



การวิเคราะห์โครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้า
ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์
Electric Vehicle Structure Analysis
of Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Using Finite element method (FEM)

ชาตรี บุญเชิดชู
CHATREE BOONCHERDCHOO

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2560



การวิเคราะห์โครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้า
ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

ชาตรี บุญเชิดชู

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา)
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อการค้นคว้าอิสระ การวิเคราะห์โครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าของ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

ชื่อ นามสกุล นายชาติรี บุญเชิดชู
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน
คณะ คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ปริญญา บุญกนิษฐ

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระได้ให้ความเห็นชอบการค้นคว้าอิสระฉบับนี้แล้ว

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ มีนทร)

.....กรรมการ
(ดร.ณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล)

.....กรรมการและที่ปรึกษา
(ดร.ปริญญา บุญกนิษฐ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้ดำเนินการค้นคว้าอิสระฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ
อุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง)

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

ชื่อการค้นคว้าอิสระ	การวิเคราะห์โครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์
ชื่อ นามสกุล	นายชาติรี บุญเชิดชู
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาและคณะ	วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน (บัณฑิตศึกษา) คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างรถไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เป็นรถไฟฟ้าที่ออกแบบมาเพื่อประหยัดพลังงานและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมและพัฒนาองค์ความรู้ของนักศึกษาเอง มีการใช้ซอฟต์แวร์เข้ามาช่วยในการออกแบบ (Design) การเลือกใช้วัสดุ (Material) การวิเคราะห์ความแข็งแรง (Finite Element Analysis) และความเหมาะสมของโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้า(Electric Vehicle Structure)การแอนตัวของโครงสร้าง(Displacement) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ (Calculate) ด้วยวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) รวมถึงการพัฒนาทักษะทางด้านวิศวกรรม การวิจัยครั้งนี้มีการสร้างรถไฟฟ้าต้นแบบ โครงสร้างรถมีน้ำหนักเบาและแข็งแรงเหมาะสมกับเป็นโครงสร้างของรถไฟฟ้าซึ่งเน้นประหยัดพลังงาน รถคันนี้มี 2 ที่นั่ง สามารถวิ่งได้ความเร็ว 0-80 กม./ชม. น้ำหนักของโครงสร้างไม่เกิน 100 กก. ทำด้วยท่อเหล็ก งานวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปใช้ศึกษาโครงสร้างอื่นๆ ได้ตามความเหมาะสมและรองรับการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมยานพาหนะในอนาคตต่อไปอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, การแอนตัวของโครงสร้าง, โครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้า

Independent Study Title	Electric Vehicle Structure Analysis of Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Using Finite element method (FEM)
Author	Chatree Booncherdchoo
Degree	Master of Engineering
Major Program	Sustainable Industrial Management Engineering (Graduate School)
Academic Year	2017

ABSTRACT

The objective of research was to study and analysis the Electric vehicle structure of Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. The Electric vehicle designed to save energy, protect environment and cognitive development of student by used the computer software help in the design, Material selection, Finite Element Analysis, Appropriability of the Electric Vehicle Structure and displacement of the vehicle structure by using the computer program help in the calculation for the Finite Element Method including to the development of engineering skill. The research must to create the Electric vehicle prototype to suitable and the structure have lightweight and strong for the electric vehicle and focuses on energy efficiency and the material of structure used steel pipe. This research can use to other working structure and future vehicle in sustainable. The vehicle has two seats, Capable of running speed to 0-80 km/h the weight at the vehicle structure not over 100 kg. And the material of structure used steel pipe. This researching can use to other working structure and future vehicle in the sustainable.

Keywords: Finite Element Method, Displacement, Electric Vehicle Structure

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษา
หลักการค้นคว้าอิสระ คือ ดร.ปริญญา บุญกนิษฐ ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยมา
โดยตลอด

ขอขอบพระคุณบริษัทไฮ-ดิжит แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด ในความร่วมมือของผู้บริหารและ
พนักงานทุกท่านที่สามารถทำให้งานวิจัยบรรลุผลสำเร็จและเกิดประโยชน์สูงสุดกับบริษัทของท่าน
ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ชาตรี บุญเชิดชู



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(ก)
Abstract	(ข)
กิตติกรรมประกาศ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ฉ)
สารบัญภาพ	(ช)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 กรอบแนวความคิด	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
1.6 นิยามศัพท์	3
1.7 คำสำคัญ	3
บทที่ 2 การศึกษาอุตสาหกรรมและทบทวนวรรณกรรม	4
2.1 การศึกษาอุตสาหกรรม	4
2.2 การทบทวนวรรณกรรม	10
2.3 การพัฒนาโอกาส	16
บทที่ 3 การออกแบบวิศวกรรมและการสร้างต้นแบบ	17
3.1 การกำหนดกรอบการออกแบบที่สำคัญ	17
3.2 การศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการดำเนินการ	18
3.3 ภาระหน้าที่	22
3.4 กระบวนการสร้างต้นแบบ	30
บทที่ 4 การทดสอบต้นแบบ	31
4.1 การออกแบบการทดลอง	31
บทที่ 5 ผลการวิจัย	34
5.1 ผลการทดลอง	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 อภิปรายผล	39
6.1 ข้อจำกัดของผลและปัญหาของผล	39
บทที่ 7 สรุปผล	42
7.1 สรุปผล	42
7.2 ผลการทดลองโครงสร้างรถด้วยการวิ่งบนถนน	43
บทที่ 8 แผนการนำไปใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์	45
8.1 รูปแบบการดำเนินการทางธุรกิจ	45
8.2 เกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุน	45
8.3 แผนการใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์เชิงธุรกิจ	48
8.4 แผนการพัฒนาอย่างยั่งยืน	51
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก	54
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	77



สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 ภาระที่กระทำ (Load)	19
3.2 คุณสมบัติของท่อเหล็กเหนียว SS400	20
3.3 ตารางเปรียบเทียบของเหล็กรูปพรรณ	21
3.4 ค่าแอนตัวที่ยอมให้ของโครงสร้างท่อเหล็ก SS400	21
3.5 ค่าความปลอดภัย (Safety Factor)	22
4.1 กำหนดแรงกระทำบนโครงสร้าง	32
4.2 ความละเอียด ratio mesh ของเอลิเมนต์ (Element)	33
5.1 การวิเคราะห์ความเค้นตั้งฉากสูงสุด (Normal stress)	34
5.2 การวิเคราะห์ความเค้นเฉือนสูงสุด (Shear stress)	35
5.3 การวิเคราะห์การแอนตัว (Displacement)	36
5.4 การวิเคราะห์ความเค้น (Von Mises Stress)	37
5.5 การวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัย (Safety Factor)	38
6.1 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโมเดล A และโมเดล B	40
6.2 ผลการอภิปรายการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโมเดล A และโมเดล B	40
7.1 สรุปผลการออกแบบโครงสร้างรถไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	42
7.2 การทดสอบโครงสร้างรถด้วยการขับเคลื่อนบนท้องถนนที่ความเร็ว 0-80 กม./ชม.	43
8.1 รายละเอียดประมาณการเงินในการลงทุน	45
8.2 รายละเอียดข้อมูลการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	46
8.3 คำนวณหาจุดคุ้มทุน Break Even Point และระยะเวลาคืนทุน Pay Back Period	47
8.4 แผนปฏิบัติการ (Action Plans)	50

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 แนวโน้มการเติบโตของตลาดรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละภูมิภาค	4
2.2 มูลค่าส่งออก Chassis fitted with engine ในภูมิภาคอาเซียน ปี พ.ศ.2553-2557	5
2.3 การคาดการณ์ยอดขายรถยนต์ขนาดเบาในตลาดโลก (ล้านคัน) และอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปี (CAGR) ปี 2013-2020	6
2.4 ปริมาณการผลิตยานยนต์ของประเทศไทยจำแนกตามประเภทรถยนต์ ปี พ.ศ. 2554-2558	7
2.5 กราฟแสดงนักท่องเที่ยวในประเทศไทย	9
2.6 โครงสร้างตัวถังรถยนต์แบบโครงอิสระ (Independent frame type)	10
2.7 รูปลักษณะหลักตัวถังใช้เป็นโครงรถ	11
2.8 แสดงโครงรถแบบต่างๆ	12
2.9 โครงตัวถังและโครงรถรวมเป็นโครงเดียวกัน (Unitized Body)	13
3.1 กระบวนการออกแบบ	17
3.2 กราฟความเค้น-ความเครียดของวัสดุเหนียว	20
3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ FEM	23
3.4 ความเค้นกระทำบนเอลิเมนต์ในระบบ 3 มิติ	24
3.5 แบบ Sketch	26
3.6 วิเคราะห์การต้านลมของรถมองจากด้านข้าง	27
3.7 แบบโครงสร้างรถ	28
3.8 โมเดล 3 มิติ ของท่อเหล็ก 1 นิ้วและท่อเหล็ก 3/4 นิ้ว	29
4.1 แสดงการสร้างจุดยึด (Fixed) ที่โครงสร้าง	31
4.2 แสดงแรงที่กระทำต่อโครงสร้างภายในห้องโดยสาร	32

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาโครงสร้างรถ

ปัจจุบันทั่วโลกได้ให้ความสำคัญกับการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อมสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า และให้ความสำคัญเกี่ยวกับงานวิจัยและพัฒนาสำหรับการผลิตรถที่ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้า และเป็นธุรกิจที่น่าจับตามองเพราะใช้พลังงานสะอาดเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งกลุ่มนักศึกษาเองมีความสนใจและเห็นความสำคัญของรถยนต์ไฟฟ้าในอนาคต จึงทำการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาความรู้เกี่ยวกับการผลิตรถไฟฟ้า จึงได้คิดทำรถไฟฟ้าต้นแบบของมหาลัทธิวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครขึ้นมาเพื่อศึกษาและพัฒนาการผลิตไฟฟ้า ซึ่งรถยนต์ไฟฟ้ามีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ เช่น โครงสร้างตัว, บอดี้, ช่วงล่าง, ระบบขับเคลื่อน, มอเตอร์, แบตเตอรี่, แอร์ เป็นต้น ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาการออกแบบและผลิตในส่วนโครงสร้างตัวถังรถ ซึ่งรถไฟฟ้าจำเป็นต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรง และต้องการน้ำหนักเบา รถในปัจจุบันที่เห็นบนท้องถนนส่วนใหญ่แล้วโครงสร้างตัวถังจะเป็นแบบขึ้นรูป (Stamping) ซึ่งกระบวนการผลิตค่อนข้างสูงและซับซ้อน ผู้วิจัยจึงต้องศึกษาอุตสาหกรรมของโครงสร้างรถยนต์ วิธีการออกแบบโครงสร้าง การเลือกใช้วัสดุ ที่จะทำให้โครงสร้างแข็งแรงและเบาเพื่อช่วยในการขับเคลื่อนได้ดีและประหยัดพลังงานไฟฟ้า โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์ความแข็งแรง ซึ่งจะเป็นองค์ความรู้ต่อผู้วิจัยและกลุ่มผู้สนใจ จึงได้ทำการวิจัยโครงสร้างสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าตามกระบวนการดังต่อไปนี้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาและสร้างโครงสร้างรถยนต์พลังงานไฟฟ้าต้นแบบ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 โครงสร้างมีน้ำหนักไม่เกิน 100 กิโลกรัม และรับน้ำหนักในแนวตั้งได้ 1 ตัน
- 1.3.2 โครงสร้างต้องมีความแข็งแรงและห้องโดยสารสามารถนั่งได้ 2 คน
- 1.3.3 โครงสร้างของรถแข็งแรงเมื่อรถวิ่งที่ความเร็ว 0-80 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- 1.3.4 ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้าทั้งหมด
- 1.3.5 มีพื้นที่เพียงพอสำหรับวางระบบขับเคลื่อน, แอร์, แบตเตอรี่, มอเตอร์, เกียร์, เบาะและอุปกรณ์ต่างๆ
- 1.3.6 วัสดุมีความแข็งแรงสามารถรับโหลดที่กระทำบนโครงสร้างได้
- 1.3.7 วัสดุสามารถตัด ขึ้นรูป ในกระบวนการผลิตได้และหาซื้อได้ง่าย

1.4 วิธีการดำเนินโครงการ

- 1.4.1 ศึกษาข้อมูลรถยนต์ไฟฟ้า
- 1.4.2 ศึกษาข้อมูลโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้า
- 1.4.2 ศึกษาวิธีการออกแบบโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้า
- 1.4.3 ศึกษาวัสดุที่เหมาะสมกับโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้า
- 1.4.4 ศึกษาระบบช่วงล่างและการรองรับน้ำหนักสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า
- 1.4.5 ศึกษาระบบขับเคลื่อนและระบบส่งกำลังสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า
- 1.4.6 ศึกษาระบบบังคับเลี้ยวและระบบหยุดสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า
- 1.4.7 ศึกษาระบบควบคุมและสั่งงานเบื้องต้นสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า
- 1.4.8 ศึกษาความปลอดภัยสำหรับรถยนต์ไฟฟ้า
- 1.4.9 ศึกษาการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 1.4.10 ออกแบบขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ
- 1.4.11 ออกแบบภาพสเก็ตรูปร่างโครงสร้างที่ต้องการ
- 1.4.12 กำหนดวัสดุที่ใช้
- 1.4.13 ออกแบบโมเดล 3 มิติ ที่เป็นโครงสร้างท่อเหล็ก ขนาด 3/4 นิ้ว และขนาด 1 นิ้ว ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 1.4.14 วิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่เป็นโครงสร้างท่อเหล็ก ขนาด 3/4 นิ้ว และขนาด 1 นิ้ว ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- 1.4.15 พิจารณาผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เป็นโครงสร้างท่อเหล็ก ขนาด 3/4 นิ้ว และขนาด 1 นิ้ว และปรับปรุงให้โครงสร้างแข็งแรง เมื่อได้โครงสร้างตามสเปคที่ต้องการแล้วทำการผลิตตามแบบ
- 1.4.16 ติดตั้งระบบรองรับช่วงล่างและการรองรับน้ำหนักสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ
- 1.4.17 ติดตั้งระบบขับเคลื่อนและระบบส่งกำลังสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ
- 1.4.18 ติดตั้งระบบบังคับเลี้ยวและระบบหยุดสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ
- 1.4.19 ติดตั้งระบบควบคุมและสั่งงานเบื้องต้นสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ
- 1.4.20 ติดตั้งระบบความปลอดภัยสำหรับรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ
- 1.4.21 ตรวจสอบความถูกต้องของการเชื่อมประกอบโครงสร้างและการประกอบชิ้นส่วนของรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ
- 1.4.22 ทดลองวิ่งบนท้องถนนและตรวจเช็คการรับแรงของโครงสร้างของรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ
- 1.4.23 ปรับปรุงและสรุปผลการออกแบบโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ

1.5 ความสำคัญและโอกาสในการพัฒนาภายในอุตสาหกรรม

ปัจจุบันยังไม่ค่อยมีผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้านั่งส่วนบุคคลขนาดเล็ก จึงเป็นโอกาสที่จะพัฒนาโครงสร้างชนิดดังกล่าวให้ได้มาตรฐาน นำไปประยุกต์ใช้กับรถหลายรูปแบบหรือในกลุ่มรถใช้เฉพาะงานและสามารถใช้ทำโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้านั่งส่วนบุคคลต่อไป

1.6 ความสำคัญเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

- 1.6.1 ศึกษาตลาดและความต้องการของลูกค้า
- 1.6.2 พัฒนาเทคโนโลยีด้านการออกแบบ
- 1.6.3 มีการตรวจสอบ ปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง
- 1.6.4 พัฒนาโมเดลใหม่ๆและเลือกวัสดุที่เหมาะสมกับรถยนต์ไฟฟ้า

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.7.1 ฝึกริธีคิดการออกแบบอย่างเป็นระบบ
- 1.7.2 มีการออกแบบที่ถูกต้องตามทฤษฎี
- 1.7.3 ได้ผลจำลองการรับแรงแบบต่างๆของการวิเคราะห์การออกแบบ
- 1.7.4 ช่วยลดต้นทุนในการทำโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้า
- 1.7.5 นำไปการพัฒนาต่อยอดการออกแบบโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าต่อไป
- 1.7.6 ได้โครงสร้างที่แข็งแรงน้ำหนักเบา

เมื่อกำหนดกระบวนการวิจัยเสร็จแล้ว จะทำการศึกษาอุตสาหกรรม, มูลค่าของอุตสาหกรรม การแข่งขันของอุตสาหกรรม, ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายในอุตสาหกรรม, แนวโน้มของตลาดและการทบทวน วรรณกรรมของรถยนต์ที่ขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าในบทต่อไป



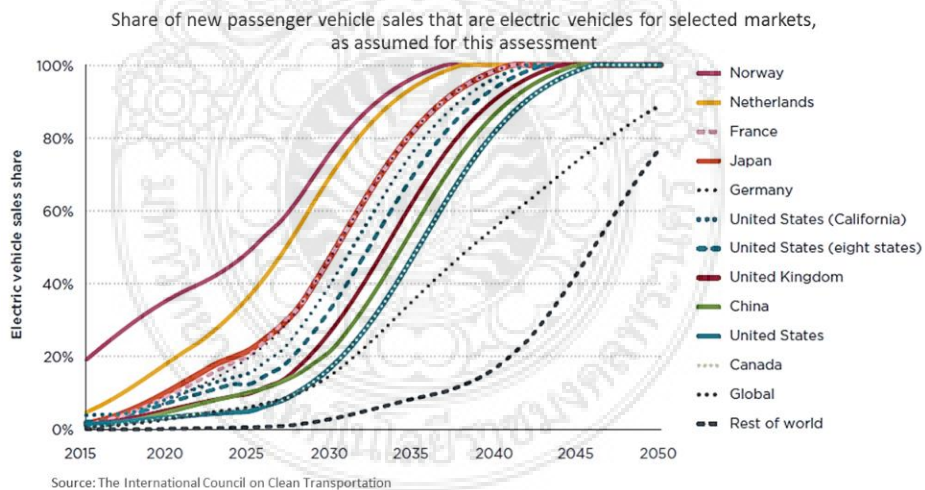
บทที่ 2

การศึกษาอุตสาหกรรมและทบทวนวรรณกรรม

2.1 การศึกษาอุตสาหกรรม

จากบทนำที่กล่าวมาแล้วนั้น จึงทำการศึกษาอุตสาหกรรมและทบทวนวรรณกรรมเพื่อสนับสนุนการออกแบบโครงสร้างรถด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีความแข็งแรง ตามหลักวิศวกรรมและสามารถช่วยลดต้นทุนให้กับกลุ่มอุตสาหกรรมผู้ผลิตรถยนต์หรือโครงสร้างทั่วไป และการนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ โดยทำการศึกษาอุตสาหกรรม เป้าหมายการตลาด ความต้องการของลูกค้า การแข่งขันโอกาสทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1.1 การศึกษามูลค่าของอุตสาหกรรม “วิจัยกรุงศรี ธนาคารกรุงศรีอยุธยา”(2559) ให้รายละเอียดว่า อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ไทยต้องเร่งปรับตัว วางอนาคตสู่ยุครถยนต์ไฟฟ้า” โดยวิเคราะห์ว่า ห่วงโซ่อุปทาน ยานยนต์ไทยใกล้ถึงจุดเปลี่ยนครั้งสำคัญเมื่อเทคโนโลยียานยนต์ไฟฟ้ามีแนวโน้มมาเร็วเกินคาด ดังภาพ 2.1



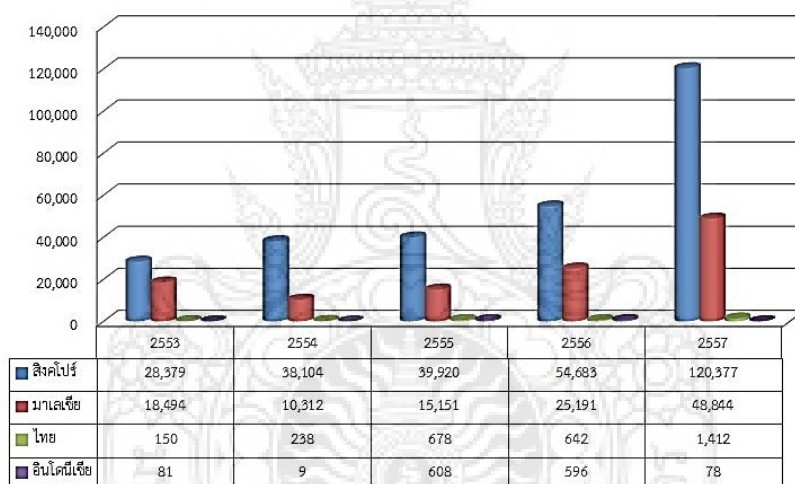
ภาพ 2.1 แนวโน้มการเติบโตของตลาดรถยนต์ไฟฟ้าในแต่ละภูมิภาค

ที่มา: ไทยพับลิก้า (2559)

จากภาพ 2.1 เห็นได้ว่าแนวโน้มของรถยนต์ไฟฟ้าของหลายประเทศมีการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าสูงขึ้นเรื่อยๆอย่างเช่น นอร์เวย์ เนเธอร์แลนด์ ฝรั่งเศส ญี่ปุ่น เยอรมัน สหรัฐอเมริกา อังกฤษและประเทศอื่นๆทั่วโลกที่กำลังผลิตและพัฒนารถยนต์ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูง การเปลี่ยนผ่านไปสู่การผลิตยาน

ยนต์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในอนาคตจะส่งผลกระทบต่อตลาดชิ้นส่วนฯ แตกต่างกัน โดยชิ้นส่วนระบบส่งกำลัง เครื่องยนต์ เป็นกลุ่มชิ้นส่วนเพื่อการประกอบรถยนต์ OEM ที่จะได้รับผลกระทบหนักสุด ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือ รถยนต์เครื่องยนต์สันดาป 1 คัน มีชิ้นส่วนเครื่องยนต์กว่า 2,000 ชิ้น แต่หากเป็นรถยนต์ไฟฟ้าจะใช้ชิ้นส่วนขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้าไม่ถึง 20 ชิ้น ซึ่งหมายความว่า ความต้องการชิ้นส่วนเครื่องยนต์ เช่น หม้อน้ำ ท่อไอเสีย ระบบจ่ายน้ำมัน ถังน้ำมัน ระบบจุดระเบิด เกียร์ จะลดลงในอนาคต การที่รถยนต์ไฟฟ้าใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติจะช่วยยืดอายุการใช้งานชิ้นส่วนบางประเภทเช่น ผ้าเบรก ยางรถยนต์ ทำให้การใช้ชิ้นส่วนเพื่อการทดแทน REM ลดลงด้วย ส่วนชิ้นส่วนอื่น ๆ เช่น ชิ้นส่วนช่วงล่าง Suspension ตัวถัง ระบบส่องสว่าง อุปกรณ์ภายในรถ น่าจะยังมีความต้องการต่อเนื่องและสามารถเชื่อมต่อกับสายการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าได้ไม่ยาก

2.1.1.1 การผลิตยานยนต์ของประเทศไทย ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออก Parts & access of motor vehicles และ Bodies for motor vehicles มากที่สุดในกลุ่มอาเซียน ดังภาพ 2.2

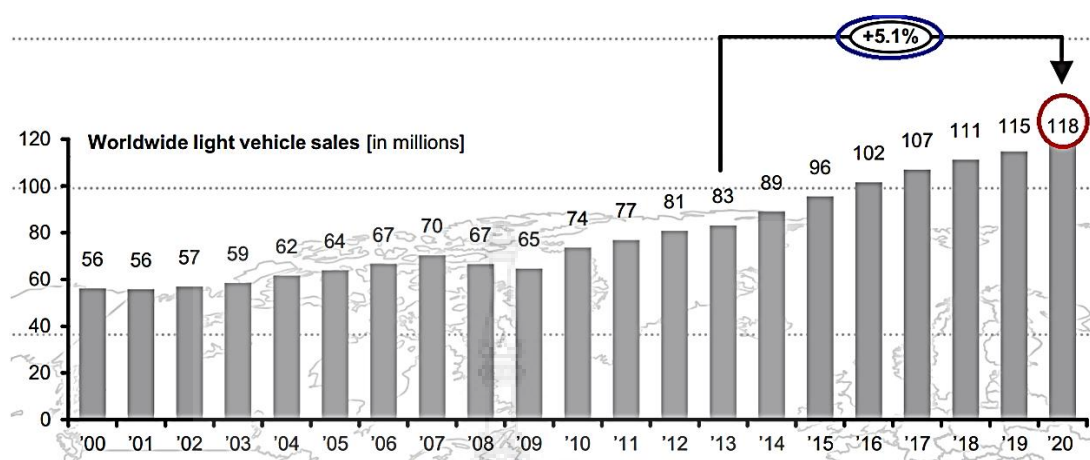


ภาพ 2.2 มูลค่าส่งออก Chassis fitted with engine ในภูมิภาคอาเซียน ปี พ.ศ.2553-2557 (พันดอลลาร์สหรัฐ)

ที่มา: คลังข้อมูลอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ (2559); สถาบันยานยนต์ (2557)

จากภาพ 2.2 สิงคโปร์มีการส่งออก Chassis fitted with engine for motor vehicles มากกว่าประเทศอื่นๆ สำหรับ Chassis fitted with engine for motor vehicles อาเซียน มีมูลค่าส่งออกในปี พ.ศ. 2557 มากกว่าในปี พ.ศ. 2553 มากถึง 3.6 เท่า ซึ่งจากข้อมูลพบว่า ประเทศสิงคโปร์มีมูลค่าส่งออกเพิ่มขึ้นมากในปี 2557 คิดเป็นมูลค่า 120,377 พันดอลลาร์สหรัฐ

ผลการสำรวจของ KPMG International Cooperative KPMG International Cooperative ดังภาพ 2.3

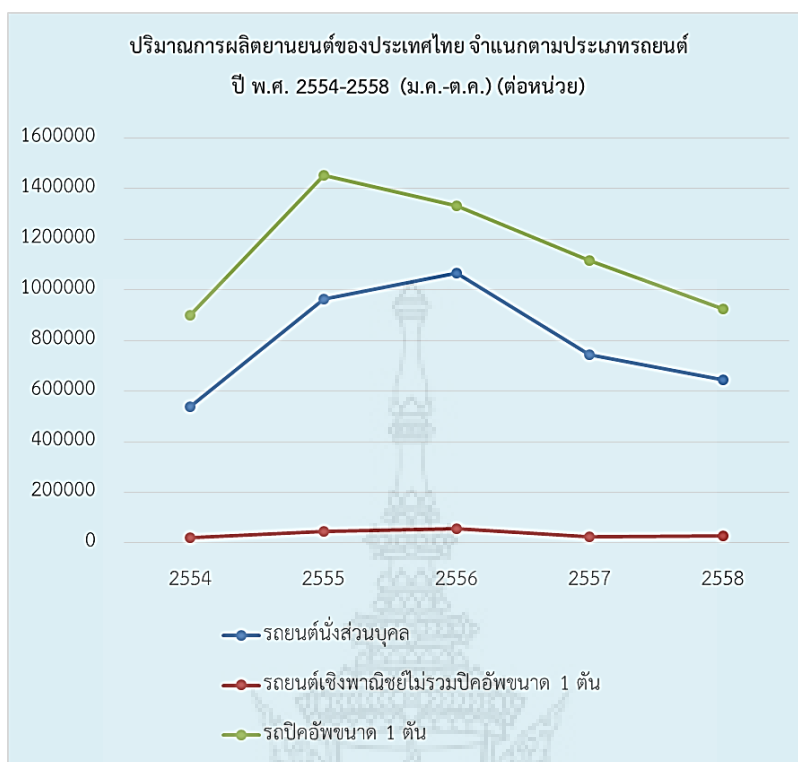


ภาพ 2.3 การคาดการณ์ยอดขายรถยนต์ขนาดเบาในตลาดโลก (ล้านคัน) และอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปี (CAGR) ปี 2013-2020

