



การวิเคราะห์โครงสร้างและอากาศพลศาสตร์ของรถประหยัดพลังงาน

Structure and Aerodynamic Analysis of ECO-Car

นายชาญณรงค์ คงวารี รหัสนิสิต 49360389

นายทศวรรษ บุญญา รหัสนิสิต 49360631 ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์

นายอาทิตย์ ตั้งขำทอง รหัสนิสิต 49362512 วันที่รับ 14 ก.ค. 2553

เลขทะเบียน.....

เลขเรียกหนังสือ.....

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552



ใบรับรองโครงการนิเทศกรรม

หัวข้อโครงการ : การวิเคราะห์โครงสร้างและอากาศพลศาสตร์ของรถประหยัคพลังงาน
 ผู้ดำเนินโครงการ : นายชาญณรงค์ คงวารี รหัสนิสิต 49360389
 นายทศวรรษ บุญญา รหัสนิสิต 49360631
 นายอาทิตย์ สังข์ทอง รหัสนิสิต 49362512
 อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.ศลิษา วีรพันธ์
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ภาณุ พุทธวงศ์
 ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
 ปีการศึกษา : 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติโครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
 การศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการ

.....ประธานกรรมการ
 (ดร.ศลิษา วีรพันธ์)

.....กรรมการ
 (ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)

.....กรรมการ
 (ผศ.ดร.ฤทธา กนกธารวิจิตร)

.....กรรมการ
 (อาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์)

หัวข้อโครงการ : การวิเคราะห์โครงสร้างและอากาศพลศาสตร์ของรถประหยัด
พลังงาน

ผู้ดำเนินโครงการ : นายชาณุณรงค์ คงวารี รหัสบัณฑิต 49360389
นายทศวรรษ บุญญา รหัสบัณฑิต 49360631
นายอาทิตย์ สังข์ทอง รหัสบัณฑิต 49362512

อาจารย์ที่ปรึกษา : ดร.ศลิษา วีรพันธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ดร.ภาณุ พุทธวงศ์

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2552

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอเรื่องการวิเคราะห์โครงสร้างและอากาศพลศาสตร์ของรถประหยัดพลังงาน ในส่วนของการวิเคราะห์ด้านโครงสร้าง ได้ใช้โปรแกรมทางระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ชื่อโปรแกรม Solidworks โหมด Simulation มาใช้ในการวิเคราะห์แบบภาวะสถิตย์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์คือ ค่าความเค้นสูงสุด (σ_{max}) เท่ากับ $1.398 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ ความเครียดสูงสุด (ϵ_{max}) เท่ากับ 5.499×10^{-4} ระยะกระจัดสูงสุด (δ_{max}) เท่ากับ $5.085 \times 10^{-3} \text{ m}$ และค่าความปลอดภัยวิบัติ (n) ต่ำสุดเท่ากับ 1.87 จากผลที่ได้ให้นำมาวิเคราะห์หาค่าความเสียหายเนื่องจากการวิบัติพบว่า โครงสร้างไม่เกิดความเสียหายจากนั้นได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนรูปแบบ โครงสร้างของรถประหยัดพลังงานต้นแบบเพื่อให้มีน้ำหนักและราคาลดลงแต่ยังสามารถรองรับภาระน้ำหนักที่มากระทำต่อโครงสร้างได้ โดยทำการทดลองปรับเปลี่ยนโครงสร้างทั้งหมด 3 ครั้งแล้วนำมาวิเคราะห์ ซึ่งได้ผลครั้งที่ดีที่สุดคือ โครงสร้างแบบที่ 4 ซึ่งมีน้ำหนักลดลง 0.92 กิโลกรัม และราคาลดลง 35.49 บาท ค่าความปลอดภัยลดลงเหลือ 1.75 ซึ่งยังอยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้คือไม่เกิน 0.01 m

ในส่วนของการวิเคราะห์ด้านอากาศพลศาสตร์ทำโดยการสร้างโมเดลจำลองของรถประหยัดพลังงาน 2 แบบคือ แบบหุ้มล้อและแบบไม่หุ้มล้อในขนาดย่อส่วนอัตรา 17:1 ทำการหาพื้นที่หน้าตัดของโมเดลจำลองทั้งสองแบบโดยโมเดลจำลองแบบหุ้มล้อมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.0018 m^2 และโมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 0.0011 m^2 จากนั้นทำการทดสอบในอุโมงค์ลมหาค่าความดันต่างระหว่างความดัน Stagnation และความดันสถิตย์ นำค่าความดันต่าง

ที่ได้มาคำนวณหาค่าความเร็วลมที่ด้านหน้าและด้านหลังของโมเดลทั้งสองแบบ จากนั้นนำค่าความดันต่างมาคำนวณหาค่าแรงต้านอากาศ (D) และค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (C_d) พบว่าโมเดลจำลองแบบหุ้มล้อมีค่าแรงต้านอากาศเท่ากับ $0.054\ N$ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศเท่ากับ 0.40 ส่วนโมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อมีค่าแรงต้านอากาศเท่ากับ $0.050\ N$ ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศเท่ากับ 0.58 แสดงให้เห็นว่าโมเดลจำลองแบบหุ้มล้อมีรูปทรงที่ลู่ลมกว่าโมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อ ถึงแม้ว่าจะมีพื้นที่หน้าตัดมากกว่า



Project Title : Structure and aerodynamic analysis of ECO – Car.
 Name : Mr.Channarong Kongvaree Student ID 49360389
 Mr.Thotsawat Boonya Student ID 49360631
 Mr.Athit Sungthong Student ID 49362512
 Project Advisors : Dr.Salisa Weeraphan
 Project Co-advisor : Dr.Phanu Phootthawong
 Department : Mechanical Engineering
 Academic Year : 2009

.....

Abstract

This project present structure and aerodynamic analysis of ECO-Car. The structure analysis is performed based on finite element method. The structure of ECO-Car is created and analyzed by Solidworks. The result obtained from Solidworks Simulation show that maximum stress is $1.398 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Maximum strain is 5.499×10^{-4} . Maximum displacement is $5.085 \times 10^{-3} \text{ m}$ and minimum factor of safety is 1.87. It has been found yielding failure would not occur to the structure of ECO-Car. Certain modification to the original structure have been made in order to minimize weight and cost. The best arrangement provides that the structure has 7.16 kg, which is 0.92 kg lower than the original structure and cost is 35.49 Baht cheaper.

Aerodynamic analysis, 2 models of ECO-Car are created. There were cover wheel model and uncover wheel model in scale ratio 17:1. Determine frontal area of 2 model. The frontal area of cover wheel model is 0.0018 m^2 and frontal area of uncover wheel model is 0.0011 m^2 . Then, experiment in the wind tunnel for determine different pressure of stagnation pressure and static pressure. Calculated the velocity of wind at forward and backward of 2 model.

Then used different pressure to calculated drag force and drag coefficient. The cover wheel model has drag force is 0.054 N and drag coefficient is 0.40 . The uncover wheel model has drag force is 0.050 N and drag coefficient is 0.58 . Result show that the cover wheel model has a shape be blown wind than the uncover wheel model even though it has a frontal area more than the uncover wheel model.



กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิเคราะห์โครงสร้างและอากาศพลศาสตร์ของรถประหยัดพลังงาน (Structure and Aerodynamic Analysis of ECO-Car) นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้ดำเนินโครงการนี้ ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและความอนุเคราะห์ในด้านต่างๆ ในการดำเนินโครงการมาโดยตลอดจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี ดังนี้

1. ดร.ศลิษา วีรพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านการวิเคราะห์โครงสร้างของรถประหยัดพลังงาน
2. ดร.ภาณุ พุททวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการร่วม ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในด้านการวิเคราะห์อากาศพลศาสตร์และวิธีการทดลองในอุโมงค์ลม
3. เพื่อนๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลชั้นปีที่ 4 ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำในการทำโครงการ

สุดท้ายนี้คณะผู้ดำเนินงานขอขอบพระคุณ บิดามารดา ที่อบรมสั่งสอน สนับสนุนในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจให้เสมอมา

นายชาญณรงค์ กงวารี

นายทศวรรษ บุญญา

นายอาทิตย์ สังข์ทอง

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญรูปภาพ	ญ
สารบัญตาราง	ฎ
ลำดับสัญลักษณ์	ฬ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ระยะเวลาหรือแผนการปฏิบัติงาน	3
1.6 สถานที่ปฏิบัติงาน	3
1.7 งบประมาณที่ใช้	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	4
2.1 ความเค้นภายในโครงสร้าง	4
2.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์ความเสียหายจากภาวะสถิต	5
2.3 ทฤษฎีพลังงานของการเสียรูป (Distortion Energy-DE)	6

2.4 การใช้โปรแกรมทางระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	9
2.5 การ โกงตัวของคาน	11
2.6 การใช้โปรแกรมขึ้นรูปสามมิติ Solidworks	16
2.7 แรงด้านอากาศ	17
2.8 ความดันสถิตย ความดัน Stagnation และความดันพลศาสตร์	19
2.9 อุโมงค์ลม	21
บทที่ 3 การวิเคราะห์โครงสร้างรพระหัดพลังงาน	23
3.1 การเก็บข้อมูล โครงสร้างรพระหัดพลังงานและวิเคราะห์ตัวแปรที่ใช้คำนวณ	24
3.2 การใช้โปรแกรม Solidworks	29
3.3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงและการเสียรูปของ โครงสร้างรพระหัดพลังงาน	37
3.4 การทดลองปรับเปลี่ยน โครงสร้างของรพระหัดพลังงาน	39
3.5 สรุปผลการปรับเปลี่ยน โครงสร้างรพระหัดพลังงาน	49
บทที่ 4 การวิเคราะห์ด้านอากาศพลศาสตร์	52
4.1 การสร้าง โมเดลจำลองตัวถังรพระหัดพลังงานทั้งแบบหุ้มล้อและไม่หุ้มล้อ	53
4.2 การหาพื้นที่หน้าตัดของ โมเดลจำลองทั้งสองแบบ	54
4.3 การทดลองภายในอุโมงค์ลม	55
4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่าง โมเดลจำลองทั้งสองแบบ	57
4.5 สรุปผลการทดลองภายในอุโมงค์ลม	59
บทที่ 5 สรุปผลโครงการและข้อเสนอแนะ	61
5.1 สรุปผล โครงการ	61

หน้า

5.2 ข้อเสนอแนะ

64

บรรณานุกรม

65

ประวัติผู้จัดทำโครงการ

66



สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.1 กราฟแสดงค่าความเค้นที่เป็นความต้านแรงครากของวัสดุ “เหนียว” และวัสดุ “เปราะ”	5
รูปที่ 2.2 ทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เล็ก ๆ ที่อยู่ภายใต้ความเค้นในสามมิติ	6
รูปที่ 2.3 แสดงวงรีบนระนาบ σ_A, σ_B	8
รูปที่ 2.4 ลักษณะเอลิเมนต์แบบอย่างสำหรับโครงสร้าง	10
รูปที่ 2.5 การ โกงตัวของคาน	12
รูปที่ 2.6 ความชันและระยะ โกงตัวของคาน	15
รูปที่ 2.7 แสดงแรงดัด, แรงกด และแรงยกอากาศ	18
รูปที่ 2.8 แสดงแรงดูดอากาศ	19
รูปที่ 2.9 การวัดความดันสถิตย์ (P_s) ความดันพลังงานจลน์ (P_v) และความดันทั้งหมด (P_t)	20
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานในส่วนของการสร้างรถประหยัดพลังงาน	23
รูปที่ 3.2 การสร้าง โมเดลโครงสร้างรถประหยัดพลังงาน	25
รูปที่ 3.3 ภาระกระจายที่กระทำต่อชิ้นส่วนโครงสร้าง	26
รูปที่ 3.4 ภาระกระทำแบบจุดเนื่องจากน้ำหนักของเครื่องยนต์	27
รูปที่ 3.5 ภาระทั้งหมดที่กระทำต่อ โครงสร้างรถประหยัดพลังงาน	28
รูปที่ 3.6 การสร้างเหล็กกล่อง	29
รูปที่ 3.7 เลือก โหมด Assembly	30
รูปที่ 3.8 คำสั่ง Insert Components และ Mate	30
รูปที่ 3.9 เหล็กกล่องที่ทำการ Mate กันแล้ว	31
รูปที่ 3.10 โครงสร้างรถประหยัดพลังงานที่เสร็จสมบูรณ์	31
รูปที่ 3.11 คำสั่งกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ	32
รูปที่ 3.12 ค่าคุณสมบัติต่างๆของวัสดุ	32
รูปที่ 3.13 คำสั่ง Fixture	33

รูปที่ 3.14 การเลือกตำแหน่งที่มีแรงด้านของเพลาด้อยทั้ง 4 จุด	33
รูปที่ 3.15 แรงเนื่องจากภาระน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำแต่ละตำแหน่ง	34
รูปที่ 3.16 การกำหนดแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง	34
รูปที่ 3.17 โครงสร้างที่ทำการ Mesh แล้ว	35
รูปที่ 3.18 ขั้นตอนระหว่างการทำ Mesh and Run	35
รูปที่ 3.19 การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์	36
รูปที่ 3.20 การเลือกรูปแบบที่ใช้ในการแสดงผล	36
รูปที่ 3.21 ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้น (Von Mises Stress) ของโครงสร้างแบบที่ 1	37
รูปที่ 3.22 ผลการวิเคราะห์การกระจัด (Displacement) ของโครงสร้างแบบที่ 1	38
รูปที่ 3.23 ผลการวิเคราะห์ความเครียด (Strain) ภายในโครงสร้างแบบที่ 1	38
รูปที่ 3.24 ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ภายในโครงสร้างแบบที่ 1	39
รูปที่ 3.25 โครงสร้างแบบที่ 2 ที่ได้จากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างคั่นคั่นแบบ (แบบที่ 1)	41
รูปที่ 3.26 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความเค้น (Von Mises Stress) ของโครงสร้างแบบที่ 2	41
รูปที่ 3.27 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าการกระจัด (Displacement) ของโครงสร้างแบบที่ 2	42
รูปที่ 3.28 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความเครียด (Strain) ของโครงสร้างแบบที่ 2	42
รูปที่ 3.29 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ของโครงสร้างแบบที่ 2	43
รูปที่ 3.30 โครงสร้างแบบที่ 3 ที่ได้จากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างคั่นคั่นแบบ (แบบที่ 1)	44
รูปที่ 3.31 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความเค้น (Von Mises Stress) ของโครงสร้างแบบที่ 3	44
รูปที่ 3.32 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าการกระจัด (Displacement) ของโครงสร้างแบบที่ 3	45
รูปที่ 3.33 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความเครียด (Strain) ของโครงสร้างแบบที่ 3	45
รูปที่ 3.34 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ของโครงสร้างแบบที่ 3	46
รูปที่ 3.35 โครงสร้างแบบที่ 4 ที่ได้จากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างคั่นคั่นแบบ (แบบที่ 1)	47
รูปที่ 3.36 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความเค้น (Von Mises Stress) ของโครงสร้างแบบที่ 4	47
รูปที่ 3.37 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าการกระจัด (Displacement) ของโครงสร้างแบบที่ 4	48

รูปที่ 3.38 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความเครียด (Strain) ของโครงสร้างแบบที่ 4	48
รูปที่ 3.39 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ของโครงสร้างแบบที่ 4	49
รูปที่ 3.40 สรุปผลของโครงสร้างทั้ง 4 แบบ	50
รูปที่ 3.41 ขนาดของเหล็กกล่องที่ใช้ทำโครงสร้างแบบที่ 1 (กันดินแบบ)	51
รูปที่ 3.42 ขนาดของเหล็กกล่องที่ใช้ทำโครงสร้างแบบที่ 4	51
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการดำเนินงานในส่วนของตัวถังรถประหยัคพลังงาน	52
รูปที่ 4.2 แบบจำลองรถประหยัคพลังงานที่ทำจากดินน้ำมันทั้ง 2 แบบ	53
รูปที่ 4.3 โมเดลจำลองรถประหยัคพลังงานทั้งสองแบบที่เสร็จสมบูรณ์	54
รูปที่ 4.4 พื้นที่หน้าตัดของโมเดลจำลองทั้งสองแบบ	54
รูปที่ 4.5 ตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $0.05 \times 0.05 \text{ m}$ ที่แบ่งเป็นช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $0.005 \times 0.005 \text{ m}$ จำนวน 100 ช่อง	55
รูปที่ 4.6 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง	56
รูปที่ 4.7 การทดลองภายในอุโมงค์ลม	56
รูปที่ 4.8 เกจที่ใช้อ่านค่าความดัน	57
รูปที่ 5.1 สรุปผลโครงสร้างรถประหยัคพลังงานทั้ง 4 แบบ	62

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน	3
ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกข้อมูลโครงสร้างรถประหยัคพลังงาน	24
ตารางที่ 3.2 ขนาดของภาระที่กระทำกับโครงสร้าง	26
ตารางที่ 3.3 ขนาดของแรงที่กระทำบนจุดต่างๆของโครงสร้าง	28
ตารางที่ 3.4 ข้อมูลเหล็กกล่องแต่ละขนาด (ความยาวเส้นละ 6 เมตร)	40
ตารางที่ 3.5 สรุปผลการปรับเปลี่ยนโครงสร้างรถประหยัคพลังงาน	49
ตารางที่ 3.6 สรุปผลน้ำหนักและราคาของโครงสร้างแต่ละแบบ	50
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองในอุโมงค์ลม	57
ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองภายในอุโมงค์ลม	59

ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
F	แรงภายนอก	N
A	พื้นที่หน้าตัด	m^2
σ	ความเค้น	$N/m^2, Pa$
σ_c	ความเค้นอัด	$N/m^2, Pa$
σ_t	ความเค้นดึง	$N/m^2, Pa$
σ_{max}	ความเค้นสูงสุด	$N/m^2, Pa$
σ_{min}	ความเค้นต่ำสุด	$N/m^2, Pa$
σ_y	ความเค้นคราก	$N/m^2, Pa$
τ	ความเค้นเฉือน	$N/m^2, Pa$
δ_{max}	ระยะกระจัดสูงสุด	m
δ_{min}	ระยะกระจัดต่ำสุด	m
ϵ_{max}	ความเครียดสูงสุด	-
ϵ_{min}	ความเครียดต่ำสุด	-
n	ค่าความปลอดภัย	-
P	แรงดึง	N
L	ความยาว	m
C_d	สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ	-
C_l	สัมประสิทธิ์แรงยก	-
D	แรงต้านอากาศที่กระทำกับตัวรถ	N
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3
U	ความเร็วของอากาศ	m/s
V	ความเร็ว	m/s
h	ความดันต่าง	mmH_2O
P_0	ความดัน Stagnation	Pa
P	ความดันสถิต	Pa

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

พลังงาน เป็นปัจจัยที่ทำให้โลกปัจจุบันขับเคลื่อนไปข้างหน้า มนุษย์ค้นพบแหล่งพลังงานมานานแล้ว เช่น พลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งแปรรูปมาจากพลังงานธรรมชาติที่สะสมมานานนับศตวรรษหรือปิโตรเลียม (น้ำมันดิบ) และเราได้ใช้พลังงานดังกล่าวมาผลักดันโลกให้พัฒนาก้าวไปข้างหน้าในทุกๆด้าน จนกระทั่งวันหนึ่งที่ทุกคนเริ่มตระหนักว่า พลังงานที่แปรรูปจากธรรมชาติ(น้ำมันดิบ) กำลังจะหมดไป มนุษย์จำเป็นต้องหาหนทางอื่นๆในการสร้างพลังงานทดแทนและพลังงานเชื้อเพลิงเป็นสิ่งมีค่าและนับวันจะหมดไป การประดิษฐ์ยานยนต์ที่สามารถประหยัดเชื้อเพลิงได้มากขึ้นเท่าไรจะยิ่งสามารถชะลอการหมดไปของพลังงานโลกได้มากขึ้นเท่านั้น รวมทั้งยังช่วยลดมลภาวะที่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงได้อีกทางหนึ่ง การสร้างรถประหยัดน้ำมัน จึงเกิดขึ้นเพื่อส่งเสริมการคิดค้นเทคโนโลยีใหม่ๆ โดยมีจุดประสงค์คือการพัฒนาขานยนต์ให้มีอัตราการใช้พลังงานน้อยที่สุด

ปัจจุบันได้มี โครงการให้นักเรียนนักศึกษาหรือผู้ที่สนใจด้านรถประหยัดพลังงานโดยให้คิดและออกแบบสร้างรถประหยัดพลังงานเพื่อเข้าร่วมการแข่งขันในรายการต่างๆเช่นในประเทศไทยคือ Honda Econo, World Eco Car Grand Prix in Thailand และในต่างประเทศคือ Shell Eco-marathon ซึ่งในการแข่งขันรายการนี้ รถที่ใช้พลังงานได้น้อยที่สุดในโลกนั้นได้ทำสถิติการใช้เชื้อเพลิงคือใช้ไฮโดรเจน 12,665 mpg (หรือ 5,385 กิโลเมตรต่อลิตรเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินค่าออกเทน 95) และมีน้ำหนักเพียง 66 ปอนด์ และรองรับผู้ขับขี่ได้ 1 คนนั้น วิ่งที่ความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (หรือ 18 ไมล์ต่อชั่วโมง) และใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนเพียง 1.02 กรัมเท่านั้น โดยสนามที่แข่งขันนั้นสภาพสนามเป็นแบบทางเรียบ

โดยภายใต้การแข่งขันรถ Eco car ในรายการต่างๆนั้นต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดว่ารถประหยัดพลังงานที่เข้าร่วมแข่งขันต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วและระยะทางที่คณะกรรมการในการแข่งขันได้กำหนดไว้ จากนั้นจึงมาหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อกิโลเมตร ซึ่งรถประหยัดพลังงานคันใดมีค่าอัตราการสิ้นเปลืองของพลังงานน้อยที่สุดก็จะเป็นผู้ชนะในการแข่งขัน และปัญหาคือการทำให้รถประหยัดพลังงานนั้นใช้พลังงานให้น้อยที่สุดจะต้องมีปัจจัยใดที่เกี่ยวข้องกับรถประหยัดพลังงานบ้าง

จากการศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการประหยัดเชื้อเพลิงพบว่า ปัจจัยที่มีผลทำให้รถประหยัดพลังงานสามารถประหยัดพลังงานได้สูงสุดมี 3 ส่วน คือ

1. เครื่องยนต์
2. น้ำหนักของรถ
3. หลักการด้านอากาศพลศาสตร์

ซึ่งปัจจัยทั้งสามประการที่กล่าวไว้แล้วนั้นจะทำการวิเคราะห์เพียง 2 ปัจจัย คือ ด้านน้ำหนักและหลักการด้านอากาศพลศาสตร์ของรถประหยัคพลังงาน ซึ่งในส่วนของด้านน้ำหนักของรถ จะทำการวิเคราะห์โครงสร้างของรถโดยโครงสร้างจะต้องรับภาระในหลายๆจุด จึงต้องออกแบบโครงสร้างรถให้สามารถรับภาระต่างๆให้ได้มากที่สุดละมีน้ำหนักเบาที่สุด และต้องเลือกวัสดุที่ใช้วัสดุชนิดใดเพื่อให้โครงรถนั้นสามารถกระจายภาระต่างๆได้สม่ำเสมอทั่วทั้ง โครงรถโดยจะส่งผล ทำให้โครงสร้างรถมีความแข็งแรง กระจายได้อย่างสม่ำเสมอ ในส่วนของด้านอากาศพลศาสตร์ นั้นขึ้นส่วนที่มีความเกี่ยวข้องกับด้านนี้โดยตรง คือ บอดีจากการที่ได้ศึกษาและวิเคราะห์พบว่ารถประหยัคพลังงานส่วนใหญ่จะมีตัวถังอยู่ 2 รูปแบบคือ 1. ตัวถังแบบหุ้มล้อ 2. ตัวถังแบบไม่หุ้มล้อ โดยจะวิเคราะห์และเปรียบเทียบตัวถังทั้งสองรูปแบบนั้นรูปแบบใดที่มีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศน้อยกว่าเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาและสร้างรถประหยัคพลังงานที่ใช้ได้จริงในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาและวิเคราะห์ภาระที่กระทำต่อโครงสร้างรถและหาการกระจายตัวของความเค้นภายในโครงสร้างรถประหยัคพลังงาน
- 1.2.2 ศึกษาและวิเคราะห์หลักการทางอากาศพลศาสตร์ของรถประหยัคพลังงาน
- 1.2.3 เพื่อให้ผลการวิเคราะห์เป็นข้อมูลและแนวทางแก่ผู้ที่สนใจด้านรถประหยัคพลังงานได้

