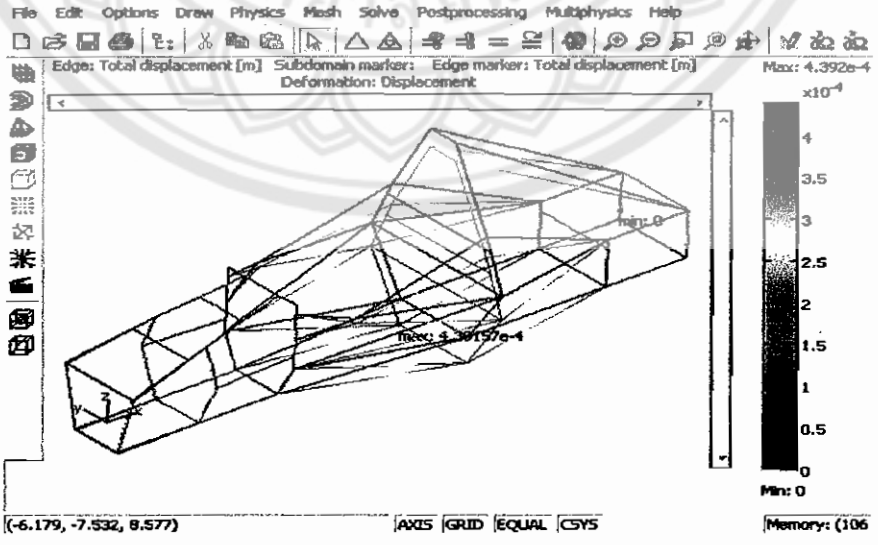
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานในบทที่ 3 ซึ่งได้ทำการเก็บข้อมูลและแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับเนื้อหาของการวิเคราะห์โครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช และออกแบบโครงสร้างใหม่ของรถ TSAE โดยอันดับต่อไปภายในบทนี้ได้แสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างที่ได้จากโปรแกรม COMSOL Multiphysics™ รวมถึงผลการวิเคราะห์ความเสียหายซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

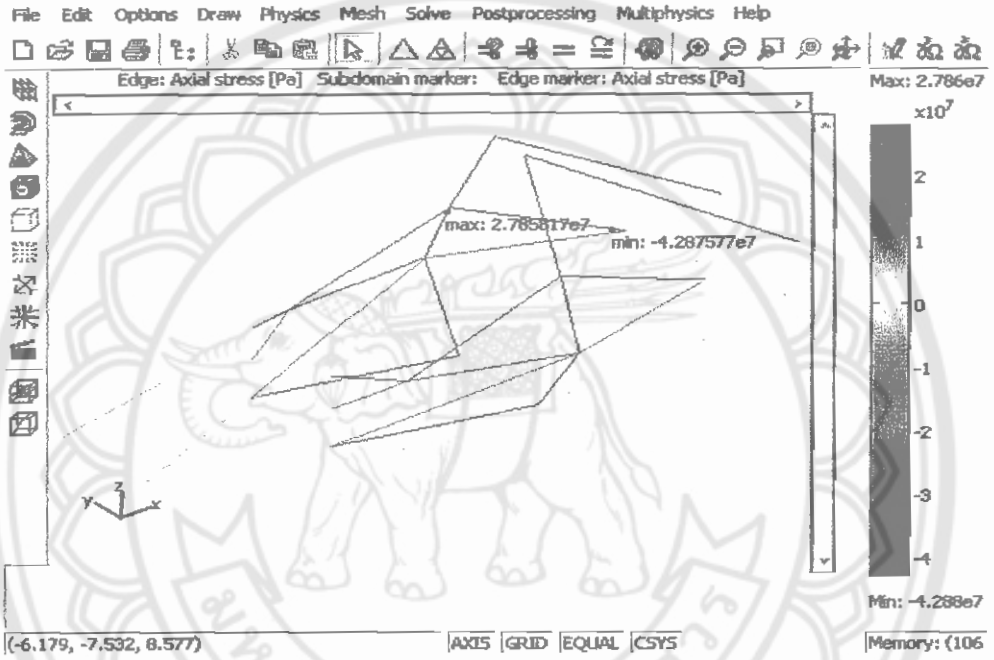
4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง

จากการนำเอาโปรแกรม COMSOL Multiphysics™ มาวิเคราะห์โครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช ได้ค่าความเค้นสูงสุด (σ_{max}) และภาระสูงสุด (P_{max}) ที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนของโครงสร้าง ซึ่งได้เลือกแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics™ แบบผลการวิเคราะห์การกระจัดรวม (Total displacement) ความเค้นตามแนวแกน (Axial stress) และ ภาระตามแนวแกน (Axial force) ดังรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การกระจัดรวม (Total displacement)

จากรูปที่ 4.1 เป็นผลการวิเคราะห์การกระจัดรวม (Total displacement) แสดงการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง ซึ่งมีระยะการกระจัดสูงสุดเท่ากับ 4.39×10^{-4} เมตร ซึ่งเกิดขึ้นที่จุด 34 เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่มีแรงเนื่องจากภาระกระทำสูงสุด และเป็นตำแหน่งกระทำตรงจุดกึ่งกลางระหว่างจุดยึด และจุดที่ไม่มีการเคลื่อนที่เลย เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนที่ 87 ซึ่งไม่มีการกระจัดใดๆ เนื่องจากชิ้นส่วนติดกับจุดยึด

