด้วยนักศึกษาระดับอุดมศึกษาหรืออย่างต่ำระดับปวส. (ต้องมีอาจารย์เป็นที่ปรึกษาของทีม)

* อาจมีบุคคลทั่วไปเข้าร่วมได้ (กรรมการขอสงวนสิทธิ์ในการคัดเลือก)

- ทีมต้องเป็นผู้ออกแบบและสร้างรถต้นแบบเองโดยสมาชิกทีม

การเตรียมพร้อมของผู้ขับขี่

- ต้องเป็นสมาชิกในทีมเท่านั้น
- ต้องเป็นนักศึกษาของสถาบันการศึกษานั้นหรือจบการศึกษาแล้วไม่เกิน 6 เดือนและอายุมากกว่า 18 ปี
- มีสุขภาพดีและความพร้อมในการขับขี่ (จะมีพยาบาลตรวจก่อนลงแข่งขัน)
- ต้องแต่งกายด้วยชุดสำหรับการแข่งขันรถยนต์
- ต้องมีใบอนุญาตขับขี่รถยนต์
- ต้องเซ็นใบยินยอมรับผิดชอบด้วยตนเองในกรณีเกิดอุบัติเหตุจากการแข่งขัน

หลักเกณฑ์การตัดสิน

Technical Inspection ไม่มีคะแนน

Static Competitions 325 คะแนนแบ่งเป็น

1. Cost 100 คะแนน
2. Presentation 75 คะแนน
3. Design 150 คะแนน

Dynamic Competitions 675 คะแนนแบ่งเป็น

1. Acceleration 75 คะแนน
2. Skidpad 50 คะแนน
3. Autocross 150 คะแนน
4. Endurance 300 คะแนน
5. Efficiency 100 คะแนน

ภาคผนวก ค
รูปการดำเนินงาน

TNI

















ภาคผนวก ง
เอกสารสืบเนื่องการประชุมวิชาการ

TNI

บรรณานุกรม

- [1] ไชยชาญ หินเกิด. เครื่องกลไฟฟ้า 2 . กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. , 2543.
- [2] ณรงค์ ขอนตะวัน. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ . กรุงเทพฯ : เอราวิชันการพิมพ์ , 2538.
- [3] ธวัชชัย อรรถวิบูลย์กุล . เครื่องกลไฟฟ้า 2 . กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เจริญธรรม , 2533 .
- [4] นภัทร วัจนเทพินทร์ . ทฤษฎีเครื่องกลไฟฟ้า 2 . กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์ , 2544.
- [5] ปัญญา ยอดโอวาท . เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ. กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ , 2547.
- [6] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. ศัพท์เทคนิควิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง. กรุงเทพฯ, 2532.
- [7] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. ศัพท์เทคนิควิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร. กรุงเทพฯ, 2534.
- [8] สมเกียรติ พึ่งอาตม์ . ไฟฟ้าอุตสาหกรรม เล่ม 2 ไฟฟ้ากระแสสลับ . กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์อักษรประเสริฐ , 2519.
- [9] สัมพันธ์ หาญขเล . เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ . พิมพ์ครั้งที่ 7 . กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , 2530.
- [10] Chapman , Stephen J. Electrical machinery fundamentals . Singapore : McGraw – Hill Book Co , 1991.
- [11] Fitzgerald , A . E . Electrical Machinery . Singapore : McGraw – Hill Book Co .,1992.
- [12] Theraja , B . L . A Text – book of Electrical Technology . New Delhi : Nirja Construction and Development Co , 1984.
- [13] Wildi , Theodore . Electrical Power Technology . U.S.A. : John Wiley And Sons , 1981
- [14] Berry, W.B. ; Notre Dame Univ., IN, USA ; Bauer, P.H. ; Martin, R.A. ; McMullen, S.R. 1994. "A race car, the formula lightning as an engineering education platform for enhancing the engineering development of the electric car

