

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในเนื้อหาที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นขั้นตอนของการดำเนินงานในการวิเคราะห์โครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกชिनราช และการออกแบบโครงสร้างใหม่ โดยใช้โปรแกรม Comsol MultiphysicsTM ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังที่รูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

จากขั้นตอนการดำเนินงานในรูปที่ 3.1 สามารถแสดงรายละเอียดของการดำเนินงานได้ดังต่อไปนี้

3.1 การเก็บข้อมูลโครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช

โดยทำการเก็บข้อมูลจากโครงสร้างรถ TSAE และหาตัวแปรที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้าง ได้แก่ ความยาว ขนาดหน้าตัด น้ำหนัก และชนิดของเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้าง รวมไปถึงภาระที่กระทำกับโครงสร้าง เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องจึงได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้างเพื่อหาค่า Modulus of Elasticity (E) และความแข็งแรงคราก จากเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้างจริง ซึ่งมีขั้นตอนในการเก็บข้อมูลดังนี้

3.1.1 การหาความยาวและขนาดหน้าตัดเหล็กของโครงสร้าง

การหาความยาวทำได้โดยการวัดขนาดแต่ละชิ้นส่วนของ โครงสร้างด้วยตลับเมตร เพื่อที่จะนำผลที่ได้ไปคำนวณหาพิกัดตามแนวแกน x, y, z (ภาคผนวก ก) และหาพื้นที่หน้าตัดของเหล็กจากการใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ ช่วยในการวัด นำผลที่ได้เหล่านี้ไปเป็นข้อมูลในการสร้างโมเดลและกำหนดพื้นที่หน้าตัดให้กับโครงสร้างใน โปรแกรม COMSOL Multiphysics™ ซึ่งผลจากการเก็บข้อมูลโดยการวัดขนาดและการตรวจสอบ โครงสร้างพบว่าเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช เป็นเหล็กท่อกลมดำ 2 ขนาด มีชิ้นส่วน โครงสร้างทั้งหมด 73 ชิ้น ซึ่งมีการจัดกลุ่ม โดยทำการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามขนาดเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้าง โดยสามารถแสดงรายละเอียดจากการเก็บข้อมูลได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกข้อมูล โครงสร้าง TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช

ข้อมูลโครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช					
กลุ่ม	ชนิดเหล็ก	ขนาดเหล็ก		พื้นที่หน้าตัด (m ²)	จำนวนชิ้น
		ขนาด (in)	หนา (mm)		
1	ท่อกลมดำ	1	1.2	4.68×10^{-5}	61
2	ท่อกลมดำ	1.25	2	9.61×10^{-5}	12
รวม					73

3.1.2 การทดสอบสมบัติของเหล็ก

จากการตรวจสอบ โครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช จากเหล็กท่อกลมดำ จึงทำการหาข้อมูลเหล็กแต่ละขนาดและราคาตามท้องตลาด เพื่อเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบน้ำหนักและราคาหลังจากทำการปรับเปลี่ยนขนาดเหล็กหรือออกแบบ โครงสร้างใหม่ จากนั้นนำเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้างมาทดสอบหาสมบัติของวัสดุ โดยทำการทดสอบการรับแรงดึงด้วยเครื่อง Universal Testing Machine โดยนำเหล็กท่อกลมดำซึ่งเป็นเหล็กชนิดเดียวกับเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้าง ขนาด 1 นิ้ว หนา 1.2 มิลลิเมตร ยาว 1 เมตร มาทำการทดสอบ 3 ครั้ง จะได้ขนาดของแรงดึงก่อนวัสดุคราก

เฉื่อย (F) = $42.6 \times 10^3 \text{ N}$ และระยะยืด (δ) = 5 mm โดยนำผลที่ได้ไปทำการคำนวณหาค่าความแข็งแรงคราก และโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity, E) (ภาคผนวก ข) ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (3.2)$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.3)$$

เมื่อ σ = ความแข็งแรงคราก (N/m^2)

ε = ความเครียด

$$A = \left(\frac{\pi}{4}\right)(d_o^2 - d_i^2) = \text{พื้นที่หน้าตัด} (m^2)$$

F = แรงดึงก่อนวัสดุคราก (N)

δ = ระยะยืด (mm)

L = ความยาว (m)

ซึ่งจะได้สมบัติของเหล็กที่กลมค้ำดังต่อไปนี้

- ความแข็งแรงคราก (σ_y) = $9.11 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

- ความเครียด (ε) = 5×10^{-3}

- Modulus of elasticity (E) = $1.82 \times 10^{11} \text{ Pa}$

3.1.3 ผลจากการคำนวณหาพิกัดและแรงเนื่องจากภาระน้ำหนักบนโครงสร้าง

การหาค่าตัวแปรต่างๆ ที่นำไปใช้สร้างโมเดลและการวิเคราะห์ผล จากการศึกษาและทดลองใช้โปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างโมเดลและการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมได้ดังนี้

- ผลการหาพิกัดตามแนวแกน x, y, z

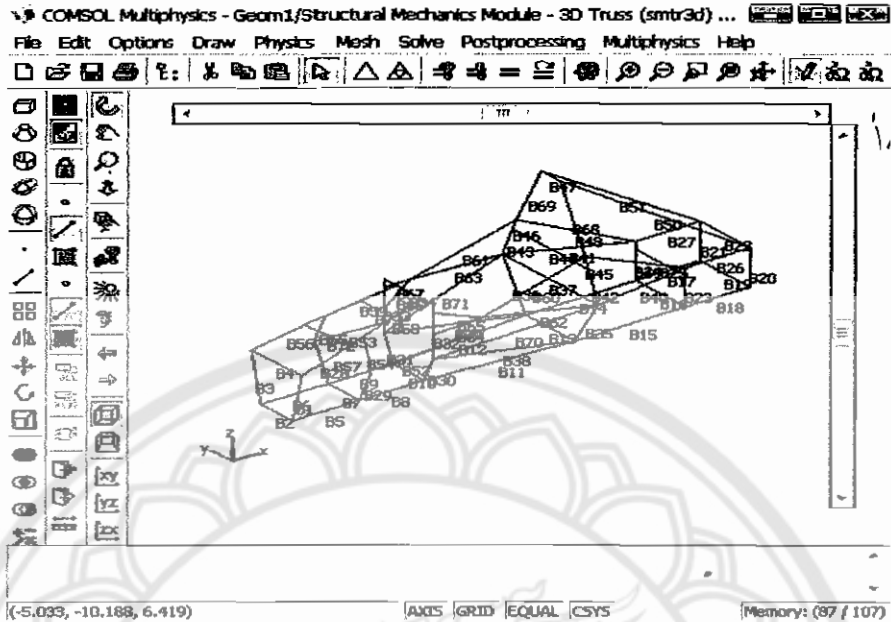
พิกัดตามแนวแกน x, y, z ซึ่งหาได้จากการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีตรีโกณมิติ เพื่อนำพิกัดที่ได้เป็นข้อมูลในการสร้างโมเดลในโปรแกรม COMSOL Multiphysics™ ดังรูปที่ 3.2

TJ
211.47
ศ1387
2551



สำนักหอสมุด

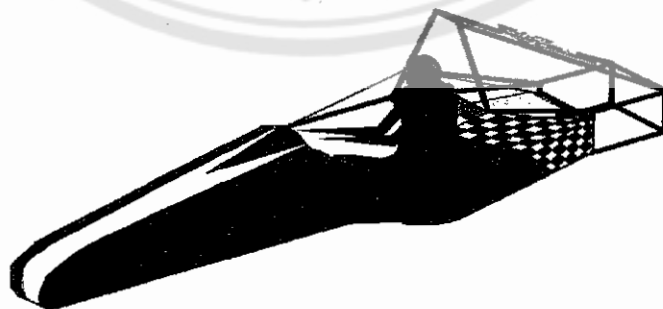
22 ส. ๒. 2552



รูปที่ 3.2 การสร้าง โมเดล โครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช

- ผลการคำนวณหาแรงเนื่องจากภาระน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง

จากการเก็บข้อมูล โครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช พบว่า มีภาระที่กระทำอยู่สองแบบ คือ ภาระแบบกระจาย และภาระแบบตรงจุดเชื่อมต่อ ซึ่งเป็นภาระอันเนื่องมาจากน้ำหนักคนขับ เครื่องยนต์ หม้อน้ำ และน้ำหนักจากตัวถังดังรูปที่ 3.3 ข้อมูลทั้งหมดได้มาจากการเก็บข้อมูลพื้นฐาน การประมาณค่า และการสมมุติฐาน จะได้ขนาดของภาระแต่ละชนิดที่กระทำกับ โครงสร้างดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งสามารถคำนวณหาแรง ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยจะแบ่งเป็น 2 กรณีหลักๆ ได้ดังต่อไปนี้



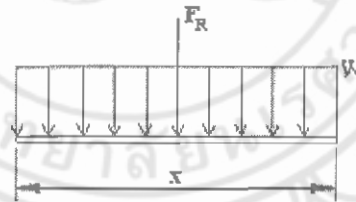
รูปที่ 3.3 ภาระน้ำหนักบน โครงสร้าง

ตารางที่ 3.2 ขนาดของภาระที่กระทำกับโครงสร้าง

ภาระน้ำหนัก	มวล (kg)	แรงโน้มถ่วง (m/s^2)	แรงเนื่องจากภาระ กระทำ (N)
คนขับ	70	9.81	686.70
เครื่องยนต์	62	9.81	608.22
หม้อน้ำ	7	9.81	68.67
ตัวถัง	20	9.81	196.20

- ภาระกระทำแบบกระจาย

ภาระบนโครงสร้างที่กระทำอยู่ในรูปแบบของแรงกระจายดังรูปที่ 3.4 ในการคำนวณหาแรงเนื่องจากภาระที่กระทำต่อชิ้นส่วนโครงสร้าง โดยจะกำหนดให้แรงเป็นแรงกระจายแบบสี่เหลี่ยมและทำการคำนวณ จากผลการคำนวณก็จะกำหนดให้ค่าความความปลอดภัยเป็น 10 เท่าของแรงเนื่องจากภาระน้ำหนัก เพื่อที่จะนำไปกำหนดค่าภาระให้กับโครงสร้างในส่วนของวิเคราะห์โดยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ ซึ่งสามารถแสดงวิธีการคำนวณหาแรงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การกระจายแรงของภาระน้ำหนักบนชิ้นส่วน โครงสร้าง