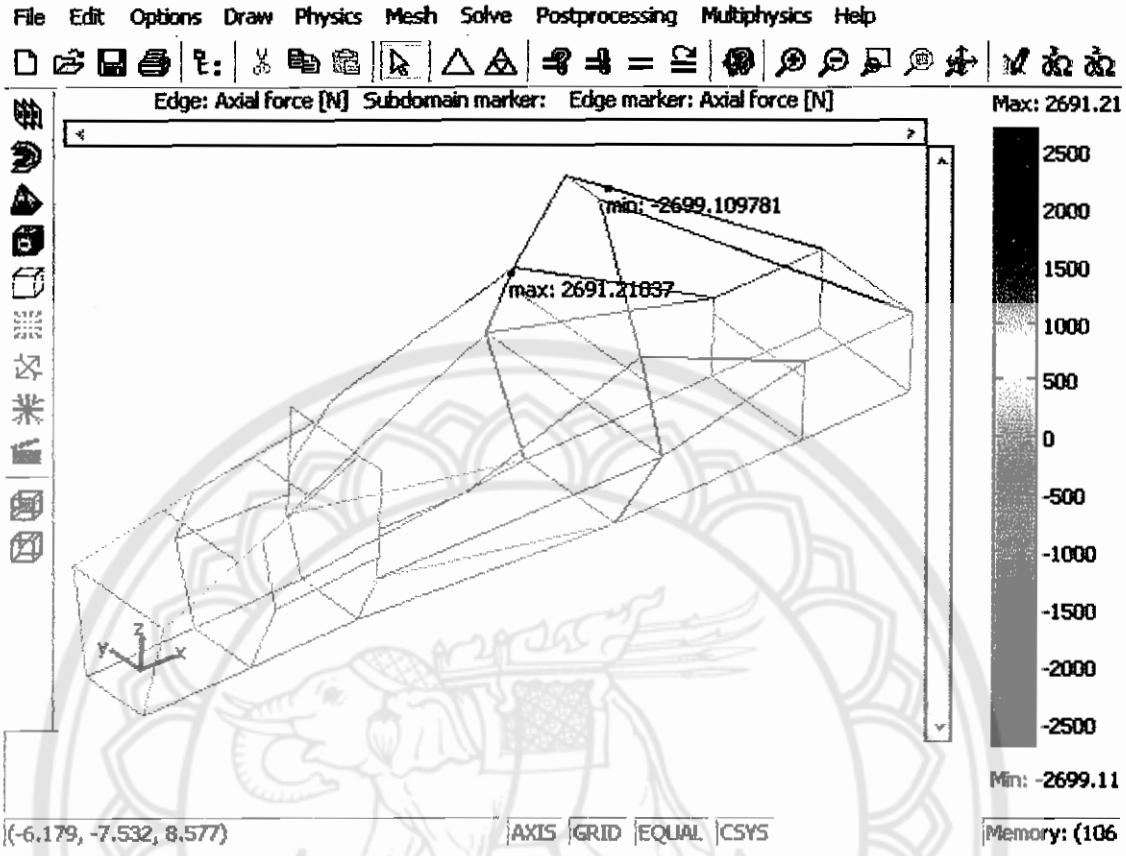


รูปที่4.2 ผลการวิเคราะห์ความเค้นตามแนวแกน (Axial stress)

จากรูปที่ 4.2 เป็นผลการวิเคราะห์ความเค้นตามแนวแกน (Axial stress) แสดงถึงความสามารถในการรับภาระน้ำหนักของโครงสร้าง โดยทำการเลือกแสดงตำแหน่งที่เกิดความเค้นดึงสูงสุด ($|\sigma_{max}|$) และค่าความเค้นกดสูงสุด ($|\sigma_{min}|$) ซึ่งความเค้นดึงสูงสุด ($|\sigma_{max}|$) มีค่าเท่ากับ 2.79 $\times10^7(N/m^2)$ หรือ 27.90 MPa เกิดขึ้นในชิ้นส่วนที่ 71 เนื่องจากโครงสร้างรับภาระตามแนวแกนของจึงทำให้ชิ้นส่วนที่ 71 มีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง จึงทำให้เกิดความเค้นดึงขึ้น ในส่วนของค่าความเค้นกดสูงสุด ($|\sigma_{min}|$) มีค่าเท่ากับ 4.29×10^7 (N/m^2) หรือ 42.90 MPa เกิดขึ้นในชิ้นส่วนที่ 70 เนื่องจากโครงสร้างรับภาระตามแนวแกนของแรงจึงทำให้มีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นส่วนที่ 70 โดยที่ชิ้นส่วนโครงสร้างจะถูกอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง จึงทำให้เกิดความเค้นกดขึ้นในชิ้นส่วนโครงสร้าง และชิ้นส่วนบางมีค่าเป็น 0 ซึ่งเกิดขึ้นกับตำแหน่งชิ้นส่วนที่มีจุดใดจุดหนึ่งติดกับจุดยึด

