

**การวิเคราะห์การกระจายความเค้นในเพลลาขับของ TSAE Student Formula
โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์**

**Stress Distribution Analysis in Drive Shaft of TSAE Student Formula
By using Finite Element Method**

นายประวิทย์ ยิ่งฉลาด

นายวิเชียร แสงหล้า

นายอนุรักษ์ บำรุงศิริ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์	569 3727
วันที่รับ...../...../.....	ปก
เลขทะเบียน.....5200066.....	ป/ร/ว/ก
เลขเรียกหนังสือ.....	๘๕๖
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ปีการศึกษา 2550



ใบรับรองโครงการงาน

หัวข้อโครงการ : การวิเคราะห์การกระจายความเค้นในเพลลาขับของ TSAE Student Formula โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
Stress Distribution Analysis in Drive Shaft of TSAE Student Formula by using Finite Element Method

ผู้ดำเนินโครงการ : นายประวิทย์ ยิ่งฉลาด รหัสนิสิต 47360797
นายวิเชียร แสงหุ้ม รหัสนิสิต 47360854
นายอนุรักษ์ บำรุงศิริ รหัสนิสิต 47363148

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ : อาจารย์ณัฏฐ์ สีสะวงษ์
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา : 2550

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการ

.....ประธานกรรมการ

(อาจารย์ณัฏฐ์ สีสะวงษ์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. มัทนี สงวนเสริมศรี)

.....กรรมการ

(อาจารย์ปัญญาวัฒน์ ลำพาพงศ์)

หัวข้อโครงการ	: การวิเคราะห์การกระจายความเค้นในเพล่าขับของ TSAE Student Formula โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
ผู้ดำเนินโครงการ	: นายประวิทย์ ยิ่งฉลาด รหัสสนิสิต 47360797 นายวิเชียร แสงหล้า รหัสสนิสิต 47360854 นายอนุรักษ์ บำรุงศิริ รหัสสนิสิต 47363148
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	: อาจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	: 2550

บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของโครงการการวิเคราะห์การกระจายความเค้นในเพล่าขับของ TSAE Student Formula โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นในเพล่าขับของ TSAE Student Formula ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยจะเป็นการศึกษาเชิงสถิติศาสตร์ ในขณะที่เพล่ารับแรงบิดสูงสุดจากเครื่องยนต์ขนาด 92.18 นิวตัน-เมตร จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่าความเค้น Von Misses สูงสุดจะเกิดขึ้นปลายเพล่าที่ตำแหน่งของฟันเฟือง ดังแสดงรายละเอียดในบทที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นมีความสอดคล้องกับทางทฤษฎีความเค้นหนาแน่น เนื่องจากบริเวณดังกล่าวได้รับอิทธิพลของความเค้นหนาแน่นเนื่องจากรูปร่างของฟันเฟืองและความเค้นหนาแน่นเนื่องจากการเปลี่ยนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเพล่า ค่าความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้นมีขนาดเท่ากับ 275.9 เมกกะปาสกาล เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นครากของวัสดุที่ใช้ทำเพล่า AISI 4145 จะพบว่าค่าความปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 2.43 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นค่าความปลอดภัยที่สูงเพียงพอเมื่อเพล่านี้รับภาระเฉพาะแรงบิด

Project Title : Stress Distribution Analysis in Drive Shaft of TSAE Student
Formula by using Finite Element Method

Name : Mr. Prawit Yingchalad Code 47360797

Mr. Wichean Sangla Code 47360854

Mr. Anurak Bamrungkeeree Code 47363148

Project Advisor : Mr. Nopparat Seehawong

Department : Mechanical Engineering

Academic Year : 2007

Abstract

The objective of this research was to study stress distribution in drive shaft of TSAE Student Formula by using Finite Element Method. The analysis was in static condition which the shaft was loaded by maximum torque of 92.18 N.m. From analysis result, the maximum Von Misses stress occurred at the end of shaft where gear was installed. This result agrees with the stress concentration theory because the area was influenced by stress concentration due to gear shape and diameter change of the shaft. The maximum Von Misses stress was 275.9 MPa. Comparing the stress with yield strength of the shaft material, AISI 4145, the safety factor was 2.43 which was high enough for shaft being subject to torque only.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเมตตากรุณาและอนุเคราะห์จาก อาจารย์ นพรัตน์ สีหะวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาและกรรมการคุมสอบปริญญาบัตร ผู้ซึ่งกรุณามอบความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ความช่วยเหลือในทุกด้าน การแก้ปัญหาต่างๆตลอดจนตรวจสอบปริญญาบัตรจนเสร็จสมบูรณ์ ผู้จัดทำโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มัทนี สงวนเสริมศรี และอาจารย์ปัญญาวัฒน์ คำพาพงศ์ ที่กรุณาได้รับเป็นกรรมการตรวจสอบโครงร่างปริญญาบัตร และเป็นกรรมการสอบปริญญาบัตร อีกทั้งเป็นอาจารย์สอนที่ให้คำแนะนำ ความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้จัดทำโครงการในหลายด้าน