1.3 ขอบเขต

- 1.3.1 วิเคราะห์เรื่องการกระจายตัวของความเค้นภายในโครงสร้างรถประหยัคพลังงานด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนท์เอลิเมนต์และเปรียบเทียบผลการคำนวณทางกลศาสตร์
- 1.3.2. วิเคราะห์เรื่องอากาศพลศาสตร์ของรถประหยัคพลังงานและเปรียบเทียบผลการทดลองภายในอุโมงค์ลม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ภาระที่กระทำต่อโครงสร้างรถและหาการกระจายตัวของความเค้นภายในโครงสร้างรถประหยัคพลังงาน
- 1.4.2 ได้ข้อมูลจากการวิเคราะห์ทางหลักการด้านอากาศพลศาสตร์ของรถประหยัคพลังงาน

1.4.3 ได้ผลการวิเคราะห์ของรถประหยัคพลังงานเพื่อเป็นข้อมูลและแนวทางแก่ผู้สนใจด้านรถประหยัคพลังงาน

1.5 ระยะเวลาหรือแผนการปฏิบัติงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2552						2553				
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1.ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล											
2.เขียนแบบโครงสร้างรถ											
3.สร้างโมเดลจำลอง											
4.วิเคราะห์โครงสร้างรถ											
5.ทดลองภายในอุโมงค์ลม											
6.สรุปและรวบรวมข้อมูล											
7.จัดทำรูปเล่มรายงาน											

1.6 สถานที่ปฏิบัติงาน

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

1.7 งบประมาณที่ใช้

1.7.1 ค่าคินน้ำมันและปูนปลาสเตอร์	100 บาท
1.7.2 ค่าถ่ายเอกสาร	300 บาท
1.7.3 ค่าพิมพ์และจัดทำรูปเล่มรายงาน	2,600 บาท
รวม	3,000 บาท

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ความเค้นภายในโครงสร้าง

ความเค้น(Stress) คือ แรงภายนอกที่กระทำผ่านจุดศูนย์กลางของพื้นที่หน้าตัดของวัสดุหรืออัตราส่วนระหว่างแรงภายนอก/หนึ่งหน่วยพื้นที่ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Stress} = F / A \quad \text{หน่วย } N/m^2 \quad (2.1)$$

เมื่อ F = แรงภายนอก หน่วย นิวตัน (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อนวัตถุนั้น หน่วย เมตร (m)

ความเค้น (Stress) แบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

2.1.1 ความเค้นดึง (tensile stress) หรือ σ_t เป็นความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุนั้นได้รับแรงดึงในแนวตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดที่แรงนั้นกระทำ เขียนเป็นสมการ คือ

$$\sigma_t = F / A \quad (2.2)$$

เมื่อ σ_t = ความเค้นดึง หน่วย N/m^2

2.1.2 ความเค้นอัด (compressive stress) หรือ σ_c เป็นความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อวัตถุนั้นได้รับแรงในแนวตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัดที่แรงนั้นกระทำ เขียนเป็นสมการ คือ

$$\sigma_c = F / A \quad (2.3)$$

เมื่อ σ_c = ความเค้นอัด หน่วย N/m^2

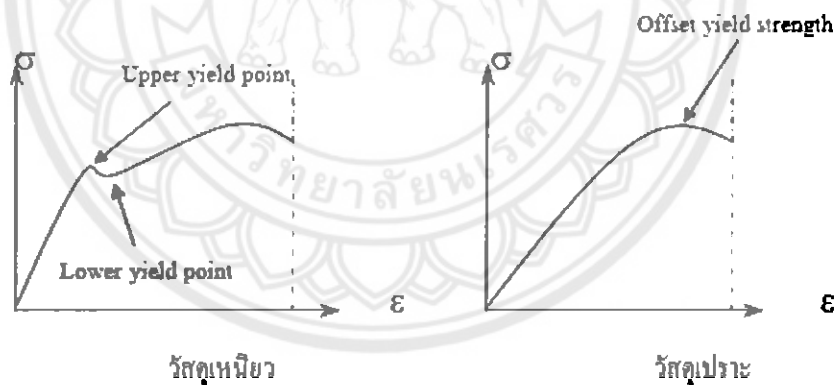
2.1.3 ความเค้นเฉือน (shear stress) หรือ τ เป็นความเค้นที่เกิดจากแรงภายนอกที่มากระทำก่อให้เกิด σ ขึ้นเมื่อวัตถุนั้นได้รับแรงเฉือนที่กระทำในแนวนานกับพื้นที่หน้าตัดที่แรงนั้นกระทำเขียนเป็นสมการ คือ

$$\tau = F / A \quad (2.4)$$

เมื่อ τ = ความเค้นเฉือน หน่วย N/m^2

2.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์ความเสียหายจากภาวะสติก

ในการวิเคราะห์ความเสียหายจากภาวะสติก เมื่อชิ้นงานได้รับแรงมากจนเกิดการครากขึ้นมีรอยร้าวแตกหัก และเกิดการโก่งงอมากกว่าปกติจนเสียรูป จะเกิดการล้าจนหักพังในที่สุด ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้น ในการออกแบบจะต้องกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ออกแบบ เช่น แรง ความเค้น การยืดตัว และอื่น ๆ ให้มีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุดที่ได้จากการคำนวณ โดยอัตราส่วนของค่าสูงสุดที่ชิ้นงานสามารถรองรับได้ ต่อค่าในการออกแบบนี้ เรียกว่า แฟกเตอร์ในการออกแบบหรือค่าความปลอดภัย ทฤษฎีที่ใช้เกี่ยวกับการรับภาระแบบสติก หรือแรงคู่ควบซึ่งกระทำต่อชิ้นงานโดยมีค่าคงที่ ดังนั้น การออกแบบจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ค่าความเค้นเฉลี่ย เพื่อทำนายการเกิดค่าความเสียหาย ณ ตำแหน่งวิกฤติ เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายวัสดุที่ถูกแรงกระทำแล้วเกิดความเครียดที่มีค่ามาก ๆ ก่อนเกิดการแตกหัก เรียกว่า “วัสดุเหนียว” จะมีค่า $\epsilon_f \geq 0.05$ และมีค่าความต้านแรงครากอย่างชัดเจน ซึ่งมีค่าเดียวกันสำหรับการดึงและการอัด คือ ($S_u = S_{\infty} = S_y$) วัสดุที่มีจุดครากต่ำมาก หรือไม่มีจุดครากก่อนเกิดการแตกหัก และ $\epsilon_f \geq 0.05$ จะเรียกว่า “วัสดุเปราะ” ซึ่งสามารถแสดงกราฟค่าความเค้นที่เป็นความต้านแรงครากของวัสดุ “เปราะ” และวัสดุเหนียว “เหนียว” ได้ดังรูป



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงค่าความเค้นที่เป็นความต้านแรงครากของวัสดุ “เหนียว” และวัสดุ “เปราะ”

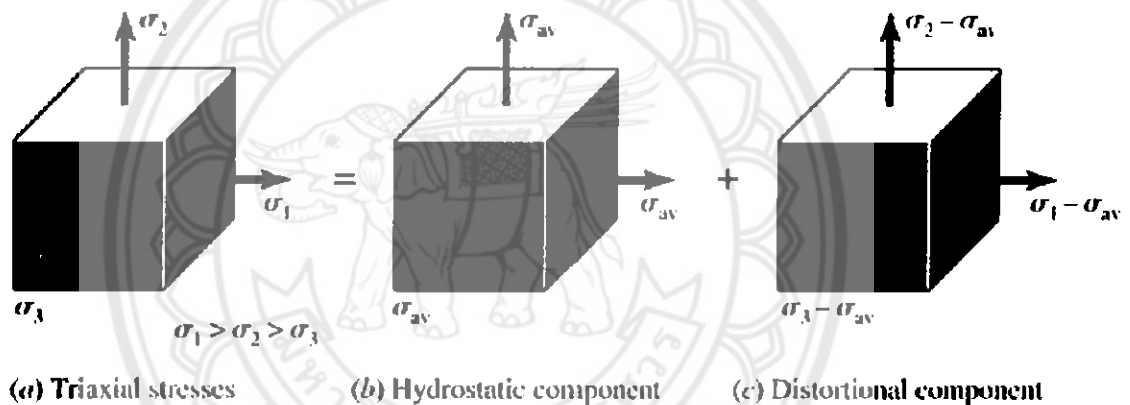
อัตราส่วนของค่าสูงสุดที่ชิ้นงานสามารถรองรับได้ต่อค่าที่ใช้ในการออกแบบ หรือค่าความปลอดภัย(n) สำหรับการออกแบบที่ใช้ความเค้นเป็นหลัก

$$\text{ค่าความปลอดภัย } n = \frac{\sigma_f}{\sigma_{\max}} \quad (2.5)$$

2.3 ทฤษฎีพลังงานของการเสียรูป (Distortion Energy-DE)

ทฤษฎีพลังงานของการเปลี่ยนรูป นี้เกิดจากการสังเกตพลังงานที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปของวัสดุเหนียว โดยทฤษฎีนี้กล่าวว่า “วัสดุจะเริ่มร้าว” เมื่อพลังงานของการเปลี่ยนรูปต่อหน่วยปริมาตรของชิ้นงานที่อยู่ภายใต้ความเค้นรวม มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับพลังงานของการเปลี่ยนรูปเนื่องจากการร้าวที่เกิดขึ้นในการทดสอบด้วยการดึงอย่างง่าย

ในการพัฒนาสมการสำหรับทฤษฎีนี้ ให้พิจารณาพลังงานของการเปลี่ยนรูปในชิ้นส่วนรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เล็ก ๆ ที่อยู่ภายใต้ความเค้นในสามมิติ σ_1, σ_2 และ σ_3 ดังรูป



รูปที่ 2.2 ทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เล็ก ๆ ที่อยู่ภายใต้ความเค้นในสามมิติ

โดย
$$\sigma_{av} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (2.6)$$

คั่งนั้นชิ้นส่วนในรูป (b) จะมีปริมาณเปลี่ยนแปลงไปโดยไม่มีการบิดเบือนรูปร่างเชิงมุม ถ้าถือว่า σ_{av} เป็นองค์ประกอบของ σ_1, σ_2 และ σ_3 องค์ประกอบนี้ก็สามารถนำไปลบออกได้ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังรูป (c) เป็นองค์ประกอบที่อยู่ภายใต้การบิดเบือนรูปร่างเชิงมุมโดยที่ปริมาณไม่มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานความเครียดต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรภายใต้ความเค้นใน 3 มิติคือ

$$u = \frac{1}{2}(\epsilon_1\sigma_1 + \epsilon_2\sigma_2 + \epsilon_3\sigma_3)$$

$$= \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)] \quad (2.7)$$

พลังงานความเครียดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะปริมาตร u_v จึงหาได้โดยแทนค่า σ_{av} สำหรับ σ_1, σ_2 และ σ_3 ในสมการ (2.7) จะได้

$$u_v = \frac{3\sigma_{av}^2}{2E} (1 - 2\nu) \quad (2.8)$$

ถ้าแทนค่าสมการ (2.7) ยกกำลังสอง ลงในสมการ (2.8) และจัดให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่าย จะได้

$$u_v = \frac{1 - 2\nu}{6E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + 2\sigma_1\sigma_2 + 2\sigma_2\sigma_3 + 2\sigma_3\sigma_1] \quad (2.9)$$

ดังนั้น จะสามารถหาพลังงานของการเปลี่ยนรูปได้จากการนำสมการที่ (2.9) ไปลบออกจากสมการ (2.10) จะได้

$$u_d = u - u_v = \frac{1 - \nu}{3E} \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right] \quad (2.10)$$

ให้สังเกตว่าพลังงานของการเปลี่ยนรูปจะมีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อ $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ สำหรับการทดสอบแรงดึงอย่างง่าย ที่จุดคราก $\sigma_1 = S_y$ และ $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ ดังนั้น พลังงานของการเปลี่ยนรูปจะมีค่าเท่ากับ

$$u_d = \frac{1 - \nu}{3E} S_y^2 \quad (2.11)$$

ดังนั้นสำหรับสถานะความเค้นในสมการที่ (2.10) จะทำให้สามารถทำนายจุดครากของชิ้นงานได้ ถ้าสมการ (2.10) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับสมการที่ (2.11) ซึ่งจะได้

$$\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \geq S_y \quad (2.12)$$

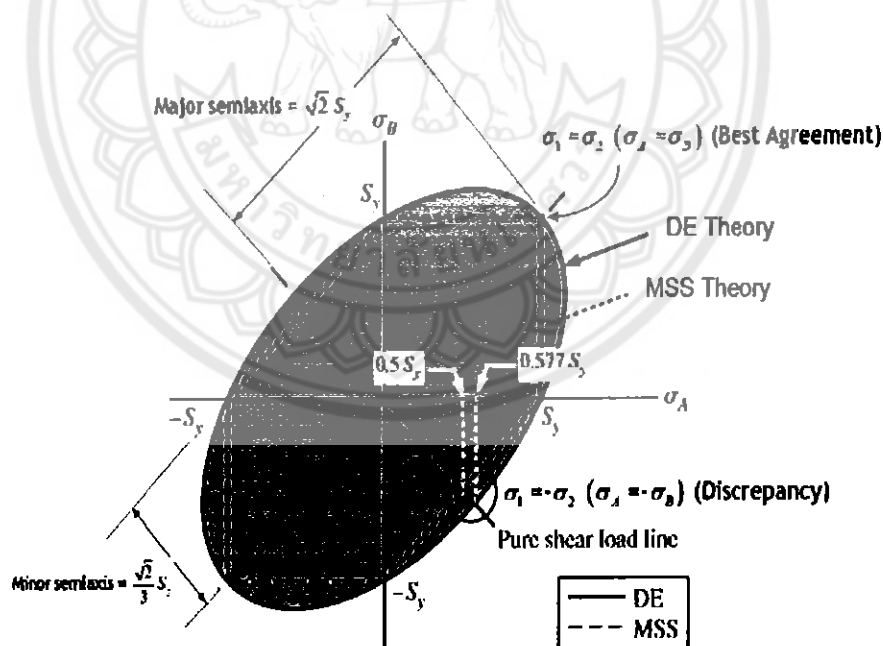
ในการทดสอบแรงดึงอย่างง่าย จะเกิดความเค้น σ การครากของชิ้นงานจะเกิดขึ้นเมื่อ $\sigma \geq S_y$ ดังนั้น เทอมทางซ้ายมือของสมการที่ (2.12) จะเป็นค่าความเค้นที่มีผลต่อพลังงานของการเปลี่ยนรูป (Effective Stress) ซึ่งนิยมเรียกว่า “Von Miss Stress” ตามชื่อของผู้คิดค้นทฤษฎีนี้ โดยใช้สัญลักษณ์ σ' ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการที่ (2.12) ได้เป็น $\sigma' \geq S_y$

$$\text{เมื่อ} \quad \sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \quad (2.13)$$

สำหรับความเค้นในระนาบกำหนดให้ σ_A และ σ_B เป็นความเค้นหลักซึ่งมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ดังนั้น

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A \sigma_B + \sigma_B^2)^{1/2} \quad (2.14)$$

สมการที่ (2.14) เป็นสมการของวงรีบนระนาบ $\sigma_A \sigma_B$ ดังแสดงตามรูป โดย $\sigma' = S_y$ เส้นประในรูปคือทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด (MSS) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีขีดจำกัดมากกว่า



รูปที่ 2.3 แสดงวงรีบนระนาบ $\sigma_A \sigma_B$

การใช้องค์ประกอบของความเค้นในสามมิติ $x y z$ จะสามารถเขียน Von mises stress ได้ดังนี้

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2} \quad (2.15)$$

ดังนั้น สำหรับความเค้นในระนาบ $\sigma_z = 0$

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2} \quad (2.16)$$

2.4 การใช้โปรแกรมทางระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ขั้นตอนการใช้งานระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ มี 3 ขั้นตอนคือ

2.4.1 Pre – processing คือขั้นตอนการเตรียมโมเดลที่จะทำการวิเคราะห์

-Geometry modeling เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานที่ต้องการทำการวิเคราะห์

-Material property เป็นการกำหนดชนิดและคุณสมบัติของวัสดุ ค่าที่ต้องใส่เสมอคือค่า

Young's modulus และค่า Poisson's ratio

-Element property เป็นการกำหนดชนิดและคุณสมบัติของเอลิเมนต์ว่าจะให้มีลักษณะเป็นแบบใด เช่น แบบเส้น แบบท่อน แบบแท่ง เป็นต้น

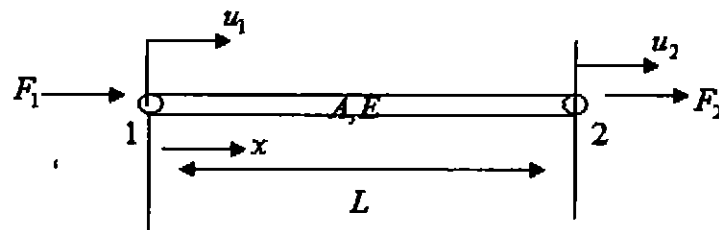
-Load เป็นการกำหนดแรงต่างๆที่มากระทำต่อเอลิเมนต์

-Boundary condition เป็นการกำหนดเงื่อนไขขอบ

เมื่อเสร็จขั้นตอน Pre – processing ก็ทำการส่งโมเดลแบบจำลองที่ต้องการทำการวิเคราะห์ ไปยังโปรแกรมอื่นๆ

2.4.2 Processing คือขั้นตอนการวิเคราะห์โมเดลแบบจำลอง

การสร้างสมการไฟไนต์เอลิเมนต์จากวิธีการ โดยตรงเริ่มต้นจากสมการความสัมพันธ์ของความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ที่เรียกกันว่ากฎของฮุค (Hooke's law) นั่นคือ



รูปที่ 2.4 ลักษณะเอลิเมนต์แบบอย่างสำหรับโครงสร้าง

โดยแทนค่า σ ของความเค้นและ ϵ แทนค่าของความเครียดจากรูป เราจับยึดที่จุดต่อ 1 และดึงที่จุดต่อ 2 ด้วยแรง F_2 สมการ $\sigma = E\epsilon$ จะเขียนได้ในรูปแบบดังนี้

$$\begin{aligned}\frac{F_2}{A} &= E \left(\frac{u_2 - u_1}{L} \right) \\ F_2 &= \frac{AE}{L} (u_2 - u_1) \\ -\frac{AE}{L} (u_1 - u_2) &= F_2\end{aligned}\quad (2.17)$$

แต่ภายใต้ความสมดุล $\sum F_x = 0$

$$\begin{aligned}F_1 + F_2 &= 0 \\ F_1 &= -F_2 \\ F_1 &= -\frac{AE}{L} (u_1 - u_2)\end{aligned}\quad (2.18)$$

สามารถนำมาเขียนด้วยกันได้ ดังนี้

$$\frac{AE}{L} (u_1 - u_2) = F_1 \quad (2.19)$$

$$-\frac{AE}{L} (u_1 - u_2) = F_2 \quad (2.20)$$

ซึ่งเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกได้

$$\begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & -\frac{AE}{L} \\ -\frac{AE}{L} & \frac{AE}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix}$$

$$\frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix}$$

หรือเขียนย่อได้เป็น

$$[K]\{u\} = \{F\} \quad (2.21)$$

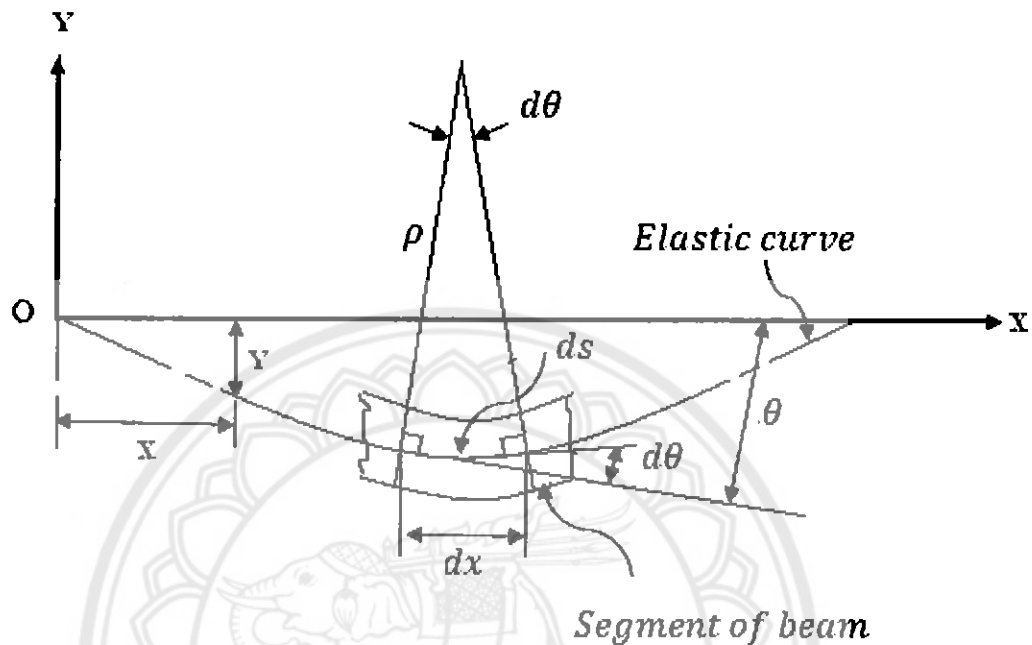
ในที่นี้ $\{K\}$ เรียกว่า เอลิเมนต์เมตริกซ์ของความแข็งแรง (Element stiffness matrix)
 $\{u\}$ เรียกว่า เมตริกซ์ของการเคลื่อนที่ที่จุดต่อ (Vector of nodal displacements)
 $\{F\}$ เรียกว่า เมตริกซ์ของแรงกระทำที่จุดต่อ (Vector of nodal forces)

2.4.3 Post – processing คือขั้นตอนที่แสดงผลการวิเคราะห์ ขั้นตอนนี้ผู้ใช้งานจะต้องกำหนดและเลือกแสดงผลค่าที่ต้องการนำเสนอ

2.5 การโก่งตัวของคาน

การโก่งตัวของคานเป็นแฟกเตอร์ตัวหนึ่งที่น่าสนใจถึงขีดจำกัดของภาระที่กระทำต่อคาน ดังนั้นในการออกแบบคานจะต้องคำนึงถึงระยะการโก่งตัวของคานด้วย ระยะการโก่งตัวของคาน (Beam deflection) สามารถหาได้โดยวิธีต่างๆดังนี้

2.5.1 วิธีอินทิเกรตสองชั้น(Double –Integration Method)



รูปที่ 2.5 การ โค้งตัวของคาน

จากรูปที่ 2.5 พิจารณาผิวสะเทิน (Neutral surface) เป็นเส้นในแนวยาวตามลักษณะของคานที่โค้งตัว เราเรียกขอบเส้นของผิวสะเทินว่า เส้นอีลาสติคของคาน (Elastic line) หรือเส้นโค้งยืดหยุ่น (Elastic curve) พิจารณาเส้นโค้งยืดหยุ่นในช่วง dx โดยกำหนดให้พิกัด x วัดจากปลายด้านซ้ายเป็นจุดกำเนิดและพิกัด y วัดขึ้นเป็นบวก ระยะโค้งตัวของคานจะถูกสมมติให้มีค่าน้อยมากนั่นคือเส้นโค้งยืดหยุ่นเกือบเป็นเส้นตรง ดังนั้นความลาดชันของเส้นโค้งยืดหยุ่นที่จุดหนึ่งๆ สามารถเขียนเป็น

$$\tan \theta \approx \theta = \frac{dy}{dx} \quad (2.22)$$

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} \quad (2.23)$$

จากรูป ส่วนโค้ง ds รองรับมุม $d\theta$ ที่รัศมี ρ ดังนั้น

$$ds = \rho d\theta \quad (2.24)$$

เนื่องจากระยะโค้งตัวมีค่าน้อยมาก จึงสามารถแทนส่วนโค้ง ds ด้วยการกระจัด dx ดังนั้น

$$dx = \rho d\theta = \frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{dx} \quad (2.25)$$

หรือ
$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (2.26)$$

จากคุณสมบัติความยืดหยุ่นของวัสดุ

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} \quad (2.27)$$

จะได้

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} = -\frac{y}{\rho} = -\frac{My}{EI} \quad (2.28)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (2.29)$$