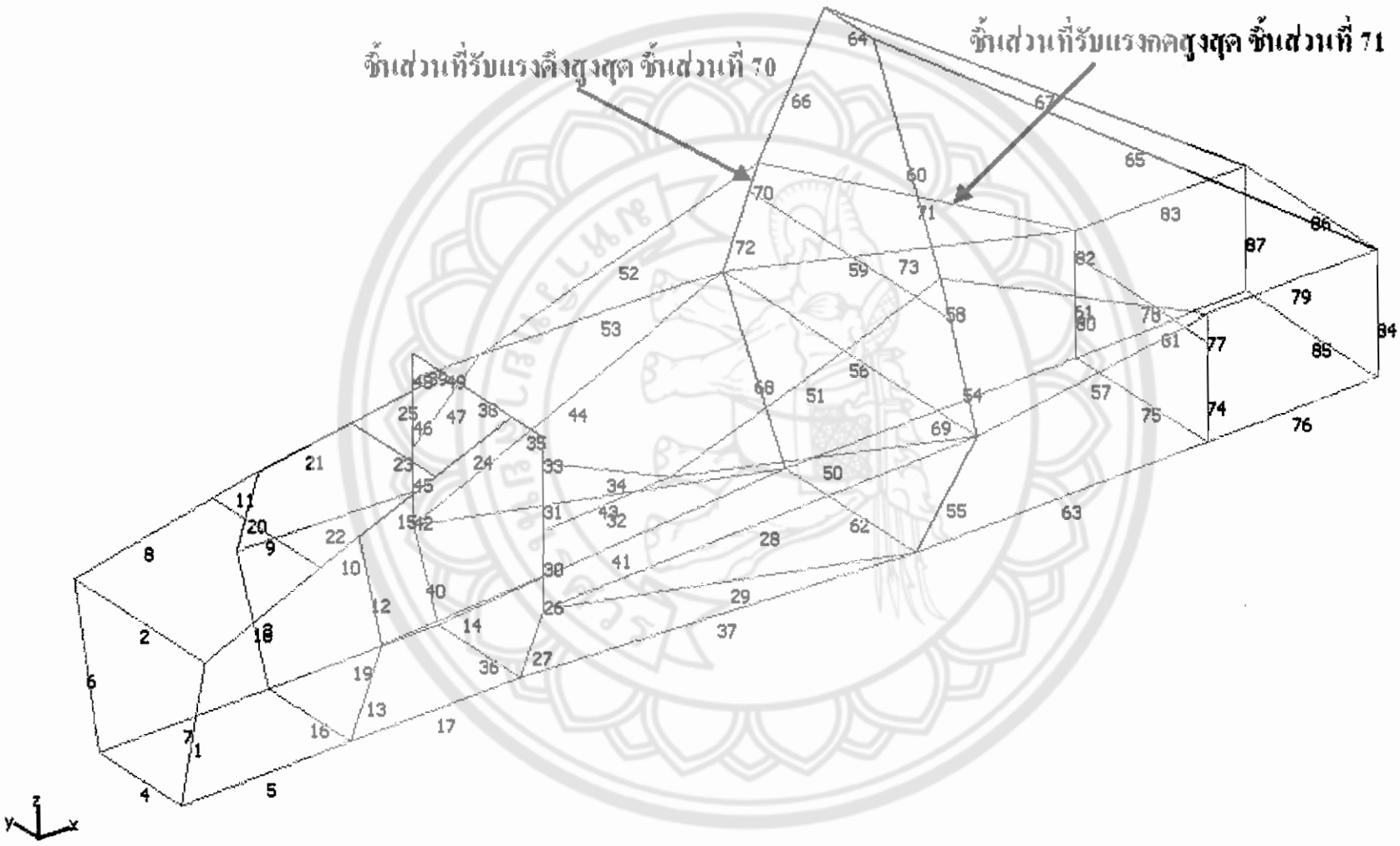
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยความเค้นสูงสุด $(|\sigma_{max}|)$ แต่ละชิ้นส่วน

ชิ้นส่วนที่	ความเค้นเฉลี่ยแต่ละชิ้นส่วน (Pa)	ชิ้นส่วนที่ (ต่อ)	ความเค้นเฉลี่ยแต่ละชิ้นส่วน (Pa)
1	1.34×10^{6}	51	-2.33×10^{7}
2	-5.72×10^{-27}	52	-2.35×10^{7}
3	4.74×10^{6}	53	1.39×10^{7}
4	0	54	2.77×10^{7}
5	0	55	2.08×10^{7}
6	134	56	-3.18×10^{-23}
7	0	57	-1.05×10^{7}
8	4.74×10^{6}	58	2.78×10^{7}
9	5.64×10^{-23}	59	7.27×10^{-23}
10	4.74×10^{6}	60	1.61×10^{7}
11	4.74×10^{6}	61	-4.28×10^{7}
12-27	0	62-63	0
28	-1.55×10^{7}	64	-9.42×10^{-23}
29	2.08×10^{7}	65	-2.79×10^{7}
30-31	0	66	1.61×10^{7}
32	-2.08×10^{7}	67	-2.79×10^{7}
33	0	68	2.08×10^{7}
34	1.83×10^{7}	69	0
35-42	0	70	2.78×10^{7}
43	2.08×10^{7}	71	-4.28×10^{7}
44	-1.55×10^{7}	72	2.77×10^{7}
45-46	0	73	-1.05×10^{7}
47	-2.08×10^{7}	74-87	0
48	0		
49	1.83×10^{7}		
50	1.39×10^{7}		