ที่มา: คลังข้อมูลอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ (2559); สถาบันยานยนต์ (2557)

จากภาพ 2.3 คาดว่ายอดขาย Light vehicle โลก ในปี ค.ศ. 2020 จะมีจำนวน 118 ล้านคัน หรือคิดเป็นอัตราการเติบโตเฉลี่ยต่อปี CAGR ที่ร้อยละ 5.1 และยังคงคาดว่าประเทศจีนจะเป็นตลาดยานยนต์หลักในการกระจายยานยนต์ และมียอดขายยานยนต์ใหม่เป็นอันดับ 1 ของโลก โดยจะมียอดขาย จำนวน 34.7 ล้านคัน หรือส่วนแบ่งการตลาดยานยนต์โลกร้อยละ 29 รองลงมาเป็นอเมริกาเหนือจะมียอดขาย จำนวน 20.7 ล้านคัน หรือส่วนแบ่งการตลาดคิดเป็นร้อยละ 18 และยุโรปตะวันตก มียอดขาย จำนวน 16.3 ล้านคัน หรือส่วนแบ่งการตลาดคิดเป็นร้อยละ 14 ตามลำดับ

การผลิตยานยนต์ของประเทศไทยจำแนกตามประเภทรถยนต์ในปี พ.ศ.2554-2558 (ม.ค.-ต.ค) จำนวน 1,596,654 คัน ดังภาพ 2.4



ภาพ 2.4 ปริมาณการผลิตยานยนต์ของประเทศไทย จำแนกตามประเภทรถยนต์
ปี พ.ศ. 2554-2558 (ม.ค.-ต.ค.) (ต่อหน่วย)

ที่มา: คลังข้อมูลอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์ (2559); สถาบันยานยนต์ (2557)

จากภาพ 2.4 ปริมาณการผลิตยานยนต์ของประเทศไทย แบ่งเป็นรถยนต์นั่งส่วนบุคคล (Passenger Car) 645,825 คัน รถยนต์เชิงพาณิชย์ไม่รวมรถปิคอัพขนาด 1 ตัน (Commercial Car) 27,398 คัน รถปิคอัพขนาด 1 ตัน 923,431 คัน โดยจะเห็นได้ว่า ในปี พ.ศ. 2556 มีการผลิตรถยนต์ที่นั่งส่วนบุคคลมากกว่าทุกปี ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากนโยบายของภาครัฐในการลดหย่อนภาษีรถยนต์คันแรก

2.1.1.2 การแข่งขันของอุตสาหกรรม “วิจัยกรุงศรี ธนาคารกรุงศรีอยุธยา” (2559) ให้รายละเอียดว่า ตลาดยานยนต์ไฟฟ้าเติบโตสูงในยุโรป ญี่ปุ่น สหรัฐฯ และจีน จากเงื่อนไขจำเป็นที่ส่งผลต่อการเติบโตของตลาดรถยนต์ไฟฟ้า เช่น แบตเตอรี่ที่มีประสิทธิภาพการเก็บไฟฟ้าสูงขึ้นและถูกลง การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน โดยเฉพาะสถานีชาร์จไฟฟ้า และปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่เพียงพอในราคาที่เหมาะสม การตื่นตัวของประเทศกำลังพัฒนาอื่น ๆ อาจส่งผลให้ความต้องการชิ้นส่วนสำหรับรถยนต์สันดาปลดลงเร็วกว่าที่คิดได้ เช่นกรณีของเกาหลีใต้ที่ตั้งเป้าให้มีรถยนต์ไฟฟ้าอย่างน้อย 50% ภายในปี 2563 ส่วนมาเลเซียมีนโยบายเป็นศูนย์กลางของรถยนต์ประหยัดพลังงาน Energy-efficient vehicles: EEV โดยเฉพาะรถยนต์ไฟฟ้านำหน้าชาติอาเซียนมาหลายปี ขณะที่ไทยเอง ได้ประกาศแผนขับเคลื่อนยานยนต์ไฟฟ้า โดยตั้งเป้าให้มีรถยนต์ไฟฟ้าวิ่งบนท้องถนน 1.2 ล้านคัน

ภายใน 20 ปีข้างหน้าเมื่ออุตสาหกรรมรถไฟฟ้าเติบโตขึ้นขึ้นส่วนสำคัญอย่างเช่นโครงสร้างรถหรือ Chassis ก็ต้องเติบโตพัฒนาไปด้วย

2.1.1.3 ผู้ผลิตและผู้จำหน่ายในอุตสาหกรรม ในประเทศไทยมีหลายกลุ่มด้วยกันเช่น ผู้ผลิตผู้ขายผู้จำหน่ายเพื่อจำหน่ายผู้ผลิตและส่งออกดังนี้

ก) บริษัท อาบีโก ไฮเทค จำกัด (มหาชน) ผู้ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ OEMAuto Parts ลักษณะผลิตภัณฑ์และบริการ การผลิตชิ้นส่วนรถยนต์นับเป็นกิจการที่สร้างรายได้หลักให้กับบริษัทฯ คิดเป็นสัดส่วนกว่าร้อยละ 63 ของ รายได้รวมของบริษัทฯ ในปี 2557 ชิ้นส่วนรถยนต์หลักที่ผลิตโดยกลุ่มบริษัทอาบีโก จะขอกกล่าวในส่วนที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้คือ โครงสร้างช่วงล่างรถกระบะ Chassis Frame มีระบบการผลิตแบบครบวงจร เริ่มจากการออกแบบแม่พิมพ์ พัฒนารูปแบบ ทดสอบและผลิตจนเป็นชิ้นส่วนโครงสร้างรถกระบะที่สมบูรณ์แบบพร้อมส่งมอบให้กับบริษัท อีซูซุ มอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อนำไปประกอบต่อเป็นโครงรถ ซึ่งรายได้จากการขายโครงช่วงล่างรถกระบะคิดเป็นสัดส่วนกว่าร้อยละ 27 ของรายได้รวมทั้งหมดของบริษัทฯ ในปี 2557

ข) วีร่า ออโตโมทีฟ เป็นผู้ผลิตรถยนต์นั่งขนาดเล็ก แปรนต์ของไทย แต่ขายในราคาเกือบหนึ่งล้านบาท ซึ่งรุ่นเดียวกันนี้ในประเทศจีนขายเพียง 3 แสนกว่าบาทเท่านั้น

“วันชัย มีศิริ” (2560) ให้รายละเอียดว่า บริษัท วีร่า ออโตโมทีฟ จำกัด ผู้นำเข้าและผู้จัดจำหน่ายรถยนต์ไฟฟ้าแบรนด์ วีร่า (vera) หลังจากเปิดตัวรถยนต์ วีร่า วี1 ตั้งแต่ 13 มกราคมที่ผ่านมา ได้การตอบรับดีเกินคาด และตอนนี้กำลังพยายามส่งมอบรถจำนวน 100 คันที่ลูกค้าจองเข้ามาเรามีปัญหาเรื่องการส่งมอบซึ่งเรากำลังทำงานกันอย่างหนักในส่วนของการรับจ้างประกอบกำลังมองหาพันธมิตรที่มีแนวทางและมีนโยบายที่สอดคล้องกัน โดยปัจจุบันจะมีการนำเข้าชิ้นส่วนมาประกอบคิดเป็นสัดส่วน 70% และอีก 30% เป็นชิ้นส่วนในประเทศ ซึ่งเดือนพฤษภาคมนี้บริษัทเตรียมเปิดตัวรถอย่างเป็นทางการอีกครั้ง โดย วีร่า วี1 ราคา 9.45 แสนบาท มีกลุ่มเป้าหมายคือลูกค้าพลีต ลูกค้าองค์กร และในปีหน้าจะมีการ เปิดตัวรถรุ่นปรับปรุงใหม่ เพื่อเจาะตลาดทั่วไป และคาดว่าราคารถในปีหน้าจะเหลือประมาณ 6 แสนบาท เนื่องจากตามสถิติราคาแบตเตอรี่ลดลงทุกปีส่งผลให้ราคารถถูกลงเช่นเดียวกัน

ค) บริษัท อีทราน (ไทยแลนด์) จำกัด เตรียมผลิตรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า และมีแผนขยายไปสู่รถยนต์นั่ง และเรือต่อไป ซึ่งโมเดลธุรกิจจะเน้นไปที่ระบบบริการสาธารณะ เช่นรถจักรยานยนต์รับจ้าง แท็กซี่ และเรือข้ามฟาก เป็นต้น

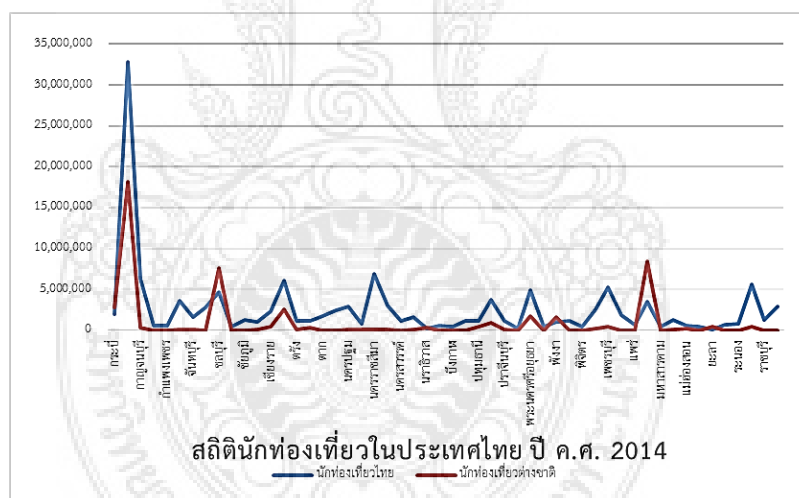
“นายสรณัญช์ ชูฉัตร” (2560) ให้รายละเอียดว่า ปัจจุบันอีทราน สามารถระดมทุนได้ 300 ล้านบาท และมีพาร์ทเนอร์คือบริษัท ดิจิทัล เวเนเจอร์ส จำกัด บริษัทในเครือธนาคารไทยพาณิชย์เป็นผู้สนับสนุน ซึ่งในเดือนกันยายนนี้บริษัทเตรียมเปิดตัว รถจักรยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อให้บริการสาธารณะคันแรกในโลก โดยมีการออกแบบและพัฒนาโดยทีมงานคนไทย ในชื่อรุ่น อีทราน พร้อม เล็งกลุ่มเป้าหมายคือกลุ่มวินมอเตอร์ไซค์” รูปแบบของธุรกิจจะเปิดให้วินมอเตอร์ไซค์ เข้าในอัตรา 3,500 บาทต่อเดือน ส่วนรูปแบบการขายแบบสำเร็จรูปทั้งคันตั้งเป้าไว้ 200 คันในปีแรก และเติบโตเป็น 1 หมื่นคัน ภายใน 3 ปี โดยการประกอบรถอีทราน ได้เจรจากับบริษัท ชัมมิทอโต้พาร์ท ให้เป็นผู้รับจ้างประกอบ มีต้นทุน 4.5 หมื่นบาทต่อคัน พร้อมจดทะเบียนได้ถูกต้องตามกฎหมาย

ง) บริษัท เอช เซม มอเตอร์ จำกัด เริ่มต้นจากธุรกิจครอบครัว “ฮั่วเฮงหลี” ก่อตั้งปี 2521 เป็นตัวแทนจำหน่ายเครื่องยนต์คูโบต้าที่จังหวัดกำแพงเพชร นครสวรรค์ อุรุธยา ปัจจุบันยังเป็นดีลเลอร์รถจักรยานยนต์ฮอนด้า รถยนต์ทาทา และหันมาจับธุรกิจรถกอล์ฟไฟฟ้า รถนำเที่ยวไฟฟ้า และรถสามล้อบรรทุกเอนกประสงค์

“นายวันชัย ถิ่นวัฒนา” (2560) ให้รายละเอียดว่า รัฐบาลจะเปลี่ยนรถ 3 ล้อเครื่อง (ตุ๊กตุ๊ก) ให้เป็นรถพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดภายใน 5 ปี เริ่มต้นด้วยการทำรถไฟฟ้า เพราะมองว่ารถไฟฟ้าจะมีบทบาทที่สำคัญในอนาคต ในต่างประเทศเริ่มมีการใช้รถพลังงานไฟฟ้าอย่างแพร่หลาย ดังนั้นถ้าเราเริ่มทำก่อน ความเชี่ยวชาญของเราก็จะมีมากกว่า เมื่อโอกาสทางธุรกิจมาถึงเราจะเป็นผู้นำตลาดในลำดับต้นๆ ขณะเดียวกันปีนี้เราเตรียมลงทุน 20 ล้านบาท เพื่อพัฒนาโมเดลและปรับการผลิตรถตุ๊กตุ๊กไฟฟ้าและรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อตอบสนองนโยบายรัฐบาลและความต้องการของลูกค้า

2.1.2 การศึกษาการตลาดในอุตสาหกรรม แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

2.1.2.1 แหล่งท่องเที่ยว ผู้ศึกษาได้ค้นหากลุ่มนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติเพื่อศึกษาตลาดและจำนวนนักท่องเที่ยวในประเทศไทยในปี ค.ศ. 2012 ถึง ปี ค.ศ.2014 ดังภาพ 2.5



ภาพ 2.5 กราฟแสดงนักท่องเที่ยวในประเทศไทย

ที่มา: ระบบฐานข้อมูลแหล่งท่องเที่ยว (2559)

จากภาพ 2.5 สถิตินักท่องเที่ยวในประเทศไทยในหลายจังหวัดมีค่อนข้างเยอะ โดยเฉพาะจังหวัดที่มีแหล่งท่องเที่ยวๆเช่น กระบี่ กาญจนบุรี ชลบุรี แพร่ เชียงราย นครราชสีมา พระนครศรีอยุธยา เพชรบุรี มีนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติจึงเหมาะที่จะสร้างธุรกิจในกลุ่มนี้

2.1.2.2 โรงแรมและรีสอร์ท จากที่ได้ศึกษาแหล่งท่องเที่ยวในประเทศไทยแล้ว ผู้ศึกษาได้รู้ว่าเมื่อมีแหล่งท่องเที่ยวที่นั่นย่อมมีโรงแรมที่พักรีสอร์ทอยู่เป็นจำนวนมากและเป็นอีกเป้าหมายหนึ่งในการทำตลาด

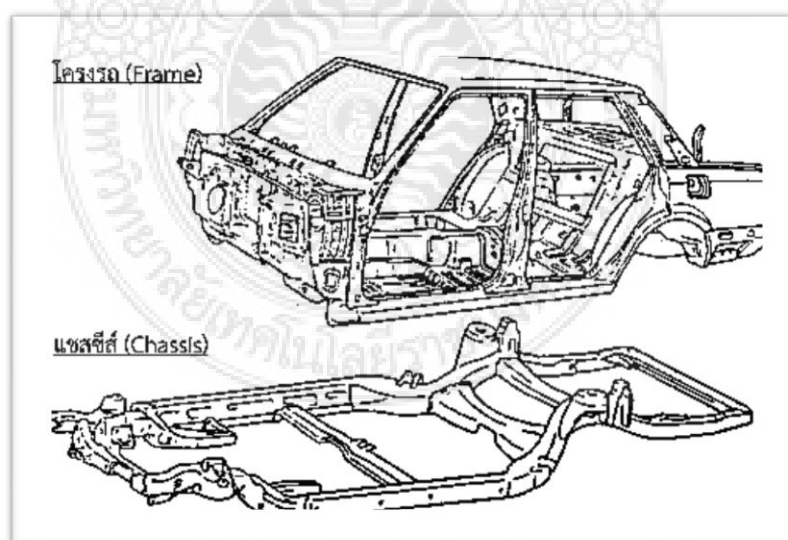
2.1.3 โอกาสทางอุตสาหกรรม ปัจจุบันยังไม่ค่อยมีผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้านั่งส่วนบุคคลขนาดเล็กที่ทำโครงสร้างหรือ Chassis ด้วยท่อ จึงเป็นโอกาสที่จะพัฒนาโครงสร้างชนิดดังกล่าวให้ได้มาตรฐานนำไปประยุกต์ใช้กับรถหลายรูปแบบหรือในกลุ่มรถใช้เฉพาะงานและสามารถใช้ทำโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้านั่งส่วนบุคคลต่อไป

2.2 การทบทวนวรรณกรรม

ผู้วิจัยได้ศึกษาบทความเรื่อง “รวมเรื่องรถยนต์” ได้กล่าวถึงโครงสร้างและตัวถังของรถยนต์ดังต่อไปนี้

2.2.1 โครงสร้างของตัวถังรถยนต์ โครงสร้างตัวถังรถยนต์ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นรถยนต์นั่งหรือรถยนต์บรรทุก ตัวถังรถยนต์สามารถแบ่งลักษณะโครงสร้างออกได้ 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

2.2.1.1 โครงรถและตัวถัง (The Auto body and Frame) แนวความคิดในการออกแบบโครงสร้างตัวถังรถยนต์ มีจุดมุ่งหมายที่ด้านพลศาสตร์และความแข็งแรง โครงสร้างต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะรองรับกลไกและระบบต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อการ เคลื่อนที่ของรถยนต์ ดังภาพ 2.6

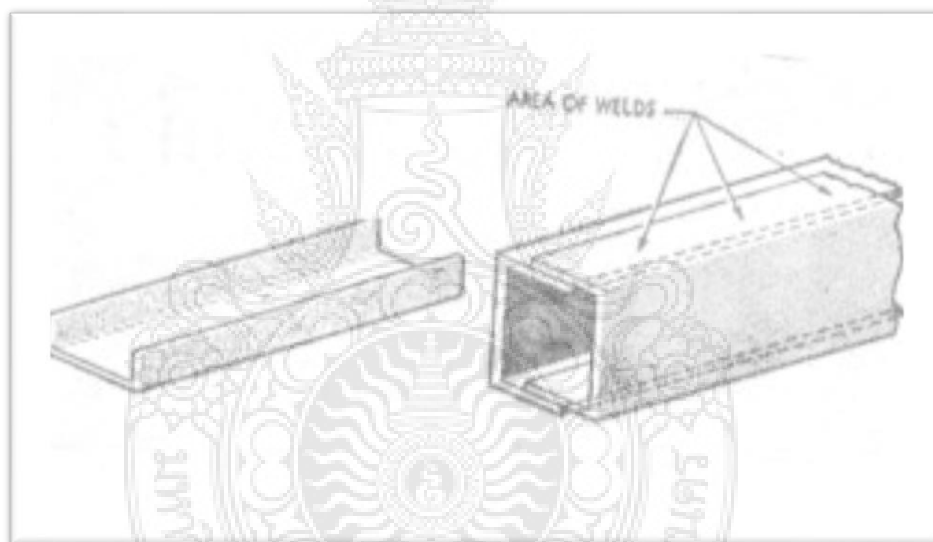


ภาพ 2.6 โครงสร้างตัวถังรถยนต์แบบโครงอิสระ (Independent frame type)
ที่มา: สถาบันยานยนต์ (2557)

จากภาพ 2.6 นอกจากโครงสร้างจะต้องแข็งแรงแล้วตัวถังรถยนต์ต้องทำหน้าที่ช่วยรับและดูดกลืนแรงที่เกิดจากการชน การสั่นสะเทือน และเสียงดังจากพื้นถนนที่แทรกเข้าไปในห้องโดยสาร รวมทั้งช่วยป้องกัน อันตรายที่เกิดกับผู้ขับขี่และผู้โดยสารอีกทางหนึ่งด้วย โครงสร้างพื้นฐานของตัวถังรถยนต์ประกอบด้วยโครง (Frame) และตัวถัง (Body)

ก) โครงรถ (Frame) โครงรถหมายถึงโครงรถยนต์เพื่อเป็นรากฐานในการสร้างรถยนต์นั่ง หรือรถยนต์บรรทุก มีไว้ให้เกิดความแข็งแรง เพื่อรองรับตัวถังซึ่งมีเครื่องยนต์ กระจุกเกียร์ เพลาขับ, สปริง, เพลา, ล้อ, ยาง ยึดติดกับโครงรถ และโครงรถจะต้องได้ศูนย์ ตลอดเวลา ถ้าโครงรถไม่ได้ศูนย์อาจเนื่องจากการเกิดการชนจะทำให้ชิ้นส่วนอื่นๆ และประตูรถไม่ได้ศูนย์ ทำให้ตัวถังเกิดความเครียด (strain) ทำให้ตัวถังชำรุดเร็วขึ้น

ข) ลักษณะทั่วไปของโครงรถ โดยปกติทำขึ้นจากเหล็กทรงตัวยู (U channels) สองอันเชื่อมประกอบกันให้เกิดโครงสร้างเป็นรูปกล่อง (box Construction) หรืออาจใช้หมุดย้ำก็ได้ และจะมีเหล็กขวาง (Cross member) ดังภาพ 2.7

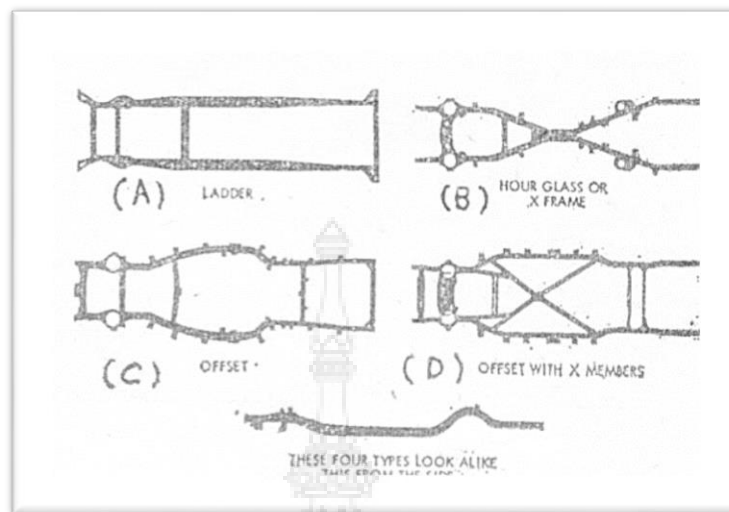


ภาพ 2.7 รูปลักษณะเหล็กตัวยูใช้เป็นโครงรถ

ที่มา: รวมเรื่องรถยนต์ รถจักรยานยนต์ พาหนะอื่น ๆ; อร่าม เรืองฤทธิ์ (2556)

จากภาพ 2.7 ลักษณะของ Chassis ใช้วัสดุอย่างเดียวกันเชื่อมติดหรือยึดให้โครงรถเกิดความแข็งแรงมากขึ้น และส่วนข้างของโครงรถจะมีแผ่นเหล็ก (Bracket) ยื่นออกมาเพื่อใช้เป็นตัวยึดติดกับชิ้นส่วนตัวถัง โครงรถทั้งหมดด้านหน้าจะแคบกว่าด้านหลังเสมอการสร้างด้านหน้าแคบเพื่อให้เกิดการหันเลี้ยวได้ง่าย ส่วนด้านหลังกว้างเพื่อรองรับตัวถังรถได้ดีขึ้น

ค) ชนิดโครงรถ (Type of frame) โครงรถยนต์มีหลายรูปแบบแบ่งตามความเหมาะสมการใช้งานดังภาพ 2.8



ภาพ 2.8 แสดงโครงรถแบบต่างๆ

ที่มา: รวมเรื่องรถยนต์ รถจักรยานยนต์ พาหนะอื่น ๆ; อร่าม เริงฤทธิ์ (2556)

จากภาพ 2.8 โครงสร้างพื้นฐานของรถยนต์สามารถแบ่งชนิดของ Chassis ได้ 4 ประเภทดังนี้

1) โครงรถแบบขั้นบันได (Ladder) โครงรถแบบนี้มีลักษณะสร้างคล้ายรูปสี่เหลี่ยม ไม่มีเครื่องยึดเหนี่ยวที่ศูนย์กลาง แต่จะมีเหล็กขวางเพิ่มขึ้นเพื่อเป็นเครื่องยึดเหนี่ยวทำให้โครงรถแข็งแรง ดังภาพ 2.8 (A)

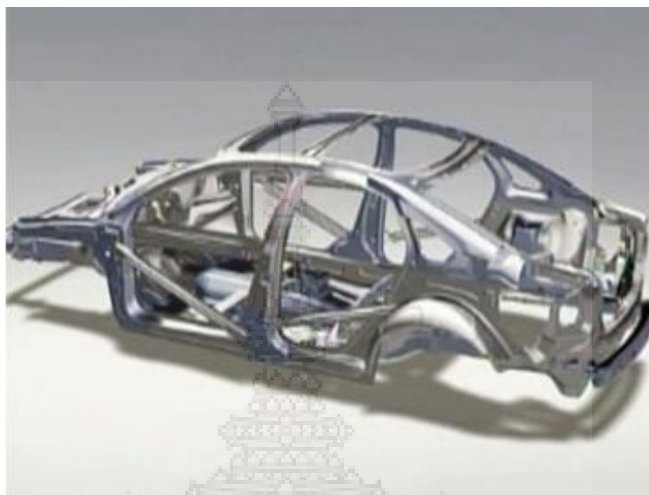
2) โครงรถแบบตัวเอ็กซ์ (X Frame) จะมีท่อนกลางอยู่กึ่งกลางโครงรถ ซึ่งจะลอกเพลลาในท่อนกลางนี้ สำหรับโครงรถจะใช้เหล็กตัวยูเชื่อมประกบเป็นรูปกล่อง ด้านหน้าจะมีเหล็กขวางยึดติดกับโครงรถไว้เพื่อยกระบบรองรับ และส่วนหลังจะสูงเพื่อให้เหมาะสมกับส่วนประกอบของเพลลาท้าย ดังภาพ 2.8 (B)

3) โครงรถแบบออฟเซต (offset) โครงรถแบบออฟเซตมีลักษณะโครงรถเหมือนแบบขั้นบันได ซึ่งจะไม่มีการยึดเหนี่ยวที่ศูนย์กลาง แต่จะมีเหล็กขวางเพิ่มขึ้นเพื่อเป็นเครื่องยึดเหนี่ยวทำให้โครงรถแข็งแรง โครงรถแบบนี้จะมีแผ่นเหล็กเชื่อมยื่นออกมาทางด้านข้าง เพื่อยึดกับตัวถังรถ ดังภาพ 2.8 (C)

4) โครงรถแบบออฟเซตและตัวเอ็กซ์ (offset with X Member) โครงรถแบบออฟเซตและตัวเอ็กซ์เป็นแบบผสม ลักษณะคล้ายกับนำโครงรถแบบออฟเซตมา แล้วตรงกลาง ใช้เหล็กเชื่อมในลักษณะตัวเอ็กซ์ ซึ่งจะทำให้โครงรถแบบนี้แข็งแรงมากยิ่งขึ้น ดังภาพ 2.8 (D)

2.2.1.2 ตัวถัง (Auto Body) ตัวถัง เป็นส่วนประกอบของชิ้นส่วนโลหะทั้งหมดที่ออกแบบขึ้น และนำมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยการเชื่อมหรือหมุดย้ำ จะมีความแข็งแรงเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน

2.2.2 โครงตัวถังและโครงรถรวมเป็นโครงเดียวกัน รถยนต์ที่มีโครงสร้างตัวถังและโครงรถรวมเป็นโครงเดียวกันนี้ หมายถึงการนำทุกชิ้นส่วนที่เป็นโลหะทั้งหมดมาเชื่อมยึดกันขึ้นเป็นตัวถังเข้าด้วยกันเป็นหน่วยเดียวกัน ซึ่งจะมีความแข็งแรงทั้งโครงตัวถังนั้นมีส่วนประกอบดังภาพ 2.14



ภาพ 2.9 โครงตัวถังและโครงรถรวมเป็นโครงเดียวกัน (Unitized Body)