สมการคำนวณหาแรงกระจาย กรณีที่แรงกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม

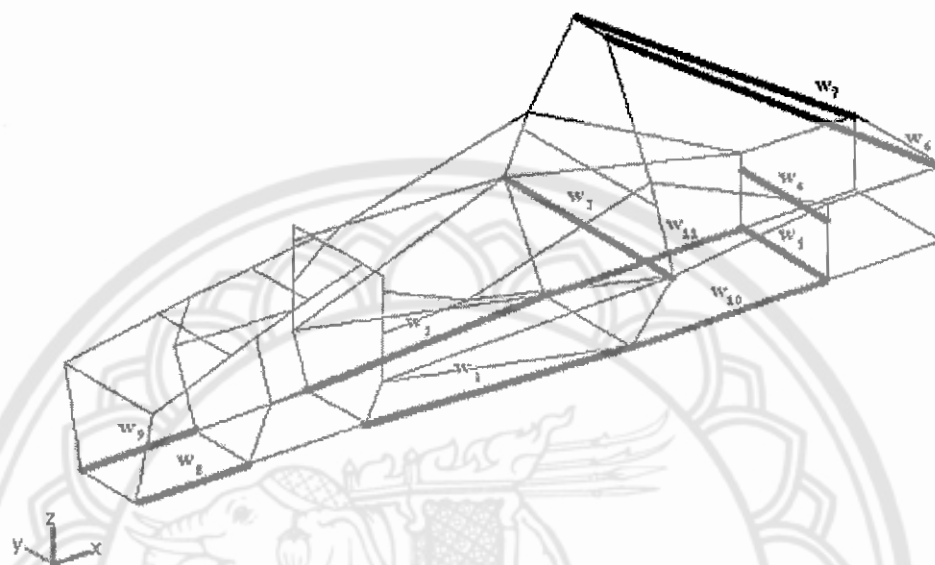
$$F_R = (x)(w) \quad (3.4)$$

เมื่อ F_R คือ แรงลัพธ์ (N)

x คือ ความยาว (m)

w คือ ขนาดของแรงกระจาย (N/m)

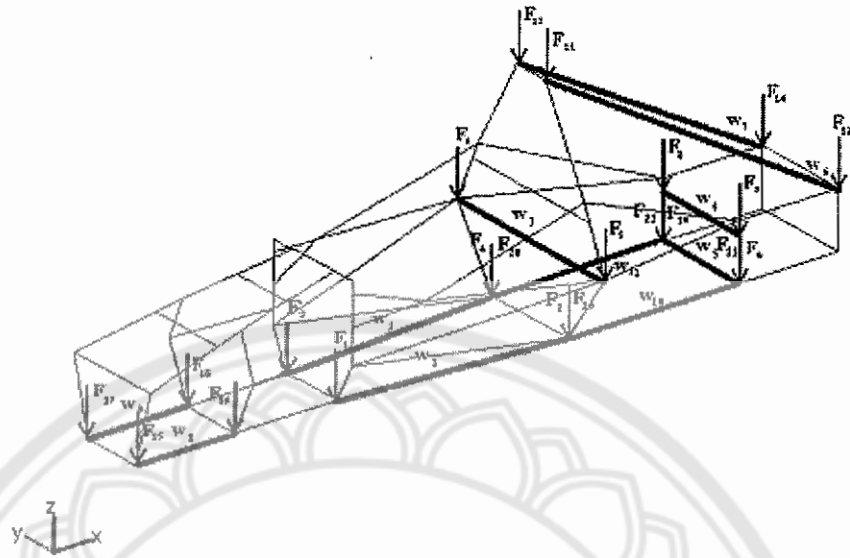
จากสมการหาแรงกระจายแบบสี่เหลี่ยมซึ่งใช้คำนวณหาแรงอันเนื่องมาจากภาระน้ำหนัก
คนขับเครื่องยนต์ หม้อน้ำ และน้ำหนักของตัวถัง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งภาระแบบแรงกระจาย

- w_1, w_2 คือ แรงกระจายเนื่องจากน้ำหนักคนขับ
 w_3, w_4, w_5 คือ แรงกระจายเนื่องจากน้ำหนักเครื่องยนต์
 w_6, w_7 คือ แรงกระจายเนื่องจากน้ำหนักหม้อน้ำ
 w_8, w_9, w_{10}, w_{11} คือ แรงกระจายเนื่องจากน้ำหนักตัวถัง

เนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ ใน Mode 3D-truss จะกำหนดให้แรงที่กระทำกับชิ้นส่วน โครงสร้างเป็น Two-force member ทั้งหมด จึงไม่สามารถคำนวณค่าความเค้นเนื่องจากภาระตัดได้ ดังนั้นจึงทำการแปลงภาระที่กระทำแบบกระจายเป็นภาระที่กระทำบนจุดต่อ ดังแสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แรงกระทำบนจุดที่แปลงมาจากการกระจาย

จากรูปที่ 3.6 สามารถสรุปผลการแปลงภาระที่กระทำแบบกระจายเป็นภาระที่กระทำบนจุดต่อได้ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การแปลงภาระที่กระทำแบบกระจายเป็นภาระที่กระทำบนจุดต่อ

ภาระน้ำหนัก	แรงกระทำบนโครงสร้าง	แรง
คนขับ	w_1	F_1, F_2
	w_2	F_3, F_4
เครื่องยนต์	w_3	F_5, F_6
	w_4	F_7, F_8
	w_5	F_9, F_{10}
หม้อน้ำ	w_6	F_{11}, F_{12}
	w_7	F_{13}, F_{14}
ตัวถัง	w_8	F_{15}, F_{16}
	w_9	F_{17}, F_{18}
	w_{10}	F_{19}, F_{21}
	w_{11}	F_{20}, F_{22}

- ภาระกระทำตรงจุดเชื่อมต่อ

ภาระที่กระทำตรงจุดเชื่อมต่อบนโครงสร้างเป็นภาระอันเนื่องมาจากน้ำหนักของตัวถัง ซึ่ง ได้สมมติให้แรงที่กระทำในแต่ละจุดที่ตัวถังเชื่อมต่อกับ โครงสร้างเท่ากันทั้งหมด 12 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และสามารถคำนวณหาแรงได้จากสูตร

$$F_R = (m)(g) \quad (3.5)$$

$$F_i = \frac{F_R}{12}$$

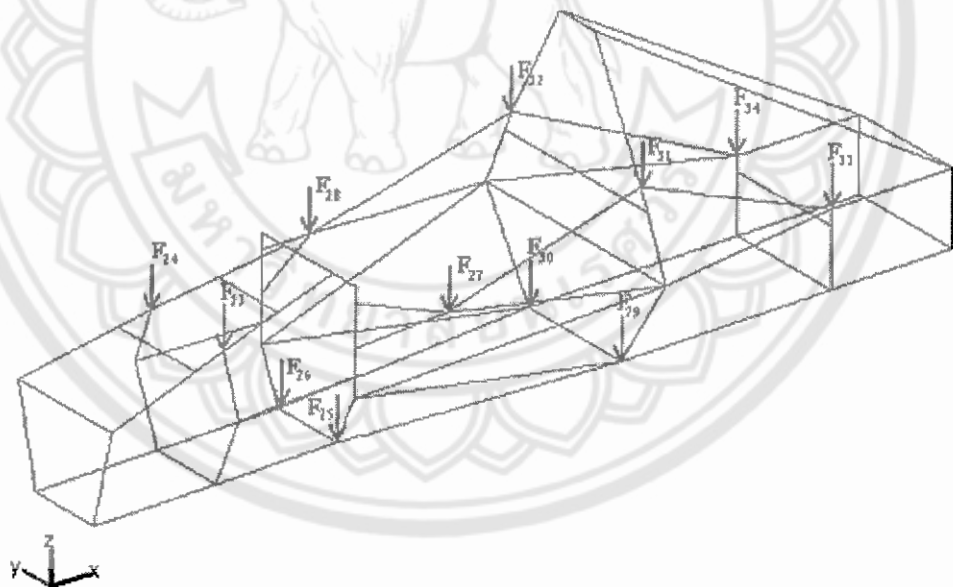
เมื่อ

F_R คือ แรงลัพธ์ (N)

F_i คือ แรงกระทำในแต่ละจุด (N)

m คือ มวลของตัวถัง (kg)

g คือ แรงโน้มถ่วง (m/s^2)



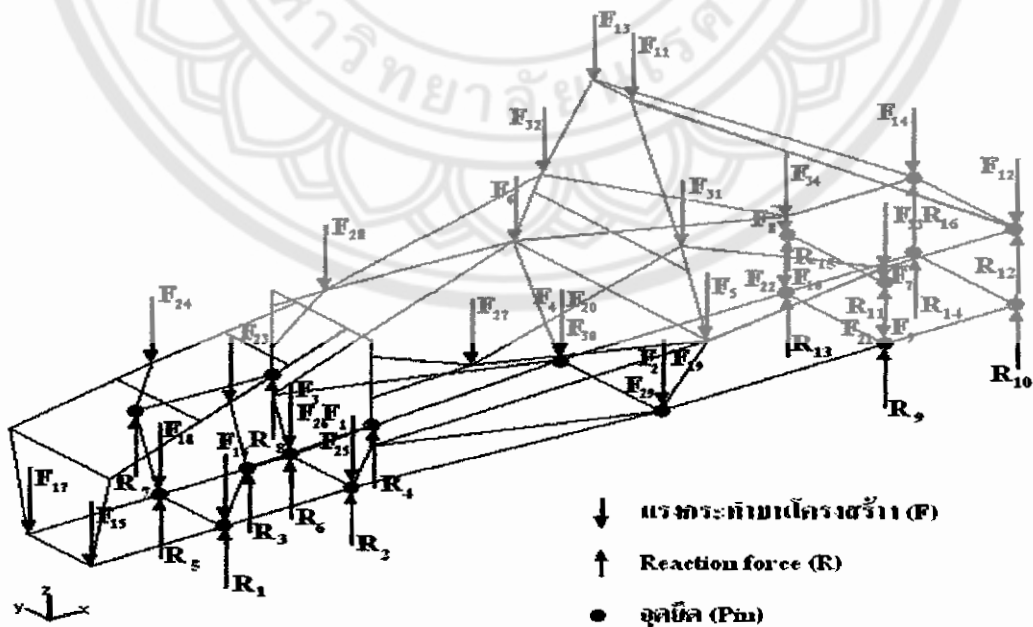
รูปที่ 3.7 ตำแหน่งภาระกระทำแบบจุดเนื่องจากน้ำหนักตัวถัง