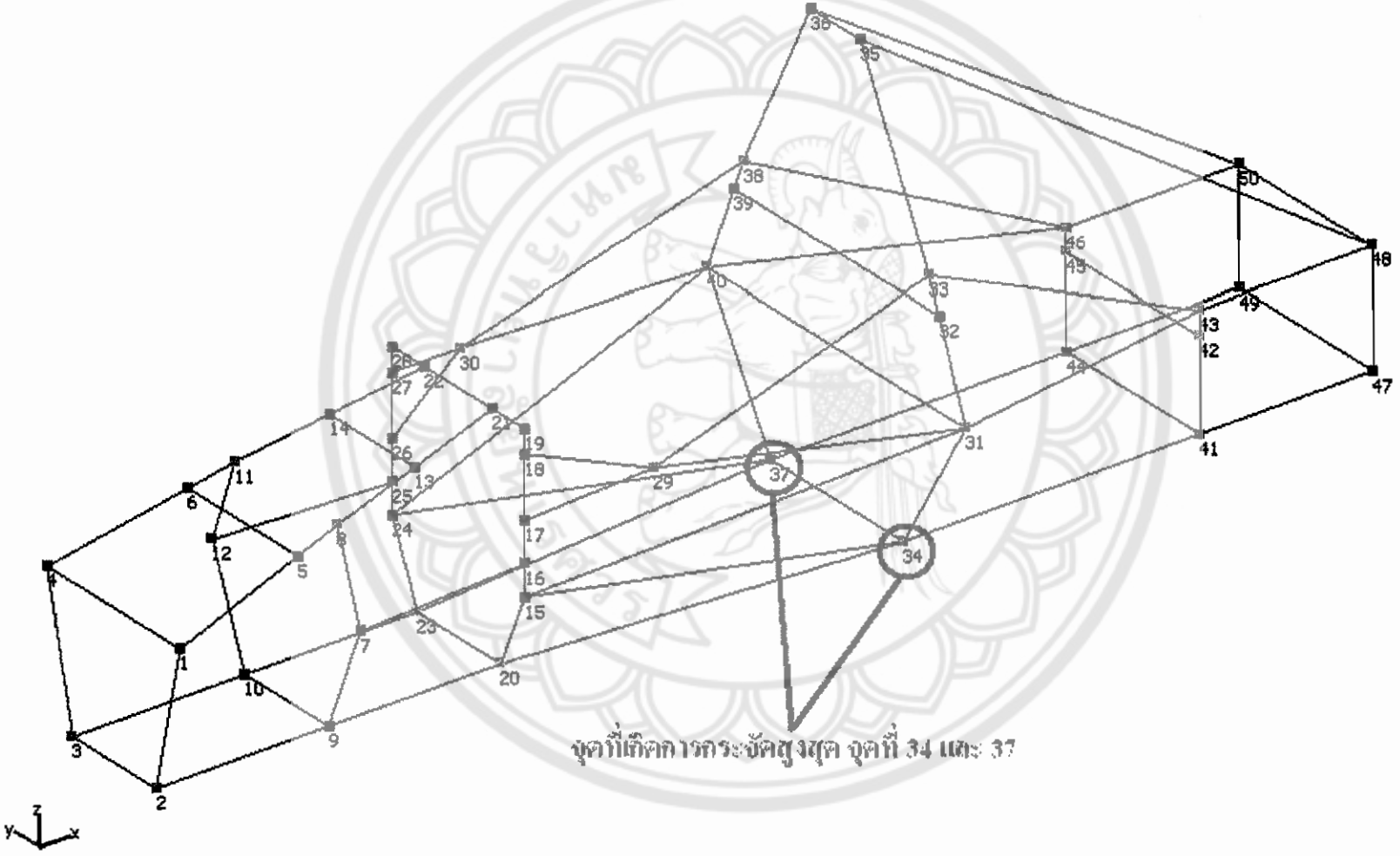


รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ภาระตามแนวแกน (Axial force)

เนื่องจากการวิเคราะห์ความเสียหายจากการโก่งงอเกิดจากภาระกดที่กระทำตามแนวแกนชิ้นส่วน ดังนั้นจากรูปที่ 4.3 เป็นผลการวิเคราะห์ภาระตามแนวแกน (Axial force) แสดงให้เห็นตำแหน่งที่รับภาระดึงสูงสุด ($|P_{max}|$) และตำแหน่งภาระกดสูงสุด ($|P_{min}|$)ซึ่งภาระดึงสูงสุด ($|P_{max}|$) มีค่าเท่ากับ 2.69 kN เกิดขึ้นตำแหน่งชิ้นส่วนที่ 70 เนื่องจากชิ้นส่วนที่ 70 ได้รับแรงที่กระทำตามแนวแกนที่เป็นแรงดึงทำให้เกิดภาระดึงขึ้นในชิ้นส่วน ในส่วนของตำแหน่งภาระกดสูงสุด ($|P_{min}|$) มีค่าเท่ากับ 2.7 kN เกิดขึ้นตำแหน่งชิ้นส่วนที่ 67 ในทำนองเดียวกันเนื่องจากชิ้นส่วนได้รับแรงกดที่กระทำตามแนวแกนจึงทำให้เกิดภาระกดขึ้นในชิ้นส่วน



รูปที่ 4.4 ตำแหน่งชิ้นส่วนของโครงสร้าง



รูปที่ 4.5 ตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของโครงสร้าง

4.2 ผลการวิเคราะห์ความเสียหายของโครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช

ในการวิเคราะห์ความเสียหาย ซึ่งวิเคราะห์โดยทำการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงคราก (σ_y) ที่ได้จากการทดสอบสมบัติของเหล็กซึ่งมีค่าเท่ากับ σ_y = 9.11×10^2 MPa และได้ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น E = 1.82×10^5 MPa ค่าความเค้นสูงสุด (σ_{max}) ค่าความเค้นวิกฤติ (P_{cr}) เทียบกับภาระที่กระทำกับชิ้นส่วนที่รับแรงกด และการเปรียบเทียบอัตราส่วนความบอบบางน้อยสุดกับอัตราส่วนความบอบบางจากพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่รับแรงกด และได้ทำการคำนวณหาค่าความปลอดภัย เพื่อที่จะบ่งชี้ถึงขีดความสามารถในการรับภาระของโครงสร้าง ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าการโก่งงอและทำการสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ความเสียหายเนื่องจากการวิบัติ

ความเค้นดึงสูงสุด $(|\sigma_{max}|)$ = 2.79×10^7 MPa

ความเค้นกดสูงสุด $(|\sigma_{min}|)$ = 4.29×10^7 MPa

$(\sigma_{max})<(\sigma_y)$ แสดงว่าโครงสร้างรถ TSAE สามารถรับภาระอันเนื่องมาจากน้ำหนักที่กระทำต่อโครงสร้างได้ โดยไม่เกิดความเสียหาย

$$\text{ค่าความปลอดภัยจากการวิบัติ}(S.F)=\frac{\sigma_y}{\sigma_{max}}=\frac{(9.11\times10^7)}{(4.29\times10^7)}=21.24$$

4.2.2 การวิเคราะห์ความเสียหายเนื่องจากการโก่งงอ

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างรถ TSAE ด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics™ พบว่าชิ้นส่วนที่เกิดความเค้นกดสูงสุด $(|\sigma_{min}|)$ คือ ชิ้นที่ 71 มีขนาด 1 นิ้ว หนา 1.2 มิลลิเมตร ยาว 0.68 เมตร ดังนั้นสามารถหาค่าความเสียที่เกิดจากการโก่งงอได้ดังนี้

จากผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

ภาระดึงสูงสุด $(|P_{max}|)$ = +2.69 kN หรือ 2.69 kN (ดึง)

ภาระกดสูงสุด $(|P_{min}|)$ = -2.70 kN หรือ 2.70 kN (กด)

ความเค้นดึงสูงสุด $(|\sigma_{max}|)$ = $+2.79\times10^7$ N/m^2 หรือ 2.79×10^7 N/m^2 (ดึง)

ความเค้นกดสูงสุด $(|\sigma_{min}|)$ = -4.29×10^7 N/m^2 หรือ 4.29×10^7 N/m^2 (กด)

หาอัตราส่วนความบอบบางน้อยที่สุด $\left(\frac{L}{r}\right)_{\min}$

จาก $\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$; กำหนดให้ $\sigma_{cr} = \sigma_y$

จะได้ $\frac{L}{r} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{cr}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_y}}$

ดังนั้น $\left(\frac{L}{r}\right)_{\min} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_y}} = \sqrt{\frac{\left(\pi^2\right)\left(1.82\times10^{11}\right)}{\left(9.11\times10^{8}\right)}} = 44.40$

ทำการตรวจสอบอัตราส่วนความบอบบางจากพื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วนที่รับแรงกด

$$A = \left(\frac{\pi}{4}\right)\left(d_o^2 - d_i^2\right) = 4.68\times10^{-5}\ m^2$$

$$I = \left(\frac{\pi}{64}\right)\left(d_0^4 - d_i^4\right) = \left(\frac{\pi}{64}\right)\left(0.0254^4 - 0.0242^4\right) = 3.60\times10^{-5}\ m^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = 8.77\times10^{-3}\ m$$

ดังนั้น $\frac{L}{r} = \frac{0.68}{8.77\times10^{-3}} = 77.54$

จากหลักการ วัสดุจะยอมรับได้ก็ต่อเมื่อ $\frac{L}{r} > \left(\frac{L}{r}\right)_{\min}$

ดังนั้น จากการคำนวณและทำการเปรียบเทียบ พบว่า ค่าของ $\frac{L}{r} > \left(\frac{L}{r}\right)_{\min}$ สามารถสรุปได้ว่าชิ้นส่วนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ไม่เกิดการโก่งงอโดยที่วัสดุไม่เกิดการเสียรูป

เพื่อตรวจสอบให้แน่ใจว่าโครงสร้างไม่เกิดความเสียหายจึงทำการวิเคราะห์ความเสียหายโดยวิธีการเปรียบเทียบค่าภาระวิกฤติ $(\mathbf{P}_{cr})$ ซึ่งมีวิธีการเปรียบเทียบดังนี้

จากสมการ $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} = \frac{(\pi^2)(1.82\times10^{11})(3.60\times10^{-9})}{(0.68^2)} = 13969.25\ N$

เมื่อทำการเปรียบเทียบ สรุปได้ว่า $(P_{min})<(P_{cr})$ พบว่าโครงสร้างรถ สามารถรับแรงบนชิ้นส่วนได้โดยไม่เกิดการโก่งงอ

4.3 ผลการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดโครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช

จากการวิเคราะห์โครงสร้างรถ TSAE พบว่า โครงสร้างมีความปลอดภัยสูงมาก ดังนั้นจึงได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนโครงสร้างเพื่อต้องการที่จะลดน้ำหนักและค่าใช้จ่ายในการทำโครงสร้างลง โดยได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนอยู่ 2 แบบดังต่อไปนี้