ดังนั้น

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{d\theta}{dx} = \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} \quad (2.30)$$

หรือ

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M \quad (2.31)$$

สมการที่ 2.31 เรียกว่า สมการเชิงอนุพันธ์ของเส้นโค้งยืดหยุ่นของคานา ถ้าสมมติให้ EI มีค่าคงที่ แล้วอินทิเกรตสมการที่ (2.31) จะได้

$$EI \frac{dy}{dx} = \int M(x) dx + C_1 \quad (2.32)$$

ซึ่งเป็นสมการของความชัน (slope) หรือ $\frac{dy}{dx}$ ที่จุดต่าง ๆ ของเส้นโค้งยืดหยุ่น และ EI เรียกว่า สภาพแข็งเกร็งต่อการคด (flexural rigidity) ซึ่งมีค่าคงที่ตลอดความยาวของคานถ้าอินทิเกรตสมการที่ 2.32 จะได้

$$EIy = \iint (M(x)dx)dx + C_1x + C_2 \quad (2.33)$$

สมการที่ 2.33 เป็นสมการของระยะโค้งตัวของเส้นโค้งยืดหยุ่น สำหรับค่า C_1 และ C_2 เป็นค่าคงที่ ซึ่งสามารถหาได้จากเงื่อนไขของขอบเขตของการโค้งตัวตามจุดต่าง ๆ ของคาน

Singularity Function

2.5.2 Singularity Function

คือการเขียนการกระจายของโมเมนต์คดที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงของคานเป็นฟังก์ชันที่ต่อเนื่องไปตลอดทั้งคาน ไม่ว่าการกระจายนอกที่กระทำจะเป็นจุดหรือกระจาย Singularity Function ของ x จะเขียนในรูป $\langle x - x_0 \rangle^n$ (วงเล็บหัวแหลม) เมื่อ n เท่ากับจำนวนเต็มใด ๆ

เงื่อนไข

$$\begin{aligned} \langle x - x_0 \rangle^n &= (x - x_0)^n && \text{เมื่อ } n > 0 \text{ และ } x \geq x_0 \\ &= 0 && \text{เมื่อ } n > 0 \text{ และ } x < x_0 \\ \langle x - x_0 \rangle^n &= 1 && \text{เมื่อ } x \geq x_0 \\ &= 0 && \text{เมื่อ } x < x_0 \\ \int \langle x - x_0 \rangle^n dx &= \frac{1}{n+1} \langle x - x_0 \rangle^{n+1} + C && \text{เมื่อ } n \geq 0 \\ \frac{d\langle x - x_0 \rangle^n}{dx} &= n \langle x - x_0 \rangle^{n-1} && \text{เมื่อ } n \geq 1 \end{aligned}$$

ข้อสังเกต

นิพจน์ $\langle x - x_0 \rangle^n$ จะไม่มีค่าเมื่อค่าของ x ทำให้ในวงเล็บหัวแหลมมีค่าน้อยกว่าศูนย์ในการใช้วงเล็บหัวแหลมกับแรงกระจาย จะต้องเป็นแรงกระจายให้ตลอดถึงปลายคานด้านขวา ในกรณีที่มีแรงกระจายไม่ถึงปลายคานให้ขยายแรงกระจายไปจนสุดคานด้านขวามือพร้อมกับหักล้างออกโดยเดิมแรงกระจายขนาดเดียวกันแต่ทิศทางตรงกันข้าม

2.5.3 วิธีการซ้อนทับ (Superposition Method)

วิธีการซ้อนทับจะนิยมใช้วิเคราะห์กับปัญหาที่มีความซับซ้อน โดยการแยกปัญหาเดิมให้เป็นปัญหาย่อยที่มีภาระกระทำอย่างง่ายง่ายขึ้น

1. ผลของภาระต่างชนิดกันที่มีต่อคานจะต้องเป็นอิสระต่อกัน
2. ความลาดชันหรือระยะโก่งตัวของคานที่จุดใดจุดหนึ่งภายใต้ภาระเดิม จะมีค่าเท่ากับผลรวมของความลาดชันหรือระยะโก่งตัวของคานที่จุดนั้นภายใต้ภาระกระทำอย่างง่ายที่แยกย่อยออกมา

Load bending moment diagram	Bending moment (M)	Deflection (δ)
1 	$M_{max} = Wl$	$\delta_{max} = \frac{Wl^3}{3EI}$
2 	$M_{max} = \frac{wl^2}{2}$	$\delta_{max} = \frac{wl^4}{8EI}$
3 	$M_{max} = \frac{1}{4} Wl$	$\delta_{max} = \frac{Wl^3}{48EI}$
4 	$M_{max} = \frac{1}{8} Wl$	$\delta_{max} = \frac{Wl^3}{192EI}$
5 	$M_{max} = \frac{1}{8} wl^2$	$\delta_{max} = \frac{5wl^4}{384EI}$
6 	$M_{max} = \frac{1}{12} Wl^2$	$\delta_{max} = \frac{Wl^4}{384EI}$
7 	$M_{max} = \frac{1}{8} wl^2$	$\delta_{max} = \frac{wl^4}{184.6EI}$

รูปที่ 2.6 ความชันและระยะโก่งตัวของคาน

ข้อควรพิจารณา

ทุกครั้งที่มีการเพิ่มหรือลดภาระ จะมีผลต่อแรงปฏิกิริยาที่จตุรรองรับ ดังนั้น การนำปัญหาหนึ่งไปซ้อนทับกับอีกปัญหาหนึ่ง จะต้องเอาแรงปฏิกิริยาที่จตุรรองรับไปซ้อนทับด้วย

2.5.4 การออกแบบ (Design)

ในการออกแบบคานให้คำนึงถึง ความเค้นอัด (flexural stress) ความเค้นเฉือน (shearing stress) และ ระยะโก่งตัวของคาน (deflection)

ขั้นตอนแรกในการออกแบบคาน ให้พิจารณามุมพื้นฐานของความเค้นคด จากนั้นให้ตรวจสอบความเค้นเฉือนและระยะโก่งตัว ถ้าความเค้นเฉือนและระยะโก่งตัวอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ ก็ผ่านการออกแบบ แต่ถ้าความเค้นเฉือนและระยะโก่งตัวมากกว่าค่าที่ยอมรับได้ ให้ออกแบบใหม่อีกครั้งหนึ่งจนกระทั่งเป็นที่น่าพอใจ

2.6 การใช้โปรแกรมขึ้นรูปสามมิติ Solidworks

โปรแกรม Solidworks เป็นโปรแกรมเพื่อช่วยในการออกแบบและเขียนแบบโดยเน้นไปในส่วนของการเขียนแบบชิ้นส่วนเครื่องกล โปรแกรมนี้เป็น โปรแกรมที่ผู้ใช้สามารถเรียนรู้และใช้งานได้ง่าย สามารถสร้างชิ้นงานในรูปแบบสามมิติ พร้อมมีการกำหนดขนาดที่ถูกต้อง อีกทั้งยังสามารถแก้ไขขนาดตามที่ต้องการโดยไม่ต้องเขียนชิ้นงานขึ้นมาใหม่ นอกจากนี้แล้วยังสามารถนำชิ้นงานที่ออกแบบและเขียนขึ้นมาประกอบกันเป็นชิ้นงานประกอบแล้วนำไปเขียนแบบภาพฉายแลหรือแบบ Drawing และกำหนดรายละเอียดได้ด้วย ลักษณะของโปรแกรม Solidworks จะมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ไว้สำหรับออกแบบและเขียนแบบส่วนที่เหลือด้านบนเป็นเมนูบาร์สำหรับใช้คำสั่งต่างๆในงานออกแบบและเขียนแบบ สำหรับส่วนที่ทำให้โปรแกรม Solidworks แตกต่างไปจากโปรแกรมที่ใช้เพื่อช่วยในการออกแบบและเขียนแบบประเภทอื่นๆคือ โปรแกรม Solidworks จะมีหน้าต่างเล็กด้านซ้ายมือหรือแผงแสดงใบรายการซึ่งเป็นเสมือนแผงควบคุมการทำงานของชิ้นงานทุกส่วนในการออกแบบ ทำให้การใช้งาน โปรแกรม Solidworks มีความง่ายขึ้น

หลักการทำงานของโปรแกรม Solidworks จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักด้วยกัน ซึ่งในแต่ละส่วนการทำงานจะมีความสัมพันธ์กันในทางตรงและในส่วนการใช้งานต่างๆของโปรแกรมก็จะมีลักษณะของการทำงานที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการทำงานออกแบบและเขียนแบบได้เป็น Part, Assembly และ Drawing

หลักการง่ายๆของการเขียน Part ก็จะเป็นการออกแบบชิ้นงานหรือโมเดล ซึ่งอาจจะประกอบด้วยหน้าแปลนหลายแปลนและอาจจะมียขนาดแตกต่างกันออกไป จากนั้นจะนำชิ้นส่วนต่างๆที่ได้ออกแบบและ

เขียนแบบขึ้นมาประกอบกันในส่วนของการประกอบหรืองาน Assembly ซึ่งหากเป็นการออกแบบเครื่องจักรหรืองานที่มีความซับซ้อนมากๆจะเป็นเรื่องยุ่งยากและเกิดความผิดพลาดได้ง่าย ดังนั้นการทำงานโดยใช้โปรแกรม Solidworks เพื่อออกแบบชิ้นส่วนย่อยก่อนแล้วจึงนำมาประกอบเป็นชิ้นงานทั้งหมด จึงเป็นเรื่องที่กระทำได้ง่ายและสามารถตรวจสอบความผิดพลาดได้ดีกว่า

จากงานประกอบหรืองาน Assembly ซึ่งไม่ได้แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับชิ้นงานที่ออกแบบ ก็จะสามารถนำชิ้นงานที่ออกแบบและเขียนแบบนั้นไปสร้างในส่วนของการเขียนแบบ Drawing ซึ่งในส่วนของการเขียนแบบ Drawing นั้นก็จะสามารถแสดงรายละเอียดได้อย่างรวดเร็วเพราะโปรแกรมคำสั่งที่ช่วยในการสนับสนุนการออกแบบซึ่งสามารถเลือกใช้งานได้ง่ายและสะดวก นอกเหนือไปจากนั้นแล้วการแก้ไขชิ้นงานก็สามารถแก้ไขได้โดยเลือกแก้ไขเฉพาะในส่วนใดส่วนหนึ่งของการออกแบบซึ่งจะส่งผลให้ชิ้นงานใน Part, Assembly และงาน Drawing ทั้งหมดถูกเปลี่ยนแปลงไปพร้อมๆกัน

2.7 แรงต้านอากาศ

เนื่องจากกำลังจากเครื่องยนต์ที่ถูกส่งไปยังล้อจะใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่เพราะจะเกิดการสูญเสียในระบบถ่ายทอดกำลัง (Transmission loss) ในส่วนที่เหลือนั้นจะถูกนำไปใช้เพื่อการเอาชนะแรงฉุดการเคลื่อนที่ต่างๆ ได้แก่ แรงต้านอากาศ (Air resistance), แรงต้านการหมุนของล้อ (Rolling resistance) และแรงต้านทางชัน (Gradient resistance)

แรงต้านอากาศคือแรงฉุดที่เกิดขึ้นบนผิวของรถประหยัคพลังงานอันเนื่องมาจากแรงดันและแรงเสียดทานของอากาศที่ไหลผ่านรถ การออกแบบรูปทรงของรถประหยัคพลังงานจึงต้องคำนึงถึงหลักการทางอากาศพลศาสตร์ โดยจะสามารถทำให้รถประหยัคพลังงานมีรูปทรงที่เป็นไปตามหลักอากาศพลศาสตร์และสามารถลดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้อีกด้วย

ในขณะที่รถยนต์วิ่งอยู่บนถนน รถยนต์จะถูกกระทำด้วยแรงต้านอากาศและแรงยกของอากาศ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (C_d) และสัมประสิทธิ์แรงยก (C_l) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$C_d = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho U^2 A} \quad (2.34)$$

$$C_l = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho U^2 A} \quad (2.35)$$

โดยที่ C_d คือ สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ

C_l คือ สัมประสิทธิ์แรงยก

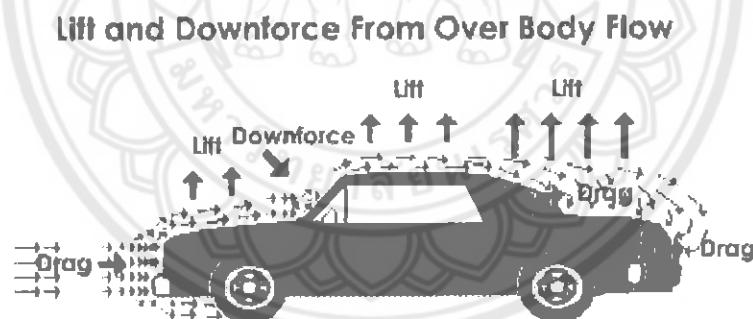
D คือ แรงต้านอากาศที่กระทำกับตัวรถ (N)

L คือ แรงยกที่กระทำกับตัวรถ (N)

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

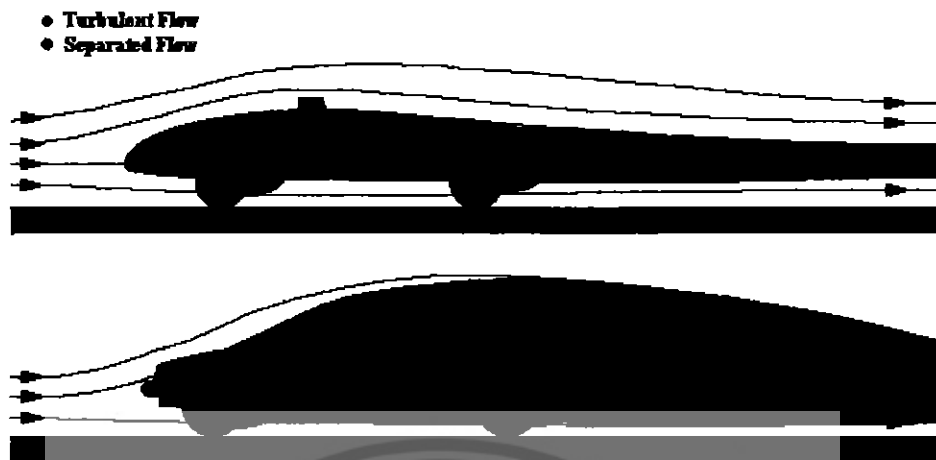
U คือ ความเร็วของอากาศ (m/s)

A คือ พื้นที่ (m^2)



รูปที่ 2.7 แสดงแรงต้าน, แรงกด และแรงยกอากาศ

รถประหยัพลังงานมักจะออกแบบให้มีลักษณะคล้ายหยดน้ำคือมีลักษณะยาวเรียวซึ่งเรียกรูปร่างแบบนี้ว่า Streamlined Body เพื่อที่จะลดผลกระทบด้านแรงกด เมื่ออากาศไหลผ่านวัตถุที่เป็นแบบ Streamlined Body เส้นกระแสการไหลของอากาศจะเกิดการไหลวนข้างหลังวัตถุน้อยมาก แรงกดที่เกิดขึ้นกับ Streamlined Body นั้นโดยส่วนใหญ่จะมาจาก แรงกดที่เรียกว่า Parasite Drag เช่นแรงกดอันเนื่องมาจากผิวของวัตถุเนื่องจากผิวไม่เรียบ แรงกดอีกประเภทหนึ่งที่เรียกว่า Induce Drag ซึ่งก็คือแรงกดที่มาจากแรงยก



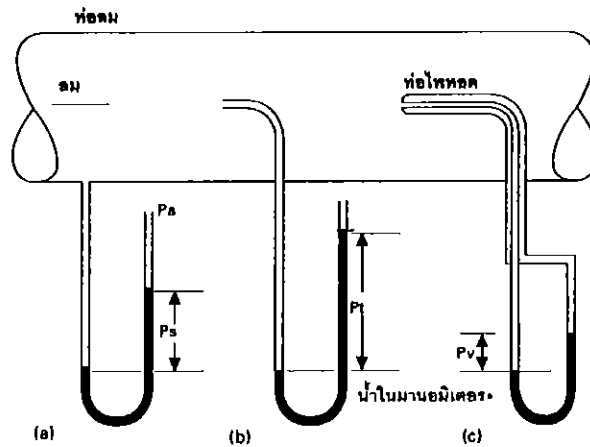
รูปที่ 2.8 แสดงแรงกดอากาศ

2.8 ความดันสถิตย ความดัน Stagnation และความดันพลศาสตร์

ความดันที่กระทำกับของไหลใด ๆ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยความดันสถิตและพลศาสตร์ (Static and dynamic pressure) ความดันสถิต คือความดันซึ่งกระทำต่อเทหะวัตถุ เนื่องมาจากแรงกิริยาของ โมเลกุล ของ ของไหล ความดันพลศาสตร์คือความดันซึ่งเกิดจากการเคลื่อนไหวยของ ของไหล และมีค่าเท่ากับ เศษ หนึ่งส่วนสองของ ความหนาแน่นคูณด้วยความเร็วกำลังสอง ($P_D = \frac{1}{2} \rho V^2$) จากสูตรจะเห็นได้ว่า ความดัน พลศาสตร์เป็นปฏิภาคตรงกับความเร็ว $P_D \propto V$ ความดันรวมคือผลรวมของความดันสถิตและความดัน พลวัต ถ้ากำหนดให้ P_T = ความดันรวม, P_S = ความดันสถิต และ P_D = ความดันพลวัต จะได้สูตร

$$P_T = P_S + P_D \quad \text{ถ้าของไหลอยู่นิ่ง} \quad P_T = P_S \quad (2.36)$$

หลักการของแบร์นูลลีได้กล่าวไว้ว่าเมื่ออากาศหรือของเหลวไหลผ่านท่อทางด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ ผลรวมของความดันสถิตและความดันพลวัตจะคงที่เพราะฉะนั้นเมื่อความดันรวมคงที่ถ้าความดันสถิต ลดลง ความดันพลวัตก็จะเพิ่มขึ้น จากสูตรความดันพลวัต $P_D = \frac{1}{2} \rho V^2$ จะเห็นว่าความดันพลศาสตร์เพิ่ม เพราะความเร็วของของไหลเพิ่มดังนั้นถ้าความเร็วเพิ่มความดันจะลดแต่ถ้าความเร็วลดความดันจะเพิ่ม



รูปที่ 2.9 การวัดความดันสถิต (P_s) ความดันพลังงานจลน์ (P_v) และความดันทั้งหมด (P_t)

ความดัน Stagnation เป็นความดันของการไหลเมื่อลดความเร็วลงจนเป็นศูนย์ โดยกระบวนการที่ไม่มีความเสียดทาน สามารถใช้สมการแบร์นูลลีเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วที่เปลี่ยนไปและความดัน เมื่อไม่คิดค่าความต่างระดับ สมการแบร์นูลลีจะกลายเป็น

$$\frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \text{ค่าคงที่} \quad (2.37)$$

ถ้าความดันสถิตเท่ากับความดัน ณ จุดที่อัตราการไหลเท่ากับ V ดังนั้นสามารถคำนวณหาความดัน Stagnation, P_0 ได้ ณ บริเวณที่อัตราเร็ว V_0 เท่ากับศูนย์

$$\frac{P_0}{\rho} + \frac{V_0^2}{2} = \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} \quad (2.38)$$

หรือ

$$P_0 = P + \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (2.39)$$

เทอม $\frac{1}{2} \rho V^2$ เรียกว่าความดันพลศาสตร์ซึ่งเท่ากับ

$$\frac{1}{2} \rho V^2 = P_0 - P \quad (2.40)$$

ทำให้สามารถแก้หาอัตราเร็วได้เท่ากับ

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2.41)$$

ซึ่งค่าความต่างระหว่างความดัน Stagnation และความดันสถิตยคือ ΔP

ในการทดลองนี้ค่า ΔP จะอยู่ในรูปของหน่วยมิลลิเมตรน้ำซึ่ง

$$1 \text{ mmH}_2\text{O} = 1 \text{ kg/m}^2 = 9.81 \text{ N/m}^2$$

$$\text{ดังนั้น } V = 4.429 \sqrt{\frac{h}{\rho}}$$

เมื่อ h = ความดันต่าง (mmH_2O)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

ดังนั้นถ้าสามารถวัดค่าของความดัน Stagnation และความดันสถิตยที่จุดหนึ่งๆได้สามารถหาอัตราเร็วการไหลที่จุดนั้นๆได้

2.9 อุโมงค์ลม

เป็นอุปกรณ์หลักในการศึกษาเรื่องอากาศพลศาสตร์ ความหมายของอุโมงค์ลมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สร้างรูปแบบของไหล เพื่อใช้ศึกษาพฤติกรรมของของไหลที่กระทำกับวัตถุที่อยู่ภายในอุโมงค์ลมนั้น ดังนั้นอุโมงค์ลมจึงมีได้หลายขนาด ขนาดเล็กอาจใช้ทดสอบวัตถุชิ้นเล็กๆ หรือแบบจำลองย่อขนาดของวัตถุที่สนใจ ไปจนถึงอุโมงค์ลมขนาดใหญ่ที่สามารถบรรจุเครื่องบินได้ทั้งลำเพื่อใช้ทดสอบลักษณะการไหลของลมผ่านปีกเครื่องบิน

อุโมงค์ลมมีหลายชนิดหลายประเภทแล้วแต่ว่าจะแบ่งประเภทอย่างไร เช่น แบ่งตามลักษณะวัฏจักรการไหลของลมก็จะแบ่งเป็น open circuit และ closed circuit แบ่งตามลักษณะส่วนของอุโมงค์ลมที่ใช้ทดสอบก็จะแบ่งเป็น open test section และ closed test section หรืออาจแบ่งตามจุดประสงค์การใช้งานก็จะมีหลายประเภทเช่น automobile wind tunnel, aeronautical wind tunnel, smoke tunnel เป็นต้น

จุดประสงค์การทำงานของอุโมงค์ลมโดยพื้นฐานก็คือสร้างลมที่ไม่ปั่นป่วน ความเร็วลมสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดอุโมงค์ลมและมีความราบเรียบ ดังนั้นส่วนประกอบโดยทั่วไปของอุโมงค์ลม จะแบ่งเป็นส่วนๆดังนี้

1. Diffuser หน้าที่ลดความเร็วลมโดยการขยายหน้าตัดเพราะความเร็วลมต่ำสามารถปรับปรุงคุณภาพได้ง่าย

2. Setting chamber เป็นส่วนหลักที่ใช้ปรับสภาพของลมให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์

3. Contraction ทำหน้าที่สลับกับ Diffuser คือ จะลดขนาดอุโมงค์เพื่อให้เข้าพอดีกับส่วนทดสอบ (Test section) ที่อยู่ถัดไป ลมที่ผ่านจะมีความเร็วลมมากขึ้น

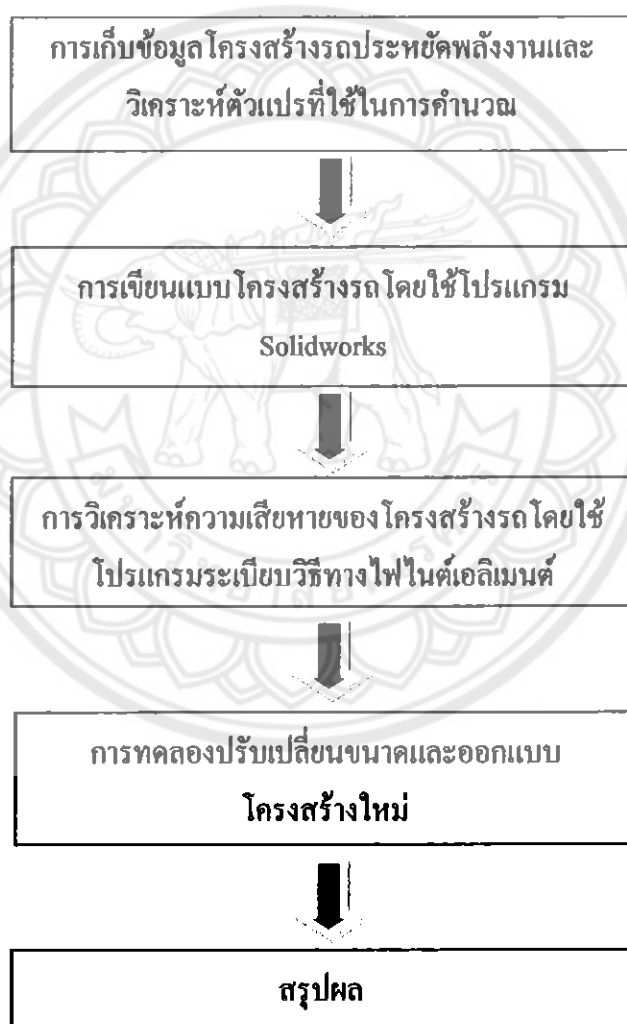
4. Test section เป็นส่วนที่ไว้วางวัตถุที่ต้องการทดสอบ