ที่มา: โครงสร้างของตัวถังและโครงรถยนต์; อร่าม เรืองฤทธิ์ (2556)

จากภาพ 2.9 โครงสร้างรถยนต์ชนิดที่นำชิ้นส่วนต่างๆมาเชื่อมประกอบเป็นชิ้นเดียวกันมีชิ้นส่วนประกอบต่างๆได้แก่

2.2.2.1 ส่วนประกอบของพื้นใต้ท้องรถ และรางด้านข้าง ซึ่งรวมทั้งเครื่องรองรับที่อยู่ข้างล่างของตัวถังยึดรวมกันเข้าเพื่อจัดไว้เพื่อเครื่องยนต์ การส่งกำลัง และระบบรองรับน้ำหนัก รางทางด้านข้างก็คือรางของขอบประตูจะเป็นเหล็กขวางจำนวนมากเป็นแบบรูปกล่อง (Box Type Section) ซึ่งจะกระจายน้ำหนักไปยังพื้นและโครงสร้างของตัวถัง

2.2.2.2 โครงสร้างของส่วนทางด้านหน้าและส่วนหลัง เพื่อรองรับเครื่องยนต์และล้อหน้า และโครงสร้างของส่วนทางด้านหลังเพื่อรองรับล้อหลัง และเหนือทางด้านข้างขึ้นไปของโครงสร้างแบบนี้ ก็จะคล้ายคลึงกับโครงสร้างแบบตัวถังและโครงรถแบบแยกกัน

2.2.2.3 ประตูรถ เป็นส่วนประกอบของชิ้นส่วนโลหะที่ออกแบบขึ้น โดยการเชื่อม มีความแข็งแรงคงทน ซึ่งจะมี 2 ประตู หรือ 4 ประตูก็ได้ ย่อมขึ้นอยู่กับบริษัทผู้ผลิต ถ้าเป็นรถคูเป้ นิยมสร้าง 2 ประตู ส่วนรถนั่งแบบครอบครัวนิยมสร้างแบบ 4 ประตู ภายในจะมีกลไกต่างๆ เช่น กลไกติดกับปุ่มล็อก กลไกต่อจากกุญแจไปยังตัวล็อกด้านข้าง พร้อมกันนั้นจะมีแผ่นกระจก สามารถเลื่อนขึ้นลงได้โดยใช้มือหมุนหรือมอเตอร์ไฟฟ้า บริเวณด้านนอกจะมีกุญแจไขสำหรับด้านในจะมีแผ่นหนังหรือหนังเทียมสีดำติดไว้ยังผลให้ความสวยงาม และมีอุปกรณ์ประกอบ เช่น มือหมุน (window Handle) ที่ล็อกประตู (Door Lock) ที่เปิดประตู (Door Handle) และมือจับ (Arm Rest) เป็นต้น มือหมุนที่เปิดประตูทำจากโลหะชุบโครเมียม ส่วนมือจับทำจากโพลียูเรเทน

2.2.2.4 เบาะนั่งรถยนต์ เป็นเฟอร์นิเจอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะขาดมิได้ ไม่ว่าจะเป็ นรถยนต์บรรทุก, รถยนต์นั่ง จะต้องมึเบาะนั่งทั้งนั้น เบาะนั่งได้ถูกออกแบบไว้เหมาะสมกับสภาพของ รถยนต์แต่ละคันโดยเฉพาะ เพื่อให้เกิดความนิ่มนวล นั่งสบายถูกสุขลักษณะ และยังได้ดัดแปลงเป็น เฟอร์นิเจอร์ภายในรถเกิดความสวยงามอีกด้วย เบาะนั่งรถยนต์ประกอบด้วยโฟมหรือฟองน้ำชนิดอ่อน ตัว (Flexible Foam) ซึ่งทำจาก ยูเรเทน หรือโพลียูเรเทน สปริง หนังแท้หรือหนังเทียมเพื่อห่อหุ้มเบาะ นั่งจะทำแบบนั่งคนเดียว หรือทำเป็นเบาะนั่งยาว เบาะนั่งรถยนต์นั้น แม้ว่าจะสวยเพียงไรแต่เมื่อนาน เข้าก็ย่อมเก่า และสีจะซีด ซึ่งไม่น่าดู เรื่องนี้สามารถแก้ได้โดยใช้วิธีพ่นสีทับเพื่อให้เบาะนั่งรถยนต์ สวยงามคล้ายของเดิม

2.2.2.5 กระจกรถยนต์ ได้ถูกออกแบบและสร้างเป็นพิเศษสำหรับติดรถยนต์โดยเฉพาะ มี ความใสสามารถมองเห็นวัตถุภายนอกชัดเจนมีลักษณะเท่าของจริง พร้อมกับมีความคงทน ซึ่งทนต่อ แรงแกระแทกของวัตถุและทนต่อแรงปะทะของลม ในรถยนต์นั่งจะติดกระจกหน้า และหลัง ลักษณะโค้ง เป็นการป้องกันไม่ให้ฝุ่นละอองและลมผ่านทะลุ ทำให้ผู้ใช้รถสะดวกสบาย ส่วนกระจกทางด้านข้าง ประกอบที่ประตูรถตั้งได้กล่าวมาแล้ว ส่วนติของกระจกชนิดพิเศษนี้ เมื่อเกิดการแตกขึ้นเศษกระจก จะไม่กระเด็นออกเป็นเสี่ยงๆ เหมือนการแตกของกระจกธรรมดา แต่มันจะแตกเป็นเม็ดเล็กๆ เกาะติด แน่นกับแผ่นกระจก ไม่กระเด็นไปถูกผู้ใช้รถและผู้อยู่ใกล้เคียง เป็นการลดอันตรายอันอาจเกิดจาก กระจกได้ ดังนั้นช่างสีควรระวังในขณะที่ทำการพ่นสีบริเวณใกล้กระจก อย่าให้ละอองสี ติดที่กระจกได้ การใส่กระจกรถยนต์ กระจกรถยนต์เมื่อเกิดแตกขึ้น จำเป็นจะต้องเปลี่ยนกระจกใหม่ ซึ่งกระจกที่ใช้ จะต้องเป็นกระจกพิเศษสำหรับรถยนต์โดยตรง อย่าใช้กระจกธรรมดา โดยนำกระจกใส่กับขอบยางให้ เรียบร้อย ใช้เส้นเชือกสอดในร่องของขอบยางกระจกด้านนอกให้รอบขอบยางนั้นนำกระจกเข้า ใส่กับ ขอบหน้าหรือหลังรถ ให้ร่องยางที่มีเชือกสอดอยู่สวมเข้ากับขอบหน้าหรือหลังรถ ดึงเส้นเชือกออก ยาง ขอบกระจกก็จะสวมแน่นกับขอบหน้ารถ

2.2.2.6 คลิป เป็นอุปกรณ์สำหรับหนีบ กัด ยึดโครเมียมกับตัวถังรถ และยึดแผ่นหนังกับ ประตูรถด้านในด้วย โดยคลิปจะมีลักษณะแตกต่างกันไป

2.2.2.7 คิ้ว เป็นอุปกรณ์ตกแต่งรถภายนอก ให้ดูสวยงาม มักจะคาดอยู่ข้างรถทั้งสองด้าน อาจจะเป็นคิ้วโลหะหรือคิ้วยางก็ได้ ในการพ่นสีถ้าสามารถถอดคิ้วออกได้ก็จะเป็นการดี ยิ่ง และจะไม่มี ปัญหาถ้าไม่สามารถถอดออก ช่างสีจะทำการพ่นสีได้ แต่ต้องคำนึงถึงความสะอาดตามขอบคิ้ว ซึ่งมี ไขมันขี้ผึ้ง สิ่งสกปรกซ่อนอยู่ สิ่งเหล่านี้เมื่อพ่นสี จะมีปัญหาเกิดขึ้นคือทำให้สีลอกฟองและอื่นๆ ดังนั้น ช่างสีควรคำนึงถึงความสะอาดตามขอบคิ้ว ควรปิดกระดาษขาวเป็นพิเศษ

ที่มา : รวมเรื่องรถยนต์ รถจักรยานยนต์ พาหนะอื่น ๆ; อร่าม เรืองฤทธิ์ (2556)

2.2.3 Research Article

Finite Element Analysis of Electric Bike Rims Coupled with Hub Motor

Erinç Uludamar^{1*}, Şafak Yıldızhan¹, Erdi Tosun¹ and Kadir Aydın²

¹Department of Mechanical Engineering, Çukurova University, 01330 Adana, Turkey

²Department of Automotive Engineering, Çukurova University, 01330 Adana, Turkey

***Corresponding Author:** Uludamar E

Department of Mechanical Engineering

Çukurova University, 01330 Adana, Turkey

Tel: +90 322 338 6084

E-mail: euludamar@cu.edu.tr

Received date: March 17, 2016; **Accepted date:** May 25, 2016; **Published date:** May 30, 2016

Citation: Uludamar E, Yildizhan S, Tosun E, Aydın K (2016) Finite Element Analysis of Electric Bike Rims Coupled with Hub Motor. Adv Automob Eng 5:142. doi:10.4172/2167-7670.1000142

Copyright: © 2016 Uludamar E, et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Abstract

In this study, static and fatigue analysis of three different electrical bikes' rim which are coupled with electrical hub motor was investigated. Loading conditions were applied on rim in order to simulate driving forces that exert on road conditions. Analysis results of three rims were compared with each other. According to results, sharp edges increase von-Mises stresses and decrease fatigue safety factor due to stress concentration on the corners. Also, it was observed that contact area of spokes to flange affects the total deformation and von-Mises stress distribution. Three dimensional models of the rims were designed with the aid of CATIA V5 and their computational analyses were carried out with ANSYS WORKBENCH software program.

Keywords Rim; Modelling; FEM; Electrical bike

2.3 โอกาสในการพัฒนา

2.3.1 กระบวนการเลือกโอกาส จากที่ศึกษาทางด้านมูลค่าอุตสาหกรรมและการตลาดรวมถึงกระบวนการผลิตจึงมองเห็นโอกาสดังนี้

2.3.1.1 รัฐบาลส่งเสริมการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าขนาดเล็ก กลางและขนาดใหญ่ เช่น รถจักรยานยนต์ รถนั่งส่วนบุคคลและรถเมลิโดยสาร

2.3.1.2 ยานยนต์ไฟฟ้ากระบวนการผลิตและชิ้นส่วนประกอบน้อยเมื่อเทียบกับรถยนต์ทั่วไป

2.3.1.3 ปัจจุบันคู่แข่งด้านการออกแบบและผู้ผลิตยังมีไม่มากโอกาสในการพัฒนาที่กล่าวมาข้างต้น โอกาสที่นำมาพัฒนาในงานวิจัยนี้คือด้านการออกแบบเพราะการออกแบบนั้นเป็นจุดสำคัญ ทั้งทางด้านความสวยงาม ความแข็งแรง ลดต้นทุน และตรงตามความต้องการของลูกค้า

การพัฒนาผลิตภัณฑ์

คือการปรับปรุงหรือทำให้ดีขึ้นและเป็นที่ต้องการของตลาดและขั้นตอนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีโอกาสสูงในตลาด จึงควรพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่อย่างเป็นขั้นตอน ดังนี้

- 1) สร้างแนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เช่นวัสดุ, รูปแบบของโครงสร้าง
- 2) การพัฒนากลยุทธ์ทางการตลาด
- 3) การวิเคราะห์สภาพธุรกิจ
- 4) การพัฒนาผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์ใหม่
- 5) การทดสอบตลาด
- 6) การแนะนำสินค้าเข้าสู่ตลาด

กระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์มีความจำเป็นต้องหาวิธีการทำอย่างไรให้ผลิตภัณฑ์อยู่ได้นานและยั่งยืนจะขอกล่าวในหัวข้อถัดไป

การพัฒนาอย่างยั่งยืน

ความยั่งยืนนั้นเป็นสิ่งสำคัญกับทุกธุรกิจจึงต้องกระบวนการหรือวิธีการจัดการให้ธุรกิจเติบโตได้อย่างยั่งยืน ทั้งการพัฒนาผลิตภัณฑ์และระบบการบริหารจัดการอย่างยั่งยืนหรือที่เรียกว่า CSR คือ การสร้างความสมดุลให้กับเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ความเท่าเทียมกันของเศรษฐกิจกับสังคม และการพึ่งพาซึ่งกันและกันของสังคมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งจะก่อให้เกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนต่อไป

เมื่อศึกษาอุตสาหกรรมและการทบทวนวรรณกรรมของรถยนต์ไฟฟ้าเสร็จแล้ว จะทำการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการออกแบบโครงสร้างของรถยนต์ไฟฟ้าเพื่อสร้างต้นแบบ, การกำหนดกรอบการออกแบบที่สำคัญ, การออกแบบหลักการทำงานที่สำคัญ, การรับโหลดของโครงสร้าง, คุณสมบัติของวัสดุ, ทฤษฎีเชิงวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องในการออกแบบและการวิเคราะห์ความแข็งแรงในบทที่ต่อไป

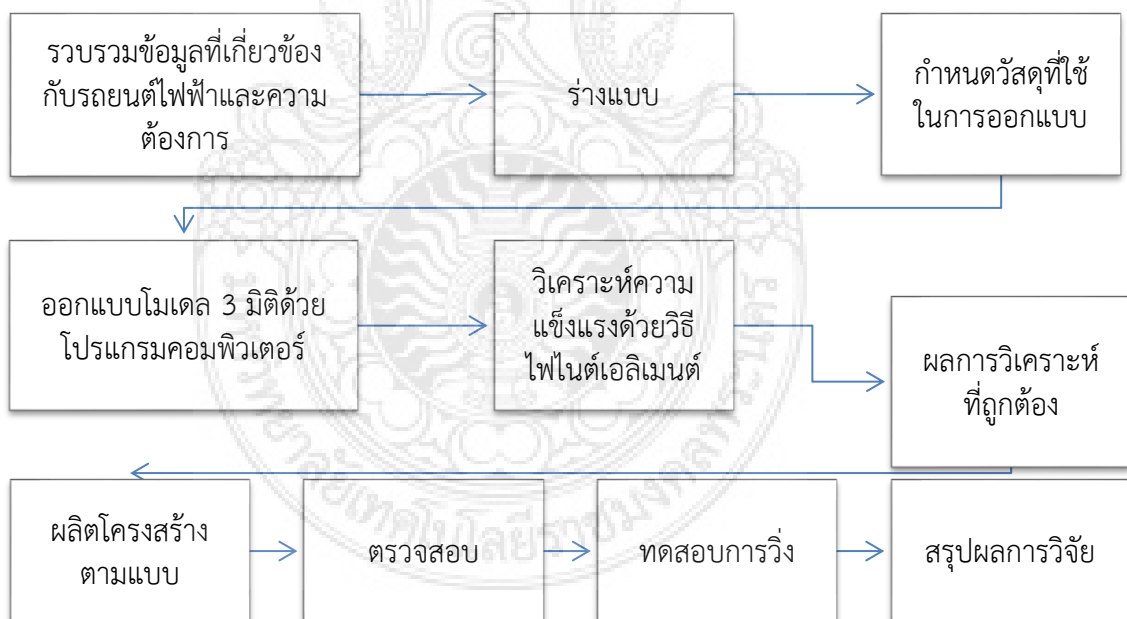
บทที่ 3

การออกแบบเชิงวิศวกรรมและการสร้างต้นแบบ

จากการศึกษามูลค่าอุตสาหกรรม การพัฒนาโอกาส ความต้องการของลูกค้าและเป้าหมายการตลาดในบทที่ 2 ซึ่งนำมาสู่การออกแบบและการผลิตโครงสร้างของรถ โดยใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element) มาช่วยในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างรถ ซึ่งมีกระบวนการดังต่อไปนี้

3.1 การกำหนดกรอบการออกแบบที่สำคัญ

3.1.1 การศึกษากระบวนการออกแบบโครงสร้างรถ กระบวนการออกแบบเป็นกระบวนการที่ต้องรู้จักวางแผน จัดขั้นตอน มีกระบวนการดังภาพ 3.1



ภาพ 3.1 กระบวนการออกแบบ

จากภาพ 3.1 เป็นกระบวนการออกแบบและขั้นตอนการสร้างต้นแบบเริ่มตั้งแต่รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับรถยนต์ไฟฟ้าและความต้องการ การร่างแบบสเก็ต การกำหนดวัสดุที่ใช้ในการออกแบบ การออกแบบโมเดล 3 มิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยวิธีไฟ

ไนต์เอลิเมนต์ เมื่อได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง จึงดำเนินผลิตโครงสร้างตามแบบที่ออกแบบไว้ แล้วตรวจสอบและทำการทดสอบและสรุปผล ซึ่งจะกล่าวในขั้นตอนต่อไป

3.2 การออกแบบหลักการทำงานที่สำคัญ

ขั้นตอนนี้มีการศึกษาความต้องการ ลักษณะจำเพาะและคุณสมบัติที่ต้องการของรถ เพราะต้องใช้ข้อมูลไปทำการออกแบบเบื้องต้นและสร้างต้นแบบมีดังนี้

3.2.1 คุณสมบัติของรถ

- 1) โครงสร้างของรถมีน้ำหนักเบา
- 2) สามารถนั่งได้ 2 คน
- 3) รถสามารถวิ่งได้ความเร็ว 0-80 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- 4) ขับเคลื่อนด้วยระบบไฟฟ้าทั้งหมด

3.2.2 คุณสมบัติของโครงสร้าง

- 1) โครงสร้างมีน้ำหนักไม่เกิน 100 กิโลกรัม และรับน้ำหนักในแนวตั้งได้ 1 ตัน
- 2) โครงสร้างต้องมีความแข็งแรงและห้องโดยสารสามารถนั่งได้ 2 คน
- 3) โครงสร้างของรถแข็งแรงเมื่อรถวิ่งที่ความเร็ว 0-80 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- 4) มีพื้นที่สำหรับวางระบบขับเคลื่อน, แอร์, แบตเตอรี่, มอเตอร์, เกียร์, เบาะ และอุปกรณ์ต่างๆ

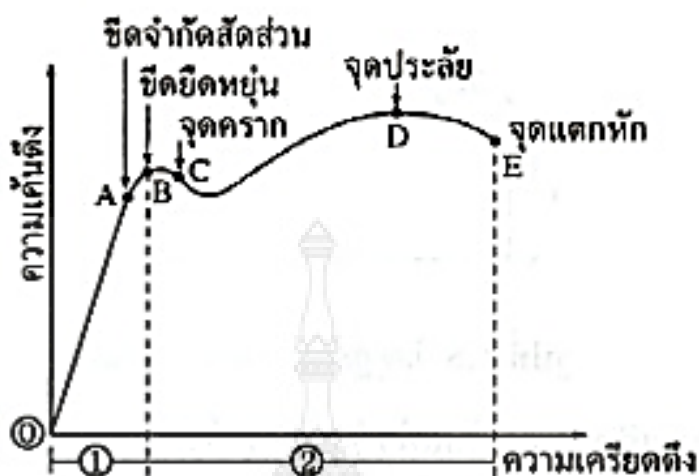
3.2.3 การรับน้ำหนักของโครงสร้าง (Load) การรับน้ำหนักของโครงสร้างแบ่งออกได้ ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ภาระที่กระทำ (Load)

ภาระที่กระทำ (Load)	น้ำหนัก kg	จำนวน	น้ำหนักรวม kg
คน	80	2	160
มอเตอร์ 7.5 kW 72v AC 7000rpm max.	38	1	38
แบตเตอรี่ JLFP-30HL-BS ขนาด 12.8v30Amp	2.96	6	17.76
ระบบขับเคลื่อนและระบบเบรก	50	1	50
เบาะนั่ง	30	2	60
ประตู	25	2	50
เกียร์	45	1	45
บอดี้ฝากระโปรงหน้า	20	1	20
บอดี้หลังคาและกระจกหน้า	40	1	40
บอดี้ฝากระโปรงหลัง	35	1	35
รวม		15	515.76

จากตาราง 3.1 มีภาระที่กระทำกับโครงสร้างของรถได้แก่ คน, มอเตอร์, แบตเตอรี่, ระบบขับเคลื่อน, เบรก, เบาะนั่ง, ประตู, เกียร์, บอดี้ แต่ละส่วนน้ำหนักไม่เท่ากันและน้ำหนักโดยรวมทั้งหมดเท่ากับ 516 กิโลกรัม

3.2.4 คุณสมบัติของวัสดุ การออกแบบชิ้นส่วนให้สามารถรับแรงได้อย่างปลอดภัย ต้องแน่ใจว่าความเค้นที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนไม่เกินค่าความแข็งแรงของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนนั้น ถ้าเป็นวัสดุประเภทเหล็กเหนียว จะให้ความสำคัญกับค่าความเค้นที่จุดคราก (Yield strength : S_y) เพราะเป็นความเค้นที่ทำให้วัสดุเริ่มเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร อันทำให้ชิ้นส่วนเสียหาย วัสดุที่มีความเปราะหลายชนิดเช่นเหล็กหล่อ จะไม่มีความเค้นที่จุดคราก จึงต้องใช้ค่าความเค้นประลัย (Ultimate strength : S_u) เป็นเกณฑ์กำหนดความเสียหายในการออกแบบภาพ 3.2



ภาพ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด
ที่มา: การทดสอบด้วยแรงดึง (Tensile Test) (2557)

จากภาพ 3.2 ในช่วง OA กราฟจะเป็นเส้นตรงแสดงว่าความเครียดแปรผันโดยตรงกับความเค้น ถ้าปล่อยแรงดึงออกวัสดุจะกลับคืนสภาพเดิม ช่วง AB กราฟจะเริ่มโค้งงอแบนจากเดิม (ช่วงสั้นๆ) จุด B เป็นจุดสุดท้ายที่วัสดุจะกลับคืนสภาพเดิมได้ จุด B เรียกว่า ขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit) ช่วง BC กราฟจะโค้งแบนไปอีกระยะหนึ่ง เมื่อเลยจุด C วัสดุจะยืดตัวออกได้เองโดยไม่ต้องออกแรงเพิ่มขึ้น จุด C เรียกว่า จุดคราก (Yield Point) เป็นจุดแบ่งระหว่างการคืนรูปและการคงรูป ช่วง CE กราฟจะโค้งยาวจากจุด C เมื่อออกแรงดึงวัสดุจะยืดต่อไปอีกจนถึงจุด D ซึ่งเป็นจุดสูงสุดที่วัสดุจะรับความเค้นได้ จุด D เรียกว่าจุดประลัย (Ultimate Strength) จากนั้นวัสดุจะยืดตัวออกเองจนถึงจุด E วัสดุจะขาดออกจากกัน จุด E เรียกว่า จุดแตกหัก (Breaking Point)

วัสดุที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้เป็นท่อเหล็กโครงสร้าง (SS400) สามารถหาซื้อได้ง่าย และมีคุณสมบัติดังตาราง 3.2

ตาราง 3.2 คุณสมบัติของท่อเหล็กเหนียว SS400

Standard	Grade	Strength		
		Yield N / mm ²	Tensile N / mm ²	Elongation %
TIS 1479	SS400	235	402	23

ที่มา: บริษัท ทักษิณาเมทัล จำกัด (2559)

จากตาราง 3.2 คุณสมบัติของเหล็ก SS400 มาตรฐาน TIS1479 มีจุดคราก (Yield Point) อยู่ที่ 235 N / mm^2 ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้จุดนี้ในการออกแบบโครงสร้างรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบคันนี้ การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเหล็กรูปพรรณหรือเหล็กโครงสร้างทั่วไป ในการเลือกมาใช้ทำโครงสร้างรถ คุณสมบัติที่ต้องการคือ แข็งแรง สามารถดัดขึ้นรูปได้ สวยงาม หาซื้อได้ง่าย และมีคุณสมบัติที่เหมาะสมคือ ท่อเหล็ก(Pipe) SS400 ดังตาราง 3.3

ตาราง 3.3 ตารางเปรียบเทียบของเหล็กรูปพรรณ

ชนิดของเหล็กรูปพรรณ	I-BEAM	L-SHAPE	PIPE
ทดสอบความแข็งแรง			
Lx (การดัดโค้งแกน x)	√	x	-
Ly (การดัดโค้งแกน y)	x	-	√
Torsion (แรงบิด)	-	x	√
Tensile (แรงดึง)	√	√	√
Bucking (การโค้งงอ)	-	x	√
Appearance (ความสวยงาม)	x	x	√
	√ = (ดี)	- = (ปานกลาง)	x = (น้อย)

ที่มา: การใช้ท่อเหล็กในโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่, คุณนันทวัฒน์ สติระไชยวิทย์, (2559)

จากตาราง 3.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบ รูปพรรณกับความแข็งแรงของโครงสร้างของท่อเหล็กกับเหล็กรูปพรรณอื่นๆ อย่างเช่น I-Beam และ L-Shape จะเห็นได้ว่าท่อเหล็ก นั้นมีข้อได้เปรียบทุกด้าน ไม่ว่าจะเป็นการ ดัดโค้งในแนวแกน X การดัดโค้งในแนวแกน Y ซึ่งในแนวแกน Y นั้นถือได้ว่าได้เปรียบเมื่อ เปรียบเทียบกับเหล็กโครงสร้างรูปพรรณอื่นๆ คือ เมื่อนำท่อเหล็กไปทำโครงสร้างแนวแกน Y ซึ่งเป็นแนวที่รับแรงลม เมื่อเปรียบเทียบกับ I-Beam ซึ่งไม่มีเนื้อเหล็กจะทำให้โครงสร้างล้มได้ และโครงสร้างเหล็กรูปพรรณจะมีค่าแอนตัวที่ยอมรับได้เมื่อได้รับแรงกระทำดังตาราง 3.4

ตาราง 3.4 ค่าแอนตัวที่ยอมให้ของโครงสร้างท่อเหล็ก SS400

ค่าแอนตัวที่ยอมรับได้	
น้ำหนักบรรทุกทุกครั้งที่	L/120
น้ำหนักบรรทุกทุกจร	L/360

ที่มา: บริษัท แปซิฟิกไพพ์ จำกัด (มหาชน), (2559)

จากตาราง 3.4 แสดงค่าแอนตัวของท่อเหล็กขนาดมาตรฐาน โดยมี 2 ชนิดได้แก่ น้ำหนักบรรทุกคงที่เท่ากับ L/120 และน้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ L/360 โดยใช้ระยะของจตุรรองรับเป็นตัวตั้ง

3.3 การออกแบบเพื่อกำหนดรายละเอียด

3.3.1 ทฤษฎีการคำนวณทางวิศวกรรม ในการออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมมีความจำเป็นอย่างยิ่งในเรื่องความแข็งแรงของโครงสร้างเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงลักษณะของแรงกระทำและค่าความแข็งแรงของวัสดุ โดยใช้ทฤษฎีความเค้นของวัสดุ

3.3.2 ค่าความปลอดภัย

ค่าความปลอดภัยที่เพิ่มความปลอดภัยในการออกแบบให้สิ่งปลูกสร้าง วัสดุ อุปกรณ์ ตลอดจนยานพาหนะ ยังรักษาสภาพไว้ได้ระดับหนึ่ง เมื่อถึงคราวกรณีไม่ปกติ ชิ้นส่วนที่ถูกออกแบบภายใต้ค่าความปลอดภัยยังคงมีเวลาที่จะทำอะไรต่างๆก่อนที่จะถึงจุดวิกฤตจุดแตกหัก จุดที่ยอมให้ทนได้ คืออัตราประสงค์หลักของการเผื่อค่าความปลอดภัยดังตาราง 3.5

ตาราง 3.5 ค่าความปลอดภัย (Safety Factor = $S.F.$)

ชนิดของวัสดุ	กรณีรับภาระ	Safety Factor
เหล็กเหนียว (SS400)	มีลักษณะสปริงจนล้ำ	1.8-2.4

ที่มา: ตารางโลหะ; รศ.บรรเลง ศรีนิล,รศ.สมนึก วัฒนศรีกุล (2551)