4.3.1 การทดลองปรับเปลี่ยนขนาดโครงสร้างรถ TSAE

แบบที่ 1 ได้ทำการทดลองลดขนาดของเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้างลง ซึ่งได้ทดลองอยู่ 3 ครั้งสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการปรับเปลี่ยนขนาดเหล็กโครงสร้าง

ปรับเปลี่ยน	ชิ้นส่วนที่รับภาระสูงสุด		$(\lvert\sigma_{max}\rvert)$ (N/m^2)	$(\lvert\sigma_{min}\rvert)$ (N/m^2)	$\left(\frac{L}{r}\right)_{min}$	$\frac{L}{r}$	P_{cr} (N)	ค่าความปลอดภัยวิบัติ
	ดึง	กด						
รถ TSAE	70	71	2.8×10^7	4.30×10^7	44.40	77.53	13969	21.20
ครั้งที่ 1	70	61	4.24×10^7	4.47×10^7	44.40	61.73	27676	20.40
ครั้งที่ 2	58	61	5.33×10^7	5.61×10^7	44.40	77.53	13969	16.20
ครั้งที่ 3	58	61	4.35×10^7	5.23×10^7	44.40	105.80	8229	17.40

การทดลองปรับเปลี่ยนขนาดครั้งที่ 1- 3 และโครงสร้าง TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช มีน้ำหนักและราคาของโครงสร้างดังนี้

น้ำหนักโครงสร้างรถ TSAE คันต้นแบบ เท่ากับ 28 กิโลกรัม ราคา 817 บาท

น้ำหนักโครงสร้างปรับเปลี่ยนครั้งที่ 1 เท่ากับ 33 กิโลกรัม ราคา 985 บาท

น้ำหนักโครงสร้างปรับเปลี่ยนครั้งที่ 2 เท่ากับ 24 กิโลกรัม ราคา 719 บาท

น้ำหนักโครงสร้างปรับเปลี่ยนครั้งที่ 3 เท่ากับ 31 กิโลกรัม ราคา 853 บาท

จากการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดโครงสร้างในครั้งที่ 1 จะเห็นว่าน้ำหนักเพิ่มขึ้น 5 กิโลกรัม ราคาเพิ่มขึ้น 168 บาท แต่ค่าความปลอดภัยลดลง เนื่องจากได้ทำการปรับเปลี่ยนขนาดเหล็กให้เท่ากันหมดทั้งคัน ซึ่งเหล็กมีความหนากว่าเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้างรถคันต้นแบบ ทำให้โครงสร้างซึ่งรับภาระไม่เท่ากัน จุดที่รับภาระมากจึงเกิดความเค้นมากขึ้น

จากการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดโครงสร้างในครั้งที่ 2 เมื่อเทียบกับรถคันต้นแบบ น้ำหนักลดลง 4 กิโลกรัม ราคาลดลง 98 บาท เนื่องจากได้ทำการลดขนาดเหล็กลง จึงทำให้ค่าความปลอดภัยก็ลดลงตามไปด้วย

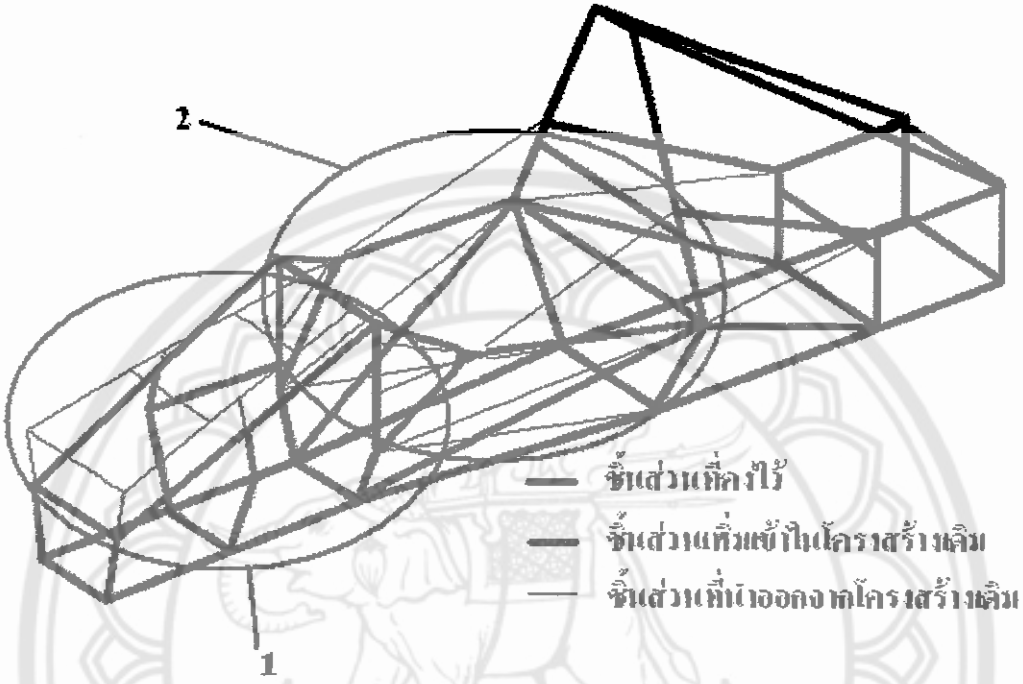
จากการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดโครงสร้างในครั้งที่ 3 เมื่อเทียบกับรถคันต้นแบบ จะเห็นว่าน้ำหนักและราคาที่ใช้ในการทำโครงสร้างมากขึ้น โดยที่ น้ำหนักเพิ่มขึ้น 3 กิโลกรัม ราคาเพิ่มขึ้น 36 บาท แต่ค่าความปลอดภัยลดลง เนื่องจากได้ทำการปรับเปลี่ยนโครงสร้างตามลดลงตามโครงสร้างรถคันต้นแบบ โดยให้เหล็กมีความหนาเท่าเดิมแต่ลดขนาดหน้าตัดลง