ในการคำนวณหาแรงเนื่องจากภาระน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง ผลที่ได้จะนำไปกำหนดภาระ (load) ในส่วนของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ซึ่งสามารถสรุปแรงเนื่องจากภาระที่กระทำต่อโครงสร้างดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ขนาดของแรงที่กระทำบนจุดต่างๆ ของโครงสร้าง

ภาระน้ำหนัก	แรง	ขนาดแรง (N)	จุด
คนขับ	$F_1 = F_3$	1839.38	20, 23
	$F_2 = F_4$	1900.72	34, 37
เครื่องยนต์	$F_5 = F_6$	1013.70	31, 40
	$F_7 = F_8$	1013.70	42, 45
	$F_9 = F_{10}$	1075.01	41, 44
หม้อน้ำ	$F_{11} = F_{12} = F_{13} = F_{14}$	171.68	35, 48, 36, 50
ตัวถัง	$F_{15} = F_{16} = F_{17} = F_{18}$	61.31	2, 9, 3, 10
	$F_{19} = F_{20}$	1900.72	34, 37
	$F_{21} = F_{22}$	1075.01	41, 44
	$F_{23} = F_{24} = F_{25} = \dots = F_{34}$	122.62	8, 11, 20, 23, 29, 30, 34, 37, 33, 38, 43, 46

จากตารางที่ 3.4 สามารถแสดงตำแหน่งที่ภาระกระทำกับ โครงสร้าง ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่
ในรูปผังวัตถุอิสระของ โครงสร้างรถ TSAE (Free Body Diagram: FBD) ได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ผังวัตถุอิสระของโครงสร้างรถ TSAE (Free Body Diagram: FBD)

3.2 การใช้โปรแกรม COMSOL Multiphysics™

เนื่องจากโปรแกรม Comsol Multiphysics™ เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถวิเคราะห์ปัญหาทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ได้ทุกประเภทที่อยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์อนุพันธ์ย่อย จึงได้นำเอาโปรแกรมนี้มาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้นกับตัวโครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช ซึ่งในการวิเคราะห์จะเป็นการวิเคราะห์ แบบ Static Analysis ใน Mode structural Mechanics module 3D truss โดยนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์มาใช้เป็นพื้นฐานในการปรับเปลี่ยนขนาดเหล็กและออกแบบโครงสร้างขึ้นใหม่ ซึ่งมีขั้นตอนหลักๆในการใช้โปรแกรมดังนี้

3.2.1 ขั้นตอน Pre-processing

1. การสร้างโมเดล

ใช้คำสั่ง Draw/line โดยทำการกำหนดค่าพิกัดตาม ภาคผนวก ก ซึ่งสามารถแสดงการกำหนดพิกัดดังรูปที่ 3.9

ตัวอย่าง เช่น จะทำการกำหนดพิกัดของชิ้นส่วนที่ 1 ซึ่งชิ้นนี้มีพิกัดอยู่ที่ (0,0.065,0) - (0,0,0.3031)

วิธีการกำหนด x : 0,0
y : 0.065,0
z : 0,0.3031

Line

Coordinates

x:

y:

z:

Style: Polyline

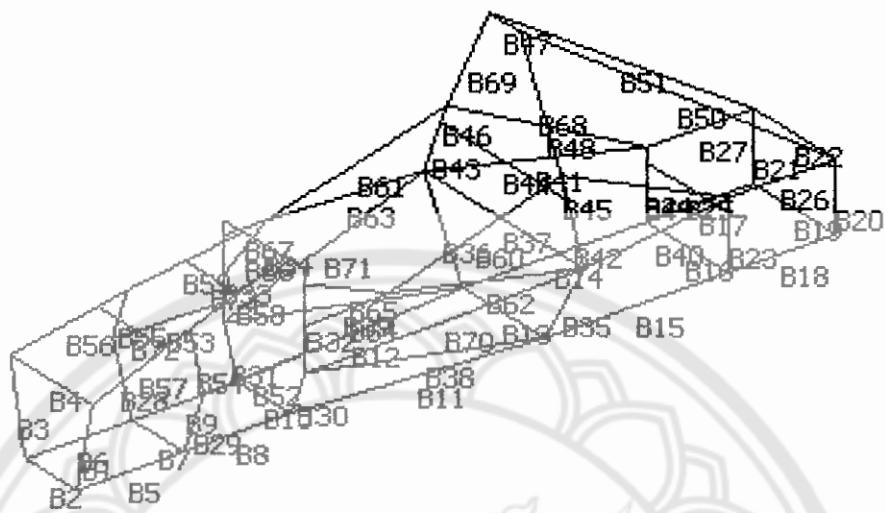
Name: B1

OK Cancel Apply Help

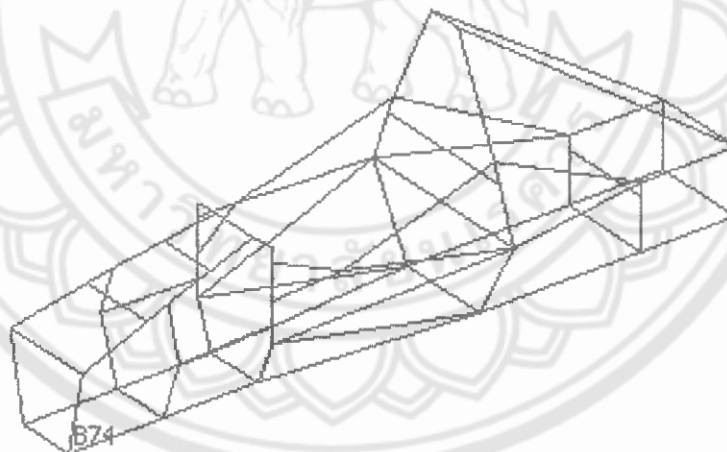
รูปที่ 3.9 การกำหนดพิกัด

2. การกำหนดชิ้นส่วนโครงสร้างให้เชื่อมต่อกัน

ใช้คำสั่ง Draw/Coerce to/Curve เป็นคำสั่งรวมทุกชิ้นส่วนของโครงสร้างให้เชื่อมต่อกัน ในขั้นตอนนี้ก่อนที่จะใช้คำสั่งต้องทำการเลือกทุกชิ้นส่วนของโครงสร้างทั้งหมดเพื่อให้ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเชื่อมกัน โดยทำการกด **Ctrl + A** ซึ่งสามารถแสดงการเลือกชิ้นส่วนทั้งหมดและการใช้คำสั่งดังรูปที่ 3.10 และ 3.11 ตามลำดับ



รูปที่ 3.10 การเลือกชิ้นส่วน โครงสร้างรถ TSAE

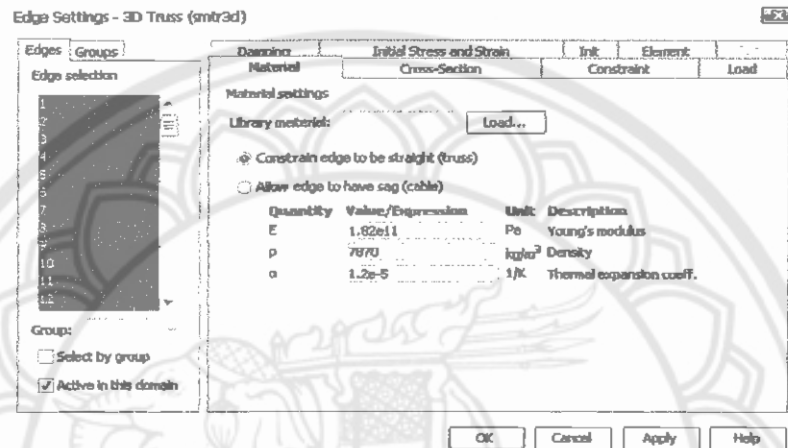


รูปที่ 3.11 ชิ้นส่วน โครงสร้างเชื่อมต่อกันจากการเรียกใช้คำสั่ง

ในขั้นตอนนี้ จะทำให้ชิ้นส่วนของ โครงสร้างเพิ่มขึ้นจากชิ้นส่วนของพิกัดเดิมมี 73 ชิ้น เป็น 87 ชิ้น เนื่องจากโปรแกรมทำการรวมโครงสร้างระหว่างจุดต่อจุด จึงทำให้ชิ้นส่วน โครงสร้างเพิ่มขึ้น

3. กำหนดสมบัติของวัสดุ (Material)

ใช้คำสั่ง Physics/Edge Setting.../Material โดยทำการกำหนดค่าสมบัติของวัสดุ เหล็กท่อกลมค่า $E = 1.82 \times 10^{11} \text{ Pa}$, $\rho = 7870 \text{ kg/m}^3$, $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}$ ซึ่งสามารถแสดงการกำหนดค่าสมบัติของวัสดุได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การกำหนดค่าสมบัติวัสดุ (Material)