จากตาราง 3.5 เป็นค่า Safety Factor ของเหล็กเหนียว (SS400) กรณีรับภาระลักษณะเป็นสปริงจนล้ำให้ใช้ค่า Safety Factor เท่ากับ 1.8-2.4 ซึ่งผู้วิจัยได้เลือกใช้ในงานวิจัยนี้

3.3.3 ความเค้นที่ยอมให้ใช้ได้ ความเค้นที่ยอมให้ใช้ได้

$$\sigma_{allw} = \frac{\sigma_{lim}}{S.F.} \dots\dots\dots (3.1)$$

โดยให้ σ_{allw} = ความเค้นที่ยอมให้ใช้ได้ $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$

σ_{lim} = ความเค้นจำกัดขึ้นอยู่กับการรับภาระและลักษณะการใช้งาน $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$

3.3.4 การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนของการคำนวณด้วยมือ และยังสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ออกมาเป็นภาพ สามารถสื่อความเข้าใจได้ง่าย เลือกใช้วัสดุได้เหมาะสมกับงาน ลดต้นทุนและเป็นที่ยอมรับในเรื่องวิศวกรรมย้อนรอยหรือ Reversed Engineering มี 3 กระบวนการดังภาพ 3.3



ภาพ 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ FEM

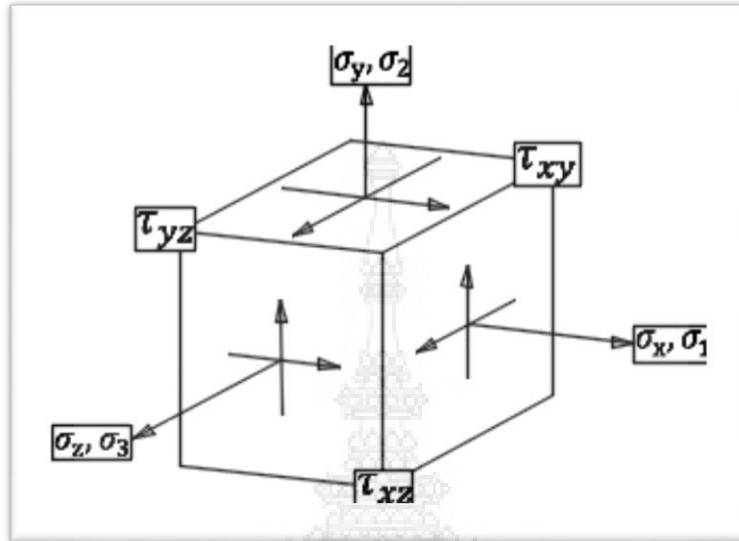
ที่มา: การวิเคราะห์ความแข็งแรง; รศ.ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี,สถาพร ว่างฉาย; (2549)

จากภาพ 3.3 เป็นการแสดงขั้นตอนวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แบ่งเป็น 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มที่ 1 เป็นการกำหนดวัสดุให้กับโครงสร้าง การกำหนดแรงกระทำกับโครงสร้าง การกำหนดตำแหน่งการจับยึดโครงสร้าง กลุ่มที่ 2 เป็นการคำนวณเอลิเมนต์และความเค้นต่างๆที่เกิดกับโครงสร้างด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กลุ่มที่ 3 การแสดงผลจากการวิเคราะห์ของความเค้นต่างๆที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง

ในการใช้การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างรถ ได้อ้างอิงทฤษฎีทางวิศวกรรม จะต้องมีความรู้พื้นฐานในส่วนการออกแบบ เช่น ความเค้นหลัก, ความเค้น von Mises, ความเค้นจุดคราก (S_y), ความเค้นประลัย (S_u), ขีดความสามารถของความเค้นแรงดึง (S_t), ขีดความสามารถของความเค้นอัด (S_c), ค่าความปลอดภัยและระยะเคลื่อนตัว เป็นต้น จึงจะสามารถสรุปงานที่ออกแบบว่าปลอดภัยหรือว่าอาจเกิดความเสียหาย

3.3.5 การกำหนดเอลิเมนต์ การเลือกใช้ชนิดของเอลิเมนต์ในโปรแกรม SOLIDWORKS Simulation มีความสำคัญเพราะจะส่งผลกระทบต่อความถูกต้องในการคำนวณและส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการจำลองสถานการณ์ต่างๆ โปรแกรมจะใช้เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งเป็นแบบรูปทรงสี่หน้าสำหรับงานทรงตัน และใช้เอลิเมนต์รูปทรงสามเหลี่ยมสำหรับงานพื้นผิว โปรแกรมจะใช้ทั้งสองแบบนี้ในการสร้างเอลิเมนต์อัตโนมัติ ส่วนเอลิเมนต์ลำดับที่สอง ได้แก่เอลิเมนต์ทรงหกหน้า ซึ่งลำดับที่สองนี้ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดเอง ขึ้นอยู่กับต้องการความละเอียดและความแม่นยำมากน้อยเพียงไร และเมื่อสร้างเอลิเมนต์ละเอียดมากก็จะส่งผลให้การวิเคราะห์ใช้เวลานานตามไปด้วย

3.3.6 ทฤษฎีความเสียหาย ความเค้นเกิดจากแรงกระทำในทิศทาง 3 แนวแกน และการหาค่าความเค้นสูงสุดในแต่ละระนาบเราเรียกว่า ความเค้นหลัก (Principal Stress) ซึ่งมีทิศทางตั้งฉากกับระนาบซึ่งมีค่าความเค้นเฉือนเท่ากับศูนย์ สามารถเขียนแทนด้วยตัวแปร σ_1 , σ_2 และ σ_3 ดังภาพ 3.4



ภาพ 3.4 ความเค้นกระทำบนเอลิเมนต์ในระบบ 3 มิติ

ที่มา: การวิเคราะห์ความแข็งแรง; รศ.ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี,สถาพร ว่างฉาย; (2549)

จากภาพ 3.4 แสดงความเค้นต่างๆในระนาบ 3 มิติ และสามารถนำมาแสดงในระนาบสองมิติเพื่อหาค่าความเค้นเฉือนสูงสุดได้จากความสัมพันธ์ของสมการ 3.2

$$\tau_{xy} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \tau_{yz} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}; \tau_{xz} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \dots\dots\dots (3.2)$$

ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดสมบูรณ์ (τ_{max})_{abs} = τ_{xz} เมื่อความเค้นหลักที่เกิดตามเงื่อนไข $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

3.3.7 ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดที่ยอมให้ได้ จากทฤษฎีความเสียหายได้กำหนดสมการความเค้นเฉือนสูงสุดที่ยอมให้ได้ดังนี้

$$\tau_{max} = \frac{S_y}{(S.F.)} \dots\dots\dots (3.3)$$

โดยให้

- τ_{max} = ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด
- S_y = ค่าความเค้นจุดครากสูงสุด
- (S.F.) = ค่าความปลอดภัย

3.3.8 ทฤษฎีความเค้นพอนมิสเซล

ความเค้นพอนมิสเซลเป็นที่รู้จักกันดี เพราะมักใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ในเอลิเมนต์ 3 มิติ จะมีส่วนประกอบของความเค้น 6 ตัวแปร ได้แก่ $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}$ และ τ_{yz} ดังภาพที่ 3.4 ความเค้นจะแบ่งตามทิศทางของความเค้นตั้งฉาก (Normal Stress) และความเค้นเฉือน (Shear Stress) โดยกำหนดตัวแปรตามระนาบและตามทิศทางของแกน ซึ่งความสัมพันธ์ของตัวแปรความเค้นเฉือนจะใช้สมการสมดุล และมีความสัมพันธ์ดังสมการ 3.4

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \tau_{yz} = \tau_{zy}, \tau_{xz} = \tau_{zx} \dots\dots\dots (3.4)$$

สมการความเค้น Von Mises สามารถเขียนในรูปตัวแปรความเค้นย่อย ดังต่อสมการ 3.5

$$\sigma_{\text{von mises}} = \sqrt{0.5((\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \dots\dots\dots (3.5)$$

$$(S.F.) = \frac{S_y}{\text{Von Mises Stress}} = \frac{S_y}{\sigma_{\text{von mises}}} \dots\dots\dots (3.6)$$

- เมื่อ $\sigma_{\text{von mises}}$ = ค่าความเค้นพอนมิสเซล
- S_y = ค่าความเค้นจุดครากสูงสุด
- (S.F.) = ค่าความปลอดภัย




..... (3.7)

$$\frac{\sigma_{\text{vonMises}}}{\sigma_{\text{Limit}}} < 1$$



..... (3.8)

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{\text{Limit}}} < 1$$

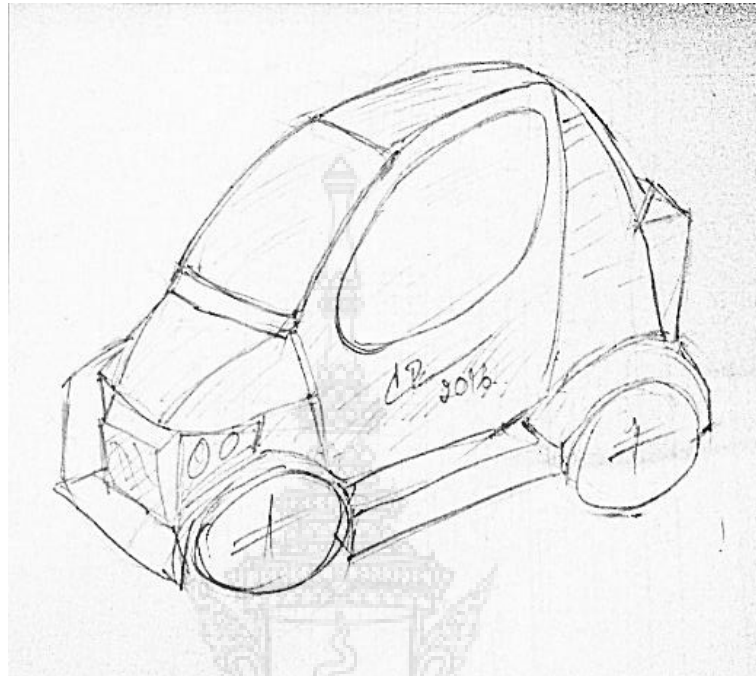


..... (3.9)

$$\frac{\tau_{\text{max}}}{0.5\sigma_{\text{Limit}}} < 1$$

จากนี้เป็นการเริ่มต้นการเขียนแบบโดยละเอียดเพื่อทำการผลิตโครงสร้างของรถต้นแบบมีขั้นตอนของกระบวนการออกแบบดังนี้

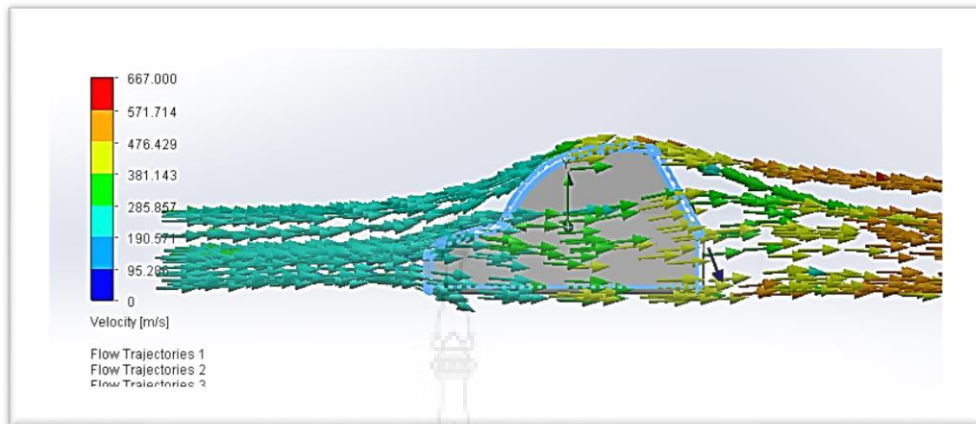
3.3.9 การร่างแบบสเกตช์ จากที่ได้ศึกษาอุตสาหกรรมของรถไฟฟ้าในบทที่ 2 จึงได้ข้อสรุปของ concept design ซึ่งนั่นก็เป็นที่มาของการทำ Drawing Sketch ให้ใกล้เคียงกับงานจริงมากที่สุด ว่ารูปร่างหน้าตาของรถว่าจะทำออกมาในรูปแบบใด เพื่อง่ายต่อการคิดและรวดเร็วในการตัดสินใจในการเลือกรูปแบบและการทำโครงสร้างที่เหมาะสมสำหรับรถคันนี้ ดังภาพ 3.5



ภาพ 3.5 แบบ Sketch

จากภาพ 3.5 เป็นการสกัดภาพที่ต้องการด้วยมือให้ใกล้เคียงกับแบบที่ต้องการมากที่สุด เพื่อช่วยในการสร้างไอเดียในการออกแบบทรงที่เหมาะสมและความเป็นไปได้ของโครงสร้างเพื่อสรุปทรงที่เหมาะสมที่สุด

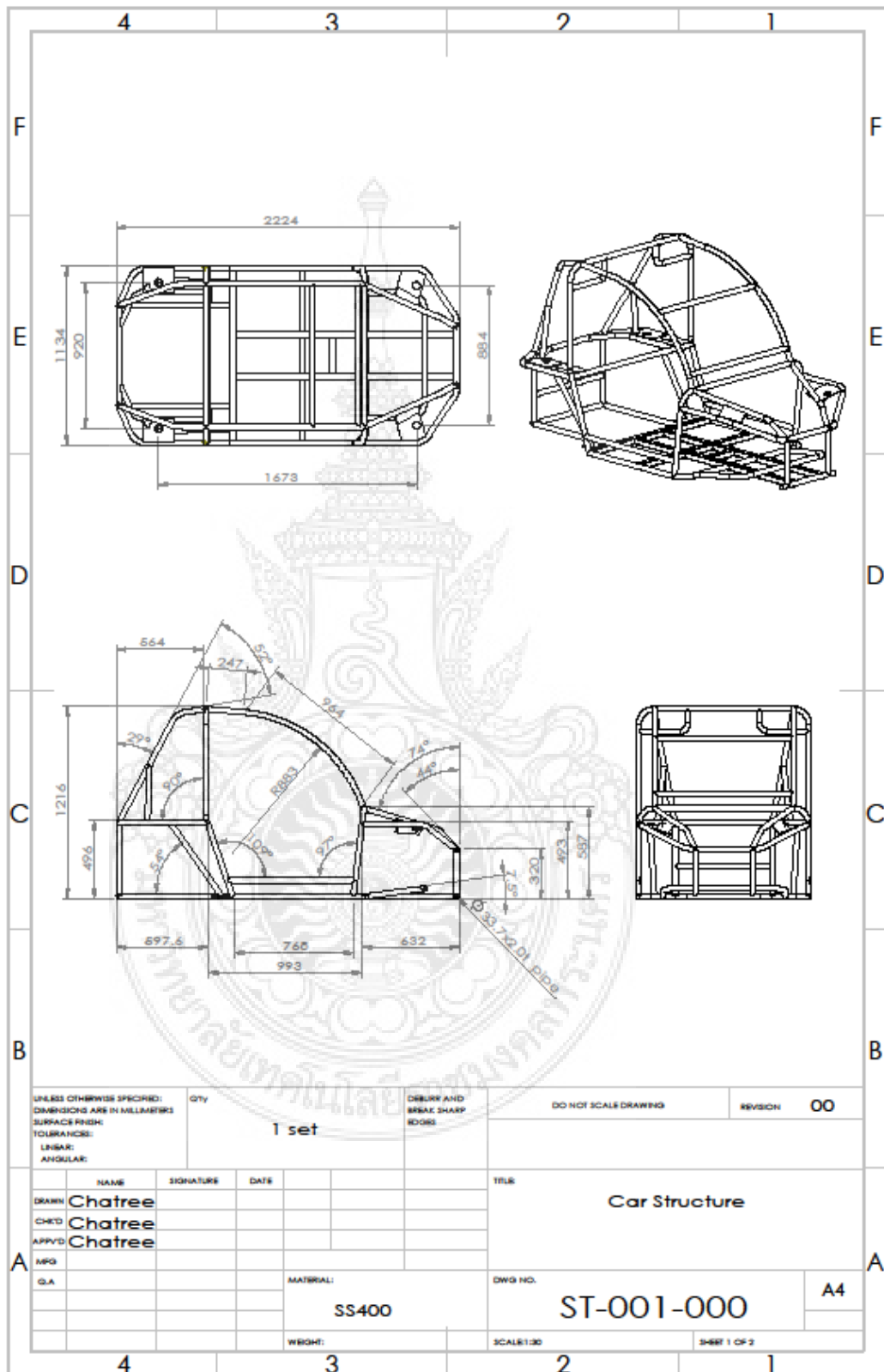
3.3.10 แบบโครงสร้างโมเดล 3 มิติ จากรูป sketch และอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆที่ได้กำหนดได้แล้ว ต่อไปจะเป็นขั้นตอนการออกแบบโมเดล 3 มิติ เพื่อแสดงแรงต่างๆที่ทำต่อโครงสร้างและวิธีการทำไฟไนต์เอลิเมนต์ รูปแบบของโครงสร้างของรถที่ออกมานั้นมีความจำเป็นต้องวิเคราะห์ผลกระทบหลายด้านที่จะส่งผลต่อโครงสร้าง และการต้านลมของรูปทรงที่ออกแบบว่าเหมาะสมหรือไม่ ดังภาพที่ 3.6 แสดงทิศทางการไหลของลมขณะขับรถ จากภาพดังกล่าวรูปทรงของรถแบบนี้ลมไหลผ่านสะดวก ไม่มีลมย้อนกลับ ดูได้จากการแสดงผลของความเร็วในภาพดังกล่าว



ภาพ 3.6 วิเคราะห์การต้านลมของรถมองจากด้านข้าง

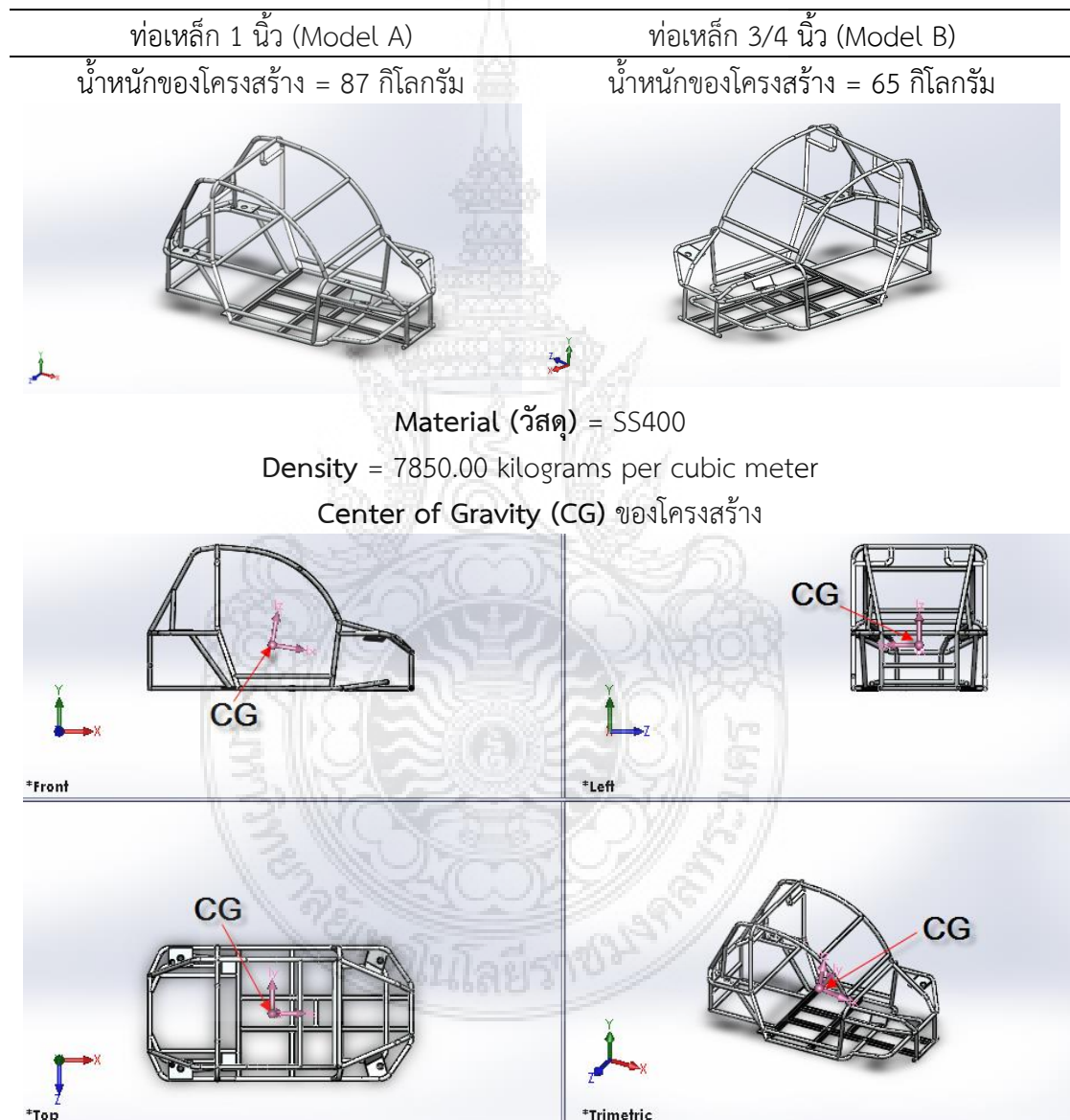
จากภาพ 3.6 แสดงให้เห็นว่าทิศทางการไหลของลมก่อนข้างราบเรียบไม่มีลมย้อนกลับ ดังนั้นรูปทรงของตัวรถเป็นที่น่าพอใจ

เมื่อได้รูปแบบจำลองของตัวรถแล้วเริ่มทำการเขียนแบบเป็นโมเดล 3 มิติ พร้อมทั้งกำหนดขนาดเบื้องต้นเพื่อเตรียมการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ ดังภาพ 3.7



ภาพ 3.7 แบบโครงสร้างรถ

จากภาพ 3.7 การเขียนแบบโมเดล 3 มิติเสร็จเรียบร้อยแล้ว ในงานวิจัยนี้จะเขียนโมเดล 3 มิติขึ้นมา 2 รุ่น คือ โครงสร้างที่ใช้ท่อเหล็กขนาด 1 นิ้ว (Model A) และท่อเหล็กขนาด 3/4 นิ้ว (Model B) เพื่อเปรียบเทียบในการวิเคราะห์ความแข็งแรงในการเลือกโครงสร้างที่เหมาะสม ดังภาพ 3.8



ภาพ 3.8 โมเดล 3 มิติ ของท่อเหล็ก 1 นิ้วและท่อเหล็ก 3/4 นิ้ว

จากภาพ 3.8 แบบโครงสร้างโมเดล 3 มิติขึ้นมาทั้ง 2 โมเดล คือ แบบท่อเหล็ก 1 นิ้ว (Model A) และท่อเหล็ก 3/4 นิ้ว (Model B) พร้อมกับกำหนดวัสดุ หนาแน่น และจุด CG ให้กับโมเดลเพื่อเตรียมที่จะทำการวิเคราะห์ FEM



3.4 กระบวนการสร้างต้นแบบ

จะทำได้หลังจากที่ทำการสรุปผลการวิเคราะห์ FEM และได้โครงสร้างที่แข็งแรงตามสเปคที่ต้องการแล้ว ซึ่งมีรายละเอียดไว้ใน ภาคผนวก ข

เมื่อศึกษาการออกแบบเชิงวิศวกรรมและทำการออกแบบโมเดล 3 มิติเสร็จแล้ว จะทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ FEM มีขั้นตอนที่จำเป็น เช่น การกำหนดจุดยึด, กำหนดโหลดหรือภาระที่กระทำ, กำหนด element ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป



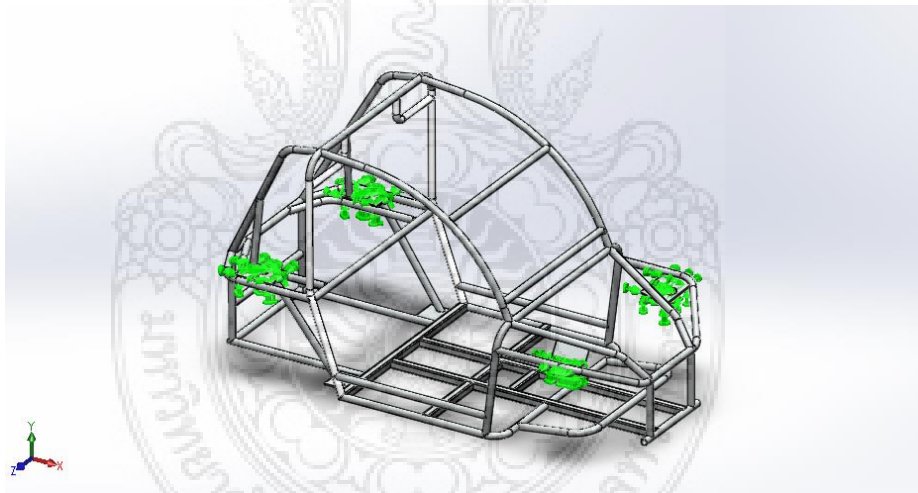
บทที่ 4

การทดสอบต้นแบบ

ขั้นตอนการออกแบบทางวิศวกรรมดังที่กล่าวในบทที่ 3 ได้ดำเนินการสร้างต้นแบบตามแบบที่ออกแบบไว้เรียบร้อยแล้ว และในบทนี้กล่าวถึงวิธีการทดสอบต้นแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ มีดังต่อไปนี้

4.1 การออกแบบการทดลอง

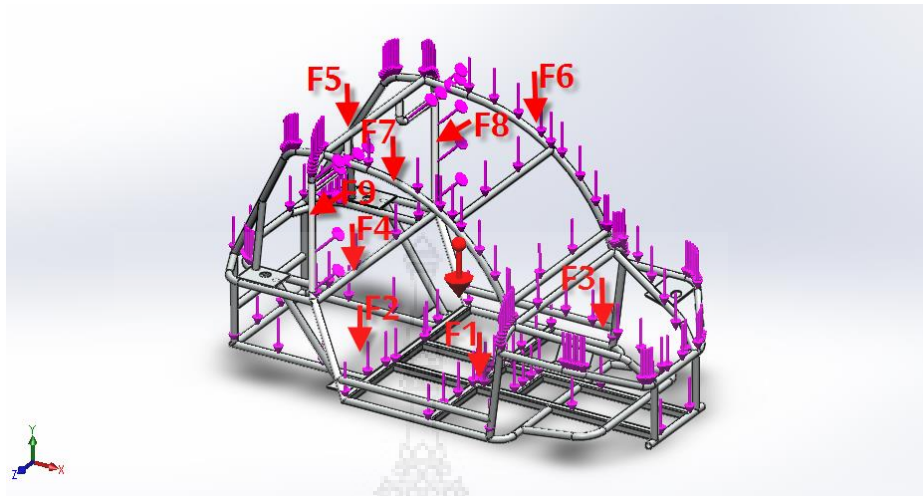
4.1.1 การกำหนดจุดยึด ขั้นตอนต่อไปเป็นการกำหนดจุดยึดให้กับโครงสร้างซึ่งจะเป็นตำแหน่งของแผ่นยึดสปริงใช้คและเป็นจุดรองรับโครงสร้างทั้งหมด ดังภาพ 4.1



ภาพ 4.1 แสดงการสร้างจุดยึด (Fixed) ที่โครงสร้าง

จากภาพ 4.1 เป็นการสร้างจุดยึดให้กับโครงสร้างตามตำแหน่งที่ผู้ออกแบบได้กำหนดไว้แล้วกำหนดแรงที่กระทำกับโครงสร้างทั้งหมดในขั้นตอนต่อไป