บทที่ 3

การวิเคราะห์โครงสร้างรถประหยัคพลังงาน

ขั้นตอนของการดำเนินงานในการวิเคราะห์โครงสร้างรถประหยัคพลังงานและการออกแบบโครงสร้างใหม่โดยใช้โปรแกรม Solidworks ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานในส่วนของการโครงสร้างรถประหยัคพลังงาน

จากขั้นตอนการดำเนินงานในรูปที่ 3.1 สามารถแสดงรายละเอียดของการดำเนินงานได้ดังต่อไปนี้

3.1 การเก็บข้อมูลโครงสร้างรถประหยัคพลังงานและวิเคราะห์ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณ

การเก็บข้อมูลโครงสร้างรถประหยัคพลังงานจากโครงสร้างรถประหยัคพลังงานของชมรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวรและหาตัวแปรที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้าง ได้แก่ ความยาว ขนาดหน้าตัด น้ำหนัก ชนิดของเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้าง รวมไปถึงภาระที่มากระทำกับโครงสร้าง ซึ่งมีขั้นตอนในการเก็บข้อมูลดังนี้

3.1.1 การหาความกว้าง ความยาวและความหนาเหล็กของโครงสร้าง

การหาความยาวทำได้โดยการวัดขนาดแต่ละชิ้นส่วนของโครงสร้างด้วยคัลลิเบร เพื่อที่จะนำผลที่ได้ไปสร้างโครงสร้างของรถประหยัคพลังงานและหาความหนาของเหล็กจากการใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ ช่วยในการวัด นำผลที่ได้เหล่านี้ไปเป็นข้อมูลในการสร้างโมเดลและกำหนดพื้นที่หน้าตัดในกับโครงสร้างในโปรแกรม Solidworks ซึ่งผลจากการเก็บข้อมูลโดยการวัดหาขนาดและการตรวจสอบโครงสร้างพบว่าเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้างรถประหยัคพลังงาน เป็นเหล็กท่อกว้าง 2 ขนาด มีชิ้นส่วนโครงสร้างทั้งหมด 33 ชิ้น ซึ่งมีการจัดกลุ่ม โดยทำการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามขนาดเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้าง โดยสามารถแสดงรายละเอียดจากการเก็บข้อมูลได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกข้อมูล โครงสร้างรถประหยัคพลังงาน

ข้อมูล โครงสร้างรถประหยัคพลังงาน					
กลุ่ม	ชนิดเหล็ก	ขนาดเหล็ก		พื้นที่หน้าตัด (m^2)	จำนวนชิ้น
		ขนาด(cm)	หนา(mm)		
1	เหล็กกล่อง	2x2	1.2	0.91×10^{-4}	22
2	เหล็กกล่อง	2x2	1.5	1.11×10^{-4}	11
รวม					33

3.1.2 การทดสอบสมบัติของเหล็ก

จากการตรวจสอบโครงสร้างรถประหยัคพลังงานได้ใช้เหล็กกล่องในการทำโครงสร้างจึงทำการหาข้อมูลเหล็กแต่ละขนาดและราคาตามท้องตลาด เพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบน้ำหนักและราคาหลังจากทำการปรับเปลี่ยนขนาดเหล็กหรือออกแบบโครงสร้างใหม่จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ โดยโครงงานเรื่องการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างรถ TSAE Student Formula โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วย ปีการศึกษา 2551 ที่ทำการทดสอบการรับแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine

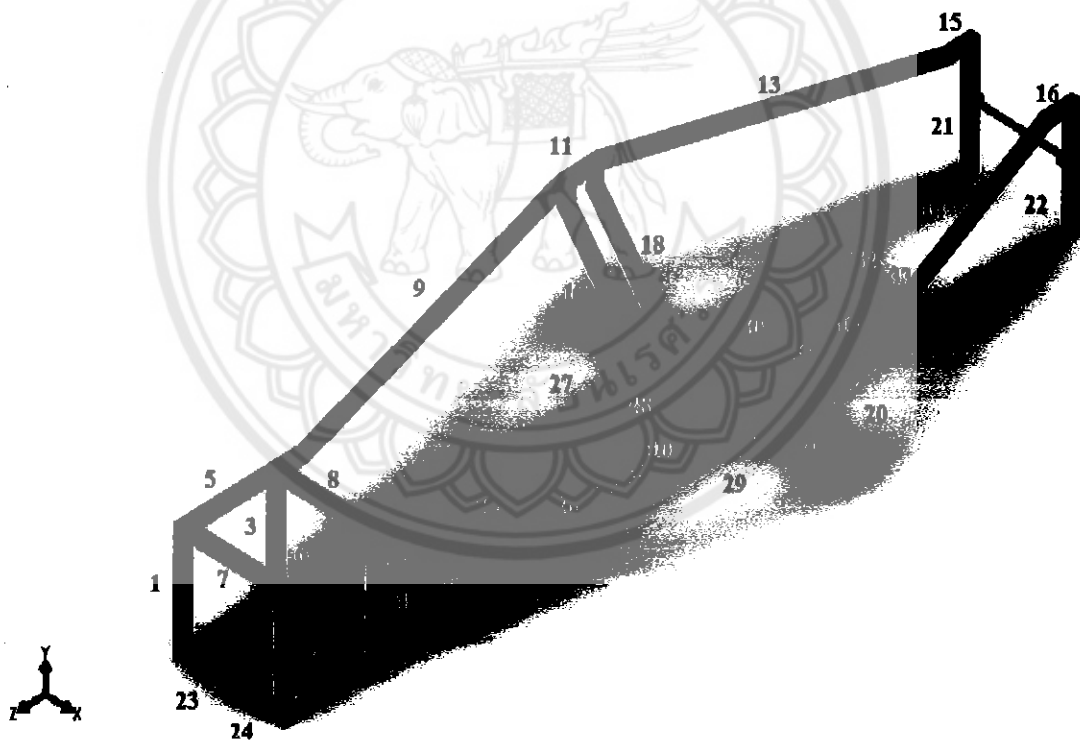
ซึ่งได้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, E) เท่ากับ $1.82 \times 10^{11} \text{ Pa}$ ค่าที่ได้จากการทดสอบ เหล็กมีค่าใกล้เคียงกับเหล็ก AISI 1020 Steel, Cold Rolled จึงเลือกใช้เหล็กชนิดนี้เป็นวัสดุในการวิเคราะห์

3.1.3 ผลจากการคำนวณหาพิกัดและแรงเนื่องจากภาระน้ำหนักบนโครงสร้าง

การหาค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่นำไปใช้สร้างโมเดลและการวิเคราะห์ผล จากการศึกษาและทดลองใช้ โปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างโมเดลและการวิเคราะห์ด้วย โปรแกรมได้ดังนี้

3.1.3.1 ผลการหาพิกัดตามแนวแกน x, y, z

พิกัดตามแนวแกน x, y, z ซึ่งหาได้จากการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีตรีโกณมิติ เพื่อนำพิกัดที่ได้ เป็นข้อมูลในการสร้าง โมเดลใน โปรแกรม Solidworks ซึ่งมีชิ้นส่วนทั้งหมด 33 ชิ้น ดังรูปที่ 3.3



ร.ล.
E489n
21/2
C.2

รูปที่ 3.2 การสร้างโมเดลโครงสร้างรถประหยัคพลังงาน

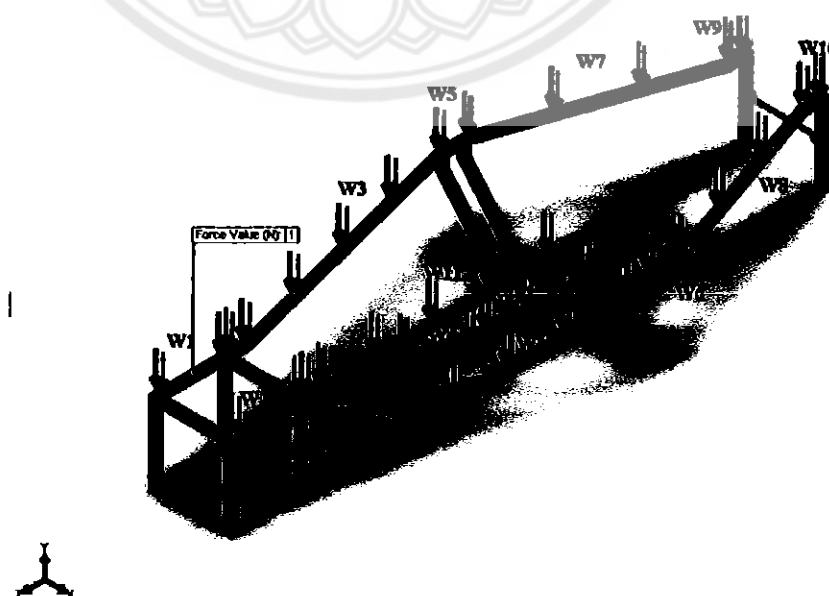
3.1.3.2 การคำนวณหาแรงเนื่องจากภาระน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง

จากการพิจารณาภาระที่กระทำต่อโครงสร้างรถประหยัคพลังงานพบว่า มีภาระที่กระทำอยู่สองแบบ คือ ภาระแบบกระจาย และการทำแบบตรงจุดเชื่อมต่อ ซึ่งเป็นภาระอันเนื่องมาจากน้ำหนักคนขับ เครื่องยนต์ และน้ำหนักจากตัวถัง ข้อมูลทั้งหมดได้มาจากการเก็บข้อมูลพื้นฐาน การประมาณค่า และการสมมุติฐาน จะได้ขนาดของภาระแต่ละชนิดที่กระทำกับโครงสร้างดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งสามารถคำนวณหาแรง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณีหลัก ๆ ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 ขนาดของภาระที่กระทำกับ โครงสร้าง

ภาระน้ำหนัก	รูปแบบของ ภาระ	มวล (kg)	แรงโน้มถ่วง (m/s^2)	แรงเนื่องจากภาระ กระทำ(N)
คนขับ	ภาระกระจาย	55	9.81	539.55
เครื่องยนต์	ภาระแบบจุด	15	9.81	147.15
ตัวถัง	ภาระกระจาย	5	9.81	49.05

ภาระบนโครงสร้างที่กระทำอยู่ในรูปแบบของแรงกระจายดังรูปที่ 3.3 ในการคำนวณหาแรงเนื่องจากภาระที่กระทำต่อชิ้นส่วน โครงสร้างโดยจะกำหนดให้แรงเป็นแรงกระจายแบบสม่ำเสมอและทำการคำนวณ จากผลการคำนวณก็จะกำหนดค่าภาระให้กับ โครงสร้างในส่วนการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Solidworks โหมด Simulation ซึ่งสามารถแสดงวิธีการคำนวณหาแรงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ภาระกระจายที่กระทำต่อชิ้นส่วน โครงสร้าง

สมการคำนวณหาแรงกระจาย กรณีที่แรงกระจายเป็นแบบสม่ำเสมอ

$$F_R = (x)(w) \quad (3.1)$$

เมื่อ F_R คือ แรงลัพธ์ (N)

x คือ ความยาว (m)

w คือ ขนาดของแรงกระจาย (N/m)

ภาระที่กระทำแบบจุดที่กระทำต่อโครงสร้างเนื่องจากน้ำหนักของเครื่องขนัต้ แต่ละจุดมีค่าเท่ากันทั้ง 4 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และสามารถคำนวณหาแรงได้จากสูตร

$$F_R = (m)(g) \quad (3.2)$$

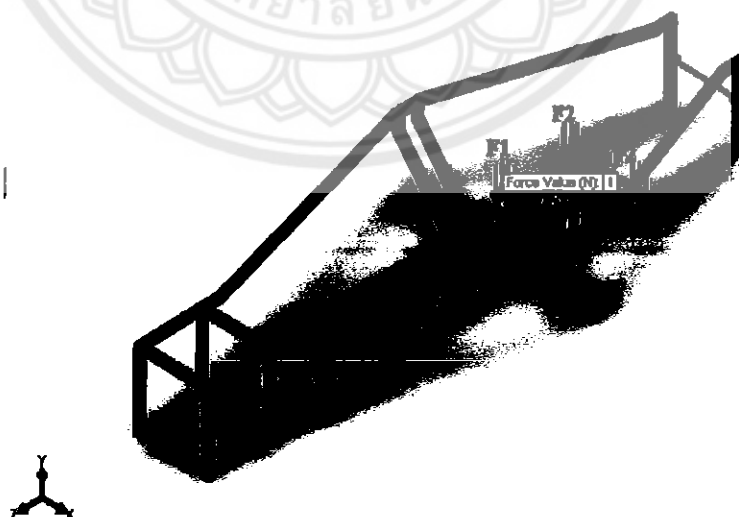
$$F_i = F_R / 4$$

เมื่อ F_R คือ แรงลัพธ์ (N)

F_i คือ แรงกระทำในแต่ละจุด (N)

m คือ มวลของตัวถัง (kg)

g คือ แรงโน้มถ่วง (m/s^2)



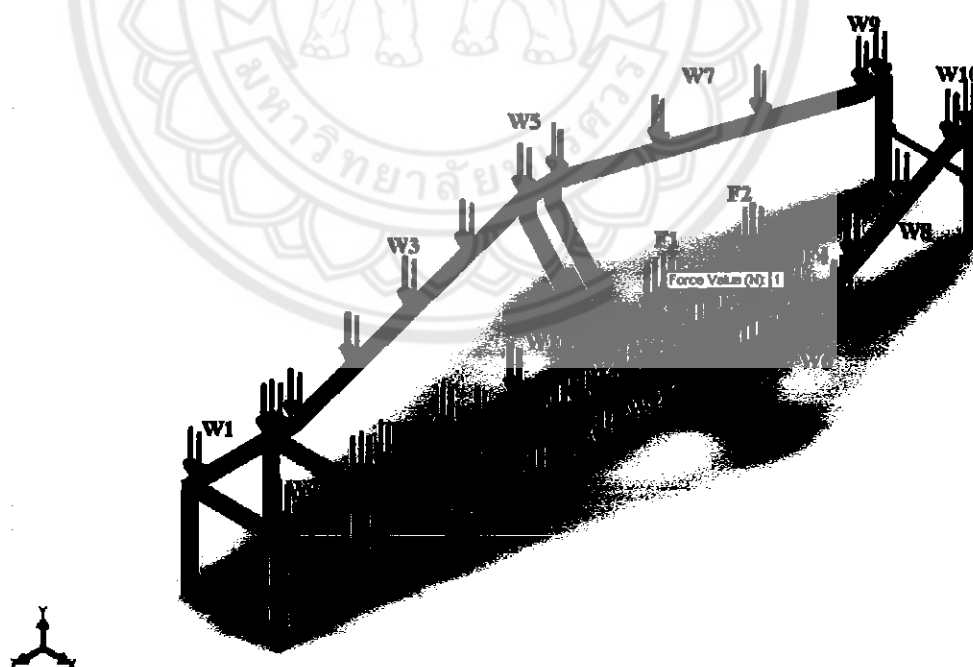
รูปที่ 3.4 ภาระกระทำแบบจุดเนื่องจากน้ำหนักของเครื่องขนัต้

ในการคำนวณหาแรงเนื่องจากภาระน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง ผลที่ได้จะนำไปกำหนดภาระ (Load) ในส่วนของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Solidworks โหมด Simulation ซึ่งสามารถสรุปแรงเนื่องจากภาระที่กระทำต่อโครงสร้างโดยกำหนดให้ขนาดของแรงมีค่าความปลอดภัยเป็น 2 เท่า ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ขนาดของแรงที่กระทำบนจุดต่างๆของโครงสร้าง

ภาระน้ำหนัก	รูปแบบของภาระ	แรง	ขนาดแรง(N)	กระทำต่อชิ้นส่วน
คนขับ	ภาระกระจาย	W_{11}, W_{12}, W_{13}	1079.1	27,28,29
เครื่องยนต์	ภาระแบบจุด	F_1, F_2, F_3, F_4	73.57	27,29
ตัวถัง	ภาระกระจาย	$W_1, W_2, \dots, W_{10}$	98.1	5,6,9,10,11,12,13,14,15,16

จากตารางที่ 3.3 สามารถแสดงตำแหน่งที่ภาระทั้งหมดที่กระทำต่อโครงสร้างดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ภาระทั้งหมดที่กระทำต่อโครงสร้างรถประหยัดพลังงาน

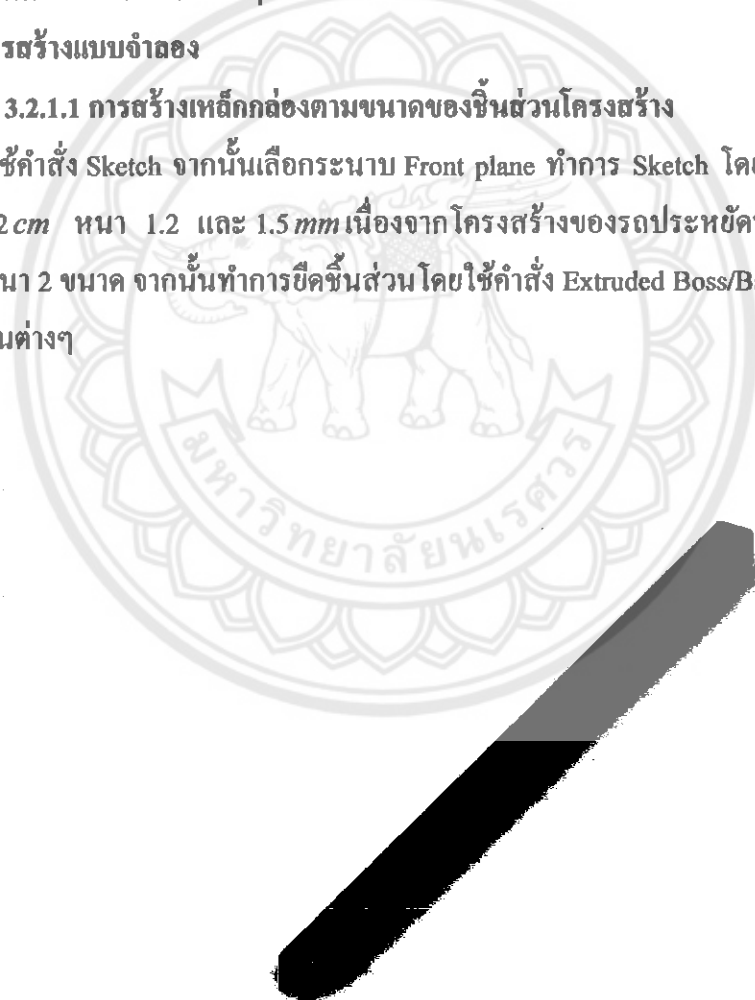
3.2 การใช้โปรแกรม Solidworks

โปรแกรม Solidworks เป็นโปรแกรมเขียนแบบขึ้นรูปสามมิติ ซึ่งโปรแกรมนี้มีฟังก์ชันที่ใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ ในการวิเคราะห์โครงสร้างนั้นได้ใช้ Solidworks โหมด Simulation สามารถวิเคราะห์ปัญหาทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ได้ทุกประเภทที่อยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์อนุพันธ์ย่อย จึงได้นำเอาโปรแกรมนี้มาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อหาความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างของรถประหยัคพลังงาน ซึ่งในการวิเคราะห์จะเป็นการวิเคราะห์แบบ Static Analysis โดยนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาใช้เป็นพื้นฐานในการปรับเปลี่ยนขนาดเหล็กและออกแบบโครงสร้างขึ้นมาใหม่ ซึ่งมีขั้นตอนหลักๆในการใช้โปรแกรมดังนี้

3.2.1 การสร้างแบบจำลอง

3.2.1.1 การสร้างเหล็กกล่องตามขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้าง

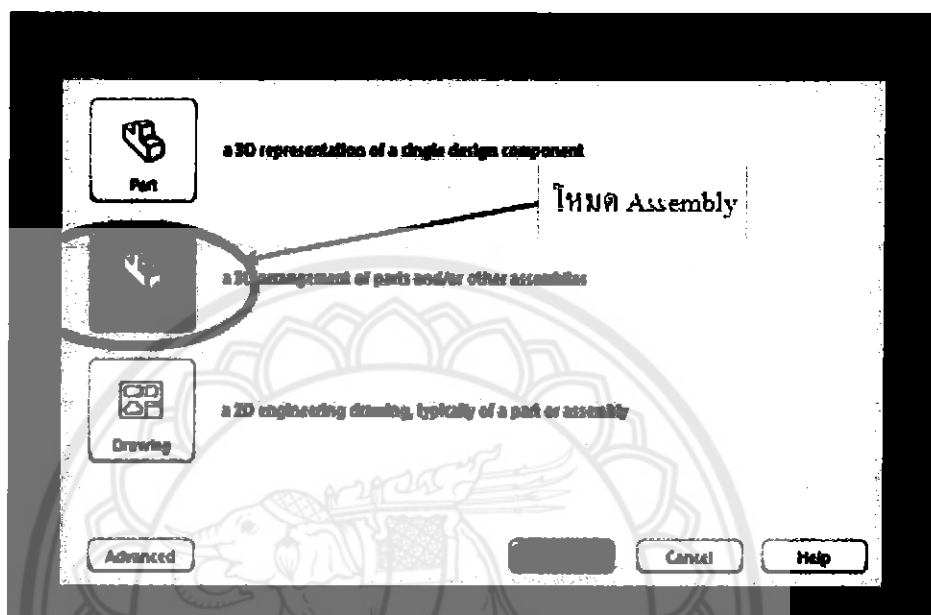
ใช้คำสั่ง Sketch จากนั้นเลือกกระดาน Front plane ทำการ Sketch โดยใช้คำสั่ง Line สร้างสี่เหลี่ยมขนาด $2 \times 2 \text{ cm}$ หน้า 1.2 และ 1.5 mm เนื่องจากโครงสร้างของรถประหยัคพลังงานมีการใช้เหล็กกล่องที่มีความหนา 2 ขนาด จากนั้นทำการยึดชิ้นส่วนโดยใช้คำสั่ง Extruded Boss/Base ยึดเหล็กกล่องออกตามขนาดชิ้นส่วนต่างๆ



รูปที่ 3.6 การสร้างเหล็กกล่อง

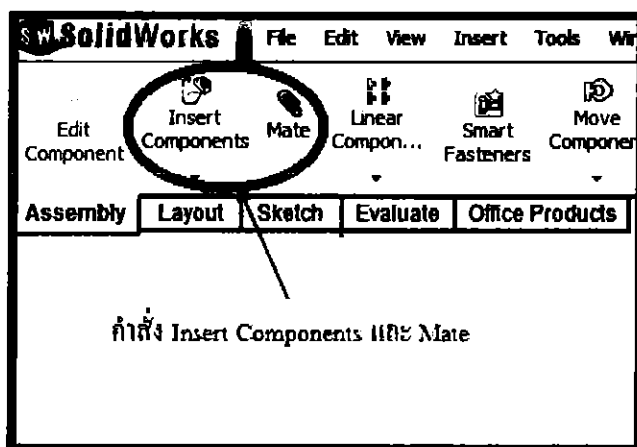
3.2.1.2 การนำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นมาประกอบกัน

ขั้นตอนนี้จะใช้โหมด Assembly



รูปที่ 3.7 เลือกโหมด Assembly

โดยเริ่มจากการนำเหล็กกล่องขนาดต่างๆมาเชื่อมต่อกันตาม โมเดลแบบเส้นที่สร้างไว้ ใช้คำสั่ง Insert component นำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นออกมาจากนั้นใช้คำสั่ง Mate ในการเชื่อมต่อกันของชิ้นส่วนจนได้ โครงสร้างรถประหยัคพลังงานที่สมบูรณ์