4. กำหนดขนาดพื้นที่หน้าตัดของเหล็ก

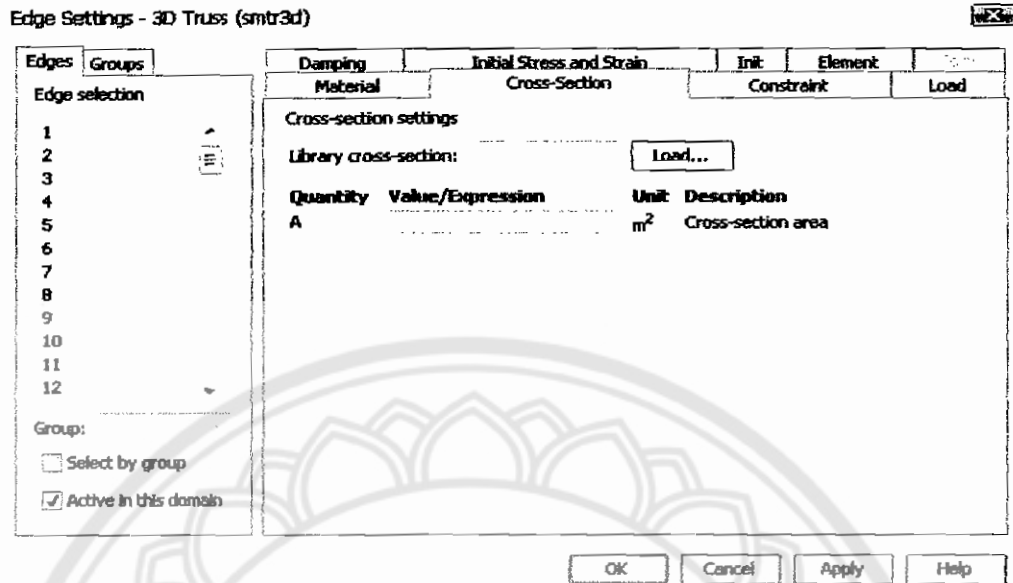
ในขั้นตอนนี้ทำการกำหนดขนาดพื้นที่หน้าตัดสองครั้ง เนื่องจาก โครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกจันทรา ใช้เหล็ก 2 ขนาดทำโครงสร้าง โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ตารางแบ่งกลุ่มตามขนาดพื้นที่หน้าตัด

กลุ่ม โครงสร้าง	ชิ้นส่วน
กลุ่มที่ 1	1-53 , 56 , 57 , 59 , 61-63 , 69 , 71 , 73 , 74 , 75-87
กลุ่มที่ 2	54 , 55 , 58 , 60 , 64-68 , 70 , 72

ข้อมูลในตารางนี้เป็นการแบ่งกลุ่มตามชิ้นส่วนของโครงสร้างหลังจากทำการเชื่อมชิ้นส่วนด้วยโปรแกรมซึ่งมีทั้งหมด 87 ชิ้น

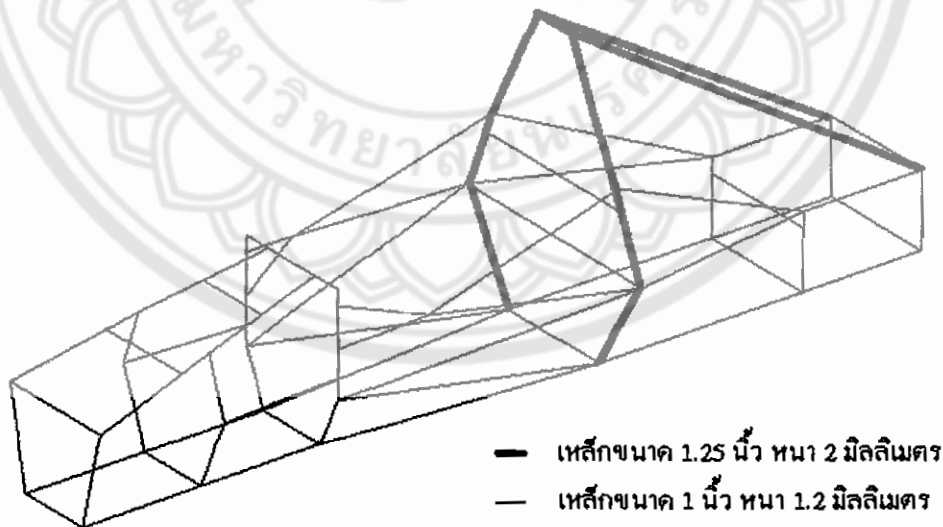
ใช้คำสั่ง Physics/Edge Setting.../Cross-Section โดยมีวิธีการกำหนดขนาดพื้นที่หน้าตัดในโปรแกรมดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การกำหนดขนาดพื้นที่หน้าตัด

ชิ้นส่วนโครงสร้างกลุ่มที่ 1 และ กลุ่ม 2

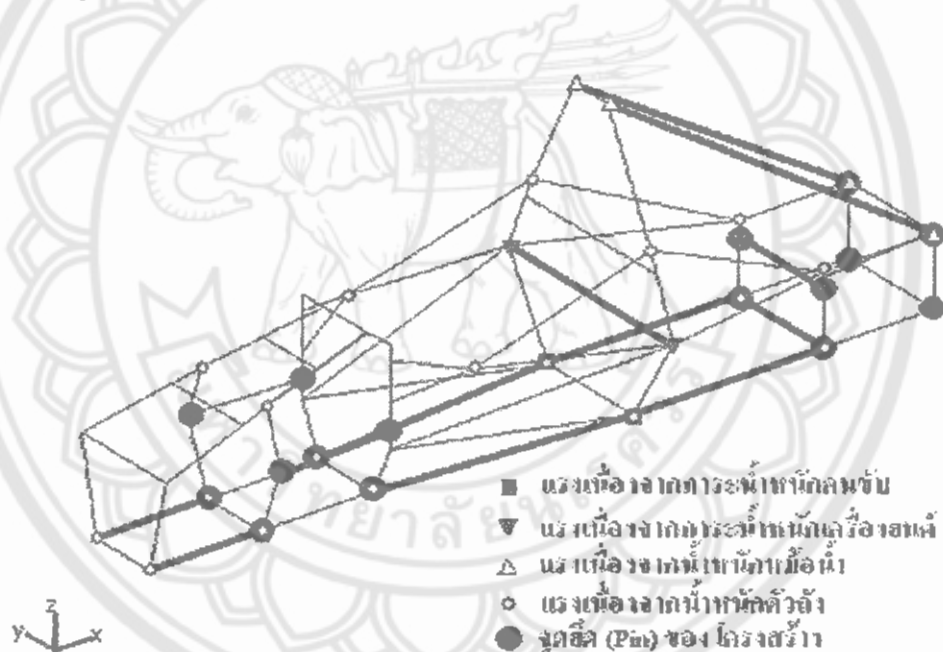
ทำการเลือกชิ้นส่วนตามตาราง และกำหนดค่า $A = 4.68 \times 10^{-5} \text{ m}^2$
 และ $A = 9.66 \times 10^{-5} \text{ m}^2$ ตามลำดับ ซึ่งมีชิ้นส่วนดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ชิ้นส่วน โครงสร้างกลุ่มที่ 1 และกลุ่ม 2

5. กำหนดแรงเนื่องจากภาระน้ำที่กระทำบนโครงสร้าง

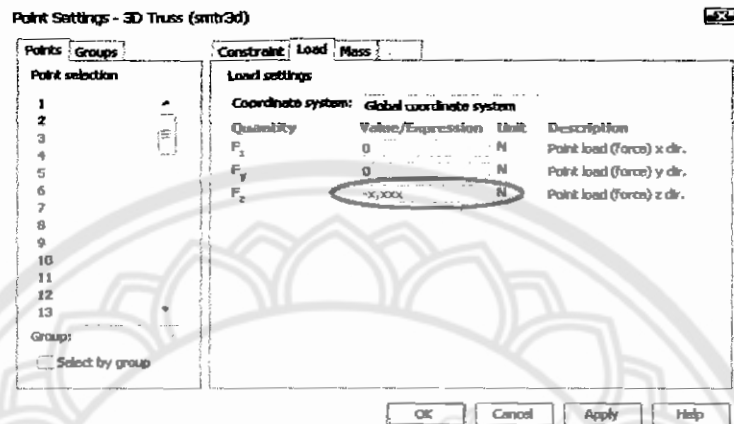
ในขั้นตอนนี้ทำการกำหนดภาระ (Load) จากการวิเคราะห์ลักษณะของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างและวิธีการวิเคราะห์ของโปรแกรม Comsol Multiphysics™ ใน Mode 3D Truss แบบ Static Analysis ซึ่งไม่สามารถกำหนดแรงลงบนชิ้นส่วน (Edge) ของโครงสร้างได้ เนื่องจาก Mode ที่ใช้ไม่สามารถกำหนดแรงลงจุดใดจุดหนึ่งของชิ้นส่วน ดังนั้นในส่วนการกำหนดภาระจึงต้องกำหนดให้แรงกระทำตรงจุดเพียงอย่างเดียว โดยได้ทำการสรุปแรงเนื่องจากภาระน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้าง ณ จุดเชื่อมใดๆ บนโครงสร้างดังตารางที่ 3.1 และขนาดของแรงแต่ละจุดที่ใช้ในการกำหนดดังตารางที่ 3.4 ในส่วนของขนาดแรงที่ใช้กำหนดแต่ละตำแหน่งมีค่าความปลอดภัยเป็น 10 เท่าของแรงเนื่องจากภาระที่กระทำบนโครงสร้าง และสามารถแสดงตำแหน่งของแรง จุดยึด ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แรงเนื่องจากภาระน้ำหนักที่กระทำแต่ละตำแหน่ง และจุดยึด

สามารถทำการเลือกจุดที่มีแรงกระทำแต่ละตำแหน่งดังรูปที่ 3.15 หรือทำการเลือกตามจุดเชื่อมดังตารางที่ 3.4 จากการวิเคราะห์ลักษณะแรงที่กระทำต่อ โครงสร้าง และศึกษาเกี่ยวกับการใช้โปรแกรมช่วยในวิเคราะห์ ซึ่งได้กล่าวข้างต้น โดยสมมติให้แรงกระทำต่อโครงสร้างกระทำแบบจุดทั้งหมด ซึ่งมีวิธีการเรียกใช้คำสั่งเพื่อกำหนดแรงกระทำที่จุดเชื่อมของ โครงสร้าง ได้ดังนี้