4.1.2 กำหนดโหลดหรือภาระที่กระทำ เมื่อได้ภาระที่กระทำกับโครงสร้างทั้งหมด (จากตาราง 3.1) จึงกำหนดภาระที่กระทำต่อโครงสร้างทั้งหมด ในขั้นตอนนี้ผู้ออกแบบอาจบวกเพื่ออุปกรณ์หรือมีอะไรเพิ่มเติมในภายหลัง ดังภาพ 4



ภาพ 4.2 แสดงแรงที่กระทำต่อโครงสร้างภายในห้องโดยสาร

จากภาพ 4.2 แสดงภาระของโหลดที่กระทำกับโครงสร้าง ดังตารางที่ 4.1

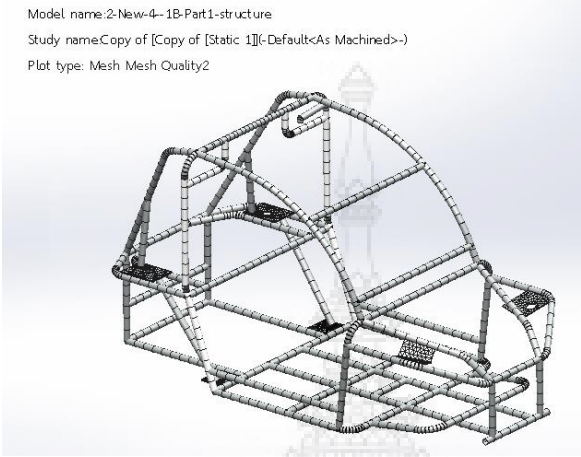
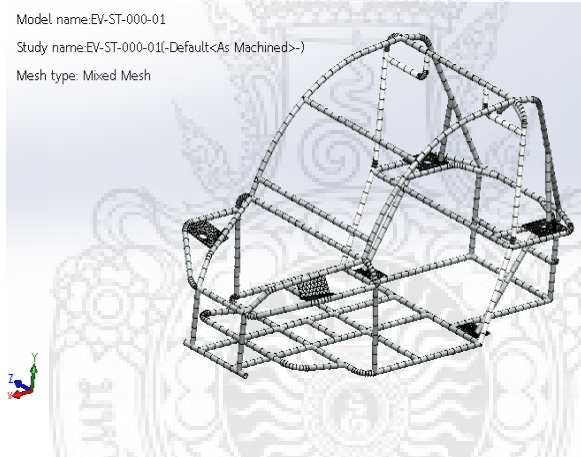
ตาราง 4.1 กำหนดแรงกระทำบนโครงสร้าง

ภาระที่กระทำ	N (นิวตัน)
F1	3000
F2	1000
F3	200
F4	200
F5	300
F6	200
F7	200
F8	200
F9	200
โหลดที่กระทำกับโครงสร้างทั้งหมดรวม	5500

เมื่อกำหนดภาระบนโครงสร้างทั้งหมดแล้วขั้นตอนต่อไปจะกำหนดความละเอียดในการวิเคราะห์ความแข็งแรง

4.1.3 กำหนด element เป็นขั้นตอนการสร้าง mesh หรือ element ให้กับโครงสร้างเพื่อกำหนดความละเอียดในการวิเคราะห์ ขั้นตอนนี้โปรแกรมจะคำนวณให้อัตโนมัติหรือจะกำหนดเองก็ได้ ดังตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ความละเอียด ratio mesh ของเอลิเมนต์ (Element)

Model	Element Analysis	Element Properties
A	Model name: 2-New-4-1B-Part1-structure Study name: Copy of [Copy of [Static 1]](-Default<As Machined>-) Plot type: Mesh Mesh Quality2	Jacobian points At Nodes Jacobian check for shell On Mesh Control Defined Max Element Size 21 mm Min Element Size 1 mm Mesh quality High Total nodes 11284 Total elements 5352
		
B	Model name: EV-ST-000-01 Study name: EV-ST-000-01(-Default<As Machined>-) Mesh type: Mixed Mesh	Jacobian points At Nodes Jacobian check for shell On Mesh Control Defined Max Element Size 21 mm Min Element Size 1 mm Mesh quality High Total nodes 11365 Total elements 5432
		

จากตาราง 4.2 แสดงความละเอียด ratio mesh ของเอลิเมนต์ (Element) ของโมเดล A และ B แสดงให้เห็นว่าความละเอียดในการวิเคราะห์เป็นชนิดความละเอียดสูง โดยขนาดของเอลิเมนต์ต่ำสุด 1 มม. และสูงสุดไม่เกิน 21 มม.

เมื่อได้กำหนดจุดยึด การรับโหลด และเอลิเมนต์ให้กับโครงสร้างเสร็จแล้ว จะทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโมเดล A และ B เกี่ยวกับการวิเคราะห์ความเค้นตั้งฉากสูงสุด, การวิเคราะห์ความเค้นเฉือนสูงสุด, การวิเคราะห์การแอ่นตัว, การวิเคราะห์ความเค้น Von Mises Stress, การวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัย Safety Factor และแสดงผลจำลองการวิเคราะห์ FEM ในบทต่อไป

บทที่ 5

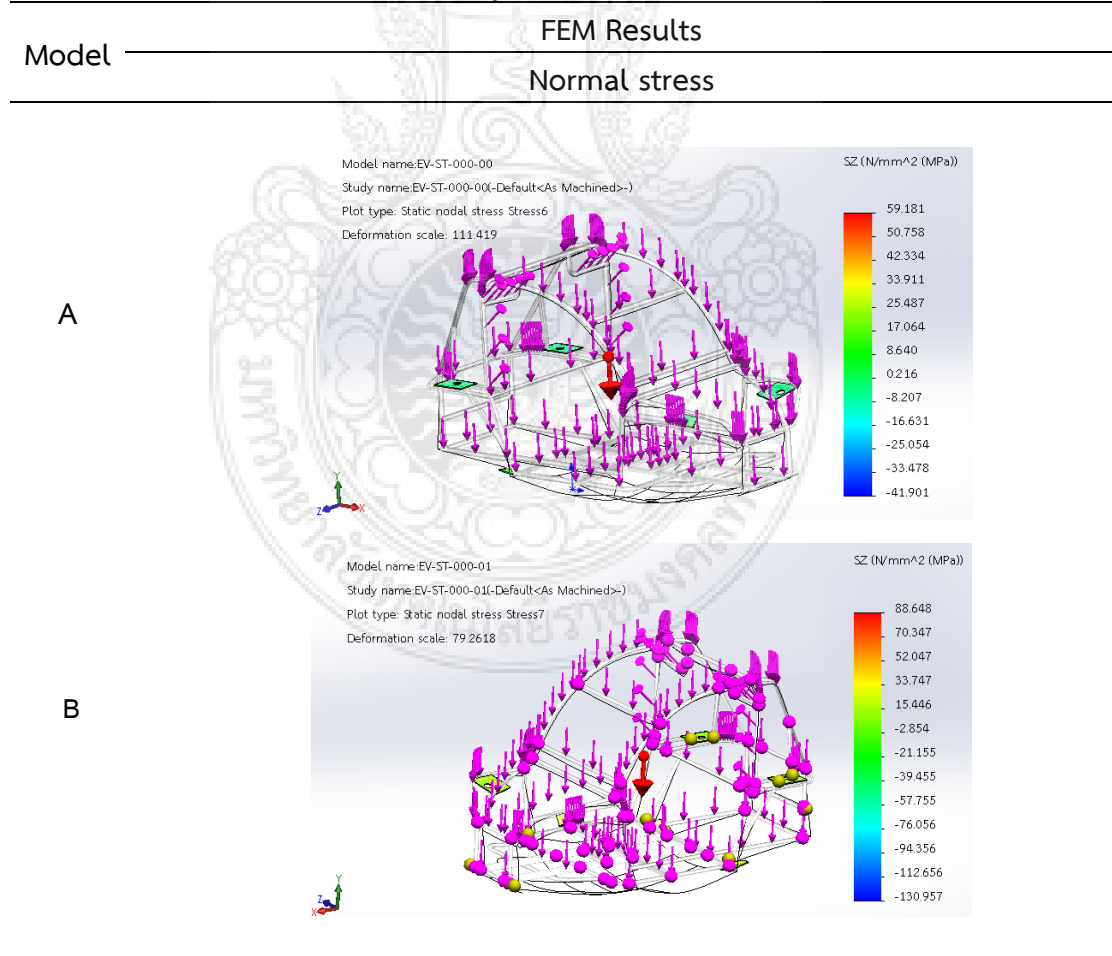
ผลการวิจัย

จากการทดสอบต้นแบบที่กล่าวในบทที่ 4 ได้ดำเนินการทดลองตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ และในบทนี้ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างทั้ง 2 โมเดลซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

5.1 ผลการทดลอง

5.1.1 การวิเคราะห์ความเค้นตึงจากสูงสุด เป็นการวิเคราะห์หาความเค้นที่กระทำตึงฉากกับพื้นที่หน้าตัด ดังตาราง 5.1

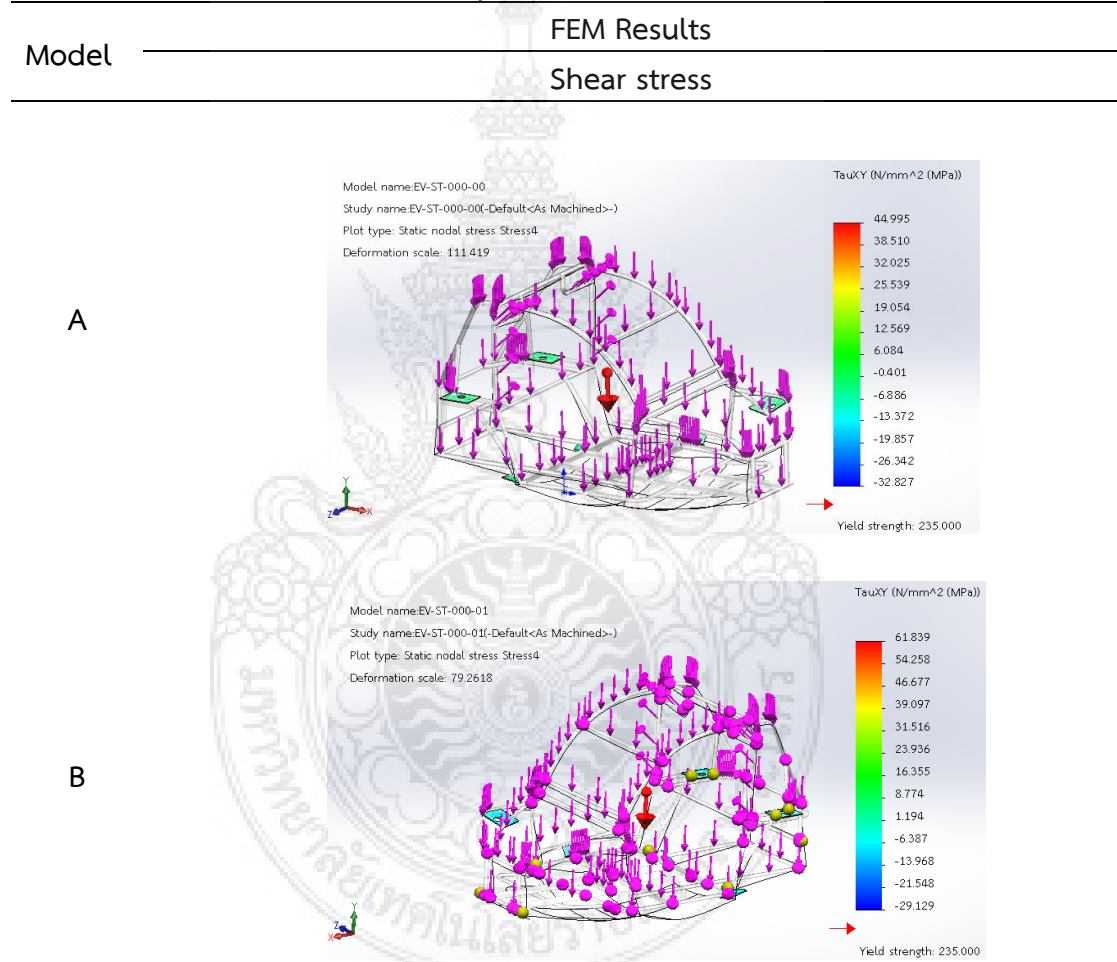
ตาราง 5.1 การวิเคราะห์ความเค้นตึงจากสูงสุด Normal stress



จากตาราง 5.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความเค้นตึงฉากในแนวแกนสูงสุดของโมเดล A และ โมเดล B ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ความเค้นตึงฉากในแนวแกนสูงสุดของโมเดล A เท่ากับ 59.1 N/mm² และผลจากการวิเคราะห์ความเค้นตึงฉากในแนวแกนสูงสุดโมเดล B เท่ากับ 88.6 N/mm²

5.1.2 การวิเคราะห์ความเค้นเฉือนสูงสุด เป็นการวิเคราะห์หาความเค้นเฉือนที่กระทำกับพื้นที่หน้าตัด ดังตาราง 5.2

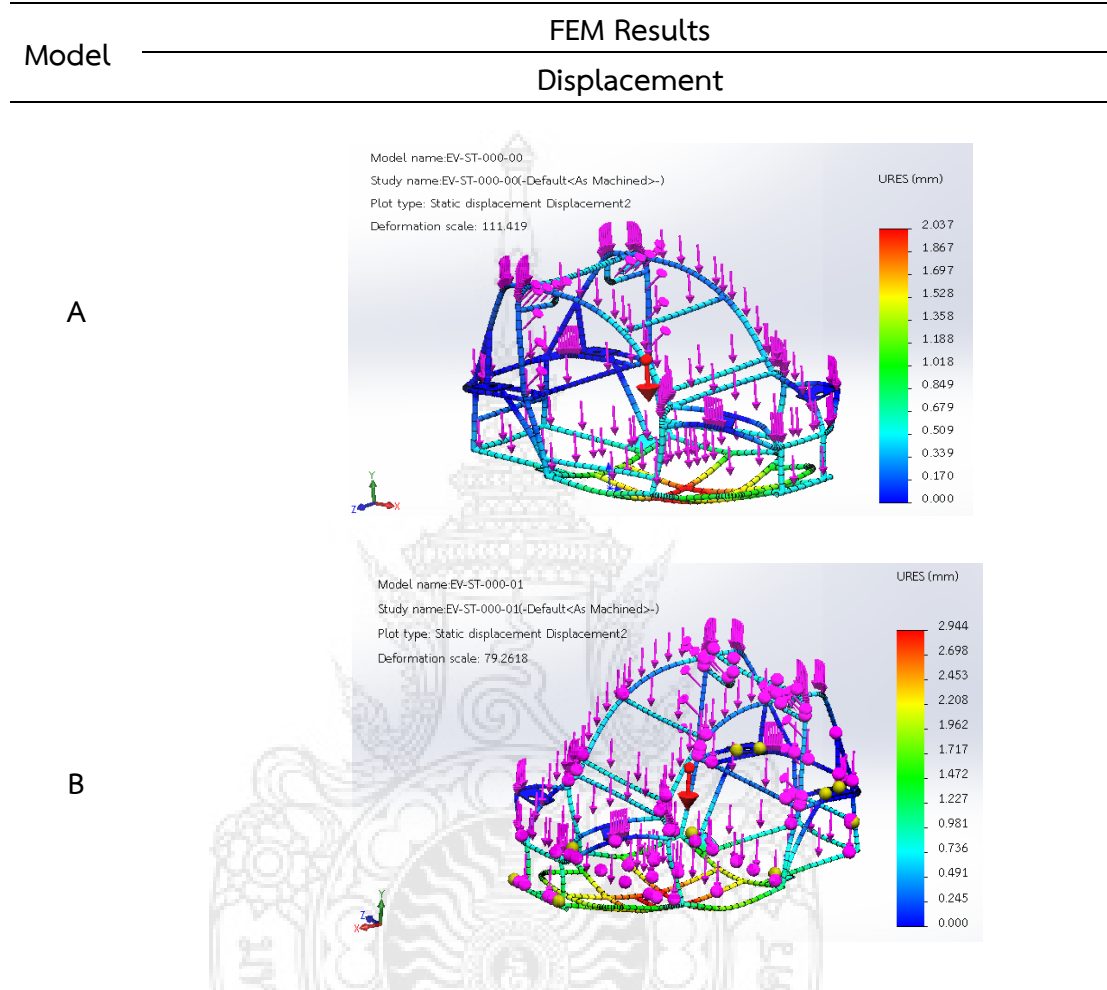
ตาราง 5.2 การวิเคราะห์ความเค้นเฉือนสูงสุด Shear stress



จากตาราง 5.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความเค้นเฉือนสูงสุดของโมเดล A และ B ซึ่งผลจากการวิเคราะห์เค้นเฉือนสูงสุดของโมเดล A เท่ากับ 45 N/mm² และผลจากการวิเคราะห์เค้นเฉือนสูงสุดโมเดล B เท่ากับ 61.8 N/mm²

5.1.3 การวิเคราะห์การแอ่นตัว เป็นการวิเคราะห์หาค่าการแอ่นตัวของโครงสร้าง ดังตาราง 5.2

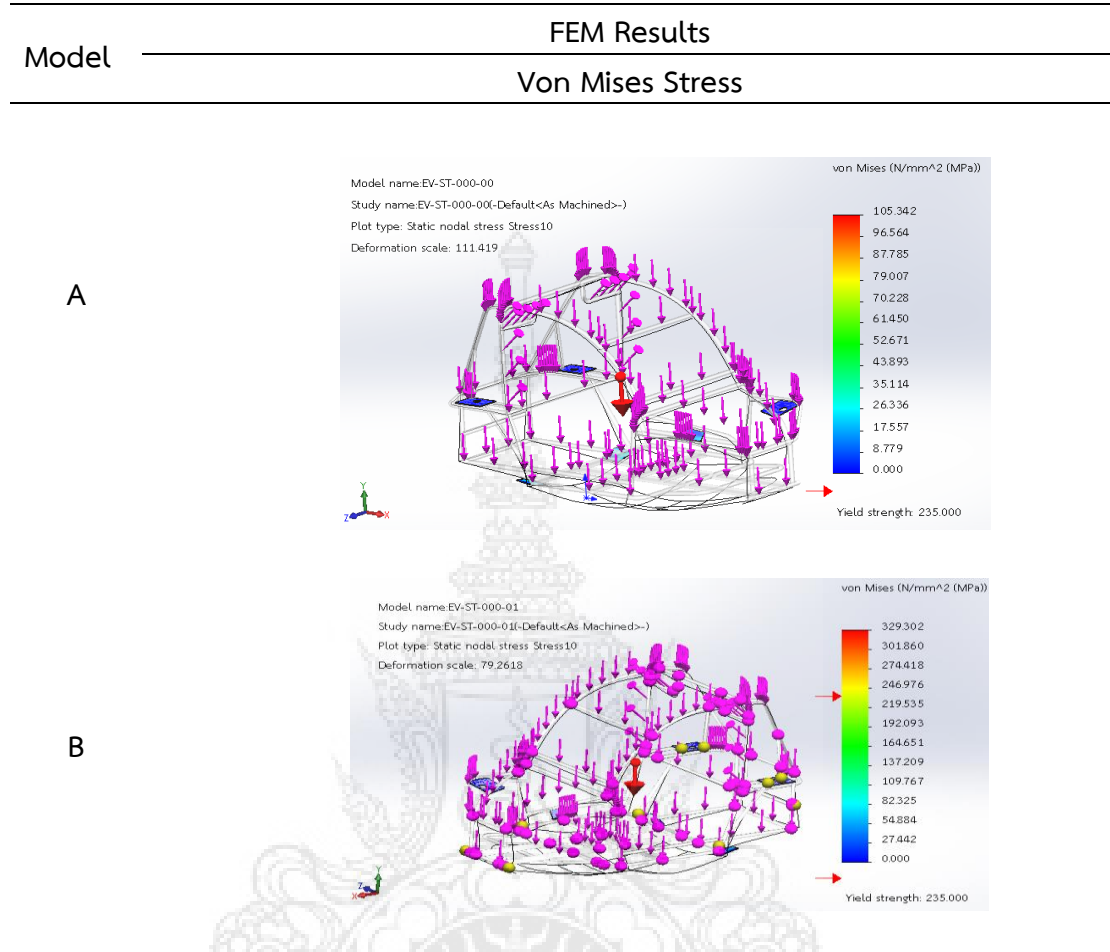
ตาราง 5.3 การวิเคราะห์การแอ่นตัว Displacement



จากตาราง 5.3 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าแอ่นตัวสูงสุดของโมเดล A และ B ซึ่งผลจากการวิเคราะห์การแอ่นตัวสูงสุดของโมเดล A เท่ากับ 2.0 มม. และโมเดล B เท่ากับ 2.9 มม.

5.1.4 การวิเคราะห์ความเค้น เป็นการวิเคราะห์หาความเค้นในเอลิเมนต์ 3 มิติ มีส่วนประกอบของความเค้น 6 ตัวแปร ได้แก่ σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{xz} และ τ_{yz} ดังภาพที่ 3.4 ความเค้นจะแบ่งตามทิศทางของความเค้นตั้งฉาก (Normal Stress) และความเค้นเฉือน (Shear Stress) โดยกำหนดตัวแปรตามระนาบและตามทิศทางของแกน ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดง ดังตาราง 5.4

ตาราง 5.4 การวิเคราะห์ความเค้น Von Mises Stress



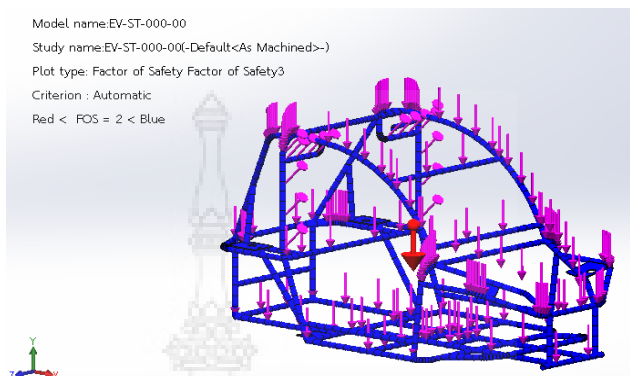
จากตาราง 5.4 แสดงผลการวิเคราะห์ความเค้น Von Mises Stress เป็นการวิเคราะห์หาความเค้นในเอลิเมนต์ 3 มิติ ของโมเดล A และ B ซึ่งผลจากการวิเคราะห์เค้น Von Mises Stress สูงสุดของโมเดล A เท่ากับ 105 N/mm^2 และผลจากการวิเคราะห์เค้น Von Mises Stress สูงสุดโมเดล B เท่ากับ 329 N/mm^2

5.1.5 การวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัย ในงานวิจัยของโครงสร้างรถคันนี้จะให้ความสำคัญกับค่าความเค้นที่จุดคราก (Yield strength) เพราะเป็นความเค้นที่ทำให้วัสดุเริ่มเปลี่ยนรูปอย่างถาวร อันทำให้ชิ้นส่วนเสียหายซึ่งโปรแกรมได้ทำการวิเคราะห์ค่า ดังตาราง 5.5

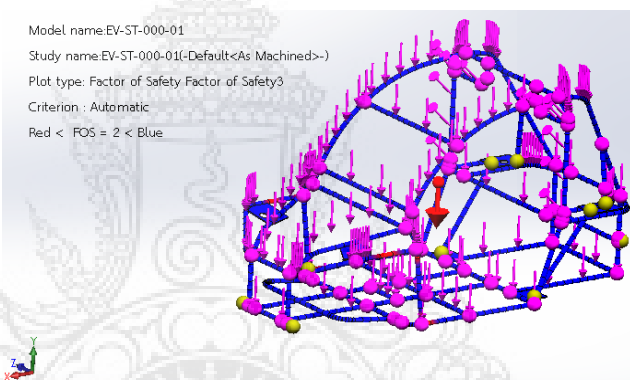
ตาราง 5.5 การวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัย Safety Factor

Model	FEM Results Safety Factor
-------	------------------------------

A



B



จากตาราง 5.5 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ของโมเดล A และ B ซึ่งผลจากการวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยของโมเดล A เท่ากับ $235/105 = 2.23$ และผลจากการวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยของโมเดล B เท่ากับ $235/329 = 0.98$

เมื่อทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโมเดล A และ B และแสดงผลจำลองการวิเคราะห์ FEM การวิเคราะห์ความเค้นตึงฉากสูงสุด, การวิเคราะห์ความเค้นเฉือนสูงสุด, การวิเคราะห์การแอ่นตัว, การวิเคราะห์ความเค้น Von Mises Stress และการวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัย Safety Factor เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะทำการอภิปรายผลว่าโครงสร้างที่เหมาะสมควรเป็นโมเดล A หรือ B ในบทต่อไป

บทที่ 6

อภิปรายผล

จากที่ได้ทำการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโมเดล A และ B และแสดงผลจำลองการวิเคราะห์ FEM และนำผลในบทที่ผ่านมาอภิปรายของผลที่เกิดขึ้นว่าโมเดล A และ B มีความแข็งแรงเพียงพอหรือไม่ที่จะนำมาทำโครงสร้างรถไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครดังต่อไปนี้

6.1 ข้อจำกัดของผลและปัญหาของผล

6.1.1 ความเค้นดึงฉากสูงสุด ผลจากการวิเคราะห์ความเค้นดึงฉากในแนวแกนสูงสุดของโมเดล A เท่ากับ 59.1 N/mm^2 เมื่อนำผลการวิเคราะห์ไปพิสูจน์ในสมการที่ 3.8 จะได้ $59.1/235 = 0.25$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 และผลจากการวิเคราะห์ความเค้นดึงฉากในแนวแกนสูงสุดโมเดล B เท่ากับ 88.6 N/mm^2 เมื่อนำไปพิสูจน์ในสมการที่ 3.8 จะได้ $88.6/235 = 0.37$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งผลการวิเคราะห์โครงสร้างทั้ง 2 โมเดลมีความแข็งแรง

6.1.2 ความเค้นเฉือนสูงสุด ผลจากการวิเคราะห์เค้นเฉือนสูงสุดของโมเดล A เท่ากับ 45 N/mm^2 เมื่อนำผลการวิเคราะห์ไปพิสูจน์ในสมการที่ 3.9 จะได้ $45/(0.5 \times 235) = 0.38$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 และผลจากการวิเคราะห์เค้นเฉือนสูงสุดโมเดล B เท่ากับ 61.8 N/mm^2 เมื่อนำไปพิสูจน์ในสมการที่ 3.9 จะได้ $61.8/(0.5 \times 235) = 0.52$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 ซึ่งผลการวิเคราะห์โครงสร้างทั้ง 2 โมเดลมีความแข็งแรง

6.1.3 การแอ่นตัว ผลจากการวิเคราะห์การแอ่นตัวสูงสุดของโมเดล A เท่ากับ 2.0 มม. และโมเดล B เท่ากับ 2.9 มม. เมื่อเทียบกับตารางที่ 3.4 การแอ่นตัวของโครงสร้างท่อเหล็ก SS400 สูงสุดที่ยอมรับได้เท่ากับ $1673/360 = 4.6$ มม. ซึ่งผลการวิเคราะห์โครงสร้างทั้ง 2 โมเดลมีความแข็งแรง

6.1.4 ความเค้น ผลจากการวิเคราะห์เค้น Von Mises Stress สูงสุดของโมเดล A เท่ากับ 105 N/mm^2 เมื่อนำไปพิสูจน์ในสมการที่ 3.7 จะได้ $105/235 = 0.45$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1 และผลจากการวิเคราะห์เค้น Von Mises Stress สูงสุดโมเดล B เท่ากับ 329 N/mm^2 เมื่อนำไปพิสูจน์ในสมการที่ 3.7 จะได้ $329/235 = 1.4$ ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งผลการวิเคราะห์โครงสร้างโมเดล A มีความแข็งแรง แต่โครงสร้างของโมเดล B ไม่แข็งแรง