- between industry and university" **International Conference on Power Electronics in Transportation**, (Oct) :41 – 46
- [15] Prajwal, C.P. ;Hegde, K.R. ; Rao, K.U. ; Nagaraj, S. 2013. " A simple novel algorithm to optimize final gear ratio in electric and hybrid formula racing cars " **International Multi-Conference on Automation, Computing, Communication, Control and Compressed Sensing**, (22-23 March) : 415 - 419.
- [16] Adcock, P. ; Loughborough Univ. of Technol., UK ; Crewe, C.M. ; Grange, N. ; Passmore, M.A. 1993 " Performance predictions for a single seater junior formula electric racing car" **International Conference on Systems for Electric Racing Vehicles, IEE Colloquium**, (26 Oct): 8/1 - 8/7.
- [17] Hansen, K. ; Dept. of Mech. &Aerosp. Eng., Arizona State Univ., Tempe, AZ, USA ; Bailey, R. ; Rykiel, M. ; Reed, H. 1998. "Battery management: the tortoise and hare approach to racing electric vehicles" **International Conference on Battery Conference on Applications and Advances**, (13-16 Jan) : 357 – 362.
- [18] Zhenpo Wang and Wenliang Zhang. 2014. "Battery system matching and design for a formula student electric racecar" **International Conference on Transportation Electrification Asia-Pacific**,(31 Aug.) : 1-6.
- [19] Sri Naga Sruthi, G ; Rishikeshvibhute ; Karmarkar, U. ; Chandra, S. ; Mukundanlyengar, S. 2014 "Safety system of an electric vehicle for formula racing" **International Conference on Vehicular Electronics and Safety**, (16-17 Dec) : 44-49.
- [20] Montesinos-Miracle and Fontan-Tebar, C. ; Vidal-Salvia, H. "Simulation of an Electric Racing Car Using Energetic Macroscopic Representation" **International Conference on Vehicle Power and Propulsion Conference**, (27-30 Oct) :1-6
- [21] Institution of Mechanical Engineers, "Formula student," Feb 2014. [Online]. Available: www.formulastudent.com

- [22] K. Chen, A. Bouscayrol, and W. Lhomme, 2008. "Energetic macroscopic representation and inversion-based control: Application to an electric vehicle with an electrical differential," **Journal of Asian Electric Vehicles** 6 : 11097 – 1102,
- [23] A. Bouscayrol, A. Bruyere, P. Delarue, F. Giraud, B. Lemaire-Semail, Y. Le Menach, W. Lhomme, and F. Locment 2007. "Teaching drive control using energetic macroscopic representation - initiation level," **European Conference on Power Electronics and Applications**, (Sep) : 1–9.
- [24] Etseib motorsport. [Online]. Available: www.etseib-motorsport.upc.edu
- [25] O. Tremblay, L.-A. Dessaint, and A.-I. Dekkiche. 2007. "A generic battery model for the dynamic simulation of hybrid electric vehicles," **International Conference on Vehicle Power and Propulsion Conference**, (Sept) : 284–289.
- [26] P. Barrade. 2006. "Electronique de puissance. Presses poly technique set universitaire sromandes"
- [27] M. Ehsani, Y. Gao, and A. Emadi. 2010. "Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles. Fundamentals, theory and design"
- [28] P. C. Krause, O. Wasynczuk, and S. D. Sudhoff. 2002. " Analysis of electric machinery and drive systems, 2nd ed. Wiley-Interscience"
- [29] L. Harnefors and H.-P. Nee, "Model-based current control of ac machines using the internal model control method," **Industry Applications, IEEE Transactions** 34, no. 1 (Jan) : 133–141
- [30] 2014 Formula SAE Rules. [Online]. Available: <http://students.sae.org/cds/formulaseries/rules/>
- [31] F. J. Sanchez-Alejo, F. Aparicio, M. A. Alvarez, and E. Galindo. 2010. "The developing of personal and professional skills in automotive engineers through

- university competitions,” **International Conference on IEEE EDUCON**: 1491–1498.
- [32] I. Chang, N. Kim, D. Lee, Cha, and S. Won, 2010 “Designing and manufacturing of Formula SAE-Hybrid racecar for a new engineering education program,” **International Conference on IEEE Vehicle Power Propuls**, (Sep.) : 1–6.
- [33] E. Carraro, M. Degano, M. Morandin, and N. Bianchi. 2013. “Formula SAE electric competition: Electrical motor design,” **International Conference on Electric Mach. Drives**, (May) : 1142–1148.
- [34] M. S. Whittingham. 2014. “History, Evolution, and Future Status of Energy Storage” **Proc. IEEE**. 100, (May) : 1518–1534
- [35] F. Baronti, A. Lazzeri, R. Roncella, R. Saletti, and S. Saponara. 2013 “Design and Characterization of a Robotized Gearbox System Based on Voice Coil Actuators for a Formula SAE Race Car,” **IEEE/ASME Trans. Mechatronics** 18, 1(Feb) : 53–61.
- [36] F. Baronti, G. Fantechi, E. Leonardi, R. Roncella, and R. Saletti. 2010. “Enhanced model for Lithium-Polymer cells including temperature effects,” **International Conference on Ind. Electron. Soc. IEEE**, (Nov.) : 2329–2333.
- [37] Y. A. Cengel, Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer. McGraw-Hill, Science, 1997.
- [38] M. N. Ozisik, Heat conduction, 2nd ed. John Wiley and Sons Inc., 1993.