ขอขอบพระคุณคุณอาจารย์ คุณครูทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้อบรมสั่งสอน แนะนำและตักเตือนผู้เขียนจนมีวันนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆตั้งแต่ผู้เขียนได้เข้ามาศึกษาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษานี้

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล มหานคร ที่ได้ทำการทดสอบวัสดุและสนับสนุนด้วยดี

ขอขอบพระคุณเพื่อนวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ให้คอยให้ความช่วยเหลือด้านการเรียนที่คอยให้กำลังใจ และการดำเนินชีวิตมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดนี้ ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้ดำเนินโครงการอย่างสม่ำเสมอตลอดมา

คณะผู้จัดทำโครงการ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
ลำดับสัญลักษณ์	ฅ
ลำดับสัญลักษณ์ (ต่อ)	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของ โครงการงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ขอบเขตของโครงการงาน	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	4
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	4
1.6 อุปกรณ์	4
1.7 งบประมาณที่ใช้	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	5
2.2 ความเค้นเฉือนของเพลากลมที่รับแรงบิด	10
2.3 ทฤษฎีความเสียหาย	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 การศึกษาที่มาของปัญหาและข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของเพล	24
3.2 หาข้อมูลค่าแรงบิดสูงสุดเครื่องยนต์ เพื่อนำมาใช้หาแรงสูงสุดที่กระทำในแนวแกนและตำแหน่งตั้งฉากกับระนาบแกน X ของฟันเฟือง	24
3.3 หาข้อมูลคุณสมบัติเหล็ก AISI 4145 ที่ใช้ทำเพลเพื่อหาค่า Young 's Modulus และ Poisson 's Ratio	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 สร้างแบบจำลองเพลาโดยโปรแกรม SolidWorks®	25
3.5 วิเคราะห์ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในเพลา	26
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและวิเคราะห์ผล	
4.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความเค้นเฉือนจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าความเค้นเฉือนจากสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง	31
4.2 การวิเคราะห์ผลค่าความเค้นเฉือนเพื่อเลือกขนาดของ Mesh	36
4.3 ผลการศึกษาความเค้น Von Misses สูงสุด	36
4.4 ผลการศึกษาความเค้น Von Misses ตรงกลางเพลา	38
4.5 การวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยของแบบจำลอง	39
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดสอบ	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	42
บรรณานุกรม	43
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม SolidWorks	45
ภาคผนวก ข วิธีการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์	52
ภาคผนวก ค ตารางแสดง Factor of Safety	59
ประวัติผู้ทำโครงการ	61

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของเครื่องยนต์	24
ตารางที่ 3.1(ต่อ) แสดงคุณสมบัติของเครื่องยนต์	25
ตารางที่ 4.1 ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในเพลลาในช่วงขนาดของ Mesh 1-17.5 มิลลิเมตร	32
ตารางที่ 4.1 (ต่อ) ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในเพลลาในช่วงขนาดของ Mesh 1-17.5 มิลลิเมตร	33



สารบัญภาพ

รูป	หน้า
รูปที่ 1.1 ภาพตัวรถ	2
รูปที่ 1.2 ลักษณะของเพลานำไปใช้ในรถ	2
รูปที่ 1.3 แบบจำลองเพลานำที่จะทำการวิเคราะห์	3
รูปที่ 2.1 วัตถุที่มีเนื้อต่อเนื่องใน 2 มิติที่อยู่ภายใต้การกระทำของแรงกระทำที่จุด (F) และแรงกระจาย (W)	6
รูปที่ 2.2 เอลิเมนต์ชนิด Line element	8
รูปที่ 2.3 เอลิเมนต์ชนิด Plane element	8
รูปที่ 2.4 เอลิเมนต์ชนิด Solid element (3D)	9
รูปที่ 2.5 การกระจายของความเค้นเฉือนในเพลากลมตัน	10
รูปที่ 2.6 แรงเฉือนด้านบนหน้าตัดของเพลานำเนื่องจากทอร์กด้าน T_x	11
รูปที่ 2.7 ขอบเขตของความเค้นจากทฤษฎีความเสียหาย	14
รูปที่ 2.8 ผลงานของการเปลี่ยนรูปในชิ้นส่วนรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์	16
รูปที่ 2.9 วงรีบนระนาบ $\sigma_A \sigma_B$	18
รูปที่ 2.10 ระบายออกตะขี้ครูด	19
รูปที่ 2.11 แสดงผลการทดสอบของวัสดุจากทฤษฎีความเสียหาย	21
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน	23
รูปที่ 3.2 แบบจำลองของเพลานำ	25
รูปที่ 3.3 การกำหนดภาระที่กระทำต่อเพลานำ	27
รูปที่ 3.4 แสดงทิศทางของภาระที่กระทำบนปลายเพลานำ	28
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะการกระจายของแรงที่กระทำต่อระนาบของพื้นผิวทั้ง 19 พื้นผิว	28
รูปที่ 3.6 กำหนดลักษณะการยึดแน่น (Fixed)	29
รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะและทิศทางของการจับยึดที่กระทำบนปลายเพลานำ	29
รูปที่ 4.1 ความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในเพลานำ	32
รูปที่ 4.2 ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในเพลานำในช่วงขนาดของ Mesh 1-17.5 มิลลิเมตร	34
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบค่าความเค้นเฉือน	35
รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นวอนมิสเชส	37
รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นวอนมิสเชสสูงสุดที่เกิดขึ้นในเพลานำ	37
รูปที่ 4.6 ความเค้นวอนมิสเชสตรงกลางเพลานำ	38

ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$[k]$	Local Stiffness Matrix	
$\{d\}$	ค่าการกระจัดที่จุดต่อของเอลิเมนต์	m
$\{f\}$	Element Force Vector	นิวตัน
$\{u\}$	เวกเตอร์ของสนามการขจัดภายในเอลิเมนต์ประกอบด้วย v, u, w	m
$[K]$	Global Stiffness Matrix เป็นเมตริกซ์รวมที่ประกอบจาก Stiffness Matrix, $[k]$ ของทุกเอลิเมนต์	
$\{D\}$	เวกเตอร์ของการขจัดรวม	
$\{F\}$	Global Force Vector เป็นเวกเตอร์รวมที่ประกอบจาก Element Force Vector, $\{f\}$	N
σ	ค่าความเค้น	Pa
E	ค่าโมดูลัสยังส์	GPa
ε	ค่าความเครียด	
P	กำลัง	$\frac{N-m}{s}$
T	แรงบิด	$N-m$
ω	ความเร็วเชิงมุม $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)$	$\frac{r}{s}$
n	ความถี่รอบของการหมุน	$\frac{r}{m}$
f	ค่าความถี่	Hertz
c	รัศมีของเพลากลมตัน	m
τ_ρ	แรงบิดบนวงแหวนที่อยู่ห่างจากแกนศูนย์กลางของรูปตัด เป็นระยะเท่ากับ ρ	Pa
J	โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้ว	m^4
R_{avg}	รัศมีเฉลี่ย	m
u	พลังงานความเครียดต่อหน่วยปริมาตร	J/m^3
u_v	พลังงานความเครียดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะปริมาตร	J/m^3
u_d	พลังงานของการเปลี่ยนรูป	J/m^3

ลำดับสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
σ'	Von Misses Stress	Pa
s_y	Yield Strength	Pa
s_{sy}	Shear Yield Strength	Pa
W'	แรงในแนวตั้งฉาก	N
F	แรงที่กระทำบนเพลา	N
F_N	แรงที่กระทำบนพื้นเฟืองแต่ละฟันเฟืองของเพลา	N
N	จำนวนฟันเฟืองเกียร์	



บทที่ 1

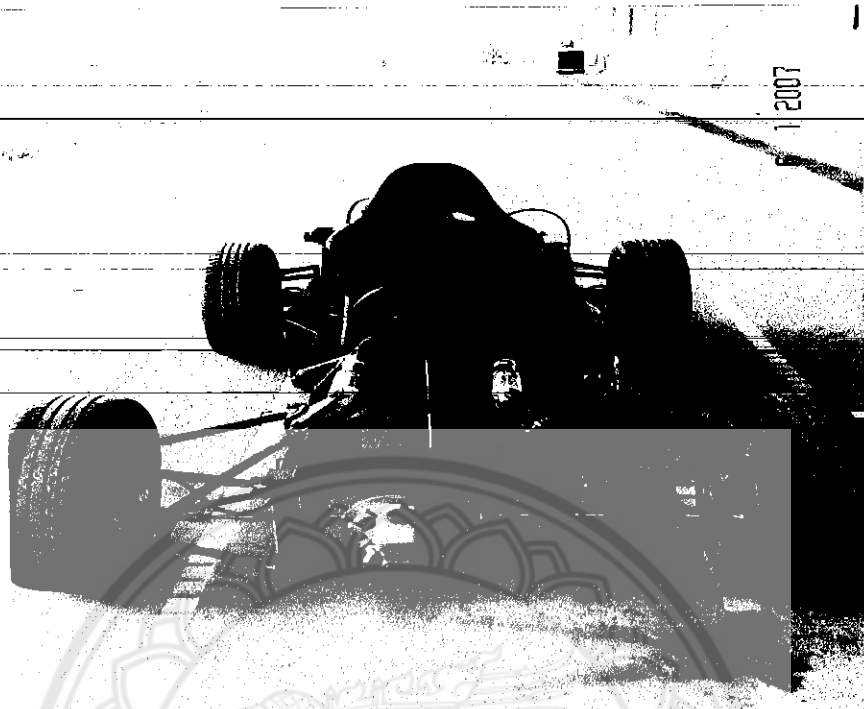
บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มาของโครงการ