รูปที่ 3.8 คำสั่ง Insert Components และ Mate



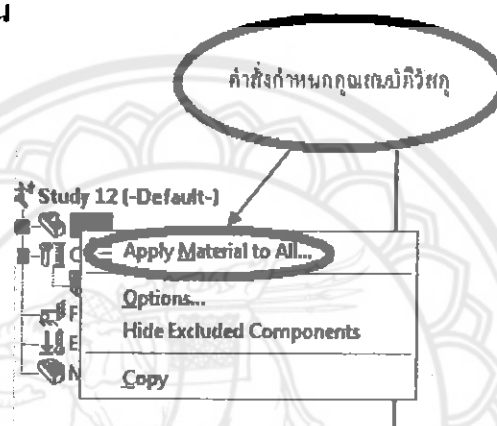
รูปที่ 3.10 โครงสร้างรถประหยัคพลังงานที่เสร็จสมบูรณ์

3.2.2 การวิเคราะห์โครงสร้าง

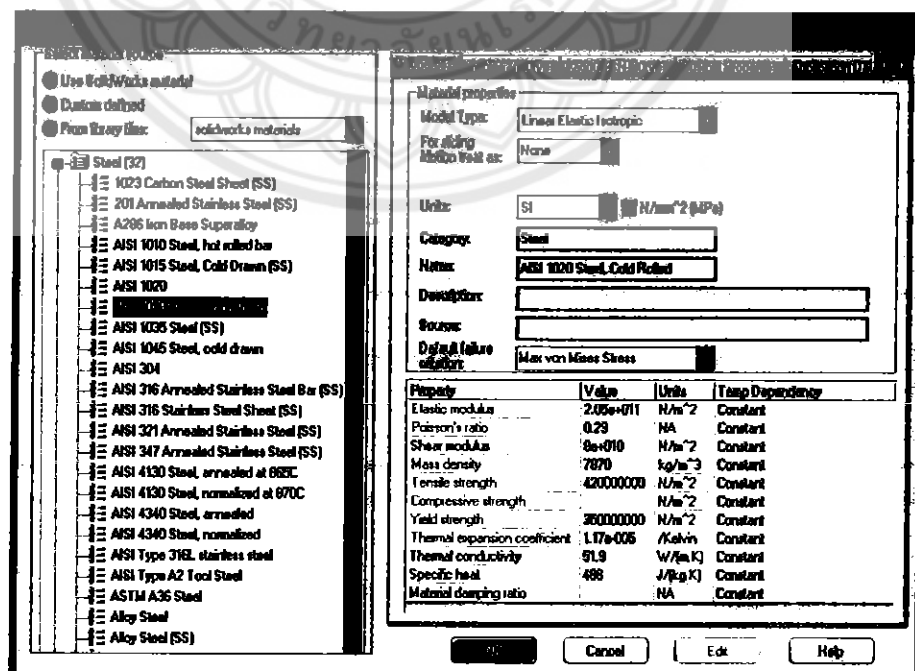
ขั้นตอนนี้จะเป็นการนำโครงสร้างสามมิติของรถประหยัคพลังงานมาทำการวิเคราะห์ โดยขั้นแรกจะต้องคลิกไปที่ Office product จากนั้นทำการเลือก Solidworks โหมด Simulation จากนั้นคลิกที่ Study เลือก New Study จากนั้นเลือกการวิเคราะห์แบบ Static Analysis แล้วทำตามขั้นตอนดังนี้

3.2.2.1 การกำหนดสมบัติของวัสดุ (Material)

คลิกขวาตรง Part จากนั้นเข้าไปที่ Apply to all material ทำการเลือกชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างของรถประหยัคพลังงาน



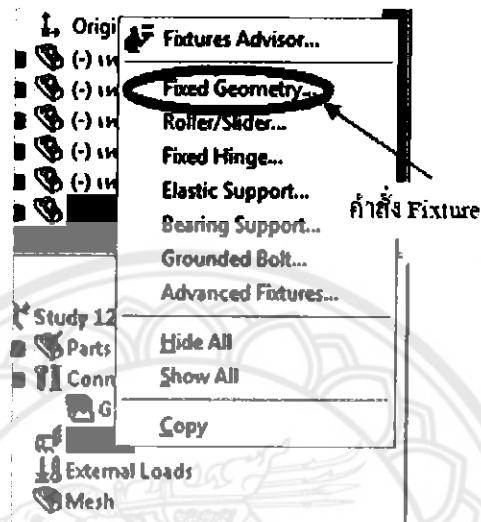
รูปที่ 3.11 คำสั่งกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ



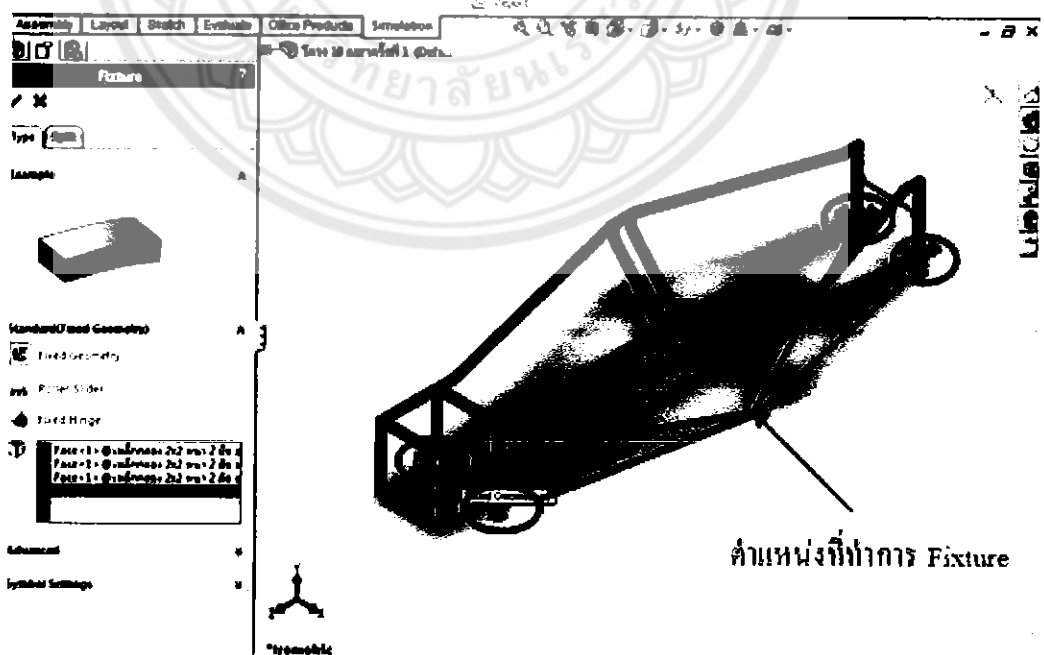
รูปที่ 3.12 ค่าคุณสมบัติต่างๆของวัสดุ

3.2.2.2 กำหนดแรงต้านจากเพลาล้อ

คลิกขวาตรงคำสั่ง Fixture/Fixture Geometry แล้วไปคลิกที่พื้นผิวบริเวณที่เป็นแรงต้านจากเพลาล้อทั้ง 4 จุด



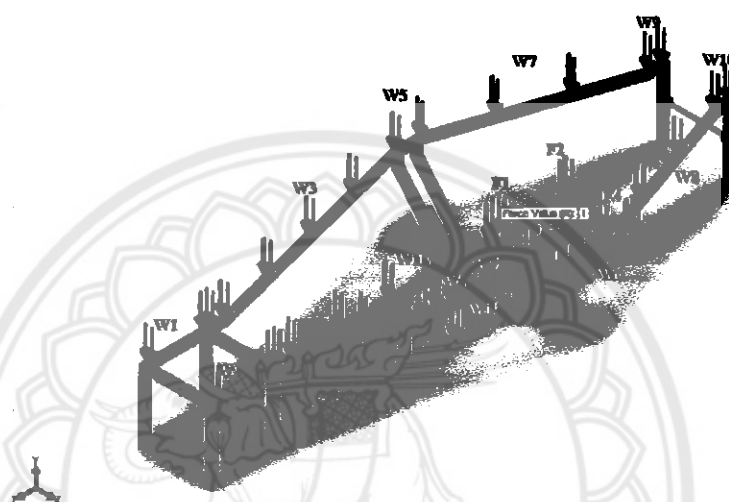
รูปที่ 3.13 คำสั่ง Fixture



รูปที่ 3.14 การเลือกตำแหน่งที่มีแรงต้านของเพลาล้อทั้ง 4 จุด

3.2.2.3 การกำหนดแรงเนื่องจากภาระน้ำหนักที่กระทำบนโครงสร้าง

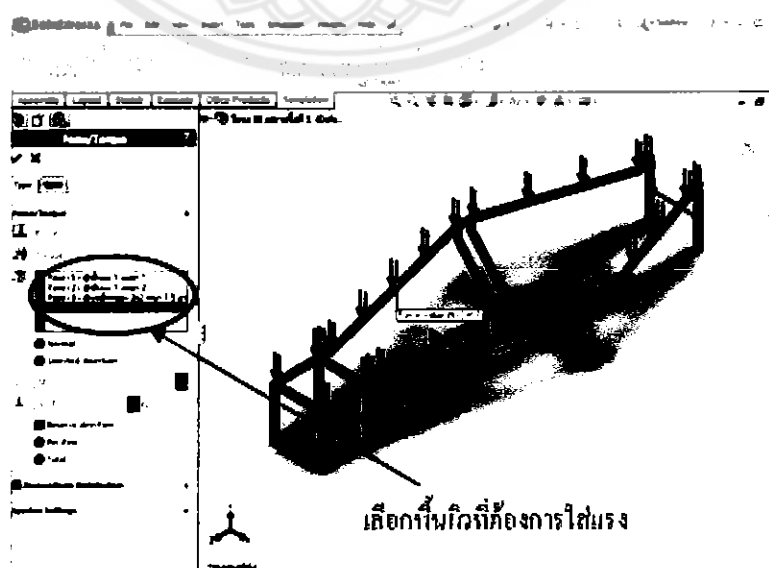
ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดภาระ (Load) โดยแรงที่กระทำต่อโครงสร้างมี 2 ลักษณะคือ แรงที่กระทำแบบภาระกระจายและแรงที่กระทำเป็นจุด โดยได้สรุปแรงเนื่องจากภาระที่กระทำต่อโครงสร้างดังตารางที่ 3.3 และขนาดของแรงที่ใช้มีค่าความปลอดภัยเป็น 2 เท่าของแรงเนื่องจากภาระที่กระทำต่อโครงสร้างและสามารถแสดงตำแหน่งของแรงดังรูป



รูปที่ 3.15 แรงเนื่องจากภาระน้ำหนักทั้งหมดที่กระทำแต่ละตำแหน่ง

การกำหนดแรงที่กระทำบนโครงสร้างแต่ละตำแหน่ง มีวิธีการเรียกใช้คำสั่งดังนี้

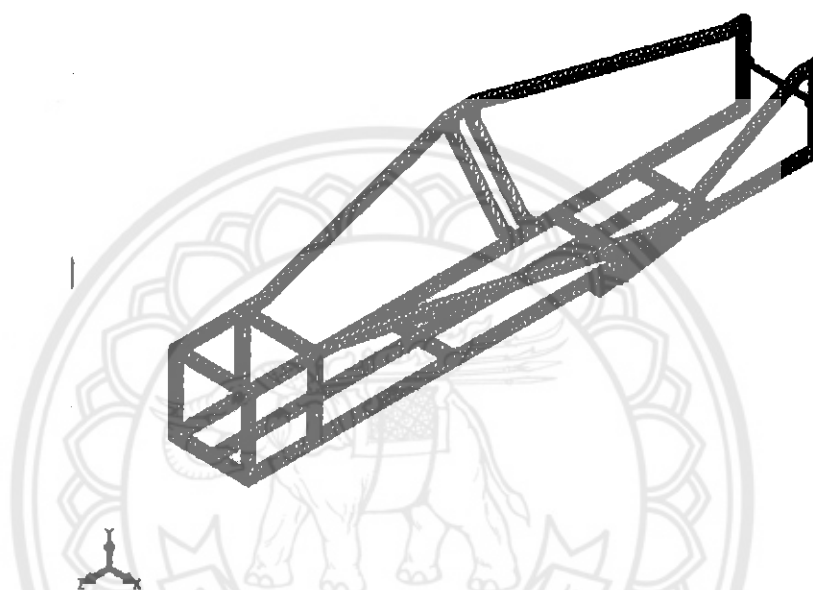
ใช้คำสั่ง External Load/Force ซึ่งทำการกำหนดดังรูปที่ 3.16 โดยใช้แรงที่กำหนดตามตารางที่ 3.3



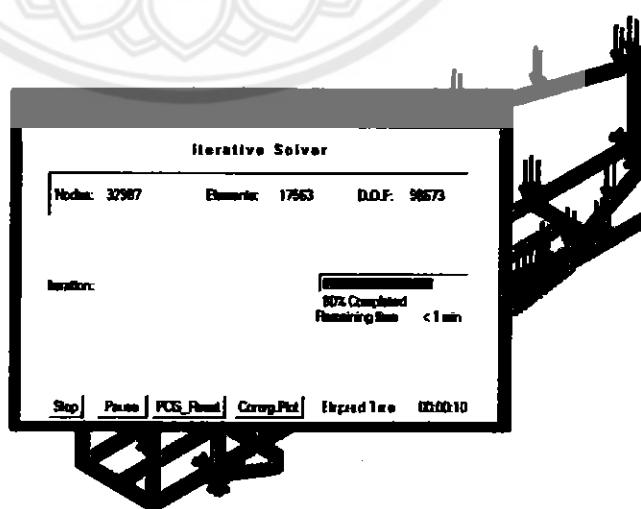
รูปที่ 3.16 การกำหนดแรงที่กระทำต่อ โครงสร้าง

3.2.2.4 การเรียกใช้คำสั่ง Mesh and Run

เมื่อทำการใส่แรงที่มากกระทำต่อ โครงสร้างจนเสร็จสมบูรณ์แล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือการ Mesh and Run ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ ขั้นแรกก็คือคลิกขวาตรงคำสั่ง Mesh จากนั้นก็เลือก Mesh and Run



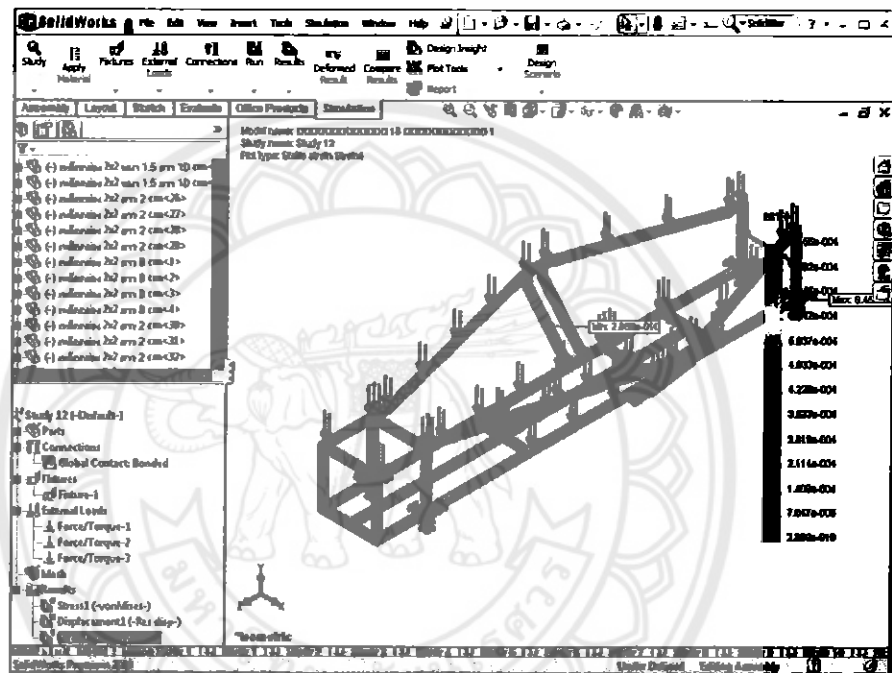
รูปที่ 3.17 โครงสร้างที่ทำการ Mesh แล้ว



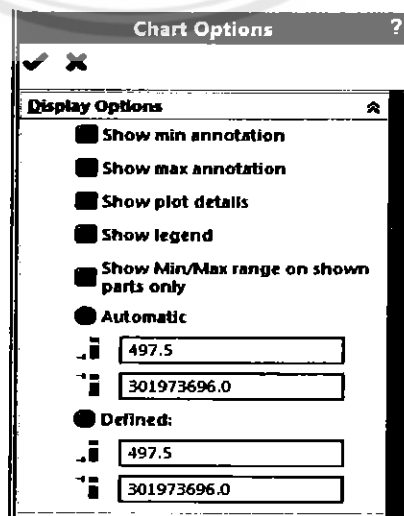
รูปที่ 3.18 ขั้นตอนระหว่างการ Mesh and Run

3.2.3 การแสดงผล

ขั้นตอนนี้จะเป็นการแสดงผลของการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถเลือกให้แสดงผลของค่าต่างๆ ได้หลายรูปแบบ แต่ในการวิเคราะห์โครงสร้างของรถประหยัคพลังงานเป็นการวิเคราะห์การรับน้ำหนักของโครงสร้าง โดยทำการวิเคราะห์หาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง ซึ่งนำค่าความเค้นสูงสุด ความเค้นต่ำสุดและตำแหน่งที่เกิดความเค้นสูงสุดมาพิจารณา



รูปที่ 3.19 การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์



รูปที่ 3.20 การเลือกรูปแบบที่ใช้ในการแสดงผล

จากรูปที่ 3.20 เป็นการตั้งค่าเพื่อให้โปรแกรมแสดงค่า Max/Min โดยคลิกขวาที่ Result เลือกค่าที่ต้องการแสดงผล จากนั้นใช้คำสั่ง Chart Option แล้วทำการทำเครื่องหมายถูกต้องที่ต้องการแสดงค่า

3.3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงและการเสียรูปของโครงสร้างรถประหยัคพลังงาน

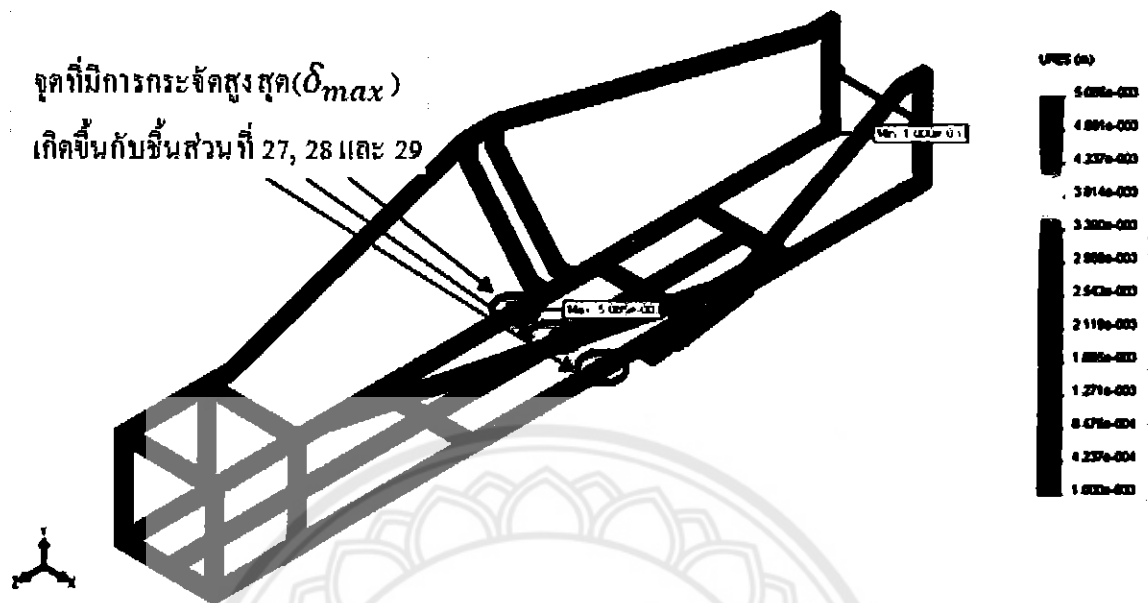
3.3.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างรถประหยัคพลังงานด้วยโปรแกรม Solidworks โหมด Simulation

จากการนำเอาโปรแกรม Solidworks โหมด Simulation มาทำการวิเคราะห์โครงสร้างของรถประหยัคพลังงาน ทำให้ได้ผลของการวิเคราะห์ดังนี้



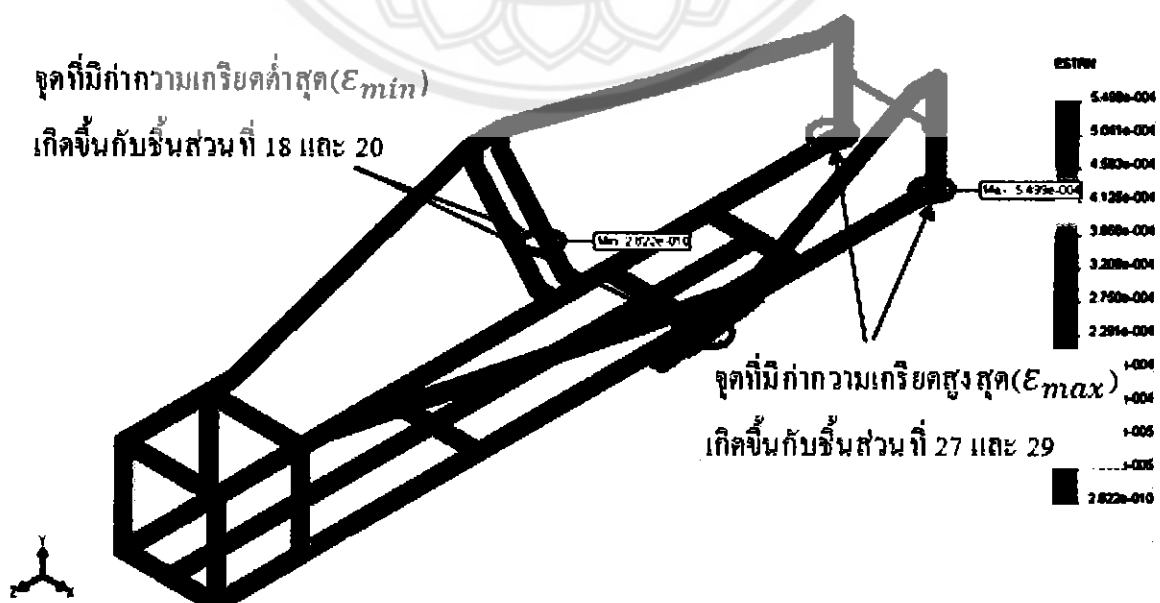
รูปที่ 3.21 ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้น (Von Mises Stress) ของโครงสร้างแบบที่ 1

จากรูปที่ 3.21 เป็นผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นภายในโครงสร้าง (Von Mises Stress) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการรับภาระน้ำหนักของโครงสร้าง โดยตำแหน่งที่มีความเค้นสูงสุด (σ_{max}) มีค่าเท่ากับ $1.389 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 27 และ 29 บริเวณปลายของชิ้นส่วนซึ่งอยู่ด้านท้ายของโครงสร้าง ส่วนค่าความเค้นต่ำสุด (σ_{min}) มีค่าเท่ากับ 80.7 N/m^2 เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 18 และ 20 บริเวณด้านล่างของชิ้นส่วนซึ่งอยู่บริเวณตรงกลางของโครงสร้าง



รูปที่ 3.22 ผลการวิเคราะห์การกระจัด (Displacement) ของโครงสร้างแบบที่ 1

จากรูปที่ 3.22 เป็นผลการวิเคราะห์ในส่วนของการกระจัดสูงสุด (Maximum Displacement) ซึ่งแสดงถึงระยะการโก่งตัวสูงสุดของชิ้นส่วนมีค่าเท่ากับ $5.085 \times 10^{-3} \text{ m}$ โดยตำแหน่งที่มีการโก่งตัวสูงสุดเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 27, 28 และ 29 บริเวณตรงกลางของชิ้นส่วน มีการกระจัดลงไปในทิศทางแกน Y ซึ่งเป็นเพราะบริเวณนี้รับภาระอันเนื่องมาจากน้ำหนักของคนขับซึ่งเป็นภาระน้ำหนักที่มีค่ามากที่สุดต่อโครงสร้าง จึงทำให้เกิดการโก่งตัวขึ้นแต่ระยะการโก่งตัวนี้ยังอยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้คือมีค่าไม่เกิน 0.01 m