6.1.5 ค่าความปลอดภัย ผลจากการวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยของโมเดล A เท่ากับ $235/105 = 2.23$ เมื่อนำไปเทียบในตารางที่ 3.5 ค่าความปลอดภัยที่ยอมรับให้ได้คือ 1.8-2.4 ยังอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ และผลจากการวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยของโมเดล B เท่ากับ $235/329 = 0.98$

ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าความปลอดภัยในตาราง 3.5 ดังนั้นผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของโครงสร้างโมเดล A มีความแข็งแรง แต่โครงสร้างของโมเดล B ไม่แข็งแรง

จากผลการวิเคราะห์ FEM ในกล่าวมาข้างต้น ได้นำมาทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโมเดล A และโมเดล B ดังตาราง 6.1

ตาราง 6.1 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโมเดล A และโมเดล B

FEM	Model	
	A	B
การวิเคราะห์ความเค้นตึงฉากสูงสุด Normal stress	59.1 N/mm ²	88.6 N/mm ²
การวิเคราะห์ความเค้นเฉือนสูงสุด Shear stress	45 N/mm ²	61.8 N/mm ²
การวิเคราะห์การแอ่นตัว Displacement	2.0 มม.	2.9 มม.
การวิเคราะห์ความเค้น Von Mises Stress	105 N/mm ²	329 N/mm ²
การวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัย Safety Factor	2.23	0.98

จากตาราง 6.1 ค่าของการวิเคราะห์ FEM ได้ความเค้นรวมสูงสุดและการแอ่นตัวที่เกิดขึ้นกับโมเดล A จะน้อยกว่าโมเดล B และค่าความปลอดภัยที่เกิดขึ้นกับโมเดล A จะมากกว่าโมเดล B ดังนั้นแสดงว่า โมเดล A มีคุณสมบัติมากกว่า โมเดล B ซึ่งแสดงผลการอภิปรายการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโมเดล A และโมเดล B ดังตาราง 6.2

ตาราง 6.2 ผลการอภิปรายการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโมเดล A และโมเดล B

FEM	Model	
	A	B
การวิเคราะห์ความเค้นตึงฉากสูงสุด Normal stress	✓	✓
การวิเคราะห์ความเค้นเฉือนสูงสุด Shear stress	✓	✓
การวิเคราะห์การแอ่นตัว Displacement	✓	✓
การวิเคราะห์ความเค้น Von Mises Stress	✓	✗
การวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัย Safety Factor	✓	✗
✓ ผ่าน	✗ ไม่ผ่าน	

จากตาราง 6.2 แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของโมเดล A มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาสร้างรถไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ดังนั้น สามารถหาความแข็งแรงสูงสุดของโมเดล A ที่สามารถรับโหลดโดยรวมในแนวตั้งได้เท่ากับ $5500 \times 2.17 = 11935 \text{ N}$ หรือเท่ากับ 1193.5 kg หรือประมาณ 1 ตัน ซึ่งมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ

การลดต้นทุนของโครงสร้างของโมเดล A คือการตัดส่วนของโครงสร้างที่ไม่จำเป็นออกไป โดยที่ไม่มีผลกระทบต่อการรับโหลดของโครงสร้าง ซึ่งสิ่งที่ได้ก็คือใช้วัสดุน้อยลงและทำให้น้ำหนักของโครงสร้างลดลง โดยการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ FEM มาช่วย และลดเวลาในการคิดคำนวณสำหรับงานที่ซับซ้อน

เมื่อได้โครงสร้างของรถไฟฟ้าตามสเปคที่ต้องการแล้ว ทำแบบละเอียดเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตโครงสร้างรถต้นแบบและทดสอบการขับเคลื่อนบนถนน ซึ่งแสดงใน ภาคผนวก ข จากนั้นทำการสรุปผลของงานวิจัยการออกแบบโครงสร้างรถไฟฟ้าต้นแบบของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป



บทที่ 7

สรุปผล

จากการอภิปรายผลในบทที่ 6 และได้โครงสร้างของรถที่ต้องการแล้ว ทำการผลิตโครงสร้างของรถตามทีออกแบบไว้ และทดลองการขับเคลื่อนบนถนนใน ภาคผนวก ข แล้วนำมาสรุปผลดังต่อไปนี้

7.1 สรุปผล

กระบวนการออกแบบโครงสร้างรถไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครและได้ทำการทดสอบตามขั้นตอนเป็นที่เรียบร้อยแล้วนำมาสรุป ดังตาราง 7.1

ตาราง 7.1 สรุปผลการออกแบบโครงสร้างรถไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

หัวข้อ	การออกแบบโครงสร้างรถไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ความสามารถในการผลิต	สามารถผลิตได้ตามแบบที่ออกแบบไว้ กระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน
การออกแบบ	วัสดุที่ใช้ ท่อเหล็ก SS400 OD34 x 2.3t (mm.) ใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ FEM มาช่วยในการวิเคราะห์เรื่องความแข็งแรงซึ่งทำได้รวดเร็ว มองเห็นภาพจำลองความเค้นที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของรถชัดเจน ลดต้นทุนและมีความถูกต้อง โครงสร้างของรถมีน้ำหนัก 87 กก. โครงสร้างของรถแข็งแรงและรถวิ่งได้ที่ความเร็วถึง 0-80 กม./ชม. โครงสร้างของรถสามารถรับโหลดโดยรวมในแนวตั้งเท่ากับ 1193.5 kg หรือประมาณ 1 ตัน

จากตาราง 7.1 ผลสรุปเป็นที่น่าพอใจตรงตามสเปคที่ต้องการ การออกแบบง่าย สวยงาม ไม่ซับซ้อนและง่ายต่อกระบวนการผลิต และเมื่อได้รถต้นแบบแล้วได้ทำการทดลองการขับเคลื่อนบนท้องถนน ดังหัวข้อต่อไป

7.2 ผลการทดลองโครงสร้างรถด้วยการวิ่งบนถนน

จากการที่ได้เตรียมการทดสอบและทดลองวิ่งบนท้องถนนด้วยความเร็วที่ 0-80 กม./ชม.

ดังภาพ 7.1



ภาพ 7.1 ทดสอบโครงสร้างรถและช่วงล่างด้วยการขับเคลื่อนบนถนน

จากภาพ 7.1 ทีมงานได้นำรถออกทดลองวิ่งบนถนน บางพลี-คลอง 9 ซ.ยิ่งเจริญ ต.แพรงษาใหม่ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ โดยได้ทดสอบโดยบุคคลในทีมงาน 5 คน ทำการทดสอบเรื่องการขับเคลื่อน การทรงตัว การเข้าโค้ง การรับแรงของโครงสร้าง ดังตาราง 7.2

ตาราง 7.2 การทดสอบโครงสร้างรถด้วยการขับเคลื่อนบนท้องถนนที่ความเร็ว 0-80 กม./ชม.

การทดสอบโครงสร้าง	ความเร็ว (กม./ชม.)	ผู้ทดสอบ					คะแนน เฉลี่ย (%)
		A	B	C	D	H	
การทรงตัว	0-80	2	2	3	2	3	60
การเข้าโค้ง	0-80	2	3	2	2	3	60
การรับแรง	0-80	3	3	3	3	3	75

เกณฑ์การให้คะแนน

- 1 = ควรปรับปรุง (0-25%)
- 2 = พอใช้ (26-50%)
- 3 = ดี (51-75%)
- 4 = ดีมาก (76-100%)

จากตาราง 7.2 เป็นผลการทดสอบการขับเคลื่อนด้วยความเร็วที่ 0-80 กม./ชม. การบรรทุก การทรงตัว การเข้าโค้ง การรับแรงกระแทกและระบบช่วงล่าง โดยรวมแล้วอยู่ในเกณฑ์ดี และจะมีการแก้ไขปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีมากกว่านี้

งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานโครงสร้างอื่นๆและในอุตสาหกรรมต่างๆ อีกทั้งสามารถนำไปต่อยอดทำธุรกิจการออกแบบหรือการผลิตรถที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป



บทที่ 8

แผนการนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์

8.1 รูปแบบการดำเนินการทางธุรกิจ

8.1.1 การนำเสนอมูลค่าของยานยนต์ไฟฟ้า เมื่อยานยนต์ไฟฟ้ากำลังพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีมูลค่าค่อนข้างสูงจากที่ศึกษาอุตสาหกรรมในบทที่ 2 ผู้ศึกษาวิจัยจึงได้วางแผนดำเนินการธุรกิจในการสร้างรถไฟฟ้า เพื่อพัฒนาและผลิตรถไฟฟ้าที่มีรูปทรงทันสมัย สวยงาม และมีความปลอดภัยเพื่อสร้างมูลค่าให้กับรถไฟฟ้า

8.1.2 การออกแบบสินค้าและการพัฒนาสินค้าให้มีรูปแบบที่ทันสมัย ทำให้สามารถผลิตสินค้าที่มีคุณภาพ อีกทั้งความสวยงามความแข็งแรงของสินค้าตามมาตรฐานยานยนต์และราคาย่อมเยาเหมาะสม ทำให้นำจะเป็นที่ต้องการของลูกค้าในทุกระดับ สินค้าที่ผลิตในช่วงแรกจะเป็นยานพาหนะรุ่น 4 ล้อ 4 ที่นั่ง, รุ่น 4 ล้อ 2 ที่นั่ง มีขนาดเล็กกะทัดรัดเพื่อความคล่องตัวสะดวกสบายและสามารถทำเป็นรถสำหรับการพาณิชย์หรือรถเอนกประสงค์ สามารถชาร์จไฟบ้านได้ ความเร็ว 0-120 กม./ชม. มีโครงสร้างที่เบาและแข็งแรงโดยการออกแบบตามหลักวิศวกรรมและใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์มาช่วยในกระบวนการออกแบบและลดต้นทุน

8.2 เกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุน

8.2.1 สมมุติฐานด้านการเงิน ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ประมาณการเงินในการลงทุนในธุรกิจการสร้างรถไฟฟ้าไว้เบื้องต้น เช่น ค่าอาคาร, ตกแต่งสถานที่, เครื่องจักร-อุปกรณ์, กระบวนการผลิต, วัสดุ, ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน, เงินสดสำรอง ดังตาราง 8.1

ตาราง 8.1 รายละเอียดประมาณการเงินในการลงทุน

รายการ	เงินทุนใช้ไป	แหล่งที่มา		รวม
		เงินกู้	เจ้าของ	
อาคาร, ตกแต่งสถานที่	100,000	100,000		100,000
เครื่องจักร-อุปกรณ์	900,000	900,000		900,000
ตาราง 8.1 (ต่อ)				
กระบวนการผลิต, วัสดุ	1,000,000	1,000,000		1,000,000
ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน	500,000	500,000		500,000

เงินสดสำรอง	500,000	500,000	500,000
รวม	3,000,000	2,400,000	3,000,000

8.2.2 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

การวิเคราะห์ว่าธุรกิจต่อไปนี้จะเหมาะแก่การลงทุนหรือไม่นั้น จำเป็นต้องคำนวณหา NPV, IRR และ Pay Back Period ดังข้อมูลต่อไปนี้

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1) CF IN | รายได้ที่เข้าบริษัทหลังหักค่าใช้จ่าย |
| 2) CF Out | รายจ่ายของบริษัท (เงินลงทุน) |
| 3) Net CF | กระแสเงินสดสุทธิ หรือค่าผลต่างระหว่างรายรับกับ รายจ่าย |
| 4) PW (Present Worth) | ค่าของเงินปัจจุบันแบบคิดอัตราดอกเบี้ย |
| 5) อัตราดอกเบี้ย (10 % ต่อปี) | |
| 6) NPV (Net Present Value) | มูลค่าปัจจุบันสุทธิ |
| 7) IRR (Internal Rate of Return) | อัตราผลตอบแทนภายใน |
| 8) Break Even Point | จุดคุ้มทุน |
| 9) Pay Back Period | ระยะเวลาคืนทุน |

การคำนวณหา NPV และ IRR ในระยะเวลา 5 ปี จากเงินลงทุน 3 ล้านบาท โดยใช้อัตราดอกเบี้ยการกู้ยืมเงินอัตราดอกเบี้ย 10 % ต่อปี และมีรายได้หลังหักค่าใช้จ่าย(รายได้สุทธิ)เข้าบริษัท 3.6 ล้านบาทในปีที่ 1 และ 5.4 ล้านบาท ในปีที่ 2,3,4 และ 5 ดังตาราง 8.2

ตาราง 8.2 รายละเอียดข้อมูลการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

Year	CF IN	CF Out	Net CF	(P/F,i%,n)	PW
0	0	- 3,000,000	- 3,000,000	1.000	- 3,000,000
1	3,600,000	0	3,600,000	0.905	3,258,720
2	5,400,000	0	5,400,000	0.819	4,424,760
3	5,400,000	0	5,400,000	0.742	4,005,180
4	5,400,000	0	5,400,000	0.671	3,625,560
5	5,400,000	0	5,400,000	0.608	3,282,120
i	10%				
NPV	10,129,722				
IRR	120%				

จากตาราง 8.2 คำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ได้เท่ากับ 10,129,722 บาท และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ได้เท่ากับ 120% โดยคิดอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่ 10% อีกเรื่องที่ต้องทราบก่อนการลงทุนคือการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนผู้วิจัยได้ทำการคำนวณไว้แล้วดังตาราง 8.3

ตาราง 8.3 คำนวณหาจุดคุ้มทุน Break Even Point และระยะเวลาคืนทุน Pay Back Period

จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน		
ราคาขายสินค้า	300,000	บาท
ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย	150,000	บาท
ต้นทุนคงที่รวมทั้งปี	3,000,000	บาท
กำไรที่ต้องการทั้งปี	1,000,000	บาท
ประมาณการยอดขายต่อเดือน	3	คัน
จุดคุ้มทุน	20	คัน
จุดคุ้มทุนเป็นเงิน	6,000,000	บาท
เงินที่ลงทุนไปจะถึงจุดคุ้มทุนในเดือนที่	7	
จุดคุ้มทุนและได้กำไรตามที่ต้องการ	27	คัน
จุดคุ้มทุนและได้กำไรตามที่ต้องการเป็นเงิน	8,000,000	บาท
จะได้กำไรตามที่คาดหวังในเดือนที่	9	
ยอดขาย	8,000,000	บาท
หัก ต้นทุนผันแปร	4,000,000	บาท
กำไรส่วนเกิน	4,000,000	บาท
หัก ต้นทุนคงที่	3,000,000	บาท
กำไรสุทธิ (ก่อนหักภาษี)	1,000,000	บาท

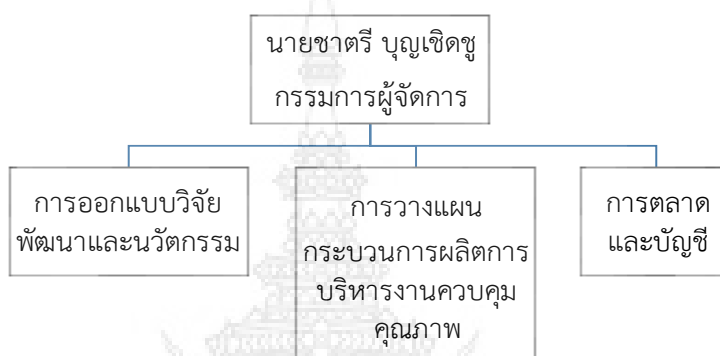
สรุปผลเกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุน

จากที่ได้วิเคราะห์มาธุรกิจนี้มีความน่าลงทุนระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 7 เดือน (แบบคิดอัตราดอกเบี้ย 10 % ต่อปี) มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ที่ 10,129,722 บาท มีค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ที่ 120% ดังนั้นโครงการนี้สมควรลงทุนเนื่องจาก $NPV > 0$ และ $IRR >$ มากกว่าอัตราดอกเบี้ย และเมื่อต้องการเริ่มลงทุนทำธุรกิจจำเป็นต้องทำแผนธุรกิจดังหัวข้อต่อไป

8.3 แผนการใช้ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์เชิงธุรกิจ

8.3.1 การกำหนดระบบการจัดการภายใน การจัดตั้งองค์กร กรอบวิสัยทัศน์ กระบวนการผลิต การตลาด การเงิน บัญชี การบริหารบุคคล ระยะเวลาคืนทุน กำไรแต่ละช่วง ผู้ศึกษาวิจัยได้ศึกษาแผนธุรกิจและการจัดตั้งองค์กรไว้ดังนี้

8.3.2 การจัดตั้งบริษัท RAE Innovation ผู้ผลิตและออกแบบยานยนต์ไฟฟ้า



ภาพ 8.1 โครงสร้างองค์กร

8.3.3 วิสัยทัศน์ “ต้องการเป็นหนึ่งในผู้ผลิตรถยนต์ไฟฟ้าที่มีคุณภาพในราคายุติธรรมให้กับกลุ่มผู้สนใจทั่วประเทศเพื่อสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด”

8.3.4 พันธกิจ

- 1) ใช้วัตถุดิบที่ดีมีคุณภาพ คุ่มค่าในการผลิตสินค้า
- 2) ซื่อสัตย์ต่อลูกค้าด้วยความตั้งใจผลิตสินค้าให้มีคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ
- 3) ผลิตสินค้าด้วยความซื่อสัตย์ต่อลูกค้าโดยให้สินค้ามีความถูกต้องตามหลักวิศวกรรม
- 4) พัฒนาสินค้าให้ทันต่อเทคโนโลยีใหม่ๆ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

8.3.5 การจัดจำหน่าย

- 1) ขายให้กับลูกค้าโดยตรง โดยการเสนอขายและส่งสินค้าให้กับลูกค้าโดยตรง
- 2) ขายผ่านช่องทางการขายทาง Internet, Facebook, Line
- 3) ขายผ่านตัวแทนจำหน่าย
- 4) การขายทุกช่องทางจะมีการบริการและบริหารการส่งถึงที่ให้กับลูกค้า

8.3.6 คู่แข่งขันโดยตรงและโดยอ้อม

- 1) คู่แข่งขันโดยตรง คือ รถไฟฟ้านำเข้า
- 2) คู่แข่งขันโดยอ้อม คือ ตัวแทนจำหน่ายรถนำเข้า

8.3.7 การกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ขั้นตอนและการดำเนินการต้นแบบมีดังนี้

- 1) ศึกษาตลาดและความต้องการของลูกค้า
- 2) ออกแบบเบื้องต้น
- 3) ออกแบบละเอียดเพื่อผลิตและสร้างต้นแบบ
- 4) ผลิตต้นแบบ
- 5) ตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไข
- 6) ส่งมอบ

8.3.8 การกำหนดทรัพยากรที่จำเป็นของกระบวนการต้นแบบ สิ่งที่เป็นของกระบวนการมีดังนี้

- 1) เงินทุน
- 2) ความรู้และเทคโนโลยีด้านการออกแบบ
- 3) การใช้โปรแกรมช่วยในการออกแบบเขียนแบบ
- 4) เครื่องจักรและเครื่องมือในการผลิต
- 5) เครื่องมือและทักษะในการตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไข
- 6) ส่งมอบลูกค้าได้ทันเวลา
- 7) ติดตามความพึงพอใจของลูกค้าและการบริการหลังการขาย

8.3.9 การบริหารจัดการ การประสบความสำเร็จในการบริหารจัดการขององค์กรถือเป็นเป้าหมายสูงสุดของผู้ดำเนินธุรกิจปรารถนาที่ได้ทุ่มเททั้งกายและใจรวมถึงทรัพยากรต่างๆเพื่อขับเคลื่อนองค์กรให้เดินหน้าเติบโตต่อเนื่องอย่างมั่นคง ผู้วิจัยได้นำแนวความคิดการบริหารและการพัฒนาอย่างยั่งยืนมาใช้เป็นแนวทางในการดำเนินธุรกิจดังตาราง 8.4

ตาราง 8.4 แผนปฏิบัติการ (Action Plans)

เป้าหมาย	แผนระยะสั้น	แผนระยะยาว
การตลาด	1) บริหารงานขายให้ได้ตามเป้าหมาย 2) สามารถเจาะกลุ่มลูกค้าเป้าหมายตามที่ได้วางแผนไว้	1) บริหารงานขายให้ได้ตามอัตราการเติบโตที่กำหนด 2) ให้ลูกค้ากลุ่มเป้าหมายเกิดการซื้อซ้ำ
การผลิต	1) ใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ 2) ผลิตสินค้าให้มีมาตรฐานและถูกต้องตามหลักวิศวกรรม	1) Stock วัตถุดิบที่จำเป็นเพื่อลดต้นทุนการผลิต 2) ออกแบบสินค้าใหม่ๆ เพื่อสร้างทางเลือกให้ลูกค้า
การจัดการ	1) บริหารงานขายให้ได้ตามเป้าหมายที่ได้กำหนด 2) บริหารการผลิตให้เป็นไปตามเป้าหมายที่ได้กำหนด	1) จัดการบริหารตามโครงสร้างองค์กรที่ได้กำหนดไว้ 2) จัดการบริหารการผลิตให้เป็นไปตามโครงสร้างองค์การผลิต 3) จัดทำคู่มือและขั้นตอนการผลิต
การเงิน	1) บริหารและควบคุมต้นทุนให้ได้เป้าหมายที่กำหนด 2) บริหารการเก็บหนี้ไม่ให้มีหนี้เสีย	1) วางแผนการลงทุนด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติเพื่อลดต้นทุน 2) วางแผนการเข้าสู่แหล่งทุนเพื่อเสริมสภาพคล่อง
การพัฒนา	1) เตรียมแผนในการพัฒนาทางด้านช่องทางการขายทาง IT 2) พัฒนาทางการออกแบบเพื่อสร้างทางเลือกให้ได้เพิ่มมากขึ้น	1) ดำเนินธุรกิจด้วยความยุติธรรม โดยคำนึงถึงสังคมและสิ่งแวดล้อม (CSR) 2) นำ Soft Ware มาช่วยในการบริหารจัดการองค์กรให้เป็นระบบมากขึ้น

จากแผนการบริหารจัดการดังตาราง 8.4 เช่น การตลาด การผลิต การจัดการ การเงิน และการพัฒนา สามารถใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการธุรกิจเริ่มต้น และต้องพัฒนาไปพร้อมๆ กับบุคลากรและองค์กร

8.3.10 แผนการเงิน การลงทุนในกิจการจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนผู้วิจัยได้ตั้งสมมุติฐานเงินลงทุนจำนวน 3,000,000 บาท โดยโครงสร้างทางการเงินของเงินลงทุนมาจากเงินกู้ธนาคาร และได้ทำการวิเคราะห์เกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุนดังที่กล่าวมาแล้ว

8.4 แผนการพัฒนาอย่างยั่งยืน

การทำวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาทั้งงานวิศวกรรมและการทำธุรกิจอย่างยั่งยืน แนวคิดในการพัฒนาอย่างยั่งยืนนั้นต้องเริ่มจากการพัฒนากระบวนการบริหารจัดการ การวิจัยและพัฒนาโปรดักส์ให้ดีขึ้น สวยขึ้น รูปทรงที่ทันสมัยเหมาะกับรถไฟฟ้า การวิเคราะห์ทางการตลาด การพัฒนากลยุทธ์ทางการตลาด การทำธุรกิจด้วยความยุติธรรม การเอื้อเฟื้อต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม เป็นวงจรของการดำเนินธุรกิจและพัฒนาต่อไปได้อย่างยั่งยืน



เอกสารอ้างอิง

- ชนะ กสิภาร์. 2528. **ความแข็งแรงของวัสดุ**, โรงพิมพ์ ชวนพิมพ์, กรุงเทพฯ
 ที่ กรู๊ป อีออฟ เอ็นจิเนีย. 2526. **ตารางท่อ**. จัดพิมพ์โดย อักษรพิทยา, กรุงเทพฯ
 ที่ กรู๊ป อีออฟ เอ็นจิเนีย. 2526. **ตารางเหล็ก**. จัดพิมพ์โดย อักษรพิทยา, กรุงเทพฯ
 วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน. 2551. **การออกแบบเครื่องจักรกล**. เอช.เอ็น.กรู๊ป, กรุงเทพฯ
 ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี. 2549. **COSMOS**. ส.ส.ท., กรุงเทพฯ
ยานยนต์แห่งอนาคต. 2559. [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://tools-article.sumipol.com/cars-of-the-future-fuel-efficient-eco-friendly/>.
 2 มีนาคม 2560
- การวิเคราะห์ความแข็งแรงและปรับปรุงโครงสร้างที่นั่งสำหรับ รถโดยสารขนาดใหญ่ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์**. 2559. [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/4785/2/Fulltext.pdf>.
 2 มีนาคม 2560
- การใช้ท่อเหล็กในโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่**. 2559. [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://www.pacificpipe.co.th/TH/image/PDF/aw%20edit%20new.pdf>. 2 มีนาคม 2560
- ตารางเหล็กท่อสำหรับออกแบบโรงงาน (โดยวิธี LRFD)**. 2559. [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://www.alpsconsult.com/Papers/HS%20Table%202011.pdf>. 10 มีนาคม 2560
- เหล็กรูปพรรณชนิดต่างๆ**. 2559. [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://engineerknowledge.blogspot.com/2011/09/blog-post.html>. 10 มีนาคม 2560
- THAIPUBLICA. 2559. **วิจัยกรุงศรีชี้ห่วงโซ่อุปทานยานยนต์ไทยใกล้ถึงจุดเปลี่ยนสำคัญ เมื่อยานยนต์ไฟฟ้ามีแนวโน้มมาเร็วกว่าคาด**. [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://thaipublica.org/2016/09/krungsri-research-8-9-2559/>. 2 มีนาคม 2560
- อร่าม เรืองฤทธิ์. 2556. **โครงสร้างของตัวถังและโครงรถยนต์**. [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://www.auto2drive.com/>. 2 มีนาคม 2560
- คลังข้อมูลอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์**. 2559. [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:
<http://il258tawan.blogspot.com/2016/04/blog-post.html>. 2 มีนาคม 2560
- Erinç Uludamar^{1*}, Şafak Yıldızhan¹, Erdi Tosun¹ and Kadir Aydın². 2016. **Finite Element Analysis of Electric Bike Rims Coupled with Hub Motor**. ¹Department of Mechanical Engineering, Çukurova University. ²Department of Automotive Engineering, Çukurova University. [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:

<https://www.omicsgroup.org/journals/finite-element-analysis-of-electric-bike-rims-coupled-with-hub-motor-2167-7670-1000142.php?aid=83503>.

