

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ฌ
ลำดับสัญลักษณ์	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบข่ายการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 งบประมาณ	3
1.7 สถานที่ปฏิบัติงาน	3
<b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี</b>	<b>4</b>
2.1 การวิเคราะห์แรงภายใน โครงสร้าง	4
2.2 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการคำนวณ โครงถักสามมิติ	7
2.3 ทฤษฎีการวิเคราะห์ความเสียหายจากภาวะสถิต	13
2.4 การโค้งงอของเสา	20
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน</b>	<b>22</b>
3.1 การเก็บข้อมูลโครงสร้างรถ TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช	23
3.2 การใช้โปรแกรม COMSOL Multiphysics™	31

	หน้า
3.3 การวิเคราะห์ความเสียหายของโครงสร้างรถลูกชินราช	46
3.4 การทดลองปรับเปลี่ยนขนาดและออกแบบ โครงสร้างใหม่ ของรถ TSAE	48
3.5 การจัดทำปริญญานิพนธ์	50
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	51
4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้าง	51
4.2 ผลการวิเคราะห์ความเสียหายของโครงสร้างรถลูกชินราช	57
4.3 ผลการทดลองปรับเปลี่ยนขนาด โครงสร้างรถลูกชินราช	59
บทที่ 5 บทสรุป	65
5.1 บทสรุป	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	67
ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก. ตารางพิกัด โครงสร้าง	69
ภาคผนวก ข. การทดสอบสมบัติของวัสดุ	73
ภาคผนวก ค. การคำนวณหาแรงบน โครงสร้าง	76
ประวัติผู้จัดทำโครงการ	77

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและผลการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลโครงสร้าง TSAE Student Formula รุ่น ลูกชินราช	23
ตารางที่ 3.2 ขนาดของภาระที่กระทำกับ โครงสร้าง	26
ตารางที่ 3.3 การแปลงภาระที่กระทำแบบกระจายเป็นภาระที่กระทำบนจุดต่อ	28
ตารางที่ 3.4 ขนาดของแรงที่กระทำบนจุดต่างๆ ของ โครงสร้าง	29
ตารางที่ 3.5 ตารางแบ่งกลุ่มตามขนาดพื้นที่หน้าตัด	32
ตารางที่ 3.6 กำหนดการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน โครงสร้างแต่ละกลุ่มตามแนวแกน x,y,z	37
ตารางที่ 3.7 ข้อมูลเหล็กที่ออกแบบค่าแต่ละขนาด	48
ตารางที่ 3.8 การปรับเปลี่ยนขนาดและออกแบบ โครงสร้างใหม่ของรถ TSAE	49
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยความเค้นสูงสุด ( $\sigma_{max}$ ) แต่ละชิ้นส่วน	52
ตารางที่ 4.2 สรุปผลการปรับเปลี่ยนขนาดเหล็ก โครงสร้าง	58
ตารางที่ 4.3 สรุปผลการปรับเปลี่ยนขนาดและออกแบบ โครงสร้าง รถ TSAE คันใหม่	62
ตารางที่ ก.1 พิกัด โครงสร้างรถ TSAE	69
ตารางที่ ค.1 สรุปแรงเนื่องจากภาระน้ำหนักบน โครงสร้าง	79

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเขียนแผนผังวัตถุอิสระสำหรับวิธี Method of joint	5
รูปที่ 2.2 การเขียนแผนผังวัตถุอิสระสำหรับวิธี Method of section	6
รูปที่ 2.3 ลักษณะเอลิเมนต์แบบอย่างสำหรับ โครงสร้าง	7
รูปที่ 2.4 การแบ่งขอบเขตออกเป็น ไฟไนต์เอลิเมนต์	9
รูปที่ 2.5 Bar element in a 3-D global coordinate system	10
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงค่าความเค้นที่เป็นความต้านแรงครากของวัสดุ เหนียว และวัสดุเปราะ	14
รูปที่ 2.7 แสดงเส้นในระนาบ $\sigma_A, \sigma_B$	16
รูปที่ 2.8 รูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เล็กๆ ที่อยู่ภายใต้ความเค้นในสามมิติ	17
รูปที่ 2.9 วงรีบนระนาบ $\sigma_A \sigma_B$	19
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	22
รูปที่ 3.2 การสร้างโมเดล โครงสร้างรถ TSAB Student Formula รุ่น ลูกชินราช	25
รูปที่ 3.3 ภาระน้ำหนักบน โครงสร้าง	25
รูปที่ 3.4 การกระจายแรงของภาระน้ำหนักบนชิ้นส่วน โครงสร้าง	26
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งภาระแบบแรงกระจาย	27
รูปที่ 3.6 แรงกระทำบนจุดที่แปลงมาจากภาระกระจาย	27
รูปที่ 3.7 ตำแหน่งภาระกระทำแบบจุดเนื่องจากน้ำหนักตัวถัง	29
รูปที่ 3.8 ผังวัตถุอิสระของ โครงสร้างรถ TSAB (Free Body Diagram: FBD)	30
รูปที่ 3.8 การกำหนดพิกัด	31
รูปที่ 3.9 การเลือกชิ้นส่วน โครงสร้างรถ TSAB	32
รูปที่ 3.10 ชิ้นส่วน โครงสร้างเชื่อมต่อกันจากการเรียกใช้คำสั่ง	32
รูปที่ 3.11 การกำหนดค่าสมบัติวัสดุ (Material)	33
รูปที่ 3.13 ชิ้นส่วน โครงสร้างกลุ่มที่ 1 และกลุ่ม 2	34
รูปที่ 3.14 แรงเนื่องจากภาระน้ำหนักที่กระทำแต่ละตำแหน่ง และจุด	34
รูปที่ 3.15 การกำหนดแรง (Load) ที่กระทำตรงจุดเชื่อม	35
รูปที่ 3.16 การกำหนดจุดยึด (Pin) ของ โครงสร้าง	36
รูปที่ 3.17 การเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน	36