รูปที่ 3.23 ผลการวิเคราะห์ความเครียด (Strain) ภายในโครงสร้างแบบที่ 1

จากรูปที่ 3.23 เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ในส่วนของความเครียดภายในโครงสร้าง โดยแสดงค่าความเครียดสูงสุด ($\epsilon_{\max}$) และความเครียดต่ำสุด ($\epsilon_{\min}$) โดยค่าความเครียดสูงสุด ($\epsilon_{\max}$) มีค่าเท่ากับ 5.499×10^{-4} เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 27 และ 29 บริเวณตรงปลายของชิ้นส่วนซึ่งอยู่ด้านท้ายของโครงสร้าง ส่วนค่าความเครียดต่ำสุด ($\epsilon_{\min}$) มีค่าเท่ากับ 2.822×10^{-10} เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 18 และ 20 ซึ่งอยู่บริเวณตรงกลางของโครงสร้าง



รูปที่ 3.24 ผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ภายในโครงสร้างแบบที่ 1

จากรูปที่ 3.24 เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ค่าความปลอดภัยต่ำสุด (Minimum Factor of Safety) มีค่าเท่ากับ 1.87 โดยเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 27 และ 29 บริเวณปลายของชิ้นส่วนซึ่งอยู่บริเวณด้านท้ายของโครงสร้าง

3.4 การทดลองปรับเปลี่ยนโครงสร้างของรถประหยัคพลังงาน

จากการวิเคราะห์โครงสร้างของรถประหยัคพลังงานพบว่า โครงสร้างมีการโก่งตัวเล็กน้อย จึงได้มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างในบางชิ้นส่วนเพื่อที่ความต้องการจะให้โครงสร้างมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยตั้งวัตถุประสงค์ของการปรับเปลี่ยนโครงสร้างคือต้องการให้โครงสร้างมีความแข็งแรง สามารถรองรับภาระน้ำหนักที่มากระทำกับโครงสร้างได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ระยะการโก่งตัวอยู่ในขอบเขตที่สามารถ

ยอมรับได้คือไม่เกิน 0.01 m มีน้ำหนักเบาและประหยัดค่าใช้จ่าย โดยการทดลองปรับเปลี่ยนโครงสร้างได้ทำการปรับเปลี่ยนอยู่ 3 ครั้งคือ โครงสร้างรถประหยัดพลังงานแบบที่ 2 แบบที่ 3 และแบบที่ 4 จากโครงสร้างรถประหยัดพลังงานแบบที่ 1 ซึ่งผลการปรับเปลี่ยนโครงสร้างมีดังนี้

ในส่วนของการปรับเปลี่ยนขนาดเหล็กและโครงสร้าง ตามจุดประสงค์ โดยทำการวิเคราะห์โครงสร้างรถประหยัดพลังงานเพื่อนำผลสรุปมาใช้เป็นต้นแบบในการเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่ได้จากการปรับเปลี่ยนขนาดของเหล็กซึ่งมีการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดตามเบอร์ของเหล็กกล่องที่มีขายตามท้องตลาด และทำการวิเคราะห์โครงสร้างที่ได้ปรับเปลี่ยนขนาด เพื่อต้องการหาค่าความแข็งแรง ความปลอดภัย น้ำหนักและค่าใช้จ่ายในการทำโครงสร้างแต่ละแบบ เพื่อให้ได้โครงสร้างรถใหม่ของรถประหยัดพลังงาน ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด สามารถนำไปใช้ได้จริง ประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำโครงสร้าง และให้ได้โครงสร้างที่มีน้ำหนักเบา ในการปรับเปลี่ยนขนาด และการคำนวณน้ำหนัก ราคา โดยใช้ข้อมูลของเหล็กกล่องจากร้านขายเหล็กทั่วไปตามท้องตลาด ซึ่งได้ข้อมูลดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลเหล็กกล่องแต่ละขนาด (ความยาวเส้นละ 6 เมตร)

ขนาดเหล็ก(cm)	หนา(mm)	หน้าตัด(m^2)	น้ำหนัก(kg /เส้น)	ราคา(บาท/เส้น)
2x2	1.2	1.71×10^{-4}	3.8	107
2x2	1.5	1.91×10^{-4}	4.3	132

จากตารางจะได้

เหล็กกล่องขนาด 2x2 cm หนา 1.2 mm มีน้ำหนักเท่ากับ 0.63 kg/m ราคาเท่ากับ 17.83 บาท/เมตร

เหล็กกล่องขนาด 2x2 cm หนา 1.5 mm มีน้ำหนักเท่ากับ 0.71 kg/m ราคาเท่ากับ 22 บาท/เมตร

3.4.1 การทดลองปรับเปลี่ยนโครงสร้างครั้งที่ 1

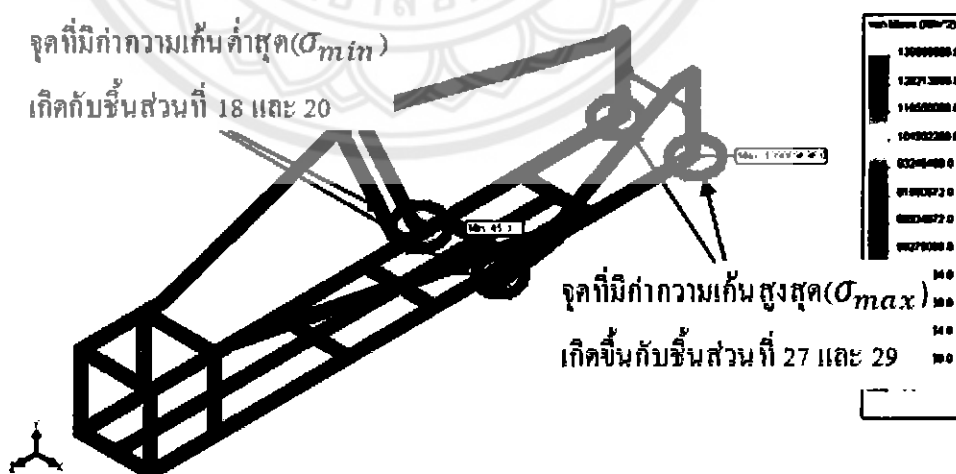
เมื่อได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างรถประหยัดพลังงานคันต้นแบบ พบว่าชิ้นส่วนเหล็กกล่องส่วนที่รับน้ำหนักของคันขับเคลื่อนมีการโก่งตัว ซึ่งค่าการกระจัดสูงสุด (Maximum Displacement) มีค่าเท่ากับ $5.085 \times 10^{-3}\text{ m}$ การปรับเปลี่ยนครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ว่าถ้าเสริมชิ้นส่วนเข้าไปรองรับภาระน้ำหนักอันเนื่องมาจากคันขับเคลื่อนแล้วจะทำให้ระยะการโก่งตัวมีค่าน้อยลงได้เท่าไร ค่าความปลอดภัยวิบัติจะสูงขึ้นหรือไม่ จึงได้ทำการเสริมเหล็กกล่องขนาด 2x2 cm หนา 1.5 mm ยาว 9 cm สองชิ้น ลงไปบริเวณที่รองรับน้ำหนักของคันขับเคลื่อน ข้างขวา จะเห็นได้ว่ามีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 0.13 กิโลกรัม ราคาเพิ่มขึ้น 3.96 บาท แต่ค่าความปลอดภัยยังและค่าความเค้นสูงสุดยังคงเท่าเดิมและมีการกระจัดสูงสุดลดลงเพียงเล็กน้อยมาก โดยค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นกับ

ชั้นส่วนที่ 27 และ 29 บริเวณด้านท้ายของชั้นส่วน ส่วนการกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นกับชั้นส่วนที่ 27, 28 และ 29 บริเวณตรงกลางของชั้นส่วนจากการปรับเปลี่ยนครั้งนี้ทำให้ได้โครงสร้างแบบที่ 2



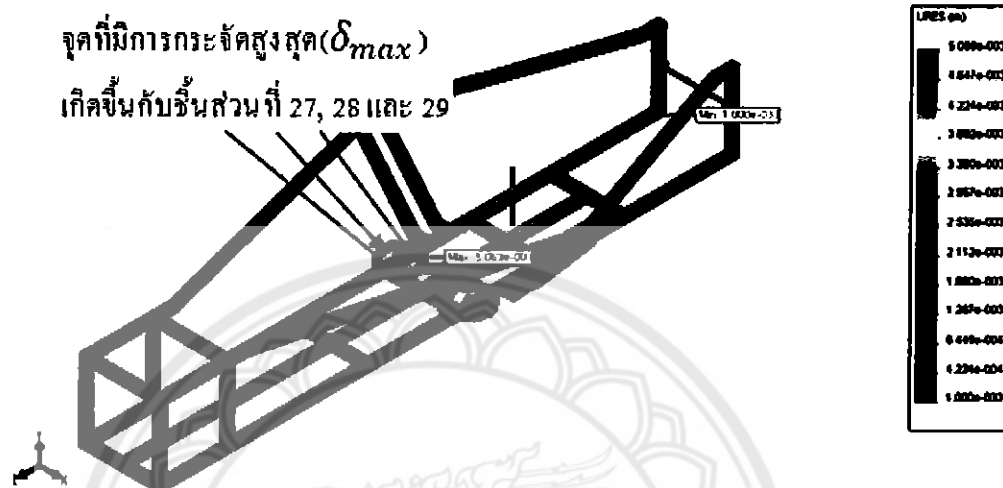
รูปที่ 3.25 โครงสร้างแบบที่ 2 ที่ได้จากการปรับเปลี่ยน โครงสร้างคั่นคั่นแบบ (แบบที่ 1)

3.4.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างแบบที่ 2



รูปที่ 3.26 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความเค้น (Von Mises Stress) ของโครงสร้างแบบที่ 2

จากรูปที่ 3.26 ได้ค่าความเค้นสูงสุด (σ_{max}) เท่ากับ $1.399 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ และค่าความเค้นต่ำสุด (σ_{min}) เท่ากับ 45.3 N/m^2



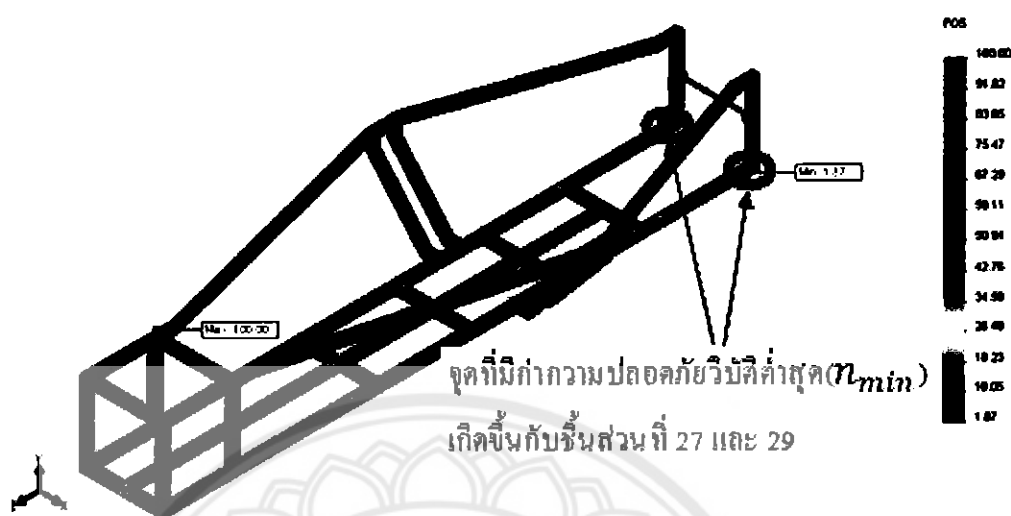
รูปที่ 3.27 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าการกระจัด (Displacement) ของ โครงสร้างแบบที่ 2

จากรูปที่ 3.27 ได้ค่าการกระจัดสูงสุด (δ_{max}) เท่ากับ $5.069 \times 10^{-3} \text{ m}$



รูปที่ 3.28 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความเครียด (Strain) ของ โครงสร้างแบบที่ 2

จากรูปที่ 3.28 ได้ค่าความเครียดสูงสุด (ϵ_{max}) เท่ากับ 5.502×10^{-4} และความเครียดต่ำสุด (ϵ_{min}) เท่ากับ 1.729×10^{-5}

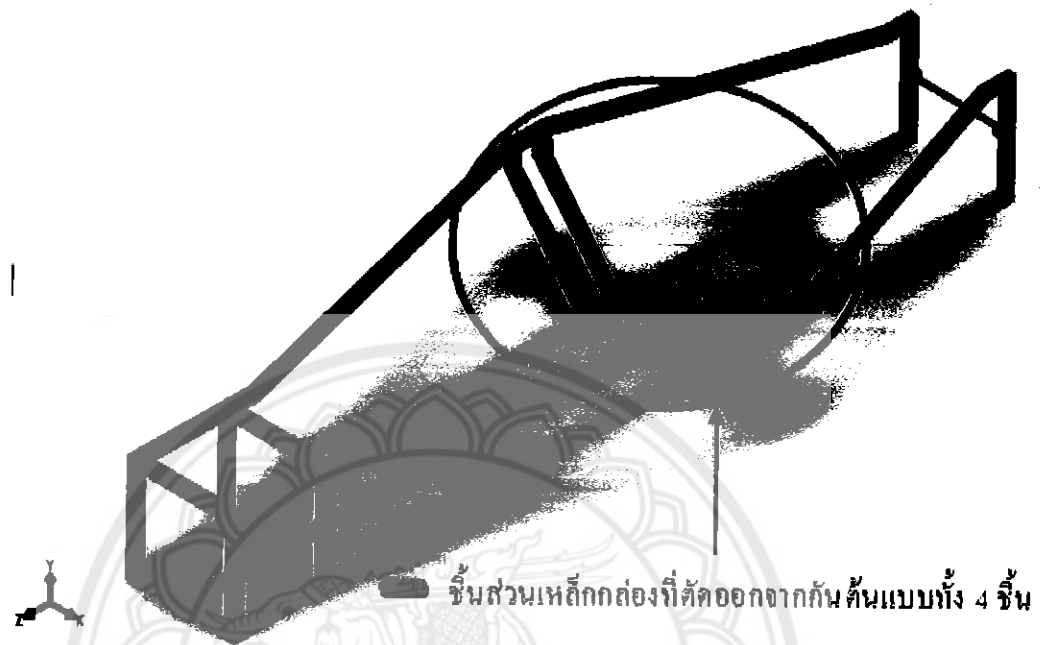


รูปที่ 3.29 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ของโครงสร้างแบบที่ 2

จากรูปที่ 3.29 ได้ค่าความปลอดภัยต่ำสุด (Minimum Factor of Safety) เท่ากับ 1.87

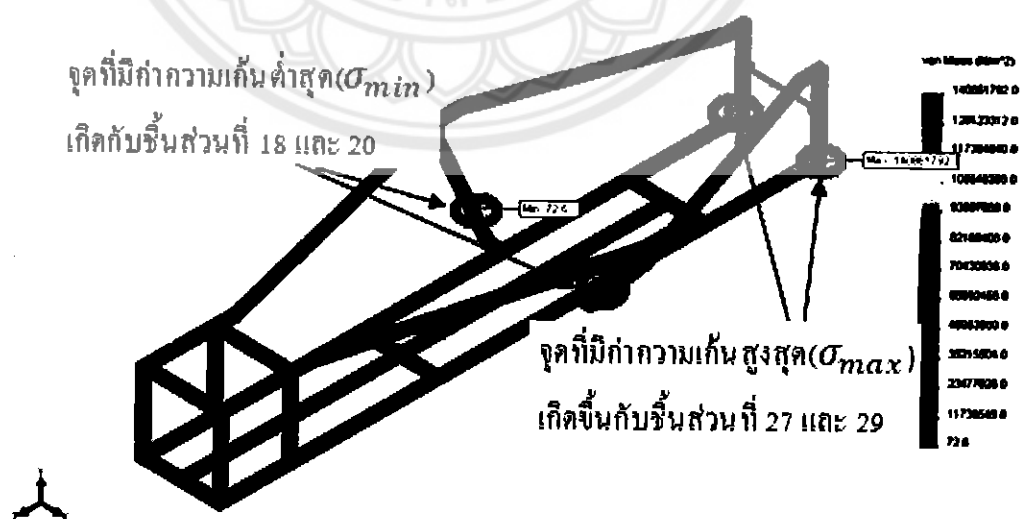
3.4.3 การทดลองปรับเปลี่ยนโครงสร้างครั้งที่ 2

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างแบบที่ 1 ไปแล้ว จากนั้นนำไปวิเคราะห์พบว่าแม้จะเสริมชิ้นส่วนเข้าไป 2 ชิ้น ตรงบริเวณที่รับน้ำหนักของคนขับ แต่ค่าระยะการกระจัดสูงสุด (Maximum Displacement) ลดลงไปน้อยมากและค่าความปลอดภัยวิกฤติที่มีค่าเท่าเดิม ดังนั้นในการทดลองปรับเปลี่ยนโครงสร้างจากคันดันแบบครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ก็เพื่อตัดชิ้นส่วนบางชิ้นออกเพื่อลดน้ำหนักของโครงสร้างและประหยัดค่าใช้จ่ายและต้องการทราบผลหลังจากที่ทำการตัดชิ้นส่วนบางชิ้นออกไปแล้ว โครงสร้างยังสามารถรองรับภาระน้ำหนักที่มากระทำต่อโครงสร้างได้หรือไม่ ระยะการโก่งตัวเพิ่มมากขึ้นเท่าไร ค่าความปลอดภัยวิกฤติลดลงไปหรือไม่ จึงได้ทำการการตัดเอาชิ้นส่วนเหล็กกล่องชิ้นส่วนที่ 18, 20, 30 และ 31 ออกไป ได้โครงสร้างรถประหัตพล้งงานแบบที่ 3 ขึ้นมา จะเห็นได้ว่ามีน้ำหนักลดลงไปจากโครงสร้างคันดันแบบ 0.57 กิโลกรัม ราคาลดลงจากเดิม 16.26 บาท มีค่าความเค้นสูงสุดและการกระจัดสูงสุดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และค่าความปลอดภัยลดลงมาเหลือ 1.86 โดยค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 27 และ 29 บริเวณด้านท้ายของชิ้นส่วน ส่วนการกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 27, 28 และ 29 บริเวณตรงกลางของชิ้นส่วน จากการปรับเปลี่ยนครั้งนี้ทำให้ได้โครงสร้างแบบที่ 3



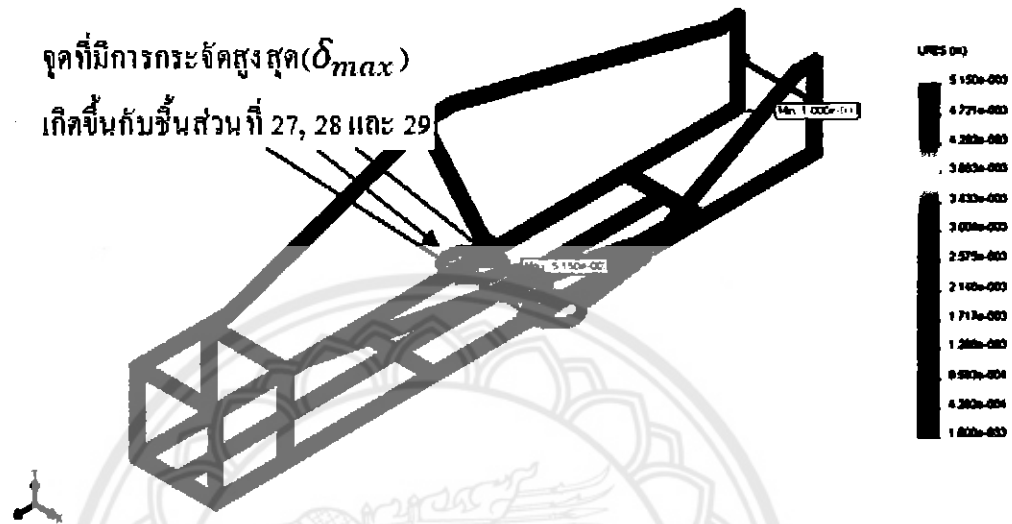
รูปที่ 3.30 โครงสร้างแบบที่ 3 ที่ได้จากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างกันดั้มแบบ (แบบที่ 1)

3.4.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างแบบที่ 3



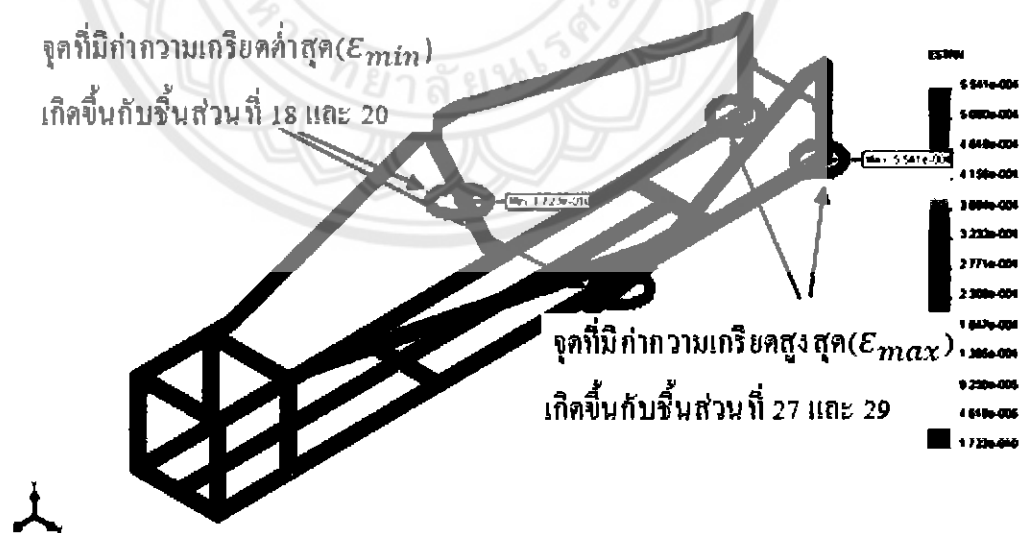
รูปที่ 3.31 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความเค้น (Von Mises Stress) ของโครงสร้างแบบที่ 3

จากรูปที่ 3.31 ได้ค่าความเค้นสูงสุด (σ_{max}) เท่ากับ $1.408 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ และค่าความเค้นต่ำสุด (σ_{min}) เท่ากับ 72.6 N/m^2



รูปที่ 3.32 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าการกระจัด (Displacement) ของ โครงสร้างแบบที่ 3

จากรูปที่ 3.32 ได้ค่าการกระจัดสูงสุด (δ_{max}) เท่ากับ $5.150 \times 10^{-3} \text{ m}$



รูปที่ 3.33 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความเครียด (Strain) ของโครงสร้างแบบที่ 3

จากรูปที่ 3.33 ได้ค่าความเครียดสูงสุด (ϵ_{max}) เท่ากับ 5.541×10^{-4} และความเครียดต่ำสุด (ϵ_{min}) เท่ากับ 1.723×10^{-10}



รูปที่ 3.34 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ของโครงสร้างแบบที่ 3

จากรูปที่ 3.34 ได้ค่าความปลอดภัยต่ำสุด (Minimum Factor of Safety) เท่ากับ 1.86

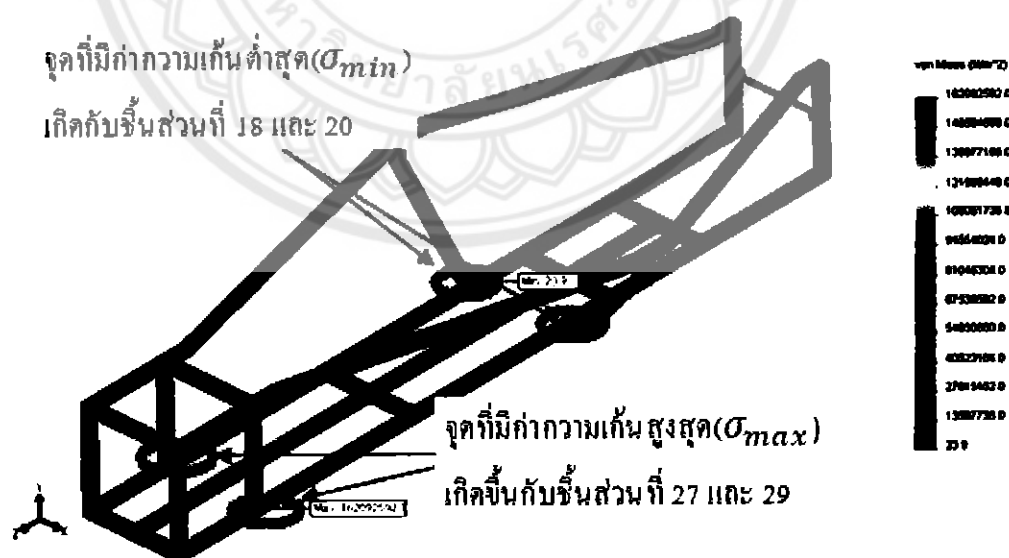
3.4.5 การทดลองปรับเปลี่ยนโครงสร้างครั้งที่ 3