เนื่องจากทางสภาวิศวกรยานยนต์แห่งประเทศไทย (Society of Automotive Engineers Thailand : TSAE) ได้จัดการแข่งขันในหัวข้อ TSAE Auto challenge 2007 (Student Formula) เพื่อส่งเสริมให้นิสิตของมหาวิทยาลัย สาขาวิศวกรรมศาสตร์และสาขาอื่นที่เกี่ยวข้องสามารถสมัครเข้าร่วมการแข่งขันโดยมีวัตถุประสงค์ คือ

1. ส่งเสริม สนับสนุน การพัฒนาทักษะทางวิศวกรรมยานยนต์
2. เสริมสร้าง บุคลากรด้านยานยนต์ในประเทศไทย
3. สนับสนุนการออกแบบ การสร้างยานยนต์ และการจัดการอย่างครบวงจร
4. ส่งเสริมให้เกิดนวัตกรรม ด้านยานยนต์โดยฝีมือคนไทย
5. เพื่อนำไปสู่การแข่งขันระดับโลก

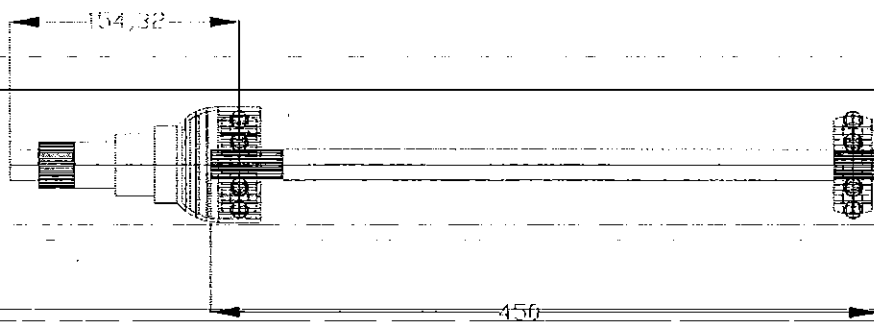
จากวัตถุประสงค์ดังกล่าว ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้จัดส่งนิสิตสมัครเข้าร่วมการแข่งขันเป็นจำนวน 22 คน ซึ่งได้มีการจัดกลุ่มเพื่อทำการศึกษาและจัดสร้างในแต่ละระบบของรถ TSAE Student Formula โดยหนึ่งในระบบดังกล่าวคือระบบส่งกำลัง จากการศึกษาดูงานที่มอเตอร์สปอร์ตแลนด์ พบว่าเกิดปัญหาการขาดของเพลลาขับเคลื่อน ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขและหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าว จึงควรมีการศึกษาและวิเคราะห์การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในเพลลา เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและเลือกขนาดของเพลลาที่จะนำมาใช้ โดยในการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในเพลลานั้น จะวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความสะดวกรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายที่ใช้เพื่อทำการทดลองสามารถบอกถึงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นได้



รูปที่ 1.1 ภาพตัวรถ



รูปที่ 1.2 ลักษณะของเพลานำไปใช้ในรถ



รูปที่ 1.3 แบบจำลองเพลลาที่จะทำการวิเคราะห์

1.2. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นในเพลลาขับของ TSAE Student Formula

1.3. ขอบเขต

1.3.1 เป็นการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในเชิงสถิตยศาสตร์

1.3.2 รถที่สร้างขึ้นเรียกว่า TSAE Student Formula

1.3.3 เครื่องยนต์ที่ใช้คือเครื่องยนต์ของ Daihatsu แบบระบบหัวฉีด

1.3.4 วัสดุที่ใช้เป็นเพลลาขับมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Material) และเป็น Isotropic

1.3.5 ความเค้นที่เกิดขึ้นในเพลลาขับอยู่ในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น

1.3.6 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป CosmosWorks® ในการวิเคราะห์

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงลักษณะการกระจายตัวของความเค้นที่เกิดขึ้นภายในเพลลาขับของ TSAE Student Formula

1.4.2 ได้แบบจำลองเพลทซ์ของ TSAE Student Formula ที่สามารถวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงและออกแบบเพื่อความเหมาะสมในการใช้งานยิ่งขึ้น

1.5. ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ				
	พ.ช./49 - มี.ย./50	ก.ค./ 50	ส.ค./ 50	ก.ย./ 50
รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงาน				
1. ศึกษาแนวทางการดำเนินงาน				
2. ทำการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดในการศึกษา				
3. ทำการวิเคราะห์เพลทซ์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์				
4. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง				

1.6. อุปกรณ์ที่ใช้

1.6.1 คอมพิวเตอร์

1.6.2 แผ่นโปรแกรม CosmosWorks®

1.7. งบประมาณ

1.7.1. เพิ่มหน่วยความจำ 1500 บาท

1.7.2. จัดทำรูปเล่ม 1000 บาท

1.7.3. อื่นๆ 500 บาท

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

ในบทนี้จะกล่าวถึงเนื้อหาในส่วนของหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการกระจายตัวของความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นในเพลลาขับโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเนื้อหาที่เกี่ยวข้องประกอบไปด้วยหลักการและทฤษฎีของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การกำหนดหาความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในเพลลาเมื่อรับแรงบิดด้วยสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อนำผลที่ได้จากการคำนวณ ไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งจะใช้ในการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง ทฤษฎีความเสียหายของวัสดุที่จะนำมาประกอบการพิจารณาความเสียหายของเพลลาที่จะเกิดขึ้น รายละเอียดเนื้อหาดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะประกอบไปด้วยหัวข้อดังนี้คือ

1. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
2. ความเค้นเฉือนของเพลลาที่รับแรงบิด
3. ทฤษฎีความเสียหาย

2.1 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ทฤษฎีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) มาจากแนวคิดที่ว่า วัตถุที่มีรูปร่างซับซ้อนใดๆ จะสามารถแบ่งออกเป็นชิ้นเล็กๆ ได้ โดยแต่ละชิ้นเล็กๆ เหล่านั้นสามารถประกอบเป็นวัตถุรูปเดิมได้ และแต่ละชิ้นสามารถพิจารณาแยกกันอย่างอิสระ

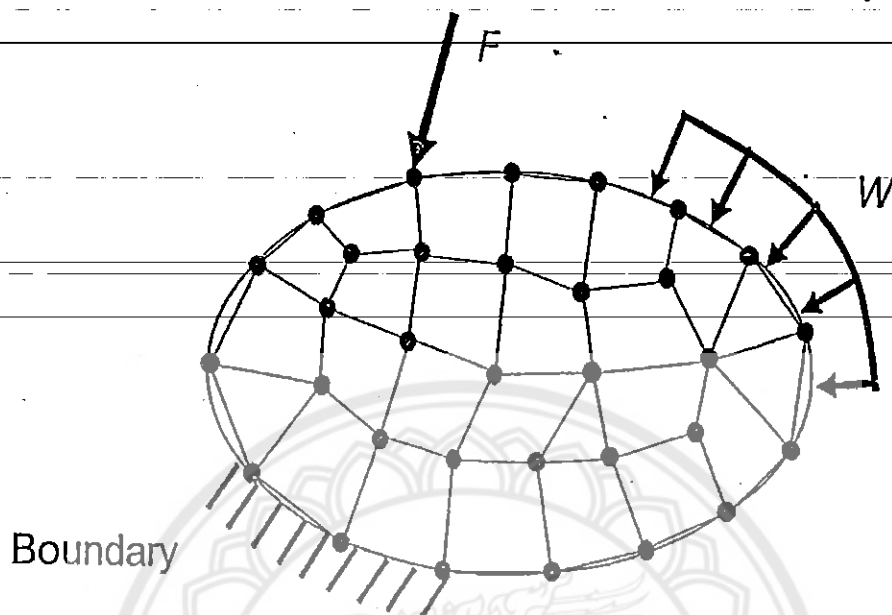
Finite = จำนวนจำกัด

Element = ชิ้นเล็กๆ

Method = วิธี หรือ ทฤษฎี

หรือ Analysis = การวิเคราะห์

พิจารณาวัตถุที่มีเนื้อต่อเนื่อง (Continuum domain) ใน 2 มิติ ที่อยู่ภายใต้การกระทำของแรงกระทำที่จุด (F) และแรงกระจาย (W) ดังรูป



รูปที่ 2.1 วัตถุที่มีเนื้อต่อเนื่องใน 2 มิติที่อยู่ภายใต้การกระทำของแรงกระทำที่จุด (F) และแรงกระจาย (W)

จากรูปจะเห็นว่าวัตถุถูกแบ่งเป็นหลายๆเอลิเมนต์ (Element) แต่ละเอลิเมนต์ต่อเชื่อมกันที่ โหนด (node) โดยจะมีสมการภายในของตัวเอง (Local Element) และจะเป็นฟังก์ชันของค่าที่โหนด เมื่อนำสมการของแต่ละเอลิเมนต์รวมเข้าด้วยกัน ก็จะได้สมการรวม (Global Equation) โดเมนจะอยู่ภายใต้สภาวะการสมดุลของการกระทำจากภายนอกและมีเงื่อนไขที่ขอบที่สามารถแทนค่าหรือตัดตัวแปรที่เท่ากับศูนย์ที่โหนดได้ ทำการแก้สมการหาค่าที่โหนดโดยแยกหาค่า ณ จุดใดๆในแต่ละเอลิเมนต์ได้

2.1.1 สรุปขั้นตอนของ FEM ในการวิเคราะห์โครงสร้าง

- ก. แบ่งโครงสร้างออกเป็นชิ้นเล็กๆที่ประกอบโดยเอลิเมนต์และโหนด
- ข. เขียนสมการความสัมพันธ์ถึงปริมาณทางฟิสิกส์ของแต่ละเอลิเมนต์
- ค. ประกอบ (Assembly) ทุกๆเอลิเมนต์เข้าด้วยกัน โดยใช้หมายเลขโหนด (ถ้าแต่ละโหนดมีหลายตัวแปร จะใช้หมายเลขตัวแปรร่วมพิจารณาด้วย) เป็นตัวกำหนดของการวางตำแหน่ง Global stiffness matrix