10 มีนาคม 2560

หนังสือพิมพ์ฐานเศรษฐกิจ. 2560. **สตาร์ทอัพ ‘อีวี’ รุ่งหรือร่วง! มอ’ไซค์ เก่ง ตุ๊กตุ๊ก พลังไฟฟ้ารอแจ้งเกิด.** [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:

<http://www.thansettakij.com/content/132726>. 10 มีนาคม 2560

สถิตินักท่องเที่ยวชาวไทย-ต่างชาติ. 2560. [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก:

http://61.19.236.136:8090/dotr/statistic_compare.php. 10 มีนาคม 2560

Chamlong Champakul. 2557. **การทดสอบด้วยแรงดึง (Tensile Test).** [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก: <https://www.slideshare.net/champakul/2-6-33036499>. 2 มีนาคม 2560

บริษัท ทักษิณาเมทัล จำกัด. 2559. **ตารางสเปค เหล็กรูปพรรณ มอก. 107.** [ออนไลน์] เข้าถึงข้อมูลได้จาก: <http://www.taksinametal.com/>. 2 มีนาคม 2560



ภาคผนวก

ภาคผนวก
ภาคผนวก ก เอกสารตีพิมพ์
ภาคผนวก ข ข้อมูลโครงสร้างรถไฟฟ้า



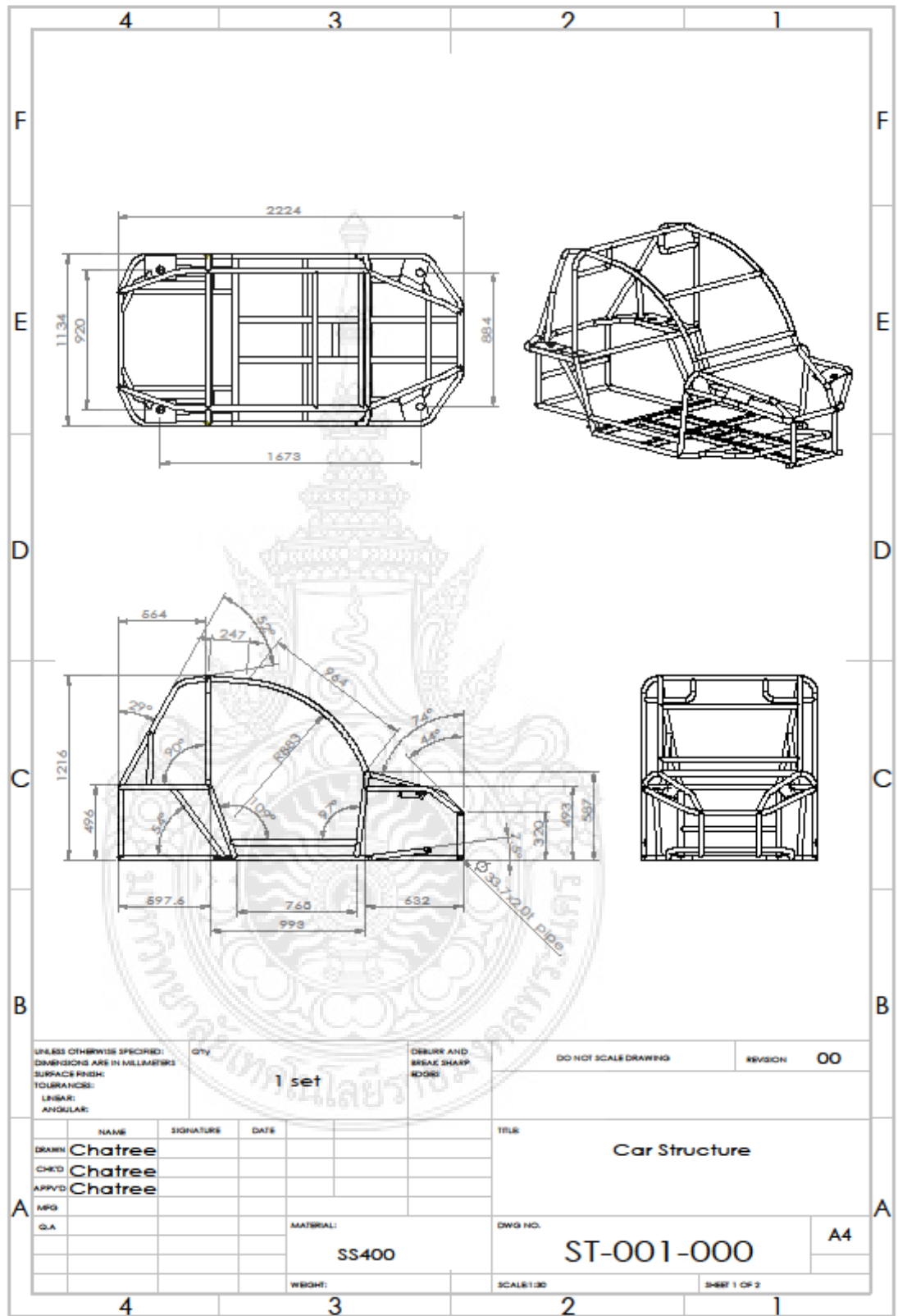


ภาพ ก-1 เกียรติบัตรการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมนวัตกรรมและการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ประจำปี พ.ศ.2559

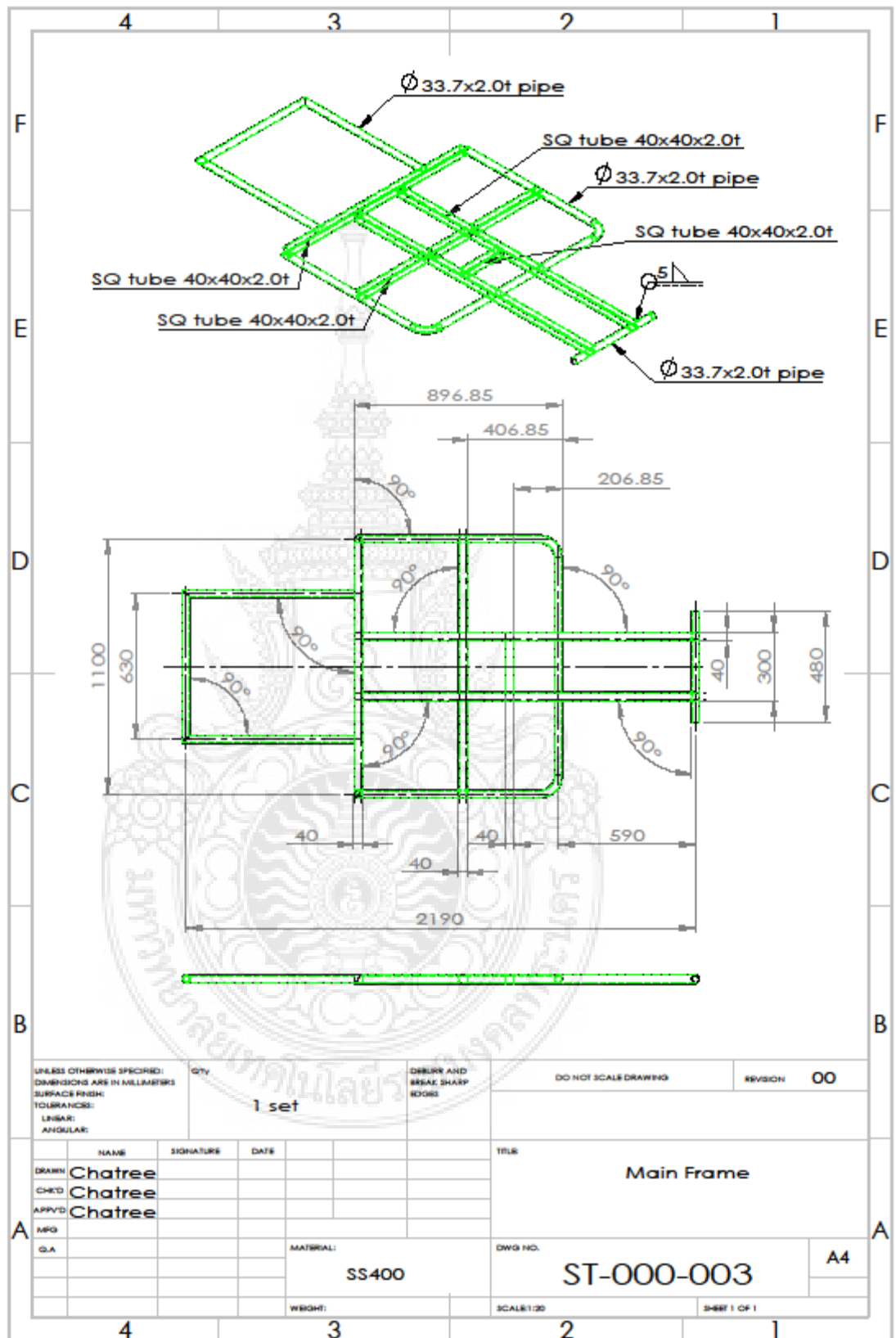
The 5th
Sustainable Industrial
Innovation and Management
Conference 2016

**การประชุมวิชาการและการนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม
 นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน**
 ครั้งที่ 5 ประจำปี 2559 ระหว่างวันที่ 3 - 4 ตุลาคม 2559
 ณ ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค บางนา กรุงเทพฯ

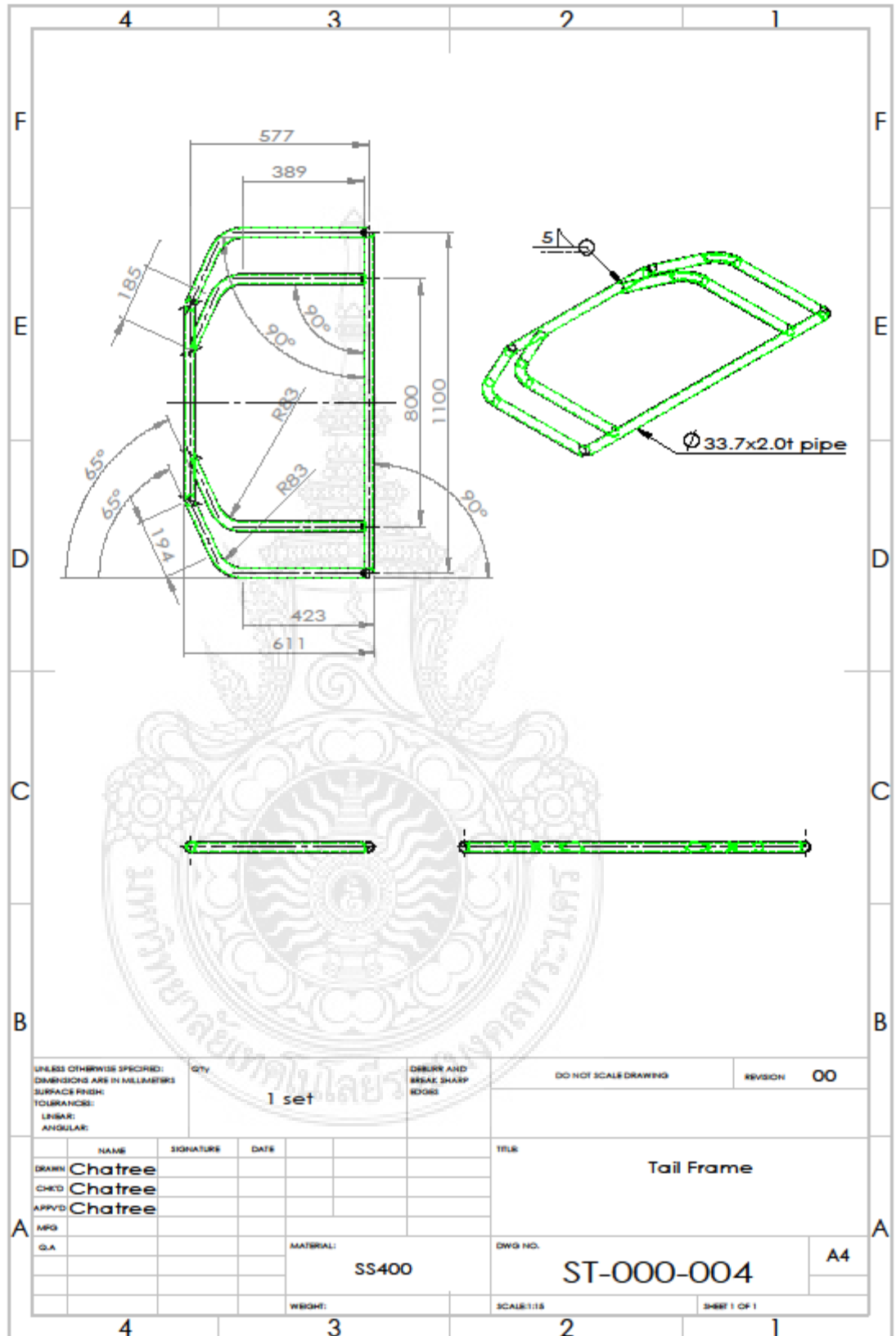
ภาพ ก-2 หน้าปกเอกสารตีพิมพ์ การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมนวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ประจำปี พ.ศ.2559



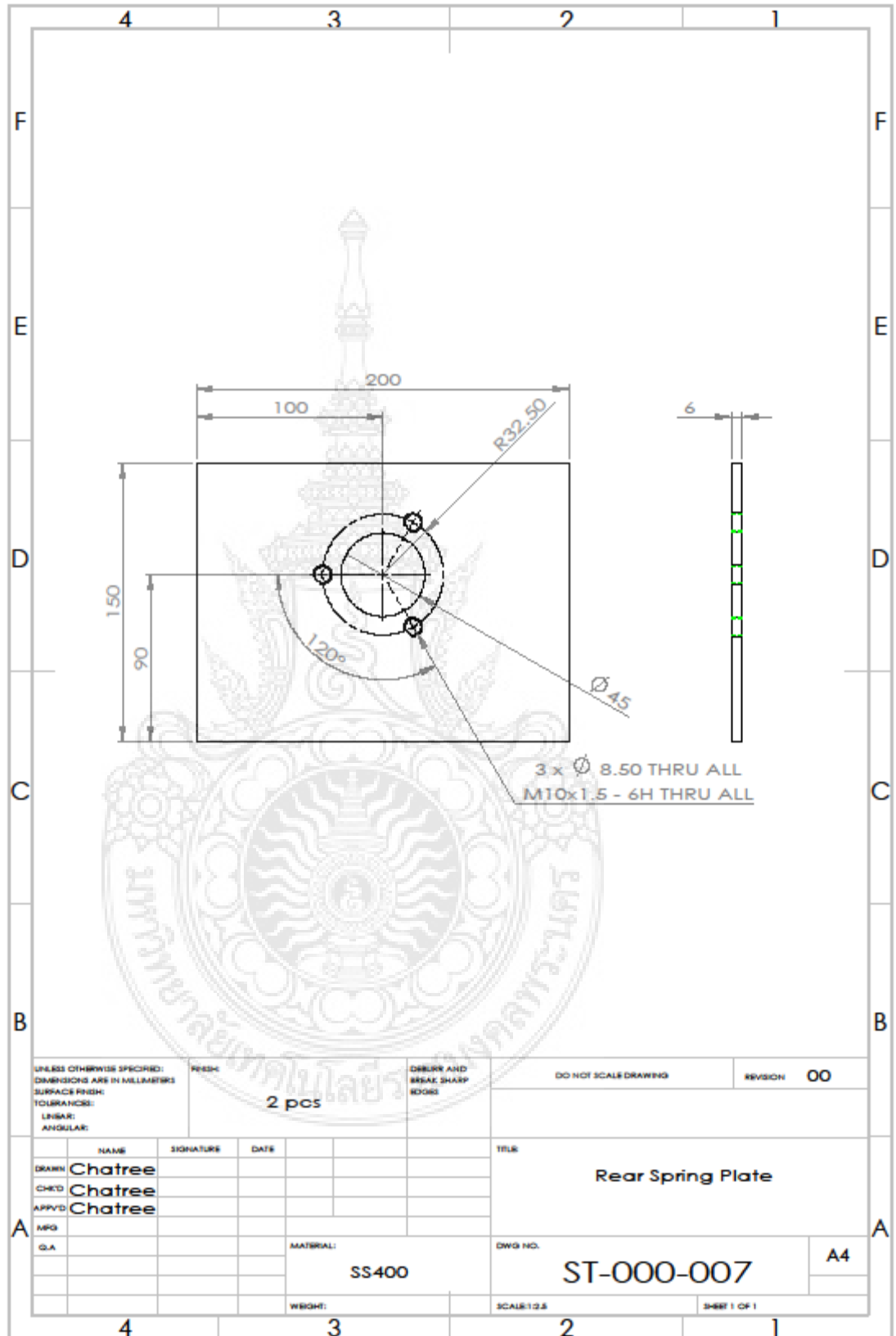
ภาพ ข-1 แบบโครงสร้างรถ



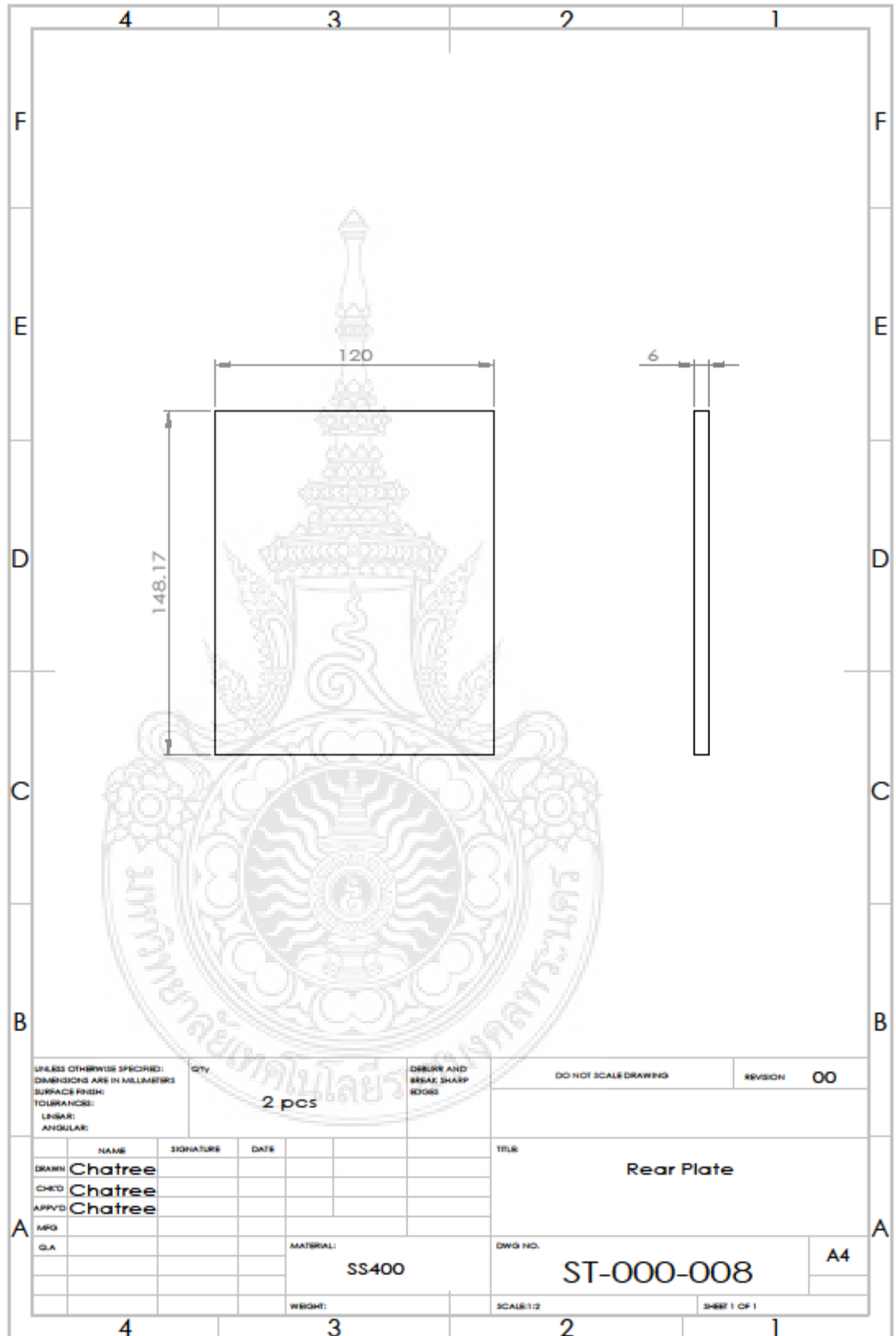
รูปภาพ ข-2 แบบโครงสร้างส่วนฐานรถ



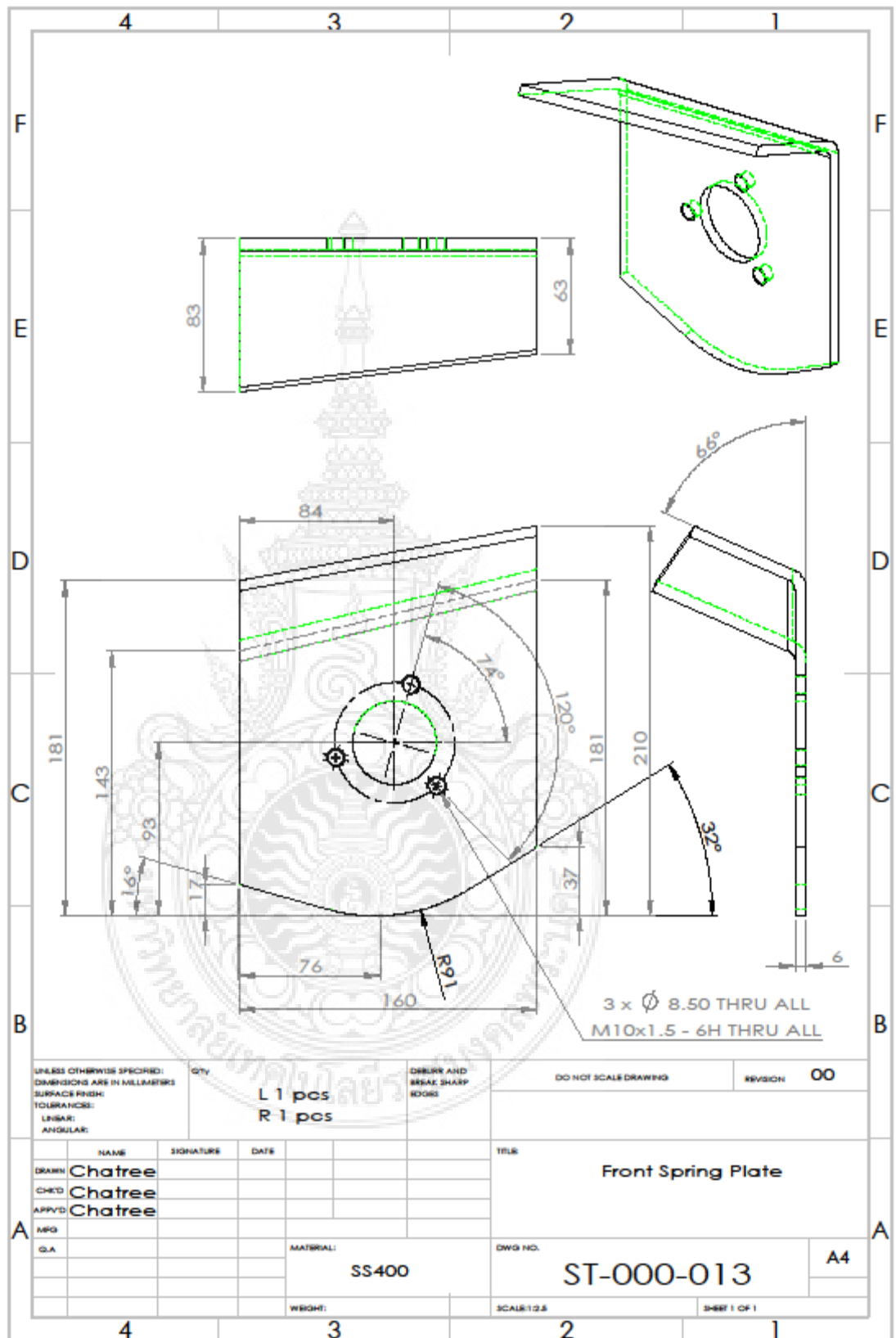
ภาพ ข-3 แบบโครงสร้างส่วนหลังรถ



ภาพ ข-4 แบบแผ่นหน้าแปลนโช๊คหลัง



ภาพ ข-5 แบบแผ่นรองรับโครงรถด้านหลัง



ภาพ ข-6 แบบแผ่นหน้าแปลนโช๊คหน้า

ข-1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต การผลิตโครงสร้างรถยนต์จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ และเครื่องจักรกลหลักๆดังนี้

ข-1.2.1 เครื่องบากปลายท่อ 3/4"-2 1/2" ดังภาพที่ 3.35



รุ่น	GOKEN
มอเตอร์	Rambo 2 HP
แรงดันไฟฟ้า	220 V ~ 50 Hz
ความเร็วขณะหมุนเปล่า	2,870 r/min
มีลูกกลิ้ง 6 ลูก	3/4", 1", 1.1/2", 1.1/4", 2", 2.1/2"

ภาพ ข-7 เครื่องบากปลายท่อ

ข-1.2.2 เครื่องตัดท่อขนาด 3/4"-3" ดังภาพที่ 3.36 เครื่องนี้ใช้สำหรับตัดท่อตามแบบที่ต้องการก่อนการเชื่อมประกอบ



ภาพ ข-8 เครื่องตัดท่อขนาด 3/4"-3"

จากภาพ ข-8 เครื่องตัดแป๊บไฟฟ้า BERGIN ความสามารถของเครื่องตัดแป๊บ สำหรับตัดท่อ ไอลีเยรทุกชนิด ตัดแป๊บสแตนเลส ตัดแป๊บเหล็กดำ ตัดแป๊บน้ำ ขนาดเล็กตั้งแต่ 3/4" – 3" ความหนาของท่อ หรือแป๊บ ที่ต้องการตัดต้องไม่ต่ำกว่า 1.5 มม.

ข-1.2.3 เครื่องเชื่อม MMA 140 เป็นเครื่องเชื่อมระบบอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็ก เครื่องนี้ใช้สำหรับเชื่อมโครงสร้าง ดังภาพ ข-9 และสเปคของเครื่องดังตาราง ข-1



ภาพ ข-9 เครื่องเชื่อม MMA 140

ตาราง ข-1 สเปคเครื่องเชื่อม MMA 140

สเปคเครื่องเชื่อม	
แรงดันไฟ (Input Power)	Single Phase 220V+/-15% Volt
ความถี่ (Frequency)	50/60 Hz
กำลังไฟ (Rated Input Power Capacity)	2.2
แรงดันไฟที่จ่ายขณะไร้อภาระ (No-Load Voltage)	67
กระแสไฟที่เชื่อม (Output Current Range)	10 - 140 Amp
ความสามารถในการทำงาน (Duty Cycle)	60%
ประสิทธิภาพ (Efficiency)	85%
พาวเวอร์แฟกเตอร์ (Power Factor)	0.93
ระดับความเป็นฉนวน (Insulation Class)	B
ระดับการป้องกันสิ่งแปลกปลอม (Protection Class of Case)	IP21
ขนาดลวดเชื่อม (Diameter of Rod)	Ø2.6
น้ำหนัก (Weight)	8 Kg
ขนาด (Dimensions)	380x260x350 mm.

ข-1.2.4 เครื่องเจียรไฟฟ้า BOSCH GWS 6-100 (4") ดังภาพที่ ข-9



ภาพ ข-9 เครื่องเจียรไฟฟ้า BOSCH GWS 6-100 (4")

จากภาพ ข-9 เป็นเครื่องมือ สำหรับใช้เจียร, ตัดและขัดตกแต่งชิ้นงาน ขนาดและสเปค แสดงในตารางที่ ข-2

ตาราง ข-2 สเปคเครื่องเจียรไฟฟ้า BOSCH GWS 6-100 (4")

สเปคเครื่องเจียรไฟฟ้า BOSCH GWS 6-100 (4") :

Grinding / cutting disc dia: 100mm.

Wire cup brush dia: 60mm.

Power input: 670W.

No load speed: 11,000rpm.