เมื่อทราบผลการวิเคราะห์โครงสร้างแบบที่ 3 แล้วพบว่า การตัดชิ้นส่วนออกไปบางส่วน โครงสร้างยังสามารถรองรับภาระน้ำหนักที่มากระทำต่อโครงสร้างได้ มีระยะการโก่งตัวเพิ่มขึ้นจากเดิมเล็กน้อย โดยยังอยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้ และค่าความปลอดภัยวิธีต่ำสุดลดลงมาเพียง 0.01 ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการปรับเปลี่ยนโครงสร้างในครั้งนี้ก็ต้องการลดน้ำหนักและราคาค่าใช้จ่ายในการสร้างโครงสร้างรถประหยัคพลังงานการทดลองปรับเปลี่ยนโครงสร้างครั้งที่ 3 นี้ ได้นำโครงสร้างแบบเริ่มแรกมาปรับปรุงแก้ไข แต่ตัดชิ้นส่วนที่ 18 และ 20 ออกไป และโครงสร้างใช้เหล็กกล่องขนาด $2 \times 2 \text{ cm}$ หนา 1.2 mm ทั้งคัน ทำให้ได้โครงสร้างแบบที่ 4 จะเห็นได้ว่ามีน้ำหนักลดลงไปจากโครงสร้างคันต้นแบบ 0.92 กิโลกรัม ราคาลดลงจากเดิม 35.49 บาท เนื่องจากได้มีการปรับเปลี่ยนความหนาของเหล็กโครงสร้างให้มีความหนาเท่ากันหมดทุกชิ้นส่วนคือ 1.2 mm ต่างจากโครงสร้างแบบที่ 1 (โครงสร้างเดิม) แบบที่ 2 และแบบที่ 3 ซึ่งชิ้นส่วนด้านล่างทุกชิ้นจะมีความหนา 1.5 mm และชิ้นส่วนด้านบนทุกชิ้นหนา 1.2 mm โครงสร้างแบบที่ 4 นี้จึงมีค่าความเค้นสูงสุดและการกระจัดสูงสุดมากกว่าทุกโครงสร้าง (แต่มากกว่าเพียงเล็กน้อย) และมีค่าความปลอดภัยลดลงเหลือ 1.75 โดยค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 27 และ 29 บริเวณด้านหน้าของชิ้นส่วน ส่วนการกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 27, 28 และ 29 บริเวณตรงกลางของชิ้นส่วน



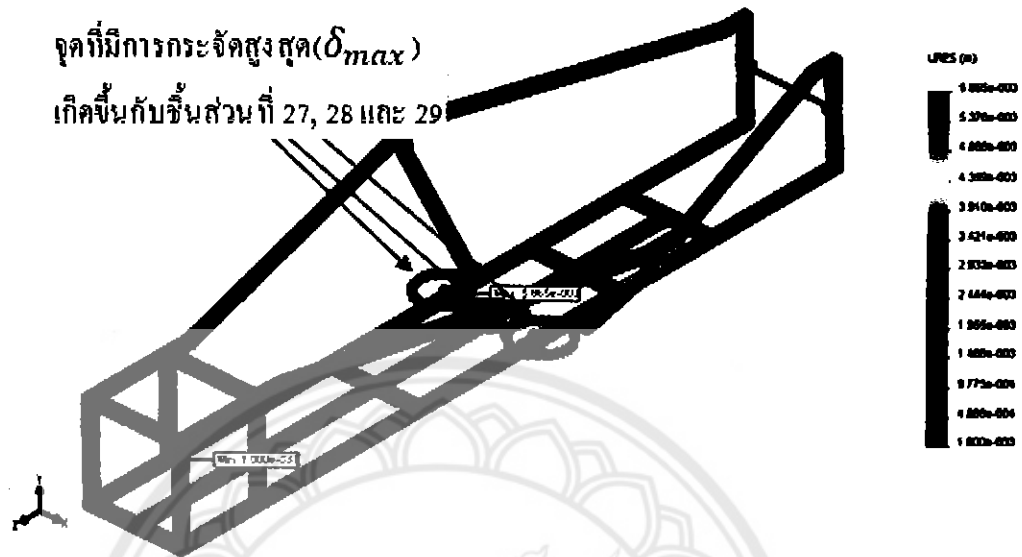
รูปที่ 3.35 โครงสร้างแบบที่ 4 ที่ได้จากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างกันต้นแบบ (แบบที่ 1)

3.4.6 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างแบบที่ 4



รูปที่ 3.36 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความเค้น (Von Mises Stress) ของโครงสร้างแบบที่ 4

จากรูปที่ 3.36 ได้ค่าความเค้นสูงสุด (σ_{max}) เท่ากับ $1.620 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ และค่าความเค้นต่ำสุด (σ_{min}) เท่ากับ 23.9 N/m^2



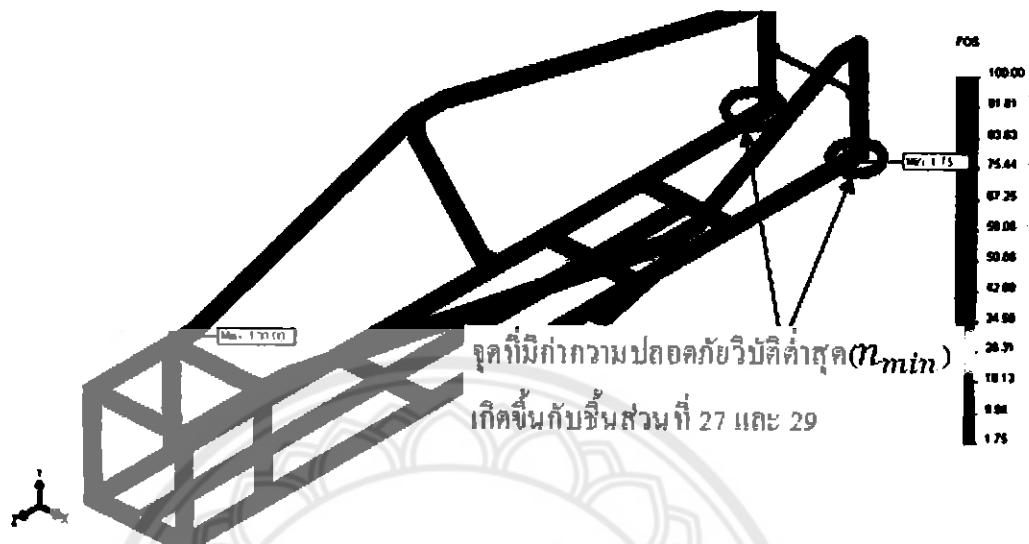
รูปที่ 3.37 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าการกระจัด (Displacement) ของโครงสร้างแบบที่ 4

จากรูปที่ 3.37 ได้ค่าการกระจัดสูงสุด (δ_{max}) เท่ากับ $5.865 \times 10^{-3} \text{ m}$



รูปที่ 3.38 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความเครียด (Strain) ของโครงสร้างแบบที่ 4

จากรูปที่ 3.38 ได้ค่าความเครียดสูงสุด (ϵ_{max}) เท่ากับ 5.935×10^{-4} และความเครียดต่ำสุด (ϵ_{min}) เท่ากับ 6.663×10^{-11}



รูปที่ 3.39 ผลการวิเคราะห์แสดงค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ของ โครงสร้างแบบที่ 4

จากรูปที่ 3.39 ได้ค่าความปลอดภัยต่ำสุด (Minimum Factor of Safety) เท่ากับ 1.75

3.5 สรุปผลการปรับเปลี่ยนโครงสร้างรถประหยัดพลังงาน

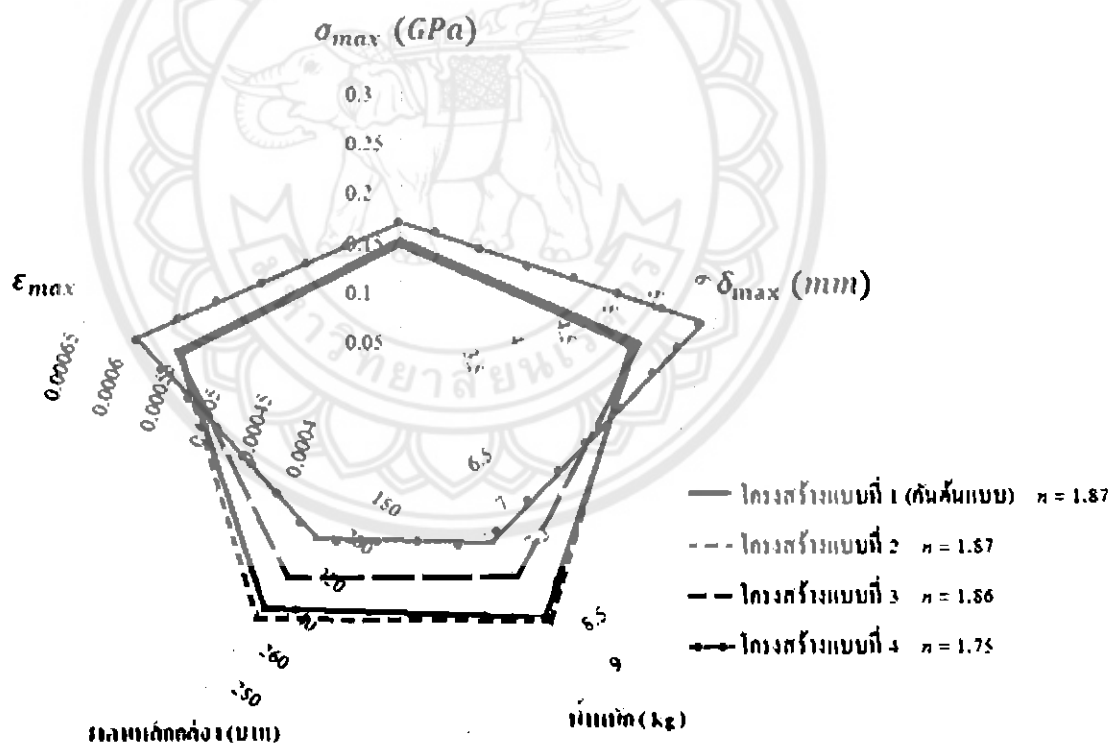
จากการทดลองปรับเปลี่ยนโครงสร้างรถประหยัดพลังงานได้ผลสรุปดังนี้

ตารางที่ 3.5 สรุปผลการปรับเปลี่ยนโครงสร้างรถประหยัดพลังงาน

โครงสร้าง	$\sigma_{\max}$ (N/m^2)	$\sigma_{\min}$ (N/m^2)	$\epsilon_{\max}$	$\epsilon_{\min}$	$\delta_{\max}$ (m)	n
โครงสร้างเดิม (แบบที่ 1)	1.398×10^8	80.7	5.499×10^{-4}	2.822×10^{-10}	5.085×10^{-3}	1.87
แบบที่ 2	1.398×10^8	45.3	5.502×10^{-4}	1.729×10^{-10}	5.069×10^{-3}	1.87
แบบที่ 3	1.408×10^8	72.6	5.541×10^{-4}	1.723×10^{-10}	5.150×10^{-3}	1.86
แบบที่ 4	1.620×10^8	23.9	5.935×10^{-4}	6.663×10^{-11}	5.865×10^{-3}	1.75

ตารางที่ 3.6 สรุปผลน้ำหนักและราคาของ โครงสร้างแต่ละแบบ

โครงสร้าง	ขนาดเหล็กกล่อง						น้ำหนัก รวม (kg)	ราคา รวม (บาท)
	2x2 cm ทน 1.2 mm			2x2 cm ทน 1.5 mm				
	ยาว (m)	น้ำหนัก (kg)	ราคา (บาท)	ยาว (m)	น้ำหนัก (kg)	ราคา (บาท)		
แบบที่ 1	6.51	4.10	116.07	5.56	3.98	122.32	8.08	238.39
แบบที่ 2	6.51	4.10	116.07	5.74	4.11	126.28	8.21	245.35
แบบที่ 3	5.82	3.66	103.77	5.38	3.85	118.36	7.51	222.13
แบบที่ 4	11.38	7.16	202.90	-	-	-	7.16	202.90



รูปที่ 3.40 สรุปผลของ โครงสร้างทั้ง 4 แบบ

หมายเหตุ : น้ำหนักของโครงสร้างไม่ได้รวมน้ำหนักของลวดเชื่อมหรือชิ้นส่วนประกอบอื่นๆที่เล็กน้อยเข้าไปด้วย ในส่วนของราคาค่าใช้จ่ายเป็นเพียงราคาของเหล็กกล่องเท่านั้น ไม่ได้รวมค่าใช้จ่ายอื่นๆเข้าไปด้วย

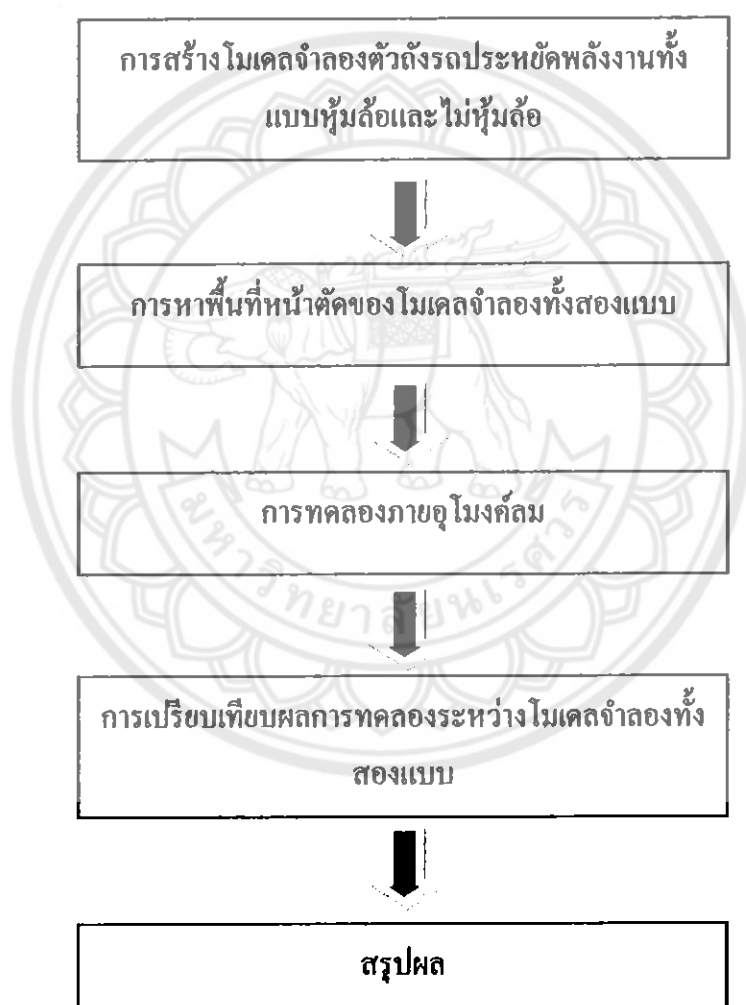
จากผลการทดลองปรับเปลี่ยนโครงสร้างของรถประหยัคพลังงานทั้ง 3 ครั้ง ทำให้สามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างรถประหยัคพลังงานแบบที่ 4 มีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานจริงได้ดีที่สุด เนื่องจากมีน้ำหนักเบาที่สุด ราคาถูกที่สุด เหมาะสมกับการแข่งขันรถประหยัคพลังงานเพราะว่ายิ่งน้ำหนักน้อยลงเท่าไรก็จะสามารถประหยัคพลังงานเชื้อเพลิงได้ แต่ทั้งนี้ก็ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของโครงสร้างว่าสามารถรองรับภาระอันเนื่องมาจากน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างได้หรือไม่ ถึงแม้ว่าโครงสร้างแบบที่ 4 จะมีค่าความเค้นสูงสุด ความเครียดสูงสุด การกระจัดสูงสุดและค่าความปลอดภัยวิบัติต่ำที่สุดก็ตามแต่ก็สามารถรองรับภาระน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างได้โดยไม่เกิดความเสียหาย เนื่องจากการวิบัติและการโก่งตัวสูงสุดก็อยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้คือไม่เกิน 0.01 m



บทที่ 4

การวิเคราะห์ด้านอากาศพลศาสตร์

การวิเคราะห์ด้านอากาศพลศาสตร์ของรถประหยัคพลังงานมีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการดำเนินงานในส่วนของตัวถังรถประหยัคพลังงาน

จากรูปที่ 4.1 สามารถแสดงรายละเอียดของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

4.1 การสร้างโมเดลจำลองตัวถังรถประหยัดพลังงานทั้งแบบหุ้มล้อและไม่หุ้มล้อ

4.1.1 ปั้นดินน้ำมันเพื่อให้ได้แบบจำลองรถประหยัดพลังงานที่มีขนาดย่อส่วน 17:1 ทั้งแบบหุ้มล้อและไม่หุ้มล้อ



รูปที่ 4.2 แบบจำลองรถประหยัดพลังงานที่ทำจากดินน้ำมันทั้ง 2 แบบ

4.1.2 นำแบบจำลองรถประหยัดพลังงานทั้งสองแบบไปเก็บไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำเพื่อให้แบบจำลองมีความแข็งแรงและไม่เสียรูปทรง จากนั้นเตรียมดินน้ำมันในปริมาณที่มากกว่าแบบจำลองรถประหยัดพลังงานได้ไปตากแดด เพื่อให้ดินน้ำมันอ่อนตัว

4.1.3 นำดินน้ำมันที่อ่อนตัวมาหุ้มแบบจำลองรถประหยัดพลังงานให้ทั่วและแนบสนิท

4.1.4 ปลอกให้ดินน้ำมันเริ่มแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการแกะเอาแบบจำลองรถประหยัดพลังงานออกมาก็จะได้แม่แบบสำหรับหล่อปูนปลาสเตอร์

4.1.5 ผสมปูนปลาสเตอร์ในอัตราส่วนที่พอเหมาะแล้วนำไปเทลงในแม่แบบที่ทำจากดินน้ำมัน

4.1.6 ปลอกให้ปูนปลาสเตอร์แห้งสนิทแล้วทำการแกะเอาแม่แบบออกจากปูนปลาสเตอร์ ก็จะได้แบบจำลองรถประหยัดพลังงานที่ทำจากปูนปลาสเตอร์

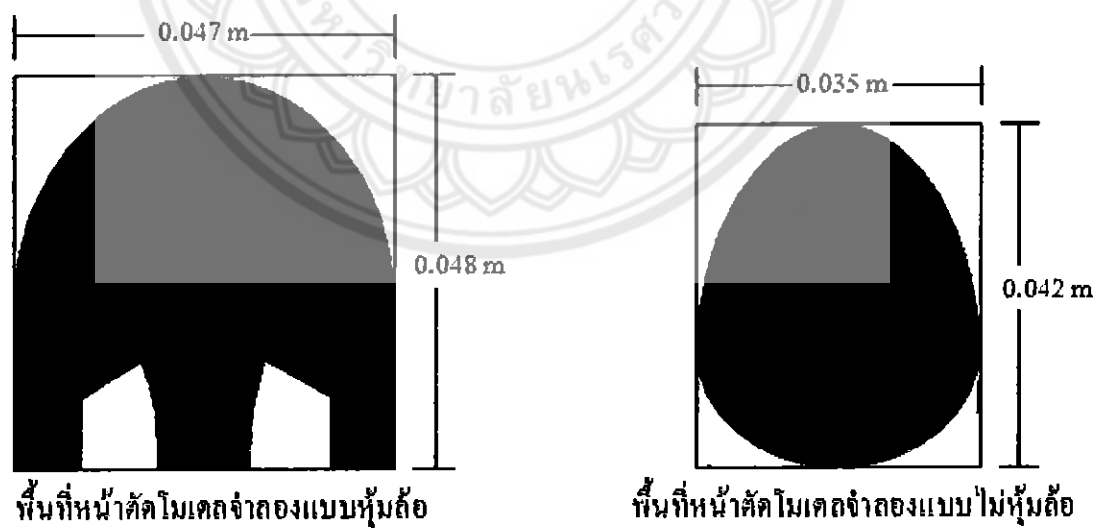
4.1.7 นำโมเดลจำลองที่ได้ไปทำการขัดผิวและตกแต่งให้เรียบเนียน

4.1.8 นำล้อและก้านเพลามาติดเป็นอันเสร็จสมบูรณ์



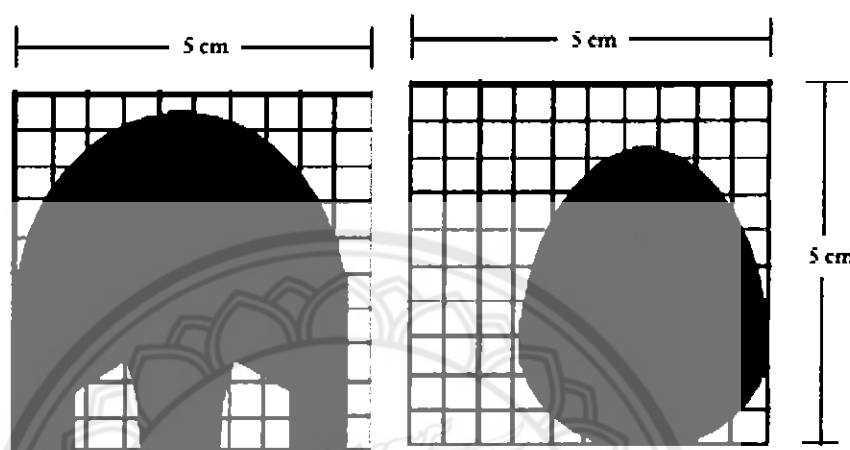
รูปที่ 4.3 โมเดลจำลองรถประหยัดพลังงานทั้งสองแบบที่เสร็จสมบูรณ์

4.2 การหาพื้นที่หน้าตัดของโมเดลจำลองทั้งสองแบบ



รูปที่ 4.4 พื้นที่หน้าตัดของ โมเดลจำลองทั้งสองแบบ

นำพื้นที่หน้าตัดของโมเดลทั้งสองแบบมาทำการหาพื้นที่โดยการสร้างตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $0.05 \times 0.05 \text{ m}$ จากนั้นแบ่งตารางเป็นช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส 100 ช่อง แต่ละช่องมีขนาด $0.005 \times 0.005 \text{ m}$ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $0.05 \times 0.05 \text{ m}$ ที่แบ่งเป็นช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $0.005 \times 0.005 \text{ m}$ จำนวน 100 ช่อง

พื้นที่ของตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $0.05 \times 0.05 \text{ m}$ มีค่าเท่ากับ 0.0025 m^2 จากนั้นทำการหาพื้นที่หน้าตัดของโมเดลจำลองทั้งสองแบบจะได้ว่า

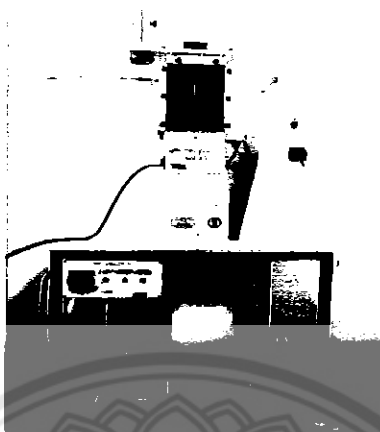
โมเดลจำลองแบบหุ้มล้อมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 72 % ของพื้นที่ 0.0025 m^2
 ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดของโมเดลจำลองแบบหุ้มล้อเท่ากับ $0.72 \times 0.0025 = 0.0018 \text{ m}^2$

โมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 44 % ของพื้นที่ 0.0025 m^2
 ดังนั้นพื้นที่หน้าตัดของโมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อเท่ากับ $0.44 \times 0.0025 = 0.0011 \text{ m}^2$

4.3 การทดลองภายในอุโมงค์ลม

เป็นการทดลองเพื่อใช้หาค่าความดันต่างระหว่างความดัน Stagnation และความดันสถิตย์เพื่อแปลงจากค่าความดันต่างที่ได้ให้เป็นค่าความเร็ว ณ ตำแหน่งนั้นๆ โดยอาศัยหลักการของแบร์นูลลีเข้ามาช่วย