ประวัติผู้วิจัย

1. ผศ. ดร. วิมล แสนอ้อม

วัน เดือน ปี เกิด	21 กรกฎาคม 2524
สถานที่เกิด	จังหวัดน่าน
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีโคชิ ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2550 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2546
ตำแหน่งหน้าที่ การทำงานปัจจุบัน	ผู้อำนวยการศูนย์ความเชี่ยวชาญการบูรณาการระบบอัจฉริยะ สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น 1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250

2. นาย ภาสกร พันธุ์โอภาส

วัน เดือน ปี เกิด	18 กรกฎาคม 2519
สถานที่เกิด	จังหวัดนครราชสีมา
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.) สาขาช่างกลโรงงาน จากวิทยาลัยเทคนิค นครราชสีมา

ปีการศึกษา 2538

สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)

จากวิทยาลัยเทคนิค นครราชสีมา

ปีการศึกษา 2540

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตรบัณฑิต

สาขา อุตสาหกรรมศิลป์

จากมหาวิทยาลัยราชภัฏ นครราชสีมา

ปีการศึกษา 2542

ตำแหน่งหน้าที่

อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์

การทำงานปัจจุบัน

สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง

กรุงเทพมหานคร 10250

3. นาย สุระ ลาภทวี

วัน เดือน ปี เกิด

6 กันยายน 2528

สถานที่เกิด

จังหวัดเพชรบูรณ์

วุฒิการศึกษา

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี

สาขาฟิสิกส์และอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

จากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2552

สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท

สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

จากสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2556

ตำแหน่งหน้าที่

อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์

การทำงานปัจจุบัน

สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น

1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง

กรุงเทพมหานคร 10250

4. นาย จีรพงศ์ สุขาทิพย์

วัน เดือน ปี เกิด 7 มีนาคม 2521

สถานที่เกิด จังหวัดนครศรีธรรมราช

วุฒิการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)
สาขาช่างยนต์
จากโรงเรียนเทคนิคไทยบัณฑิต นครศรีธรรมราช
ปีการศึกษา 2538
สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)
สาขาช่างยนต์
จากโรงเรียนสุราษฎร์เทคโนโลยี สุราษฎร์ธานี
ปีการศึกษา 2540
สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
จากมหาวิทยาลัยมหานคร
ปีการศึกษา 2543

ตำแหน่งหน้าที่
การทำงานปัจจุบัน อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น
1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง
กรุงเทพมหานคร 10250

5. นายวิศิษฐ์ สองเมือง

วัน เดือน ปี เกิด 7 มีนาคม 2521

สถานที่เกิด จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

วุฒิการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)
สาขาช่างยนต์
จากโรงเรียนอาชีวะ ดอนบอสโก กรุงเทพมหานคร
ปีการศึกษา 2539
สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)

สาขาเทคนิคยานยนต์
 จากโรงเรียนอาชีวะ ดอนบอสโก กรุงเทพฯ
 ปีการศึกษา 2541
 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
 สาขาอุตสาหกรรมศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีเครื่องต้นกำลัง
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
 ปีการศึกษา 2545

ตำแหน่งหน้าที่
 การทำงานปัจจุบัน อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
 สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น
 1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง
 กรุงเทพมหานคร 10250

6. นายเนรินศ ชัยธานี

วัน เดือน ปี เกิด 7 มีนาคม 2521
 สถานที่เกิด จังหวัดอุดรธานี
 วุฒิการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ(ปวช.)
 สาขาช่างยนต์
 จากวิทยาลัยการอาชีพบ้านผือ อุดรธานี
 ปีการศึกษา 2543
 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)
 สาขาช่างเทคนิคยานยนต์
 จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น
 ปีการศึกษา 2545
 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี
 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ปีการศึกษา 2548
 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท
 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

ตำแหน่งหน้าที่
การทำงานปัจจุบัน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมยานยนต์
สถาบันเทคโนโลยีไทยญี่ปุ่น
1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง
กรุงเทพมหานคร 10250