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.18 การกำหนดการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วน โครงสร้าง	37
รูปที่ 3.19 การกำหนด Mesh แบบ Extremely fine	38
รูปที่ 3.20 ผลที่ได้จากการ Mesh แบบ Extremely fine	39
รูปที่ 3.21 วิธีการเรียกใช้คำสั่ง Solve	40
รูปที่ 3.22 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ด้วย โปรแกรม Comsol Multiphysics™	41
รูปที่ 3.23 การเลือกรูปแบบที่ใช้ในการแสดงผล	42
รูปที่ 3.24 การกำหนดให้ โปรแกรมทำการวิเคราะห์และแสดงผล	43
รูปที่ 3.25 การกำหนดให้ โปรแกรมแสดงค่า Max/min บน โครงสร้าง	44
รูปที่ 3.26 การตั้งค่าที่ใช้ในการแสดงผล	45
รูปที่ 3.27 การกำหนดให้ โปรแกรมแสดงค่า Axial force และ Axial stress แต่ละชิ้นส่วน	45
รูปที่ 3.28 ตัวอย่างการแสดงผลการวิเคราะห์ชิ้นส่วน โครงสร้าง ชิ้นที่ 1 แบบ Axial stress	46
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การกระจัดรวม (Total displacement)	50
รูปที่ 4.2 ผลความเค้นตามแนวแกน (Axial stress)	51
รูปที่ 4.3 ผลภาระตามแนวแกน (Axial force)	53
รูปที่ 4.4 ตำแหน่งชิ้นส่วนของโครงสร้าง	54
รูปที่ 4.5 ตำแหน่งจุดเชื่อมต่อของโครงสร้าง	55
รูปที่ 4.6 การตัดชิ้นส่วน โครงสร้างบางชิ้น	60
รูปที่ 4.7 โครงสร้างรถ TSAE และ โครงสร้างใหม่ของรถ TSAE	61
รูปที่ ข.1 การทดสอบแรงดึงด้วยเครื่อง UNIVERSAL TESTING MACHINE	72
รูปที่ ค.1 ภาระที่กระทำบน โครงสร้าง	75
รูปที่ ค.2 ตำแหน่งที่ภาระเนื่องจากน้ำหนักคนขับกระทำบน โครงสร้าง	76
รูปที่ ค.3 แรงเนื่องจากภาระน้ำหนักคนขับ	76
รูปที่ ค.4 แรงเนื่องจากภาระเครื่องยนต์	77
รูปที่ ค.5 แรงเนื่องจากภาระน้ำหนักหม้อน้ำ	78

## ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$F_x$	แรงในแนวแกน x	N
$F_y$	แรงในแนวแกน y	N
$\sigma$	ความเค้น	$N/m^2, Pa$
$\varepsilon$	ความเครียด	-
$E$	โมดูลัสความยืดหยุ่น	GPa
$A$	พื้นที่หน้าตัด	$m^2$
$\delta$	ระยะยึด	mm
$L$	ความยาว	m
$n$	ค่าความปลอดภัย	-
$\sigma_y, S_y$	ความเค้นคราก	$N/m^2, Pa$
$\sigma_{max}$	ความเค้นสูงสุด	$N/m^2, Pa$
$P$	แรงดึง	N
$\tau_{max}$	ความเค้นเฉือนสูงสุด	$N/m^2, Pa$
$S_{sy}$	ค่าความต้านแรงครากในการเฉือน	$N/m^2, Pa$
$\sigma_{av}$	ความเค้นเฉลี่ย	$N/m^2, Pa$
$u_v$	พลังงานความเครียด	$N/m$
$u_d$	พลังงานของการเปลี่ยนรูป	$N/m$
$\sigma'$	Von Mises Stress	$N/m^2, Pa$
$P_{cr}$	แรงวิกฤติ	N
$\rho$	ความหนาแน่น	$kg/m^3$
$\sigma_{cr}$	ความเค้นวิกฤติ (Critical stress)	$N/m^2, Pa$
$L$	ความยาว	m
$\frac{L}{r}$	อัตราส่วนความขอบบาง (Slenderness ratio)	-