4.3.1 นำโมเดลจำลองรถประหยัคพลังงานทั้งสองแบบคือแบบหุ้มล้อและไม่หุ้มล้อเข้าไปในอุโมงค์ลมที่ละแบบ วัดค่าความดัน Stagnation ที่ด้านหน้ารถโดยใช้ Pitot Tube ทำการวัดแบบละ 3 ครั้ง จากนั้นนำค่าที่อ่านได้จากเกจวัดน้ำมาหาค่าเฉลี่ย

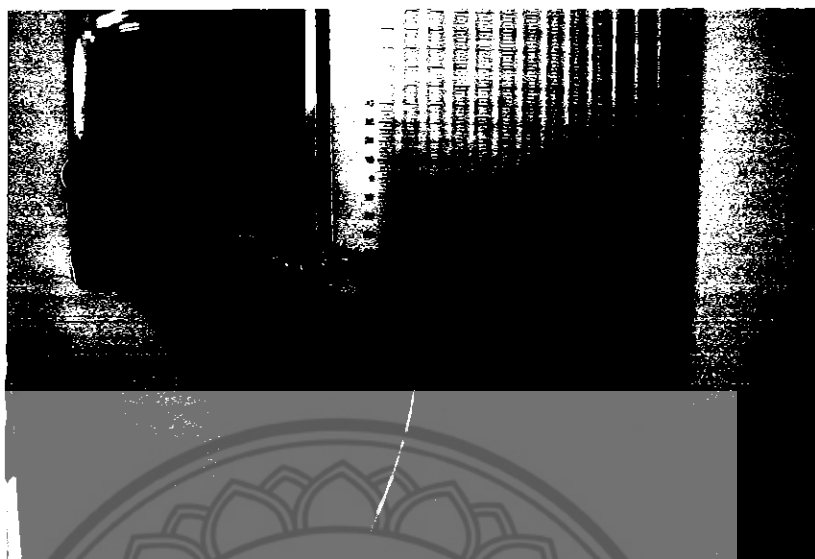


รูปที่ 4.6 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดลอง



รูปที่ 4.7 การทดลองภายในอุโมงค์ลม

4.3.2 ทำการย้าย Pitot Tube ไปไว้ที่ด้านหลังโมเดลจำลองรถประหยัคพลังงาน วัดค่าความดันที่ด้านท้ายรถทั้งสองแบบ แบบละ 3 ครั้ง จากนั้นนำค่าที่อ่านได้จากเกจวัดน้ำมาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.8 เกจที่ใช้อ่านค่าความดัน

4.3.3 นำค่าความดันต่างที่ได้มาใช้สูตรคำนวณโดยอาศัยความสัมพันธ์ของแบร์นูลลี มาช่วยหาค่าความเร็ว

4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างโมเดลจำลองทั้งสองแบบ

จากการที่ได้นำ โมเดลจำลองของรถประหยัคพลังงานทั้ง 2 แบบ คือ 1.ตัวถังแบบหุ้มล้อ 2. ตัวถังแบบไม่หุ้มล้อ ไปทำการทดสอบในอุโมงค์ลม โดยมีการบันทึกค่าความดันที่ด้านหน้าและด้านหลังของแบบจำลองรถประหยัคพลังงานทั้ง 2 แบบ แบบละ 3 ครั้งเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ได้ค่าตามตารางดังนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองในอุโมงค์ลม

โมเดลจำลอง	ความดันหน้ารถ (mmH_2O)			ความดันหลังรถ (mmH_2O)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ตัวถังแบบหุ้มล้อ	8	8	8	4.8	5	4.9
ตัวถังแบบไม่หุ้มล้อ	8	8	8	3.4	3.3	3.3

นำผลที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยจะได้ว่า

ความดันด้านหน้ารถและหลังรถประหยัคพลังงานแบบหุ้มล้อมีค่าเท่ากับ 8 และ 4.9 ตามลำดับ

ความดันด้านหน้ารถและหลังรถประหยัคพลังงานแบบไม่หุ้มล้อมีค่าเท่ากับ 8 และ 3.33 ตามลำดับ

นำค่าความดันต่าง ๆ ที่ได้มาใช้สูตรคำนวณโดยอาศัยความสัมพันธ์ของแบร์นูลลี มาช่วยหาค่าความเร็วจากสมการ

$$\frac{P_0}{\rho} = \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2}$$

$$V = \sqrt{\frac{2(P_0 - P)}{\rho}}$$

เมื่อ $P_0 - P$ = ความดัน Stagnation – ความดันสถิตย (Pa)

ρ = ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)

โดย ρ ของอากาศที่อุณหภูมิห้องมีค่าเท่ากับ 1.23 kg/m^3

ทำการแปลงหน่วย $1 \text{ mmH}_2\text{O} = 1 \text{ kg/m}^2 = 9.81 \text{ N/m}^2$

ความดันหน้ารถ : ตัวถังแบบหุ้มล้อ $= 8 \times 9.81 = 78.48 \text{ N/m}^2 = 78.48 \text{ Pa}$

ตัวถังแบบไม่หุ้มล้อ $= 8 \times 9.81 = 78.48 \text{ N/m}^2 = 78.48 \text{ Pa}$

ความดันหลังรถ : ตัวถังแบบหุ้มล้อ $= 4.9 \times 9.81 = 48.07 \text{ N/m}^2 = 48.07 \text{ Pa}$

ตัวถังแบบไม่หุ้มล้อ $= 3.33 \times 9.81 = 32.67 \text{ N/m}^2 = 32.67 \text{ Pa}$

แทนค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ลงในสมการ

$$V = \sqrt{\frac{2(P_0 - P)}{\rho}}$$

จะได้

ความเร็วลมที่ใช้ในอุโมงค์ลม $= 11.30 \text{ m/s}$

ความเร็วที่ท้ายรถตัวถังแบบหุ้มล้อคือ $= 7.03 \text{ m/s}$

ความเร็วที่ท้ายรถตัวถังแบบไม่หุ้มล้อคือ $= 8.63 \text{ m/s}$

ผลต่างของความดันด้านหน้าโมเดลและด้านหลังโมเดล

$$\text{ตัวถังแบบหุ้มล้อ} = 78.48 - 48.07 = 30.41 \text{ Pa}$$

$$\text{ตัวถังแบบไม่หุ้มล้อ} = 78.48 - 32.67 = 45.81 \text{ Pa}$$

ทำการหาค่าแรงดันอากาศจากสมการ $P = \frac{D}{A}$

เมื่อ P = ผลต่างของความดันด้านหน้าโมเดลและด้านหลังโมเดล (Pa)

D = แรงดันอากาศ (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของโมเดลประหยัคพลังงาน (m^2)

แทนค่าลงในสมการ $P = \frac{D}{A}$ จะได้

$$\text{แรงดันอากาศของตัวถังแบบหุ้มล้อ} = 0.054 \text{ N}$$

$$\text{แรงดันอากาศของตัวถังแบบไม่หุ้มล้อ} = 0.050 \text{ N}$$

นำค่าแรงดันอากาศที่ได้ไปหาค่าสัมประสิทธิ์แรงดันอากาศจากสมการ

$$C_d = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A}$$

จะได้ C_d ของตัวถังแบบหุ้มล้อ = 0.40

C_d ของตัวถังแบบไม่หุ้มล้อ = 0.58

4.5 สรุปผลการทดลองภายในอุโมงค์ลม

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองภายในอุโมงค์ลม

โมเดลจำลอง	พื้นที่หน้าตัด (m^2)	ความดัน ด้านหน้า (Pa)	ความดัน ด้านหลัง (Pa)	ความดันต่าง (Pa)	แรงดัน อากาศ (N)	สัมประสิทธิ์ แรงดัน อากาศ
แบบหุ้มล้อ	0.0018	78.48	48.07	30.41	0.054	0.40
แบบไม่หุ้มล้อ	0.0011	78.48	32.67	45.81	0.050	0.58

จากตารางที่ 4.2 สรุปได้ว่าโมเดลจำลองแบบหุ้มล้อยซึ่งมีค่าความดันต่างระหว่างความดันด้านหน้ากับความดันด้านหลังเท่ากับ 30.41 Pa ซึ่งน้อยกว่าโมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อยที่มีค่าความดันต่างเท่ากับ 45.81 Pa ในขณะที่แรงต้านอากาศ (D) ของโมเดลจำลองแบบหุ้มล้อยมีค่าเท่ากับ 0.054 N ส่วนโมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อยมีค่าแรงต้านอากาศเท่ากับ 0.050 N โมเดลจำลองแบบหุ้มล้อยมีพื้นที่หน้าตัด (A) มากกว่าโมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อยและเมื่อทำการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (C_d) พบว่าโมเดลจำลองแบบหุ้มล้อยมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศเท่ากับ 0.40 ซึ่งน้อยกว่าโมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อยที่มีค่าเท่ากับ 0.58 แสดงให้เห็นว่าโมเดลจำลองแบบหุ้มล้อยมีรูปทรงที่กลมกว่าโมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อยถึงแม้ว่าจะมีพื้นที่หน้าตัดมากกว่า ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศนี้มีความสำคัญต่อการออกแบบยานพาหนะ เพราะว่าเมื่อยานพาหนะจะมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันแต่รูปทรงไม่เหมือนกันก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศต่างกันออกไป ค่านี้มีความสำคัญต่อแรงต้านอากาศเพราะยิ่งค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศมีค่าน้อยลงเท่าไร ค่าแรงต้านอากาศก็จะน้อยลงเท่านั้น ส่งผลให้ยานพาหนะสามารถประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงลงไปได้



บทที่ 5

สรุปผลโครงการและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงการ

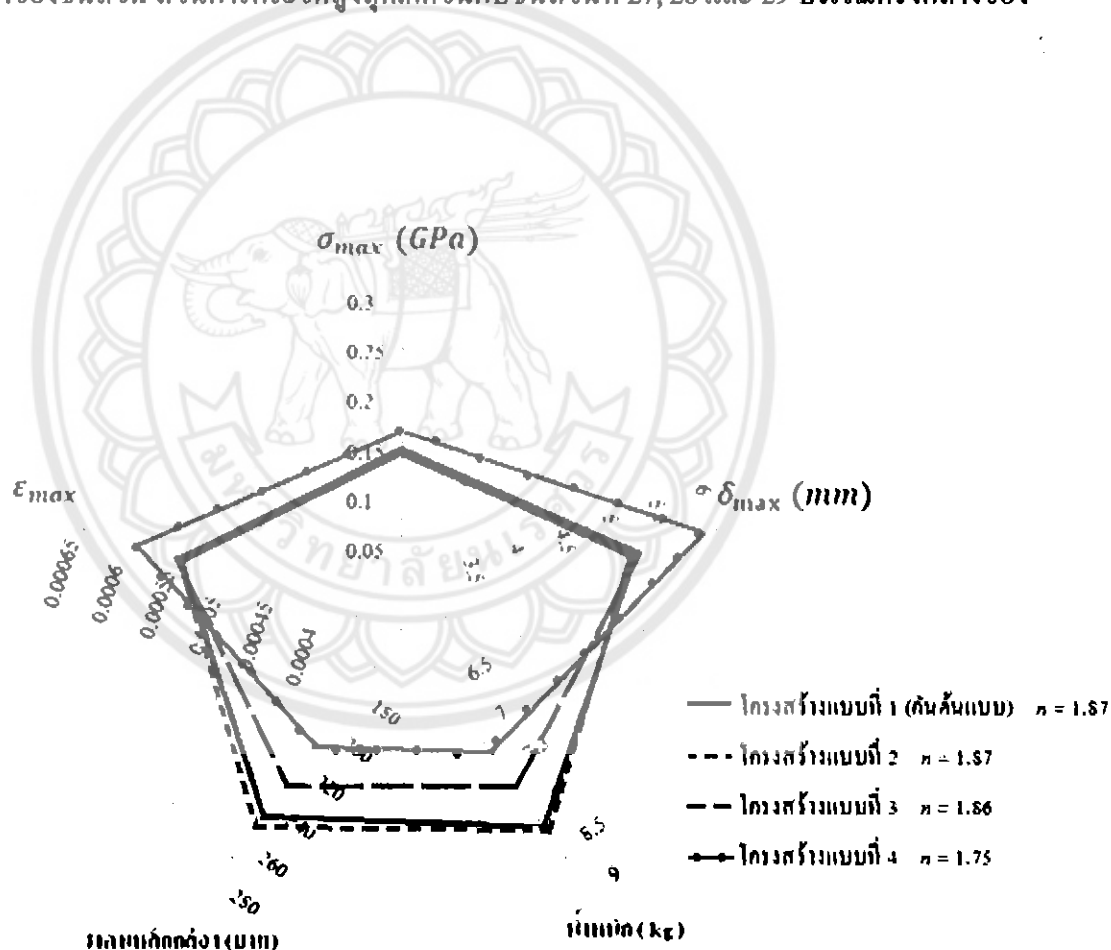
5.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์โครงสร้างของรถประหยัคพลังงาน

จากการที่ได้ศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างของรถประหยัคพลังงานแบบที่ 1 (คันดันแบบ) ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม Solidworks โหมด Simulation มาช่วยในการวิเคราะห์โดยเป็นการวิเคราะห์แบบภาวะสถิตย์ เมื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างรถประหยัคพลังงาน ได้ผลจากการวิเคราะห์จากโปรแกรม คือ ค่าความเค้นสูงสุด (σ_{max}) เท่ากับ $1.398 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ ค่าความเค้นต่ำสุด (σ_{min}) เท่ากับ 80.7 N/m^2 ระยะกระจัดสูงสุด (δ_{max}) เท่ากับ $5.085 \times 10^{-3} \text{ m}$ ค่าความปลอดภัยภายในโครงสร้าง (Factor of Safety) ต่ำสุดเท่ากับ 1.87 เมื่อนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความเสียหาย โดยทำการวิเคราะห์ คือ การวิเคราะห์ความเสียหายเนื่องจากการวิบัติการวิเคราะห์ความเสียหายเนื่องจากการวิบัติได้ผลสรุปเปรียบเทียบคือ $(\sigma_y) > (\sigma_{max})$ สรุปได้ว่าโครงสร้างของรถประหยัคพลังงานไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากการวิบัติ น้ำหนักของโครงสร้าง 8.08 กิโลกรัมและราคาของเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้างเท่ากับ 238.39 บาท

โครงสร้างรถประหยัคพลังงานแบบที่ 2 ซึ่งได้จากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างแบบที่ 1 โดยการเพิ่มชิ้นส่วนเหล็กกล่องขนาด $2 \times 2 \text{ cm}$ หนา 1.5 mm ยาว 9 cm จำนวน 2 ชิ้นไปในตำแหน่งที่เกิดการกระจัดสูงสุดเพื่อต้องการให้การกระจัดลดลง จะเห็นได้ว่ามีน้ำหนักเพิ่มขึ้น 0.13 กิโลกรัม ราคาเพิ่มขึ้น 6.96 บาท แต่ค่าความปลอดภัยยังและค่าความเค้นสูงสุดยังคงเท่าเดิมและมีการกระจัดสูงสุดลดลง โดยค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 27 และ 29 บริเวณด้านท้ายของชิ้นส่วน ส่วนการกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 27, 28 และ 29 บริเวณตรงกลางของชิ้นส่วน

โครงสร้างรถประหยัคพลังงานแบบที่ 3 ซึ่งได้จากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างแบบที่ 1 โดยการตัดเอาชิ้นส่วนเหล็กกล่องขนาด $2 \times 2 \text{ cm}$ หนา 1.5 mm ยาว 9 cm จำนวน 2 ชิ้นและเหล็กกล่องขนาด $2 \times 2 \text{ cm}$ หนา 1.2 mm ยาว 34 cm จำนวน 2 ชิ้นออกไป จะเห็นได้ว่ามีน้ำหนักลดลงไปจากโครงสร้างคันดันแบบ 0.57 กิโลกรัม ราคาลดลงจากเดิม 16.26 บาท เนื่องจากการตัดชิ้นส่วนบางชิ้นออกไป ทำให้มีค่าความเค้นสูงสุดและการกระจัดสูงสุดเพิ่มขึ้น และค่าความปลอดภัยลดลงมาเหลือ 1.86 โดยค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 27 และ 29 บริเวณด้านท้ายของชิ้นส่วน ส่วนการกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 27, 28 และ 29 บริเวณตรงกลางของชิ้นส่วน

โครงสร้างลดประหัยพลังงานแบบที่ 4 ซึ่งได้จากการปรับเปลี่ยนโครงสร้างแบบที่ 1 โดยทำการตัดเอาชิ้นส่วนเหล็กกล่องขนาด 2×2 cm หนา 1.2 mm ยาว 34 cm จำนวน 2 ชิ้นออกไปและปรับเปลี่ยนความหนาของเหล็กโครงสร้างให้มีความหนาเท่ากันหมดทุกชิ้นส่วนคือ 1.2 mm จะเห็นได้ว่ามีน้ำหนักลดลงไปจากโครงสร้างคั่นแบบ 0.92 กิโลกรัม ราคาลดลงจากเดิม 35.49 บาท ต่างจากโครงสร้างแบบที่ 1 (โครงสร้างเดิม) แบบที่ 2 และแบบที่ 3 ซึ่งชิ้นส่วนด้านล่างทุกชิ้นจะมีความหนา 1.5 mm และชิ้นส่วนด้านบนทุกชิ้นหนา 1.2 mm โครงสร้างแบบที่ 4 นี้จึงมีค่าความเค้นสูงสุดและการกระจัดสูงสุดมากกว่าทุกโครงสร้างและมีค่าความปลอดภัยลดลงเหลือ 1.75 โดยค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 27 และ 29 บริเวณด้านหน้าของชิ้นส่วน ส่วนการกระจัดสูงสุดเกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 27, 28 และ 29 บริเวณตรงกลางของชิ้นส่วน



รูปที่ 5.1 สรุปผลโครงสร้างลดประหัยพลังงานทั้ง 4 แบบ

หมายเหตุ : น้ำหนักของโครงสร้างไม่ได้รวมน้ำหนักของลวดเชื่อมหรือชิ้นส่วนประกอบอื่นๆที่เล็กน้อยเข้าไปด้วย ในส่วนของราคาค่าใช้จ่ายเป็นเพียงราคาของเหล็กกล่องเท่านั้น ไม่ได้รวมค่าใช้จ่ายอื่นๆเข้าไปด้วย

จากรูปที่ 5.1 สรุปผลการทดลองปรับเปลี่ยนโครงสร้างของรพระหัดพลังงานทั้ง 3 ครั้ง ทำให้สามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างรพระหัดพลังงานแบบที่ 4 มีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานจริงได้ดีที่สุด เนื่องจากมีน้ำหนักเบาที่สุด ราคาถูกที่สุด เหมาะสมกับการแข่งขันรพระหัดพลังงานเพราะว่ายิ่งน้ำหนักน้อยลงเท่าไรก็จะสามารถรพระหัดพลังงานเชื้อเพลิงได้ แต่ทั้งนี้ก็ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของโครงสร้างว่าสามารถรองรับภาระอันเนื่องมาจากน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างได้หรือไม่ ถึงแม้ว่าโครงสร้างแบบที่ 4 จะมีค่าความเค้นสูงสุด ความเครียดสูงสุด การกระจัดสูงสุดและค่าความปลอดภัยต่ำที่สุดก็ตามแต่ก็ไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากการวิบัติและการกระจัดสูงสุดก็อยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้คือ ไม่เกิน 0.01 m

5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ด้านอากาศพลศาสตร์

จากการที่ได้สร้าง โมเดลจำลองของรพระหัดพลังงานทั้งสองแบบคือ ตัวถังแบบหุ้มล้อและตัวถังแบบไม่หุ้มล้อ ในขนาดย่อส่วน 17:1 แล้วนำมาทำการทดลองภายในอุโมงค์ลม Modular Air Flow เพื่อวัดค่าความดัน Stagnation ที่ด้านหน้าโมเดลจำลองและความดันสถิตที่ด้านท้ายโมเดลจำลองเพื่อวัดหาค่าความดันต่างของโมเดลจำลองทั้งสองแบบ แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าความเร็วที่ด้านท้ายโมเดลจำลองของรพระหัดพลังงานทั้งสองแบบ

การทดลองภายในอุโมงค์ลมทำให้ได้ผลการทดลองออกมาว่าโมเดลจำลองแบบหุ้มล้อซึ่งมีค่าความดันต่างระหว่างความดันด้านหน้ากับความดันด้านหลังเท่ากับ 30.41 Pa ซึ่งน้อยกว่าโมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อที่มีค่าความดันต่างเท่ากับ 45.81 Pa ในขณะที่แรงต้านอากาศ (D) ของโมเดลจำลองแบบหุ้มล้อมีค่าเท่ากับ 0.054 N ส่วนโมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อมีค่าแรงต้านอากาศเท่ากับ 0.050 N โมเดลจำลองแบบหุ้มล้อมีพื้นที่หน้าตัด (A) มากกว่าโมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อและเมื่อทำการหาค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ (C_d) พบว่าโมเดลจำลองแบบหุ้มล้อมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศเท่ากับ 0.40 ซึ่งน้อยกว่าโมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อที่มีค่าเท่ากับ 0.58 แสดงให้เห็นว่าโมเดลจำลองแบบหุ้มล้อมีรูปทรงที่ลู่ลมกว่าโมเดลจำลองแบบไม่หุ้มล้อถึงแม้ว่าจะมีพื้นที่หน้าตัดมากกว่า ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศนี้มีความสำคัญต่อการออกแบบยานพาหนะเพราะว่าแม้ยานพาหนะจะมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันแต่รูปทรงไม่เหมือนกันก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศต่างกันออกไป ค่านี้มีความสำคัญต่อแรงต้านอากาศเพราะยิ่งค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศมีค่าน้อยลงเท่าไร ค่าแรงต้านอากาศก็จะน้อยลงเท่านั้น ส่งผลให้ยานพาหนะสามารถรพระหัดพลังงานเชื้อเพลิงลงไปได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์โครงสร้างและอากาศพลศาสตร์ของรถประหยัคพลังงานคณะผู้จัดทำมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 ในส่วนของโครงสร้าง

ในการออกแบบโครงสร้างรถประหยัคพลังงานอาจออกแบบ โครงสร้างขึ้นมาในรูปแบบใหม่ได้ วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างอาจจะเลือกใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงกว่า สามารถใช้ท่อเหล็กกลมแทนเหล็กกล่องได้ เนื่องจากท่อเหล็กกลมจะ ไม่มีความเค้นสะสมอยู่ตามมุมขอบเหมือนเหล็กกล่อง

5.2.2 ในส่วนของตัวถัง

ถ้าเลือกใช้ตัวถังแบบไม่หุ้มล้อ อาจเกิดลมไหลปั่นป่วนภายในซี่ล้อ ดังนั้นจึงควรคิดที่ครอบซี่ล้อ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดลมไหลปั่นป่วนภายในซี่ล้อ จะทำให้เกิดแรงต้านอากาศน้อยกว่าเดิมและอาจมีการปรับเปลี่ยนรูปทรงในบางจุดเพื่อให้มีความรู้ลุมมากขึ้นซึ่งจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศลดลงได้



บรรณานุกรม

- [1] Richard G. Budynas and J. Keith Nisbett. Mechanical Engineering Design, Eight Edition in SI Unit, 2008, Copy Right by McGraw. Hill Companies, USA.
- [2] Yunus A. Cengel and John M. Cimbala, Fluid mechanics fundamentals and applications, 2003, McGraw.Hill, International edition, McGraw.Hill Companies, USA.
- [3] ผศ.บรรจบ อรชร, "การ โกงตัวของคาน." กลศาสตร์ของแข็ง.กรุงเทพฯ: บริษัทพิมพ์ดี จำกัด, 2545.
- [4] ทวีศักดิ์ ศรีช่วย, Solidworks Handbook. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), สมากม, 2549
- [5] อ.นพรัตน์ สีหะวงษ์, เอกสารประกอบการเรียน ระเบียบวิธีไฟไนเอลิเมนต์ 302423-1-2552. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- [6] อ.รัตนา การุญบุญญานันท์, เอกสารประกอบการเรียน กลศาสตร์ของแข็ง 1 302221-1-2551-บทที่ 8 การ โกงตัวของคาน.ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [7] แรงด้านอากาศ.เข้าถึงได้จาก; https://pindex.ku.ac.th/file_research/ME4.doc (18 พ.ย. 2552)
- [8] การทดสอบสมบัติของเหล็ก, ปริญญาณิพนธ์เรื่องการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างรถ TSAE Student Formula โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วย, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร, ปีการศึกษา 2551