ง. จัดสมการโดยห้กลางเงื่อนไขที่ขอบออก

จ. แก้สมการเพื่อหาค่าที่ไม่ทราบค่าที่โหนดต่างๆจะได้ค่าที่ต้องการเช่น การขจัด

(Displacement)

ฉ. คำนวณหาค่าอื่นๆที่ต้องการเช่น ความเค้น เป็นต้น

2.1.2 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม FEM

2.1.2.1 Pre-processing:

ก. ทำการวาดรูปร่าง (Geometry) ของโครงสร้างที่จะทำการวิเคราะห์

ข. ใส่คุณสมบัติของวัสดุ

ค. เลือกประเภทและชนิดของเอลิเมนต์ให้ตรงกับปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์

ง. สร้างตาข่าย (Mesh) โปรแกรมจะสร้างเอลิเมนต์และโหนดพร้อมให้หมายเลขกำกับ

จ. ใส่เงื่อนไขที่ขอบ

ฉ. ใส่แรงกระทำจากภายนอก (แรงกระทำที่จุด, แรงกระจาย, น้ำหนัก ฯลฯ)

2.1.2.2 Processing

ก. โปรแกรมสร้าง Local stiffness matrix $[k]$ และสร้าง Element force vector $\{f\}$ ของแต่ละเอลิเมนต์

ข. โปรแกรมประกอบ $[k]$ ของทุกเอลิเมนต์เข้าเป็น Global stiffness matrix $[K]$ และประกอบ $\{f\}$ ของทุกเอลิเมนต์เข้าเป็น Global force vector $\{F\}$ ทั้งนี้จะอาศัยหมายเลขตัวแปรที่โหนดเป็นตำแหน่งของการประกอบ

ค. โปรแกรมตัดสมการที่ตรงกับเงื่อนไขที่ขอบที่มีค่าเท่ากับศูนย์

ง. แก้สมการ $[K]\{D\} = \{F\}$ เพื่อหา $\{D\}$

2.1.2.3 Post-processing:

ก. Plot การเสีรูปโดยใช้ค่า $\{D\}$ โดยตรง

ข. คำนวณหาค่าความเครียดในเอลิเมนต์

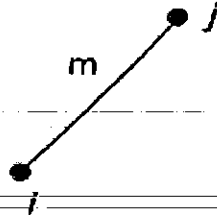
$$\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (2.1)$$

ค. คำนวณหาค่าความเค้นในเอลิเมนต์

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.2)$$

2.1.3 ชนิดของเอลิเมนต์ใน FEM

2.1.3.1 Line element

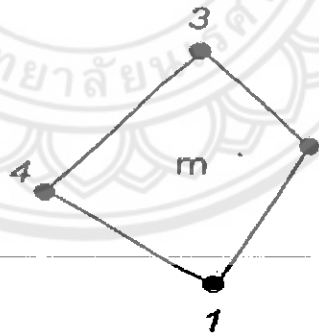


รูปที่ 2.2 เอลิเมนต์ชนิด Line element

โจทย์ปัญหา

- ระบบสปริง
- โครงสร้าง (Trusses)
- คาน (Beam)
- ท่อ (Pipe)
- อื่นๆ

2.1.3.2 Plane element

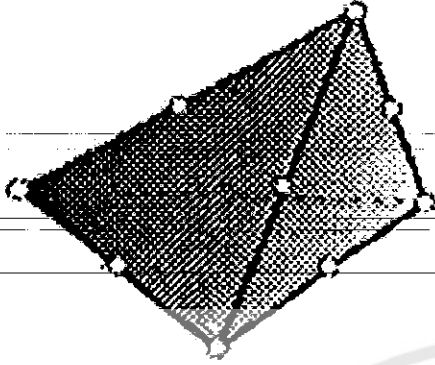


รูปที่ 2.3 เอลิเมนต์ชนิด Plane element

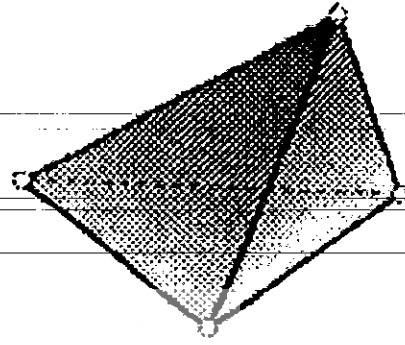
โจทย์ปัญหา

- Membrane
- Plate
- Shell
- Plane stress, plane strain

2.1.3.3 Solid element (3D)



Ten Nodes Tetrahedral



Four Nodes Tetrahedral

รูปที่ 2.4 เอลิเมนต์ชนิด Solid element (3D)

ที่มา : Dary L. Logan. (2001)

โจทย์ปัญหา 3-D field ได้แก่ อุณหภูมิ, การขจัด, ความเค้น, ความเร็วของการไหล เป็นต้น