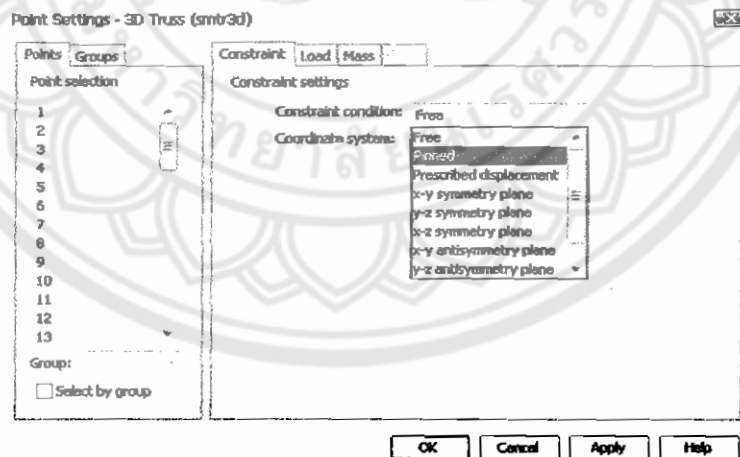
ใช้คำสั่ง Physics/Point Setting/Load ซึ่งทำการกำหนดคั่งรูปที่ 3.16 โดยแรงที่ใช้กำหนดในแต่ละจุดแสดงในตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.16 การกำหนดแรง (Load) ที่กระทำตรงจุดเชื่อม

6. กำหนดจุดยึดของโครงสร้าง

ใช้คำสั่ง Physics/Point Setting/Constraint โครงสร้างมีจุดยึด 8 จุดคั่งรูปที่ 3.15 เมื่อทำการเลือกจุดยึดใน โปรแกรมซึ่งตรงกับจุดที่ 7, 9, 10, 12, 16, 20, 21, 25, 41, 42, 44, 45, 47, 48, 49, 50 โดยมีวิธีการกำหนดคั่งรูปที่ 3.17

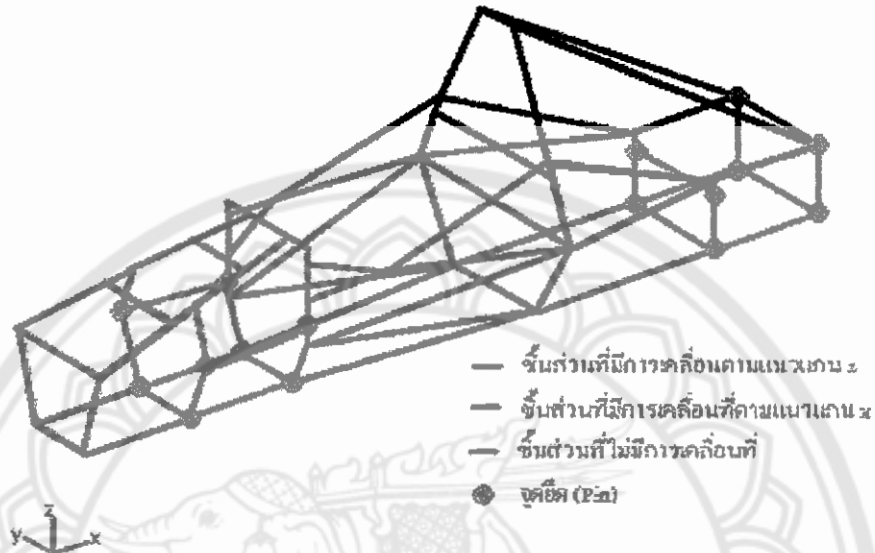


รูปที่ 3.17 การกำหนดจุดยึด (Pin) ของโครงสร้าง

7. กำหนดการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนโครงสร้าง

ในขั้นตอนนี้แบ่งการเคลื่อนที่ออกเป็น 2 กลุ่ม เนื่องจากแรงที่กระทำบนโครงสร้างกระทำในแนวแกน z ดังนั้นชิ้นส่วนของโครงสร้างจะมีการเคลื่อนที่ตามแนวแกน x กับ

ตามแนวแกน z และชั้นส่วนที่ไม่มีมีการเคลื่อนที่ในแนวแกนใดๆ เนื่องจากพิกัดต้นและปลายของชั้นส่วนเป็นจุดยึด ดังรูปที่ 3.18 โดยสามารถกำหนดการเคลื่อนที่ได้ดังตารางที่ 3.6



รูปที่ 3.18 การเคลื่อนที่ของชั้นส่วน

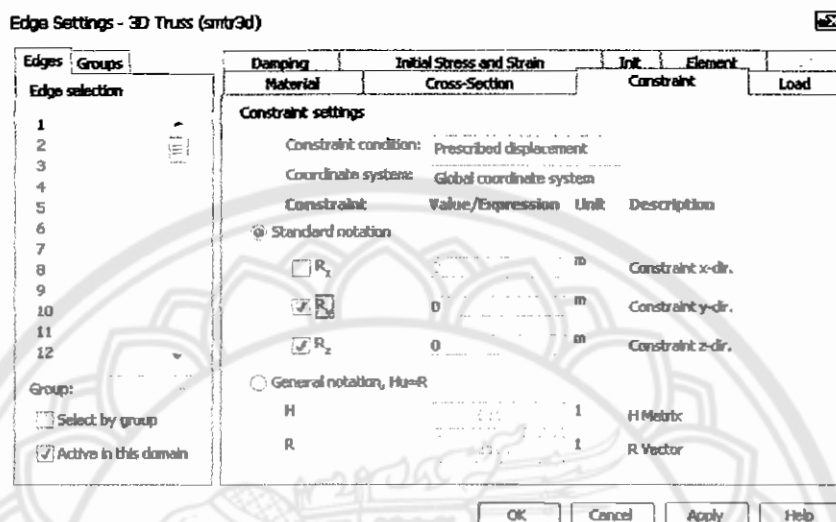
ตารางที่ 3.6 กำหนดการเคลื่อนที่ของชั้นส่วน โครงสร้างแต่ละกลุ่มตามแนวแกน x, y, z

ชั้นส่วน	ตำแหน่งชั้นส่วน โครงสร้าง	การเคลื่อนที่ตามแนวแกน		
		R_x	R_y	R_z
กลุ่มที่ 1 เคลื่อนที่ตาม แนวแกน x	12, 15, 20, 21, 23, 24, 25, 30, 31, 33, 35, 38, 39, 45, 46, 48, 77, 82	-	0	0
กลุ่มที่ 2 เคลื่อนที่ตาม แนวแกน z	1, 2, 3, ..., 11, 28, 29, 32, 34, 37, 41, 43, 44, 47, 49, 50, 51, ..., 73	0	0	-

การวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนที่แต่ละชั้นส่วนที่ได้ทำการสรุปในตารางที่ 3.6 ได้จากการวิเคราะห์ตามทิศทาง การเคลื่อนที่ของแรงที่กระทำแต่ละจุดบนโครงสร้าง และผลกระทบที่ชั้นส่วน ของโครงสร้างรับอิทธิพลจากแรง และจุดยึดของโครงสร้าง เนื่องจากชั้นส่วนทุกชั้นของโครงสร้าง เชื่อมต่อกันอยู่ในลักษณะโครงถักแบบ 3 มิติ ในส่วนของการกำหนดการเคลื่อนที่ตามตารางที่ 3.6 มีวิธีการเรียกใช้คำสั่งและกำหนดการเคลื่อนที่ดังต่อไปนี้

ใช้คำสั่ง Physics/Edge Setting.../Constraint และทำการเลือกในช่องของ constraint

condition เป็น Prescribed displacement โดยกำหนดการเคลื่อนที่ตามแนวแกนดังตารางที่ 3.6 ซึ่งมีวิธีการกำหนดดังรูปที่ 3.19

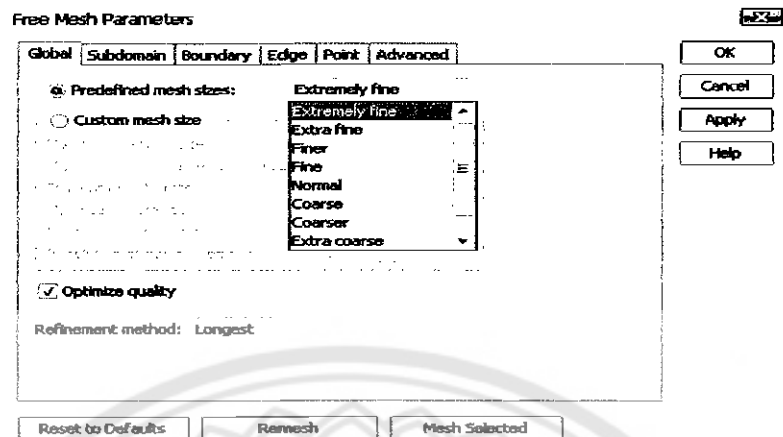


รูปที่ 3.19 การกำหนดการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน โครงสร้าง

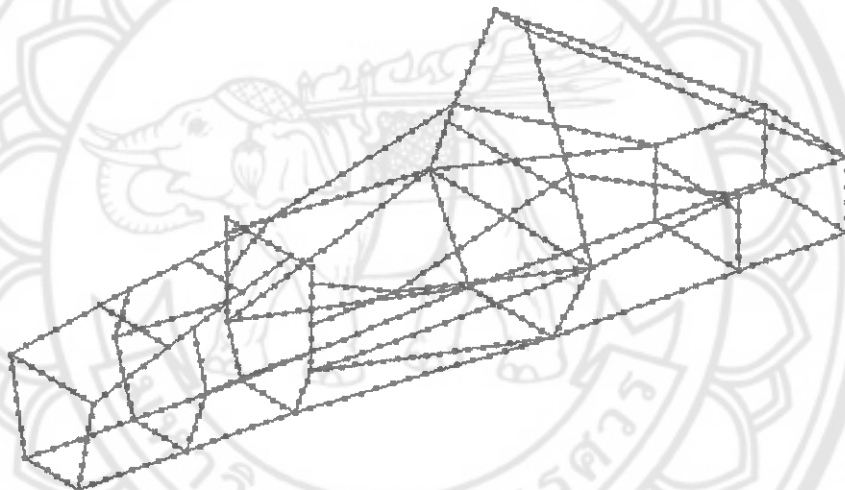
8. เรียกใช้คำสั่ง Mesh

ในการวิเคราะห์โครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกขิงราช โดยทำการ Mesh แบบ Extremely fine ซึ่งเป็นการ Mesh แบบละเอียด ซึ่งสามารถกำหนด Mesh แบบ Extremely fine ดังต่อไปนี้