เนื่องจากผลในการปรับเปลี่ยนขนาดเหล็กดังตารางที่ 4.4 และข้อมูลน้ำหนัก กับราคาของโครงสร้างในแต่ละครั้ง เมื่อนำไปเทียบกับผลการวิเคราะห์ของโครงสร้างรถ TSAE พบว่า ในส่วนการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 3 ได้โครงสร้างที่มีน้ำหนักสูง ราคาในการทำโครงสร้างมากและมีค่าความปลอดภัยน้อยกว่าโครงสร้างรถ TSAE แต่โครงสร้างไม่เกิดการโก่งงอ หรือเกิดการเสียหายใดๆ ซึ่งผลในลักษณะนี้จะทำให้โครงสร้างมีน้ำหนักมาก และราคาในการสร้างสูง จึงไม่เหมาะสำหรับที่จะใช้เป็นโครงสร้างใหม่ของรถ TSAE ในส่วนของการทดลองที่ 2 จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการปรับเปลี่ยนขนาดโดยทำการลดขนาดเหล็กโครงสร้างให้เล็กลงจากการทดลองปรับเปลี่ยนครั้งที่ 1 พบว่า น้ำหนักกับราคาของโครงสร้างลดลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองปรับเปลี่ยนครั้งที่ 1 และยังมีน้ำหนักกับราคาน้อยกว่าของโครงสร้างรถ TSAE คันต้นแบบที่ใช้เป็นตัวในการเปรียบเทียบ แต่ในการปรับเปลี่ยนครั้งที่ 2 นี้ มีค่าความปลอดภัยที่น้อยกว่ากว่าโครงสร้างสร้างต้นแบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการรับภาระบนโครงสร้าง เห็นว่าประสิทธิภาพการรับน้ำหนักน้อยอาจจะส่งผลให้ระยะเวลาการใช้งานน้อยตาม จึงไม่นำไปใช้เป็นโครงสร้างใหม่ของรถ TSAE จากการปรับเปลี่ยนในแต่ละครั้งเมื่อทราบผลในการวิเคราะห์และทำการปรับเปลี่ยน เพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีน้ำหนักเบา ราคาในการสร้างต่ำ และโครงสร้างแข็งแรงมั่นคง จึงทำการออกแบบโครงสร้างใหม่ของรถ TSAE

4.3.2 ผลการทดลองออกแบบโครงสร้างใหม่ของรถ TSAE

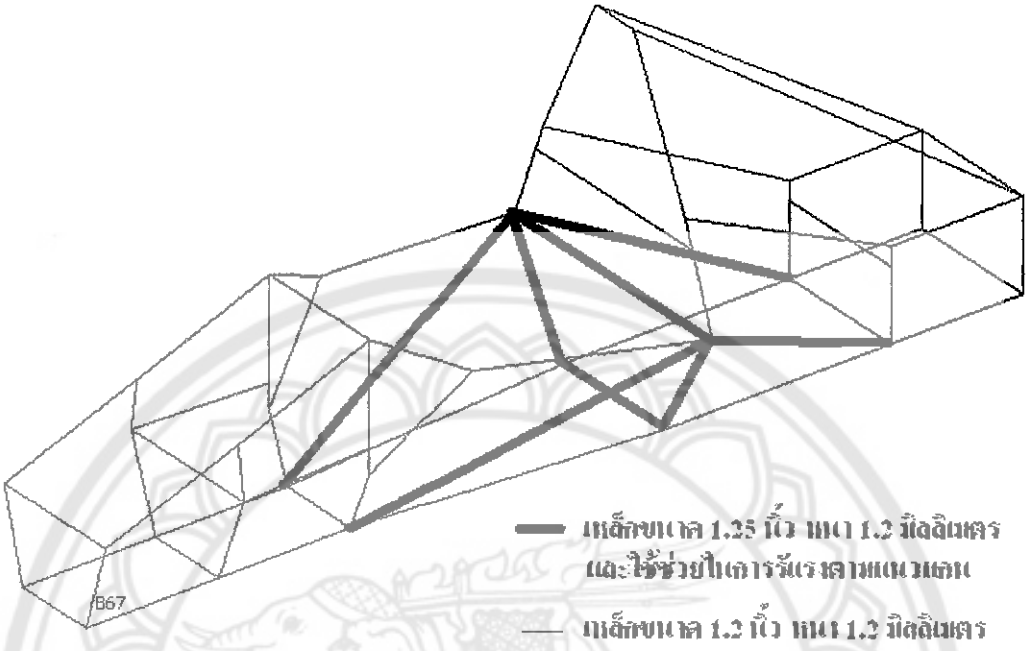
แบบที่ 2 เป็นการนำผลที่ได้จากการเปรียบเทียบ ราคา น้ำหนัก และค่าความปลอดภัยที่ได้จากการทดลองแบบที่ 1 เทียบกับโครงสร้างรถคันต้นแบบ แล้วนำผลการเปรียบเทียบมาใช้ช่วยในการตัดสินใจในการเลือกใช้ขนาดและปรับเปลี่ยนโครงสร้าง และได้ทำการตัดชิ้นส่วน