สรุป ดังนั้นเนื่องจากแบบจำลองเพลานแบบ 3 มิติเราจึงเลือกใช้ Solid element (3D) ในการแบ่งโครงสร้างออกเป็นเอลิเมนต์เล็ก ๆ นั้น ต้องเลือกชนิดของเอลิเมนต์ที่จะนำไปวิเคราะห์ให้เหมาะสม การเลือกชนิดของเอลิเมนต์จะคำนึงถึงคุณสมบัติหรือ โครงสร้าง และจำนวนแกน (x,y,z) ที่ใช้บอกตำแหน่งของเอลิเมนต์ โดยเอลิเมนต์ 3 มิติที่ใช้ทั่วไปจะมีหลายชนิด เนื่องจากเพลามีส่วนโค้งมาก ดังนั้นเอลิเมนต์ 3 มิติที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ในการศึกษานี้คือ Ten Nodes Tetrahedral ซึ่งจะให้คำตอบที่ถูกต้องมากกว่าเอลิเมนต์ชนิด Four Nodes Tetrahedral ที่มีขอบข้างตรง แต่ Ten Nodes Tetrahedral จะใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า

2.1.4 ประโยชน์ของการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

- ก. ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาเมื่อเทียบกับการทดลอง
- ข. สามารถเลือกผลที่ดีที่สุดก่อนการทดลองหรือสร้างจริง
- ค. ไม่มีขีดจำกัดในเรื่องรูปร่างของวัตถุที่จะวิเคราะห์
- ง. เป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในวงการจำลองทางคณิตศาสตร์ของ โจทย์ทางวิศวกรรม
- จ. ถูกนำไปรวมกับโปรแกรมทางด้าน CAD/CAM
- ฉ. อื่นๆอีกมาก

2.2 ความเค้นเฉือนของเพลากลมที่รับแรงบิด

2.2.1 ความเค้นเฉือนในช่วงยึดหยุ่นภายใต้ภาระบิด

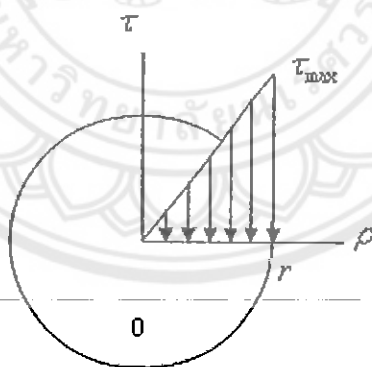
พิจารณาเพลาดันภายใต้แรงบิดที่ถูกกระทำโดยทอร์ก T โดยกำหนดความเค้นเฉือนในเพลาดังกล่าวที่คิดจำกัดความเป็นสัดส่วนและขีดจำกัดความยืดหยุ่นอาศัยกฎของฮุก $\tau = G\gamma$ (G = มอดูลัสเฉือนของวัสดุ) และแทนค่าลงในสมการ

$$\gamma = \left(\frac{\rho}{r}\right) \gamma_{\max} \quad (2.3)$$

$$G\gamma = \left(\frac{\rho}{r}\right) G\gamma_{\max} \quad (2.4)$$

$$\tau = \left(\frac{\rho}{r}\right) \tau_{\max} \quad (2.5)$$

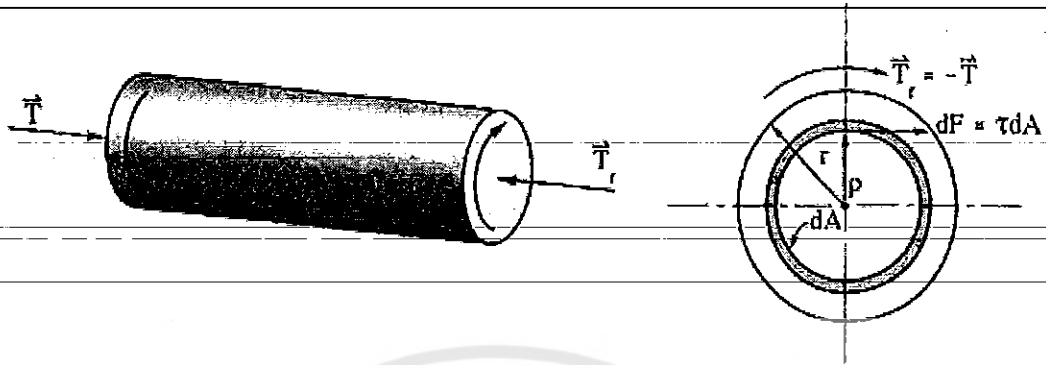
สรุปได้ว่าความเค้นเฉือนบนหน้าตัดเพลากลมตันเปลี่ยนแปลงเชิงเส้นกับระยะวัดจากแกนเพลาลงไป (ρ)



รูปที่ 2.5 การกระจายของความเค้นเฉือนในเพลากลมตัน

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างทอร์ก (T) กับความเค้นเฉือน (τ) บนหน้าตัดเพลากลมรัศมี r ดังรูปที่ 2.6 บนพื้นที่ dA ที่ระยะ ρ จากศูนย์กลางของเพลาก็จะมีแรงเฉือนด้านกระทำคือ

$$dF = \tau dA \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.6 แรงเฉือนด้านบนหน้าตัดของเพลานี้เนื่องจากทอร์กด้าน T ,
ที่มา: มนตรี พิรุณเกษตร, กลศาสตร์ของวัสดุ (2541)