ใช้คำสั่ง Mesh/Free Mesh Parameters... โดยทำการเลือก Extremely fine ในช่อง Predefined mesh sizes จากนั้นสั่งให้โปรแกรมทำการ Mesh เลือก Remesh/Apply/ok ซึ่งมีวิธีการกำหนดดังรูปที่ 3.20 และได้ผลจากการ Mesh ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.20 การกำหนด Mesh แบบ Extremely fine



รูปที่ 3.21 ผลที่ได้จากการ Mesh แบบ Extremely fine

3.2.2 ขั้นตอน Analysis

- เรียกใช้คำสั่ง Solve

เป็นขั้นตอนการเรียกใช้คำสั่งเพื่อกำหนดให้โปรแกรมทำการวิเคราะห์ ซึ่งในการ Solve มีรายละเอียดดังนี้

Analysis: Static

Solver: Stationary

Linear System Solver: Direct (SPOOLES)

Matrix Symmetry: Automatic

Linearity: Automatic

Relative tolerance: 1.0E-6

Maximum number of iterations: 25

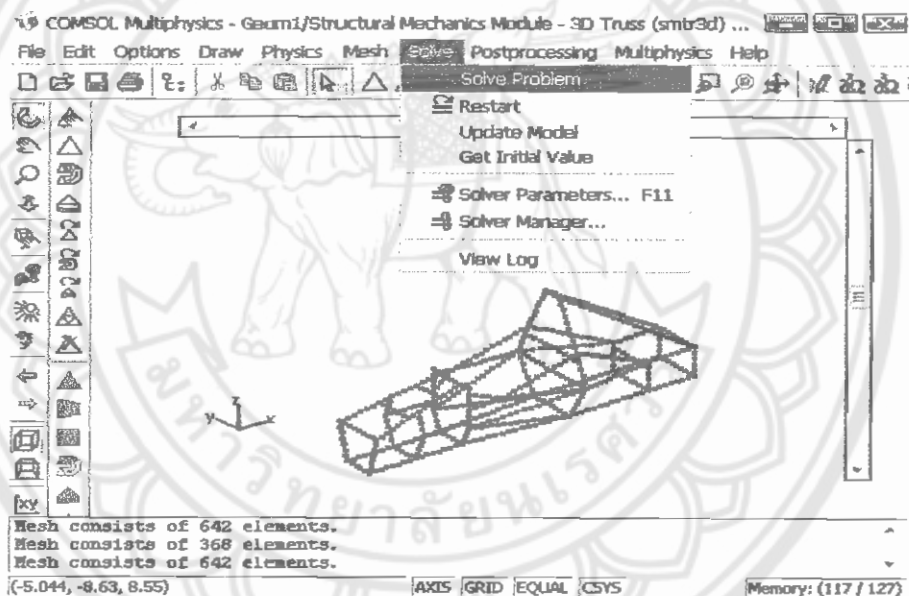
Constraint handing method: Elimination

Null-Space function: Automatic

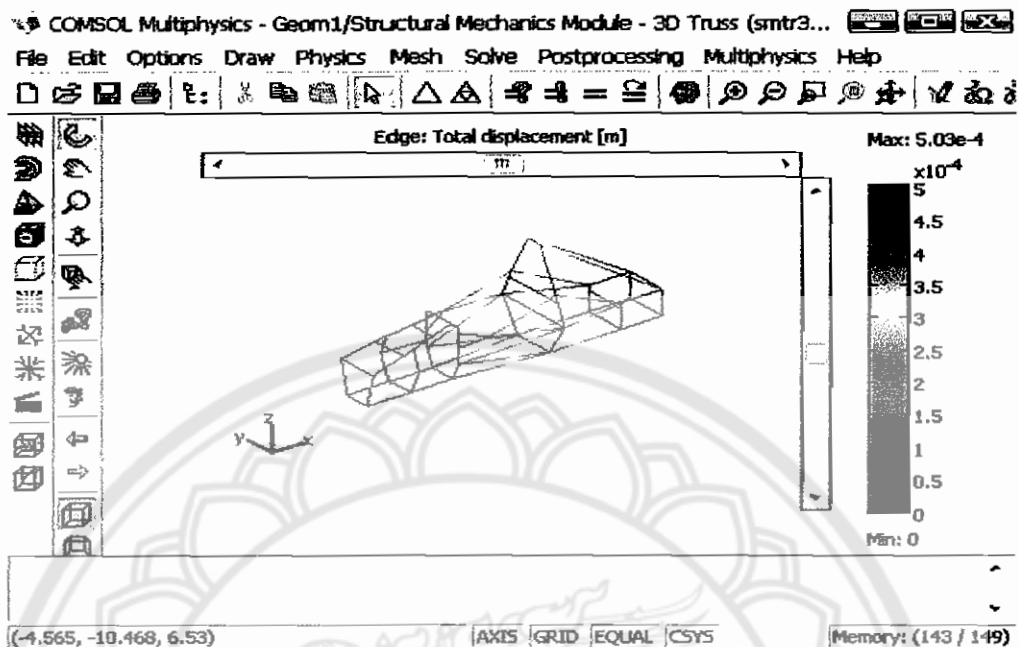
Assembly block size: 5000

โดยมีการเรียกใช้คำสั่งเพื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างดังนี้

ใช้คำสั่ง Solve/Solve Problem สามารถแสดงวิธีการใช้คำสั่งและได้ผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 3.22 และ 3.23 ตามลำดับ



รูปที่ 3.22 วิธีการเรียกใช้คำสั่ง Solve



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™

3.2.3 ขั้นตอน Post-processing

ในส่วนของขั้นตอน Post-processing เป็นการกำหนดให้โปรแกรมแสดงผลการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถแสดงผลได้หลายรูปแบบ แต่ในการวิเคราะห์โครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การรับน้ำหนักของโครงสร้าง โดยทำการวิเคราะห์หาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้าง ซึ่งนำค่าความเค้นสูงสุด (σ_{max}) ความเค้นต่ำสุด (σ_{min}) ภาระสูงสุด (P_{max}) และภาระต่ำสุด (P_{min}) จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ ไปทำการวิเคราะห์ ดังนั้นมีการแสดงผลที่จำเป็นในการวิเคราะห์โครงสร้างรถ TSAE ดังนี้

- กำหนดให้โปรแกรมวิเคราะห์หา Axial force และ Axial stress

ใช้คำสั่ง Postprocessing/Plot Parameters... ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังแสดงในรูปที่ 3.24, 3.25 และ 3.26

Plot Parameters



Principal	Streamline	Particle Tracing	Max/Min	Deform	Animate
General	Slice	Isosurface	Subdomain	Boundary	Edge

Plot type **1**

Slice

Isosurface

Subdomain

Boundary

Edge **2**

Arrow

Principal

Streamline

Particle tracing

Max/min marker **3**

Deformed shape

Geometry edges

Solution to use

Rounded surface

Units

Solution at angle (phase): 0 degrees

Phase:

Geometries to use

Geom1

Element selection

Element refinement: Auto

Plot in: Main axes Keep current plot

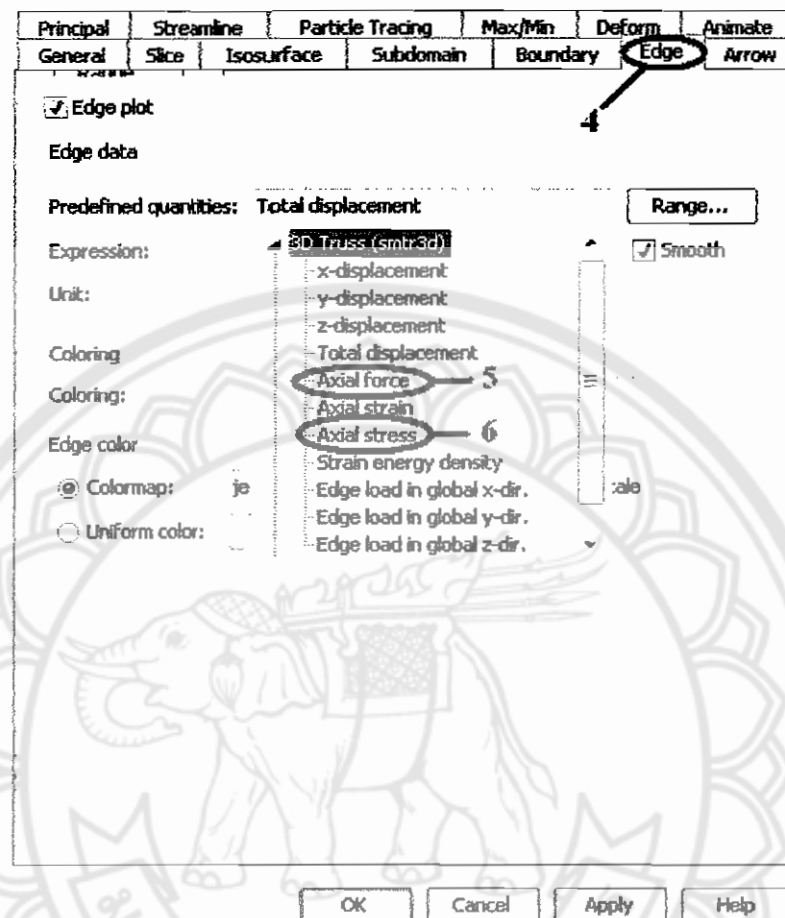
Smoothing... Title... Make rough plots

OK Cancel Apply Help

รูปที่ 3.24 การเลือกรูปแบบที่ใช้ในการแสดงผล

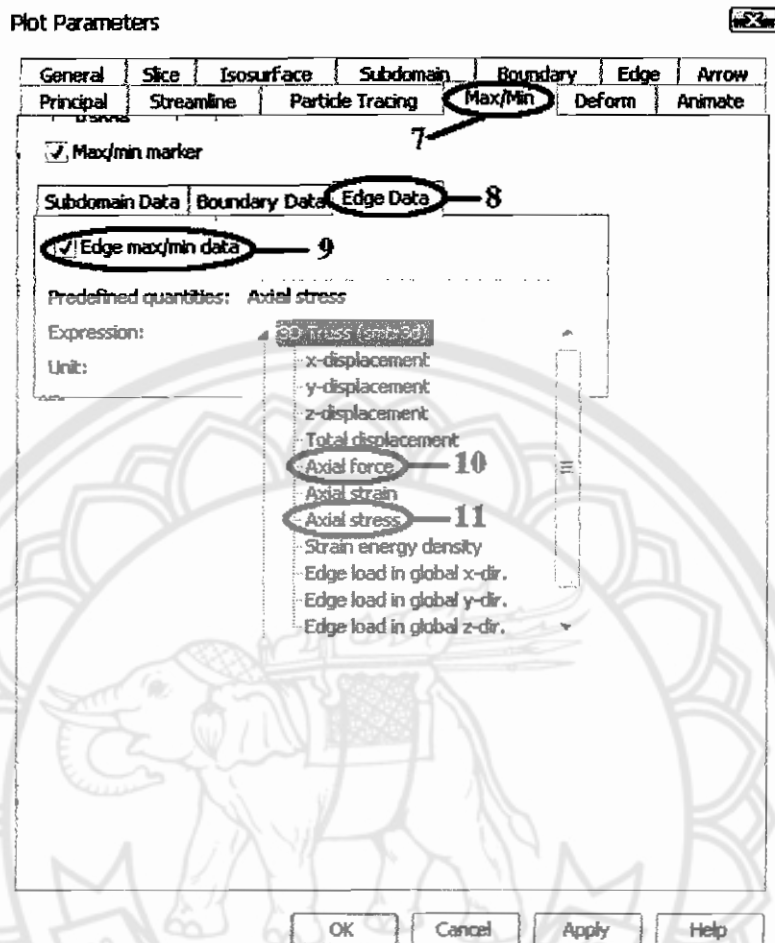
จากรูปที่ 3.24 เป็นการตั้งค่าเพื่อให้โปรแกรมแสดงค่า Max/Min โดยเลือกใช้คำสั่ง General / Edge / Max/min marker

Plot Parameters



รูปที่ 3.25 การกำหนดให้โปรแกรมทำการวิเคราะห์และแสดงผล

จากรูปที่ 3.25 เป็นการเลือกให้โปรแกรมทำการวิเคราะห์ โดยไปที่แถบคำสั่ง Edge และเลือกค่าที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งได้เลือกทำการวิเคราะห์ 2 แบบ คือ Axial force และ Axial stress

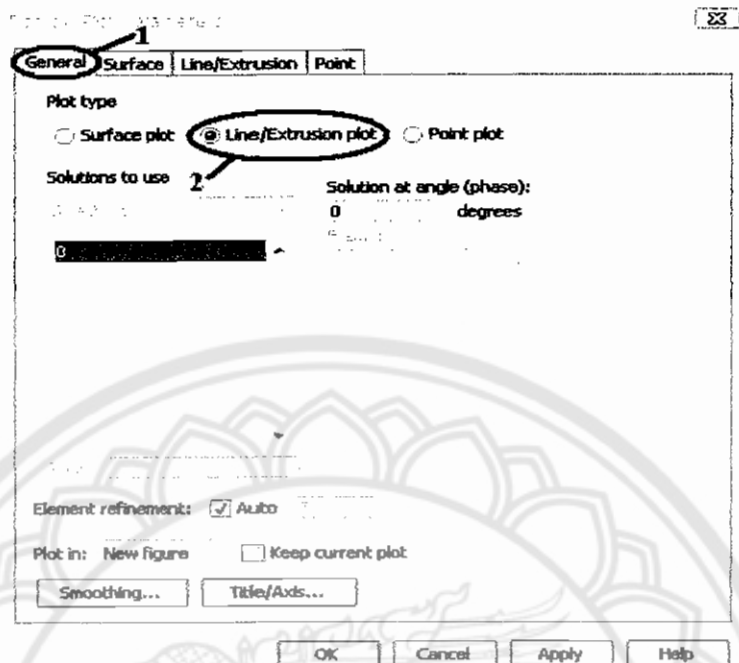


รูปที่ 3.26 การกำหนดให้โปรแกรมแสดงค่า Max/min บนโครงสร้าง

จากรูป 3.26 เป็นการกำหนดให้โปรแกรมทำการแสดงผลโดยไปที่แถบคำสั่ง Max/min และเลือกค่าที่ต้องการแสดงผล โดยได้เลือกทำการแสดงค่า Axial force และ Axial stress

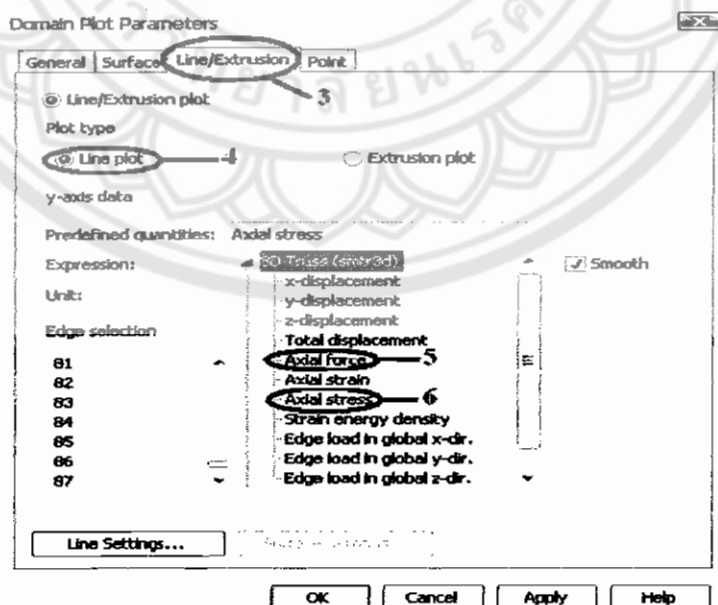
- การกำหนดให้โปรแกรมแสดง Axial force และ Axial stress แต่ละชิ้นส่วน

ใช้คำสั่ง Postprocessing /Domain Plot Parameters... มีวิธีการกำหนดตามขั้นตอนที่ 1-6 ดังแสดงในรูปที่ 3.27 และ 3.28



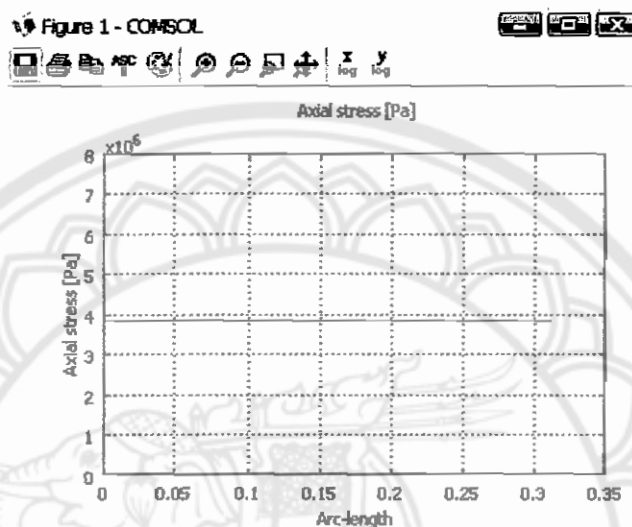
รูปที่ 3.27 การตั้งค่าที่ใช้ในการแสดงผล

จากรูปที่ 3.27 เป็นการตั้งค่าเพื่อทำการแสดงผลให้อยู่ในรูปของกราฟ โดยใช้คำสั่งจากแถบ General และเลือก Line/Extrusion plot




รูปที่ 3.28 การกำหนดให้โปรแกรมแสดงค่า Axial force และ Axial stress แต่ละชิ้นส่วน

จากรูปที่ 3.28 เป็นการเลือกชิ้นส่วนที่ต้องการแสดงผลในรูปของกราฟ โดยใช้คำสั่ง Line/Extrusion /line plot/ และเลือกชิ้นส่วนที่ต้องการแสดงผลเป็นกราฟ ซึ่งได้ทำการเลือกให้แสดงค่า Axial force, Axial stress และสามารถแสดงผลในรูปแบบอื่นๆ ได้



รูปที่ 3.29 ตัวอย่างการแสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นส่วน โครงสร้างชิ้นที่ 1 แบบ Axial stress

ในการแสดงผลสามารถเลือกแสดงผลเป็นตัวเลขได้ โดยมีวิธีการกำหนดดังนี้

จากกราฟแสดงผลดังรูปที่ 3.29 โดยทำการเลือก  ซึ่งเป็นการบันทึกผล เพื่อแสดงให้อยู่ในรูปของตัวเลข

3.3 การวิเคราะห์ความเสียหายของโครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกบิน ราช

เนื่องจากการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างจะพิจารณาอยู่ 2 กรณี คือการเสียหายเนื่องจากการวิบัติ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุได้รับแรงกดหรือแรงดึงตามแนวแกน และอีกกรณีคือ การเสียหายเนื่องจากการโก่งงอที่มักเกิดจากการที่วัสดุได้รับแรงกดตามแนวแกน ดังนั้นในการวิเคราะห์ความเสียหายของโครงสร้างรถ TSAE จึงต้องทำการวิเคราะห์ทั้ง 2 กรณีคือ กรณีแรกเป็นการวิเคราะห์ความเสียหายเนื่องจากการวิบัติ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์หาความแข็งแรงครากที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างเมื่อมีการรับภาระน้ำหนักกระทำโดยจะทำการเปรียบเทียบค่าระหว่าง ความแข็งแรงคราก (σ_y) ความเค้นสูงสุด (σ_{max}) ความเค้นวิกฤติ (σ_c) และในกรณีที่สองจะเป็นการ

วิเคราะห์ความเสียหายจากการโก่งงอเนื่องจากชิ้นส่วนโครงสร้างได้รับแรงกดตามแนวแกน ซึ่งเป็น การวิเคราะห์หาอัตราส่วนความบอบบาง $\left(\frac{L}{r}\right)$ และภาระที่กระทำตามแนวแกน (P) ในการ วิเคราะห์โครงสร้างเพื่อหาตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพในการรับภาระของโครงสร้าง และมีการคำนวณหา ค่าความปลอดภัยจาก

$$\text{ค่าความปลอดภัย} = \left(\frac{\sigma_y}{\sigma_{\max}}\right) \quad (3.6)$$

ในการวิเคราะห์ความเสียหายของทั้ง 2 กรณีที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สามารถทำการวิเคราะห์ ได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 การวิเคราะห์ความเสียหายเนื่องจากการวิบัติ

โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าความเค้นสูงสุด (σ_{\max}) จากการวิเคราะห์ด้วย โปรแกรมกับความแข็งแรงครากของวัสดุ (σ_y) จากการทดสอบ เพื่อบ่งบอกถึงการเกิดความเสียหาย ของโครงสร้าง ดังนี้

เมื่อ $(\sigma_{\max}) \leq (\sigma_y)$ แสดงว่า ภาระที่กระทำต่อโครงสร้างไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย
 $(\sigma_{\max}) > (\sigma_y)$ แสดงว่า ภาระที่กระทำเกินความสามารถในการรับน้ำหนักของ โครงสร้าง ทำให้เกิดความเสียหาย

3.3.2 การวิเคราะห์ความเสียหายจากการโก่งงอ

ในการวิเคราะห์หาการโก่งงอโดยทำการคำนวณหาภาระวิกฤติ และอัตราส่วน ความบอบบาง จากพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่รับแรงกด ซึ่งนำผลของชิ้นส่วนที่รับแรงกดจากการ วิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics™ มาทำการวิเคราะห์โดยทำการเปรียบเทียบ อัตราส่วนความบอบบางของวัสดุที่คำนวณจากผลการทดสอบสมบัติของวัสดุ กับอัตราส่วนความ บอบบางของชิ้นส่วน โครงสร้างที่รับแรงกด และเปรียบเทียบภาระวิกฤติกับภาระสูงสุดที่เกิดขึ้นกับ ชิ้นส่วนที่รับแรงกด ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} \quad (3.7)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (3.8)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (3.9)$$

$$I = \left(\frac{\pi}{64}\right)(d_o^4 - d_i^4) \quad (3.10)$$

$$A = \left(\frac{\pi}{4}\right)(d_o^2 - d_i^2) \quad (3.11)$$

σ_{cr} คือ ความเค้นวิกฤติ

P_{cr} คือ ภาระวิกฤติ

L คือ ความยาวของชิ้นส่วนที่รับแรงกด

E คือ ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity)

$\frac{L}{r}$ คือ อัตราส่วนความบอบบาง

เมื่อได้ผลการคำนวณ ในขั้นตอนการเปรียบเทียบสามารถสรุปได้ดังนี้

เมื่อ $\left(\frac{L}{r}\right)_{\min} \leq \frac{L}{r}$ แสดงว่าชิ้นส่วนไม่เกิดการโก่งงอ

$\left(\frac{L}{r}\right)_{\min} > \frac{L}{r}$ แสดงว่าชิ้นส่วนมีการโก่งงอ จนเกิดการเสียรูปแต่ยังไม่เกิด

การแตกหัก หรือการร้าว

$P_{cr} \geq P$ แสดงว่าชิ้นส่วนสามารถรับแรงกดได้โดยชิ้นส่วนไม่เกิดการโก่งงอ

$P_{cr} < P$ แสดงว่าชิ้นส่วนไม่สามารถรับแรงกดได้ ทำให้ชิ้นส่วนเกิดการโก่ง

งอ และเสียรูปแต่ยังไม่เกิดการแตกหัก หรือการร้าว

3.4 การทดลองปรับเปลี่ยนขนาดและออกแบบโครงสร้างใหม่ของรถ TSAE Student

Formula รุ่น ลูกชินราช

ในส่วนของการปรับเปลี่ยนขนาดเหล็กและออกแบบโครงสร้างใหม่ ตามจุดประสงค์ โดยทำการวิเคราะห์โครงสร้างรถ TSAE เพื่อนำผลสรุปมาใช้เป็นต้นแบบในการเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่ได้จากการปรับเปลี่ยนขนาดของเหล็ก ซึ่งมีการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดตามเบอร์ของเหล็กที่ตกลงที่มีขายตามท้องตลาด และทำการวิเคราะห์โครงสร้างที่ได้ปรับเปลี่ยนขนาดในหลายรูปแบบ เพื่อต้องการหาค่าความแข็งแรง ความปลอดภัย น้ำหนักและค่าใช้จ่ายในการทำโครงสร้างแต่ละแบบ เพื่อให้ได้โครงสร้างใหม่ของรถ TSAE ที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด สามารถ

นำไปใช้ได้จริง ประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำโครงสร้าง และให้ได้โครงสร้างที่มีน้ำหนักเบา ในการปรับเปลี่ยนขนาด และการคำนวณหาน้ำหนัก ราคา โดยใช้ข้อมูลของเหล็กที่ตกลงดำจากร้านขายเหล็กทั่วไปตามท้องตลาด ซึ่งได้ข้อมูลดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ข้อมูลเหล็กที่ตกลงดำแต่ละขนาด (ความยาวเส้นละ 6 เมตร)

ขนาดเหล็ก (in)	หนา (mm)	หน้าตัด (m ²)	น้ำหนัก (kg/เส้น)	ราคา (บาท/เส้น)
1	1.2	4.67×10^{-5}	4.90	146
	1.8	6.92×10^{-5}	7.60	205
3/4	1.2	3.48×10^{-5}	4.30	126
	1.8	5.13×10^{-5}	6.10	205
1/2	1.2	2.28×10^{-5}	3.30	97
	1.8	3.34×10^{-5}	4.40	126
1(1/4)	1.2	5.87×10^{-5}	6.60	200
	1.8	8.72×10^{-5}	10.00	275

การปรับเปลี่ยนขนาดเหล็กและออกแบบโครงสร้างใหม่ของรถ TSAE โดยทำการลดขนาด ซึ่งมีการทดลองปรับเปลี่ยนดังนี้

- การทดลองปรับเปลี่ยนขนาดแบบที่ 1

จากข้อมูลเหล็กที่ตกลงดำดังตารางที่ 3.7 ทำการเลือกขนาดเหล็กที่ใช้ในการปรับเปลี่ยน ซึ่งเลือกจากน้ำหนัก ราคา และเหล็กที่มีขนาดพอดีกับการทำโครงสร้าง ในการปรับเปลี่ยนแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ ลดขนาดเหล็กโครงสร้างทุกชิ้นส่วนให้มีขนาดเท่ากัน โดยทำการลดตามขนาดของเหล็กที่ตกลงดำ ซึ่งมีการทดลองลดขนาดเหล็กโครงสร้างทั้งหมด 2 ครั้ง มีการปรับเปลี่ยนขนาดในส่วนของการปรับครั้งที่ 1 - 2 และ ทำการลดขนาดเหล็กโครงสร้างโดยลดตามสัดส่วนพื้นที่หน้าตัดของเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้าง TSAE (กันดั้มแบบ) ซึ่งเป็นการปรับเปลี่ยนในส่วนของการปรับเปลี่ยนครั้งที่ 3 โดยทำการปรับเปลี่ยนด้วยวิธีการลดขนาดเหล็กดังตารางที่ 3.8 ในการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดทั้งสองรูปแบบนี้เพื่อนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ที่จะไปเป็นข้อมูลให้กับการออกแบบโครงสร้างใหม่ของรถ TSAE

- การทดลองปรับเปลี่ยนขนาดแบบที่ 2

เป็นการออกแบบโครงสร้างใหม่ของรถ TSAE ในส่วนนี้ทำการปรับเปลี่ยนขนาดตามความเหมาะสม โดยนำผลการทดลองครั้งที่ 1 - 3 ทำการวิเคราะห์ เพื่อทำการออกแบบ

โครงสร้างใหม่ของรถ TSAE ในการออกแบบโดยจะทำการตัดชิ้นส่วนบางชิ้นออก และทำการเพิ่มขนาดหรือลดขนาดชิ้นส่วน ซึ่งในการตัดบางชิ้นส่วนออก การเพิ่มขนาด การลดขนาด จะมีการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อชิ้นส่วนมีความเสียหายน้อยมาก ไม่มีการโก่งงอ หรืออยู่ในเกณฑ์ที่ชิ้นส่วนยอมรับได้ ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นการลดขนาด และการตัดชิ้นส่วนโครงสร้างออก ถ้าชิ้นส่วนเกิดการเสียหาย มีการโก่งงอหรือชิ้นส่วนมีการรับภาระมากเกิดความเสียหายใกล้เคียงจุดวิกฤติโดยชิ้นส่วนยังอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ ในส่วนนี้จะเป็นการเพิ่มขนาดของเหล็ก โครงสร้าง

หลังจากทำการทดลองปรับเปลี่ยนและได้ผลของโครงสร้างใหม่ของรถ TSAE นำเอาค่าความเสียหาย น้ำหนัก และราคา นำมาทำการเปรียบเทียบแต่ละการทดลองอีกครั้ง เพื่อสรุปผลในการเลือกใช้โครงสร้างที่จะนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบโครงสร้างรถ Formula ให้กับนิสิตรุ่นต่อไป

ตารางที่ 3.7 การปรับเปลี่ยนขนาดและออกแบบ โครงสร้างใหม่ของรถ TSAE

การปรับเปลี่ยน		ขนาดเหล็ก		ชิ้นส่วนโครงสร้าง
		ขนาด (in)	หนา (mm)	
โครงสร้าง TSAE (คันต้นแบบ)		1.25	1.8	1-53 , 56 , 57 , 59 , 61-63 , 69 , 71 , 73-87
		1	1.2	54-55 , 58 , 60 , 64-68 , 70 , 72
แบบที่ 1	ครั้งที่ 1	1.25	1.2	1 - 87
	ครั้งที่ 2	1	1.2	1 - 87
	ครั้งที่ 3	1.25	1.2	1-53 , 56 , 57 , 59 , 61-63 , 69 , 71 , 73-87
		1	1.2	54-55 , 58 , 60 , 64-68 , 70 , 72
แบบที่ 2	โครงสร้างใหม่ ของ TSAE	1	1.2	1-27 , 29-31 , 33-39 , 43-52 , 54-57 , 59-72
		1.25	1.2	28 , 32 , 40 , 41 , 42 , 53 , 58

3.5 การจัดทำปฏิญานិพนธ์

จัดทำปฏิญานิพนธ์ตามรูปแบบคู่มือการจัดทำสารนิพนธ์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ฉบับ พ.ศ.