ที่ไม่จำเป็นในการช่วยรับภาระออกไปบางชิ้นส่วนดังรูปที่ 4.6 เพื่อให้ได้โครงสร้างใหม่ของรถ TSAE ตามจุดประสงค์ที่วางไว้ ซึ่งได้ผลดังแสดงในตาราง 4.3



รูปที่ 4.6 การตัดชิ้นส่วนโครงสร้างบางชิ้น

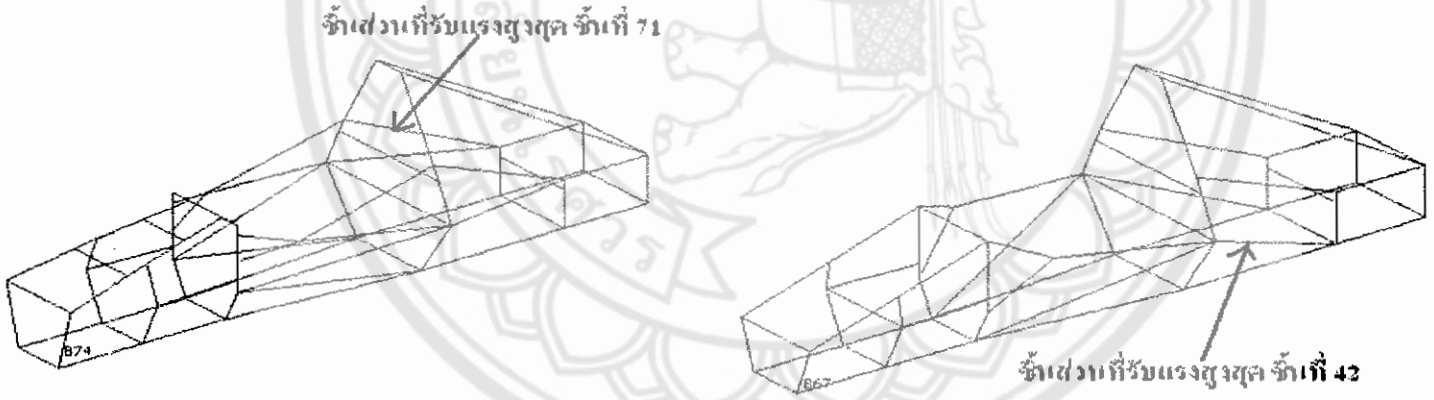
จากรูปที่ 4.6 ในส่วนที่ 1 ทำการลดความยาวของเหล็ก และตัดชิ้นส่วนที่ไม่มีการรับแรง ในส่วนที่ 2 ตัดชิ้นส่วนเดิมออก โดยทำการสร้างและออกแบบให้ชิ้นส่วนสามารถรับแรงในแกน ซึ่งได้โครงสร้างใหม่ของรถ TSAE ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ขนาดเหล็กแต่ละตำแหน่งโครงสร้างใหม่ของรถ TSAE

ตารางที่ 4.5 สรุปผลการปรับเปลี่ยนขนาดและออกแบบโครงสร้างรถ TSAE คันใหม่

การปรับเปลี่ยน	ขนาดเหล็กที่รับแรงสูงสุด				σ_{max} (N/m^2)	σ_{min} (N/m^2)	$\left(\frac{L}{r}\right)_{min}$	$\frac{L}{r}$	P_{cr} (N)	ค่าความปลอดภัยวิบัติ	น้ำหนักโครงสร้าง (kg)	ราคา (บาท)
	ขนาด (in)	หนา (m)	ยาว (m)	ตำแหน่งชิ้นส่วน								
รถ TSAE (คันต้นแบบ)	1	1.2	0.68	71	2.80×10^{7}	4.30×10^{7}	44.40	77.53	13969.36	21.20	28	817
รถ TSAE คันใหม่	1.25	1.2	0.69	42	3.70×10^{7}	4.12×10^{7}	44.40	62.6	26879.57	22.10	23	695



(ก) โครงสร้างรถ TSAE **(ข)** โครงสร้างใหม่ของรถ TSAE

รูปที่ 4.8 ชิ้นส่วนที่รับแรงสูงสุดของโครงสร้างรถ TSAE และโครงสร้างใหม่ของรถ TSAE

จากผลที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างรถ TSAE จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนขนาดเหล็กโครงสร้าง จนถึงการออกแบบโครงสร้างใหม่ของรถ TSAE พบว่า โครงสร้างรถ TSAE สามารถรับภาระเนื่องจากน้ำหนักได้เป็นอย่างดี ดังนั้นเพื่อต้องการลดน้ำหนัก และประหยัดงบประมาณในการทำโครงสร้าง จึงทำการออกแบบโครงสร้างใหม่ของรถ TSAE ได้ผลการออกแบบใหม่ คือ สามารถลดน้ำได้ 5 กิโลกรัม ประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำโครงสร้างได้ 122 บาท และมีความปลอดภัยมากกว่าโครงสร้างรถ TSAE ต้นแบบ 4%