Weight: 1.4kg,

ข-1.3 กระบวนการผลิต

ข-1.3.1 การบากปลายท่อ หลังจากตัดท่อให้ได้ตามขนาดที่กำหนดสำหรับทำ โครงสร้างทั้งหมดด้วยเครื่องเลื่อย จากนั้นนำท่อบากปลายท่อเพื่อให้เชื่อมเข้ามุดได้ง่ายด้วยเครื่อง บากท่อดังภาพที่ ข-10



ภาพ ข-10 ขั้นตอนบากปลายท่อ

จากภาพ ข-10 แสดงการบากปลายท่อเพื่อการเข้ามุมของท่อแนบเข้าด้วยกันในการเชื่อม ประกอบโดยผู้ใช้ต้องมีทักษะในการใช้งานหรือมีการฝึกฝนอยู่เป็นประจำ

ข-1.3.2 การตัดท่อ การตัดท่อให้ได้ความโค้งตามขนาดที่กำหนดด้วยเครื่องตัด ท่อดังภาพ ข-11



ภาพ ข-11 การตัดท่อ

จากภาพ ข-11 เครื่องตัดท่อสามารถเปลี่ยนขนาดรัศมีความโค้งได้ตามความเหมาะสมของขนาดความโตของท่อ ความถูกต้องแม่นยำนั้นผู้ใช้ต้องมีทักษะในการใช้งานหรือมีการฝึกฝนอยู่เป็นประจำ

ข-1.3.3 การเชื่อมประกอบ เมื่อตัดและตัดท่อได้ตามขนาดที่ต้องการแล้วนำมา เชื่อมประกอบแต่ละชิ้นส่วนให้ถูกต้องตามแบบที่กำหนด ดังภาพ ข-12



ภาพ ข-12 การเชื่อมประกอบ

จากภาพ 3.41 แสดงการเชื่อมประกอบชิ้นตอนนี้ต้องมีทักษะในการอ่านแบบและความชำนาญในงานเชื่อมเป็นอย่างดีหรือมีการฝึกฝนอยู่เป็นประจำ

ข-1.3.4 การตรวจสอบ เมื่อเชื่อมประกอบเสร็จแล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องว่าอยู่ในขนาดตามแบบที่ต้องการหรือไม่ เพื่อดำเนินการแก้ไขหรือปรับปรุงให้ได้ตามสเปคที่ต้องการ ดังภาพที่ ข-13



ภาพ ข-13 ตรวจสอบความถูกต้อง

จากภาพ ข-13 เมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องให้ได้โครงสร้างของรถตามที่ได้ออกแบบไว้และปรับปรุงแก้ไขเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทำการติดตั้งชิ้นส่วนอุปกรณ์พร้อมกับตรวจสอบการใช้งานเบื้องต้นในขั้นตอนต่อไป

ข-1.3.5 ติดตั้งชิ้นส่วนอุปกรณ์ เมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องว่าอยู่ในขนาดตามแบบที่ต้องการเรียบร้อยแล้ว ทำการติดตั้งชิ้นส่วนและอุปกรณ์ดังภาพที่ ข-14



ภาพ ข-14 ติดตั้งชิ้นส่วนอุปกรณ์

จากภาพ ข-14 ทำการประกอบชิ้นส่วนต่างๆและอุปกรณ์ช่วงล่างทั้งหมดเช่น ล้อ, ระบบเบรก, ระบบเกียร์, พวงมาลัยรถ, โช้คอัพและอุปกรณ์ช่วงล่าง, กระจก, เบาะ, มอเตอร์และระบบไฟฟ้า พร้อมตรวจสอบและทดสอบการใช้งานเบื้องต้น

เมื่อกระบวนการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการสร้างต้นแบบเสร็จเป็นที่เรียบร้อยแล้วเตรียมการทดสอบการใช้งานซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

ข-2 การออกแบบการทดลอง

ข-2.1 การทดสอบโครงสร้าง วิธีทดสอบโครงสร้างของโปรแกรมที่ทำการวิเคราะห์นั้น มีวิธีการทดสอบด้วยการใช้งานจริงและการทดสอบด้วยการดึงโดยใช้ห้องแล็บด้วยเครื่อง Fatigue Testing Machine เพื่อทดสอบจะได้ค่าที่แม่นยำ แต่เนื่องจากว่าหากนำโครงสร้างไปทดสอบจะต้องมีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค่อนข้างสูง ด้วยการที่ผู้ศึกษาได้ทำงานอยู่บริษัทผลิตรถไฟฟ้าและผู้ศึกษาเป็นผู้ออกแบบโครงสร้างเบาะรถและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผ่านการทดสอบจากห้องแล็บด้วยเครื่อง Fatigue Testing Machine โดยใช้วัสดุ วิธีการออกแบบและการวิเคราะห์โครงสร้างแบบเดียวกันกับการทดสอบโครงสร้างของรถไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) จึงสามารถอ้างอิงผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาพิจารณาได้ จึงนำตัวอย่างผลการทดสอบในห้องแล็บของโครงสร้างเบาะรถมาอ้างอิงผลการวิเคราะห์ไว้ในภาคผนวก

ข-2.2 การทดสอบโครงสร้างรถไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ข-2.2.1 ตรวจสอบโครงสร้างรถและช่วงล่าง ทำการตรวจเช็คช่วงล่างและอุปกรณ์เพื่อดำเนินการทดลองวิ่ง ดังภาพ ข-15



ภาพ ข-15 โครงสร้างถูกแขวนไว้กับ A เฟรมเพื่อตรวจเช็คช่วงล่าง

จากภาพ ข-15 ทำการตรวจเช็คช่วงล่างและตรวจสอบความเรียบร้อยเช่นระบบเบรก การทำงานของมอเตอร์และคันเร่ง เช็คน้ำมันเกียร์ ระบบขับเคลื่อนและอื่นๆ เพื่อเตรียมการทดลองวิ่งบนท้องถนน

ข-2.2.2 การทดลองโครงสร้างรถด้วยการวิ่งบนถนน วิธีนี้เป็นการทดสอบใช้งานจริงโดยทีมงานได้นำรถออกทดลองวิ่งบนท้องถนนทั่วไปมีผลและขั้นตอนการทดสอบดังนี้ ความเร็ว การบรรทุก การทรงตัว การเข้าโค้ง การรับแรงกระแทก และระบบช่วงล่างโดยมีผู้เชี่ยวชาญด้านการทดสอบรถ 5 คนเป็นผู้ให้คะแนน ดังตาราง ข-3

ตาราง ข-3 ขั้นตอนเตรียมการทดสอบโครงสร้างรถด้วยการวิ่งบนท้องถนน 0-80 กม./ชม.

การทดสอบโครงสร้าง	ความเร็ว (กม./ชม.)
การทรงตัว	0-80
การเข้าโค้ง	0-80
การรับแรง	0-80

จากตาราง ข-3 ทำการเตรียมขั้นตอนการทดสอบเรียบร้อยแล้ว จะเข้าสู่การทดสอบตามที่ได้กำหนดไว้ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

ข-3 ผลการทดลองโครงสร้างรถด้วยการวิ่งบนถนน

จากการที่ได้เตรียมการทดสอบและทดลองวิ่งบนท้องถนนด้วยความเร็วที่ 0-80 กม./ชม. ดังภาพ ข-16



ภาพ ข-16 ทดสอบโครงสร้างรถและช่วงล่างด้วยการขับเคลื่อนบนถนน

จากภาพ ข-16 ทีมงานได้นำรถออกทดลองวิ่งบนถนน บางพลี-คลอง9 ช.ยิ่งเจริญ ต.แพรกษาใหม่ อ.เมือง จ.สมุทรปราการ โดยได้ทดสอบโดยบุคคลในทีมงาน 5 คน ทำการทดสอบเรื่องการขับเคลื่อน การทรงตัว การเข้าโค้ง การรับแรงของโครงสร้าง ดังตาราง ข-4

ตาราง ข-4 การทดสอบโครงสร้างรถด้วยการขับเคลื่อนบนท้องถนนที่ความเร็ว 0-80 กม./ชม.

การทดสอบโครงสร้าง	ความเร็ว (กม./ชม.)	ผู้ทดสอบ					คะแนน เฉลี่ย (%)
		A	B	C	D	H	
การทรงตัว	0-80	2	2	3	2	3	60
การเข้าโค้ง	0-80	2	3	2	2	3	60
การรับแรง	0-80	3	3	3	3	3	75

เกณฑ์การให้คะแนน

- 1 = ควรปรับปรุง (0-25%)
- 2 = พอใช้ (26-50%)
- 3 = ดี (51-75%)
- 4 = ดีมาก (76-100%)

จากตาราง ข-4 เป็นผลการทดสอบการขับเคลื่อนด้วยความเร็วที่ 0-80 กม./ชม. การบรรทุก การทรงตัว การเข้าโค้ง การรับแรงกระแทกและระบบช่วงล่าง โดยรวมแล้วอยู่ในเกณฑ์ดี และจะมีการแก้ไขปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีมากกว่านี้ในรุ่นต่อไป

ภาคผนวก ค อ้างอิงงานวิจัย

ศึกษางานวิจัยของ สถาบัน ADVANCES IN AUTOMOBILE ENGINEERING เกี่ยวกับการออกแบบและการวิเคราะห์ความแข็งแรงของล้อแม็กแต่ละโมเดลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ช่วยในการตัดสินใจ การออกแบบ การเลือกใช้วัสดุ ทั้งยังสามารถลดเวลาในการออกแบบและลดต้นทุนดังต่อไปนี้





Finite Element Analysis of Electric Bike Rims Coupled with Hub Motor

Erinç Uludamar^{1*}, Şafak Yıldızhan¹, Erdi Tosun¹ and Kadir Aydın²

¹Department of Mechanical Engineering, Çukurova University, 01330 Adana, Turkey

²Department of Automotive Engineering, Çukurova University, 01330 Adana, Turkey

Abstract

In this study, static and fatigue analysis of three different electrical bikes' rim which are coupled with electrical hub motor was investigated. Loading conditions were applied on rim in order to simulate driving forces that exert on road conditions. Analysis results of three rims were compared with each other. According to results, sharp edges increase von-Mises stresses and decrease fatigue safety factor due to stress concentration on the corners. Also, it was observed that contact area of spokes to flange affects the total deformation and von-Mises stress distribution. Three dimensional models of the rims were designed with the aid of CATIA V5 and their computational analyses were carried out with ANSYS WORKBENCH software program.

Keywords: Rim; Modelling; FEM; Electrical bike

Introduction

Nowadays, electric vehicles are becoming more and more important due to financial and energy crisis in all over the world. Electric bike which is a bicycle with an integrated electric motor, is one of the most popular electric vehicle in many countries [1,2]. In Asia, there has been a large increase in sales of e-bikes and in Europe even more due to its advantages of high efficiency, almost zero emissions, low initial, running and maintenance cost. [1-4].

Tyres are the only part of a vehicle which directly contact with the road surface [5]. Rim, skeleton of the tyre, must be light and provide enough strength to transmit vehicle power. In this study, static and fatigue analysis of three different electrical bikes' rim which are coupled with electrical hub motor was compared and investigated by using finite element method. Over the years, scientists are researching on various rim designs. They are trying to find best material composition and best mechanical design of the rim which provide requirements above. There have been many studies about various types of rims under different load conditions.

Most of the studies are carried out with the aid of finite element method since the methodology saves cost and time and it is able to solve problems with complicated geometry shape [6].

Adigio and Nangi used finite element method to simulate the radial test and Akdogan et al. studied on cornering fatigue test of a vehicle rim [7,8]. Topaç et al. investigated the fatigue failure that occurs on the air ventilation holes of a heavy commercial vehicle steel rim [9]. Stearns et al., studied on finite element technique for analyzing stress and displacement distribution in an aluminum alloy rim [10].

Materials and Methods

Three different rims which has 406.4 mm (R16) outer diameter and made of aluminium alloy were compared by finite element methods in order to comprehend their behaviour on road conditions. The rims named as Rim A, Rim B and Rim C were illustrated in Figure 1.

Firstly, three-dimensional models of the rims were prepared with CATIA V5 software program (Figure 2). The exact models were designed as 3D model. And then, few simplifications on the models were performed to overcome complexities during meshing operation.

The prepared models were exported to ANSYS Workbench software program for stress analyses. Default mechanical properties of aluminium alloy material according to software program was performed and mechanical properties of material that used in this study were shown in Table 1. More than 3.5 million nodes and 2.3 million elements were used for each of the rim model (Figure 2). Mechanical properties of the rims were given in Table 1. For meshing operation, proximity and curvature size function with 1.40 growth rate were used (Figure 3). Analyses were carried out in Çukurova University Automotive Engineering Laboratories with the aid of workstation, which has 2 processors (24 cores) and 32 GB RAM.

On road, electric bike is exposed to various loads; however it is difficult to consider all possibilities. Common forces that exerts on an electric bike were considered as;

- Tyre pressure that was applied on the rim from outside of the circumference as 0.2344 MPa,
- Radial load which was applied as pressure and distributed according to cosine function along to 90° portion of the bead seat in order to simulate the total weight of electric bike.
- 43.5 rad/s rotational velocity to the models. The models were fixed from the hub where axle mounted inside it.

Material	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio (ν)	Yield Strength (MPa)
General aluminium alloy. Fatigue properties come from MIL-HDBK-5H, page 3-277.	71	0.33	280

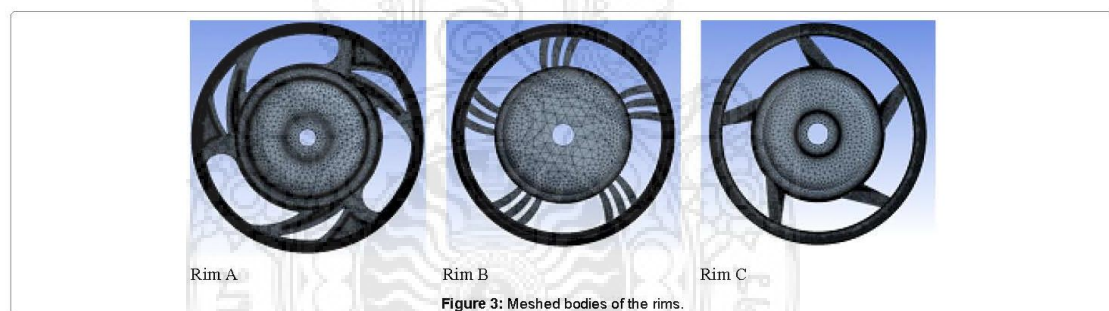
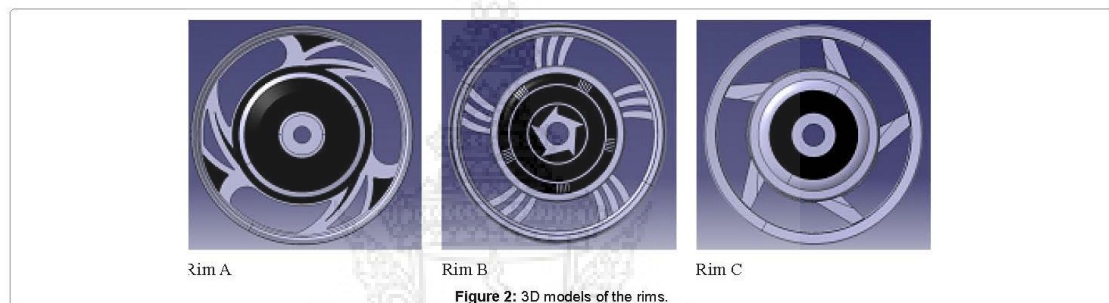
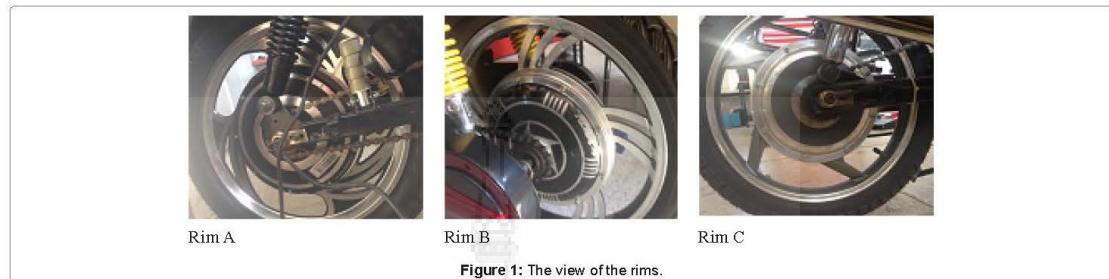
Table 1: Mechanical properties of the rims.

*Corresponding author: Uludamar E, Department of Mechanical Engineering, Çukurova University, 01330 Adana, Turkey, Tel: +90 322 338 6084; E-mail: euludamar@cu.edu.tr

Received March 17, 2016; Accepted May 25, 2016; Published May 30, 2016

Citation: Uludamar E, Yıldızhan Ş, Tosun E, Aydın K (2016) Finite Element Analysis of Electric Bike Rims Coupled with Hub Motor. Adv Automob Eng 5: 142. doi:10.4172/2167-7670.1000142

Copyright: © 2016 Uludamar E, et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



Results and Discussion

The models were run for the applied boundary and loading conditions. Von-Mises stresses and total deformations of the rims were illustrated in Figures 4- 6. Maximum von-Mises stress found as 16.74 MPa, 4.34 MPa and 5.5 MPa and maximum total deformation found as 0.0026 mm, 0.0019 mm and 0.002 mm respectively. In Figures 4a - 6a, stresses over 4 MPa were shown in red colour.

Static tests showed that the highest stresses were occurred at sharp edges and spoke to flange connections. It must be pointed out that the stress increased with the decrement of spoke-flange connection section area.

The other step of the simulation was fatigue analysis. In this analysis, stress life analysis type preferred due to high fatigue cycle ($>10^5$). The mean stress σ_m on the true fatigue strength S_e should had been corrected by Modified Goodman and Gerber approaches, since the loading characteristic fluctuated as $\sigma_m > 0$. Gerber approach is

preferable by many researches for ductile materials [9,11]. The formula of Gerber Fatigue Theory is shown in Equation 1.

$$\left(\frac{N\sigma_a}{S_e}\right) + \left(\frac{N\sigma_m}{S_u}\right) = 1 \quad (1)$$

N: safety factor for fatigue life in loading cycle,

S_e : endurance limit

S_u : for ultimate tensile strength of the material.

Mean stress σ_m and alternating stress σ_a are defined in Equation 2 and Equation 3, respectively;

$$\sigma_m = \frac{(\sigma_{max} + \sigma_{min})}{2} \quad (2)$$

$$\sigma_a = \frac{(\sigma_{max} - \sigma_{min})}{2} \quad (3)$$

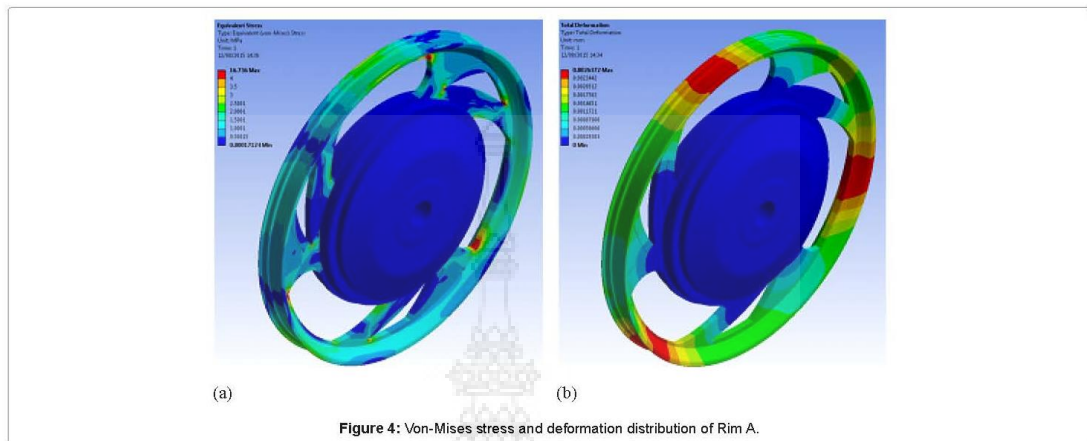


Figure 4: Von-Mises stress and deformation distribution of Rim A.

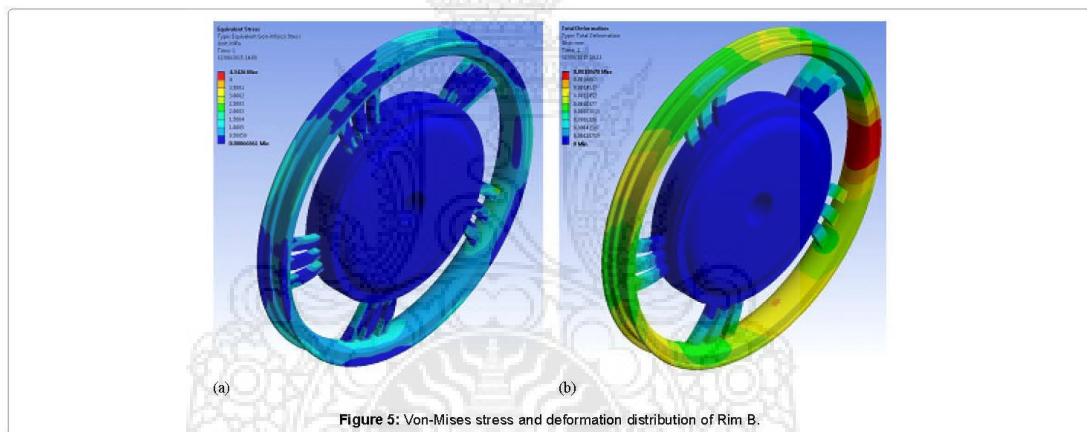


Figure 5: Von-Mises stress and deformation distribution of Rim B.

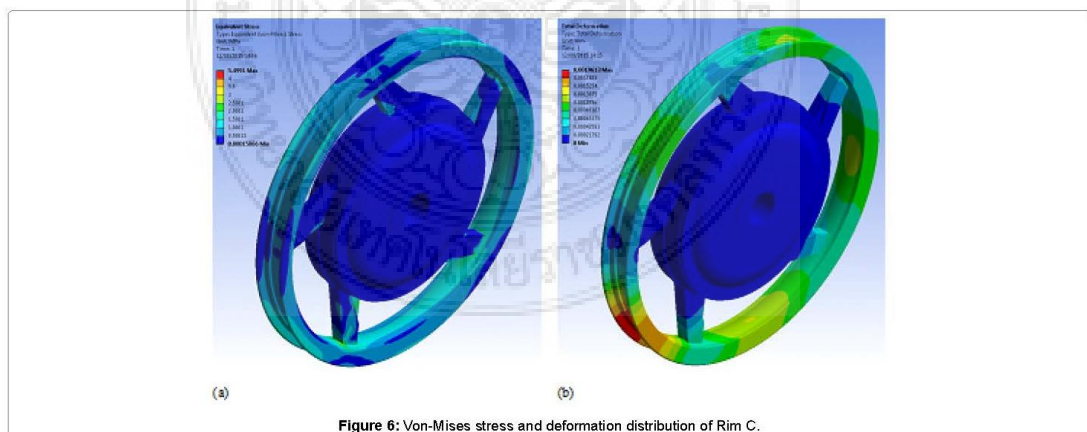
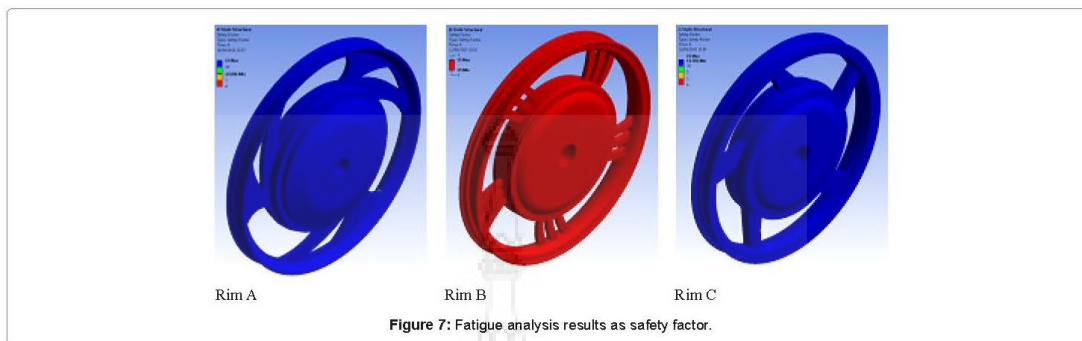


Figure 6: Von-Mises stress and deformation distribution of Rim C.



Von-Mises stresses obtained from analyses were utilized in fatigue life calculations. The result of fatigue analyses showed that all rims can withstand more than 10^6 cycles. Minimum safety factor was found to be 4.5 on the sharp corners. Fatigue analysis results as safety factor was shown in Figure 7.

Conclusion

From the static and fatigue analyses tests, the following results were summarized;

- Von-Mises stresses were primarily affected by sharp corners, due to the stress concentration on edges.
- Von-Mises stress can be decreased by increasing flange to spoke cross section areas.
- The rims which were investigated in this study can withstand 10^6 cycles.
- All tests results revealed that the rims are extremely safe (except on sharp corners), they may be re-designed in order to cost and weight reduction.

References

1. Johnson M, Rose G (2015) Extending life on the bike: Electric bike use by older Australians. *Journal of Transport & Health* 2: 276-283.
2. Weber T, Scaramuzza G, Schmitt KU (2014) Evaluation of e-bike accidents in Switzerland. *Accident Analysis and Prevention* 73: 47-52.
3. Fyhri A, Fearnley N (2015) Effects of e-bikes on bicycle use and mode share. *Transportation Research Part D* 36: 45-52.
4. Cherry CR, Weinert JX, Xinmiao Y (2009) Comparative environmental impacts of electric bikes in China. *Transportation Research Part D* 14: 281-290.
5. Beer MB, Fisher C (2013) Stress-In-Motion (SIM) system for capturing tri-axial tyre-road interaction in the contact patch. *Measurement* 46: 2155-2173.
6. Huang HZ, Li HB (2005) Perturbation finite element method of structural analysis under fuzzy environments. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 18: 83-91.
7. Adigio EM, Nangi EO (2014) Computer aided design and simulation of radial fatigue test of automobile rim using ANSYS. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering* 11: 66-73.
8. Akdogan MY, Esener E, Ercan S, Firat M (2014) Investigation of cornering fatigue behaviour of disc type wheel rim with finite element analysis. *Proceedings of the Automotive Technologies Congress*.
9. Topac MM, Ercan S, Kuralay NS (2012) Fatigue life prediction of a heavy vehicle steel wheel under radial loads by using finite element analysis. *Engineering Failure Analysis* 20: 67-79.
10. Stearns J, Srivatsan TS, Prakash A, Lam PC (2003) Modeling the mechanical response of an aluminum alloy automotive rim. *Materials Science and Engineering: A* 366: 262-268.
11. Zhang J, Pirzada D, Chu CC, Cheng GJ (2003) Fatigue life prediction after laser forming. *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 127: 157-164.

OMICS International: Publication Benefits & Features

Unique features:

- Increased global visibility of articles through worldwide distribution and indexing
- Showcasing recent research output in a timely and updated manner
- Special issues on the current trends of scientific research

Special features:

- 700+ Open Access Journals
- 50,000+ editorial team
- Rapid review process
- Quality and quick editorial, review and publication processing
- Indexing at major indexing services
- Sharing Options: Social Networking Enabled
- Authors, Reviewers and Editors rewarded with online Scientific Credits
- Better discount for your subsequent articles

Submit your manuscript at: <http://www.omicsonline.org/submit>

Citation: Uludamar E, Yildizhan Ş, Tosun E, Aydın K (2016) Finite Element Analysis of Electric Bike Rims Coupled with Hub Motor. Adv Automob Eng 5: 142. doi:10.4172/2167-7670.1000142

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นามสกุล นายชาตรี บุญเชิดชู

วัน เดือน ปีเกิด 08 มีนาคม 2522

ภูมิลำเนา เลขที่ 146 หมู่ 13 ตำบล เนินเพิ่ม อำเภอ นครไทย จังหวัด พิษณุโลก 65120

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	ชื่อสถาบันปีที่	สำเร็จการศึกษา
ปวส. เทคนิคการผลิต	วิทยาลัยเทคนิคจุฬาภรณ์	2548
วทบ. เทคโนโลยีเครื่องกล	มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์	2550

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

Design Engineer and Development บริษัท Thai Green Wheel Co., Ltd. ที่อยู่ 888/47 หมู่ 19 ถนนบางพลี-ตำหรุ ตำบลบางพลีใหญ่ อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540