ดังนั้นทอร์กด้านกระทำต่อหน้าตัดเพลาคือ

$$T = \int \rho dF = \int \rho \tau dA \quad (2.7)$$

แทนค่า $\tau = \left(\frac{\rho}{r}\right) \tau_{\max}$ ลงในสมการข้างต้นจะได้

$$T = \frac{\tau_{\max}}{r} \int \rho^2 dA = \frac{\tau_{\max}}{r} J \quad (2.8)$$

ดังนั้น

$$\tau_{\max} = \frac{Tr}{J} \quad (2.9)$$

โดยที่ $J = \int \rho^2 dA$ เรียกว่าโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของหน้าตัดเพลากลมตัน ถ้าใช้เพลากลมตันรัศมี r พบว่า

$$J = \frac{\pi r^4}{2} = \frac{\pi d^4}{32} \quad (2.10)$$

เมื่อแทนค่าโมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วลงในสมการ (2.9) จะได้สมการของเพลากลมตันคือ

$$\tau_{\max} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (2.11)$$

2.2.2 การส่งถ่ายกำลัง

ในงานเครื่องจักรกล เพลากลมตันหรือเพลากลมกลวงจะถูกนำมาใช้เพื่อส่งถ่ายกำลังอย่างต่อเนื่อง โดยให้เพลารับโมเมนต์บิด T และหมุนไปด้วยความเร็วเชิงมุม ω ค่าหนึ่งอย่างสม่ำเสมอ คำว่า กำลัง ในทางพลศาสตร์หมายถึงงานที่ได้ในหนึ่งหน่วยเวลา ฉะนั้นถ้าเพลารับโมเมนต์บิด T และหมุนไปเป็นมุมเท่ากับ $d\theta$ ภายในเวลาเท่ากับ dt จะได้

กำลังที่ส่งถ่าย $P = T \left(\frac{d\theta}{dt} \right)$

หรือ $P = T\omega$, $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ = ความเร็วเชิงมุม

ถ้ากำหนดให้ $T =$ กก.-ซม. และให้ n เป็นความเร็วรอบของการหมุน หรือ จำนวนรอบที่หมุนไปในหนึ่งนาที ซึ่งการหมุนหนึ่งรอบมีค่าเท่ากับ 2π เรเดียน ฉะนั้นจะได้ว่า

ความเร็วเชิงมุม $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ รอบ/วินาที

นั่นคือ กำลังที่ส่งถ่าย $P = \frac{2\pi n T}{60}$ กก.-ซม./วินาที

แต่กำลัง 1 แรงม้า (HP) = 550 ฟุต-ปอนด์/วินาที = 7500 กก.-ซม./วินาที ดังนั้น

กำลังม้า $P = \frac{2\pi n T}{60 \times 7500}$

หรือโมเมนต์บิด $T = P \times \frac{60 \times 7500}{2\pi n} = P \times \frac{71600}{n}$ กก.-ซม.

แต่ถ้ากำหนดให้ $T =$ นิวตัน-เมตร และให้ n เป็นรอบ/นาที $= \frac{n}{60}$ รอบ/นาที $= f$ Hertz (Hz)

จะได้ว่า ความเร็วเชิงมุม $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ รอบ/วินาที $= 2\pi f$ รอบ/วินาที นั่นคือ

$$\text{กำลังที่ส่งถ่าย} \quad P = 2\pi f T \text{ นิวตัน-เมตร/วินาที}$$

$$\text{หรือ โมเมนต์บิด} \quad T = \frac{P}{2\pi f} \text{ นิวตัน-เมตร}$$

หมายเหตุ อาจประมาณว่า 1 นิวตัน-เมตร = 10 กก.-ซม.

2.3 ทฤษฎีความเสียหาย

2.3.1 ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด

ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุดเหมาะสำหรับวัสดุที่เปราะ แต่สามารถรับแรงเฉือนได้ดี เช่น เหล็กหล่อ วัสดุดังกล่าวจะไม่มีจุดคราก ฉะนั้นจึงใช้ความต้านแรงดึงเป็นหลัก แต่จะใช้กับวัสดุที่มีจุดครากก็ได้ ในที่นี้จะกล่าวถึงความต้านแรงดึงครากเพื่อที่จะเปรียบเทียบกับทฤษฎีอื่นๆ ได้ ทฤษฎีนี้กล่าวว่า วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นหลักสูงสุดในวัสดุมีค่าเท่ากับความต้านแรงดึงครากของวัสดุนั้น ความเค้นหลักสูงสุดในที่นี้หมายถึง ค่าสัมบูรณ์สูงสุด (Maximum absolute value) ถ้าพิจารณาเฉพาะระบบความเค้น 2 มิติ ($\sigma_3 = 0$) และให้ N เป็นค่าความปลอดภัย สมการที่แสดงถึงทฤษฎีนี้คือ

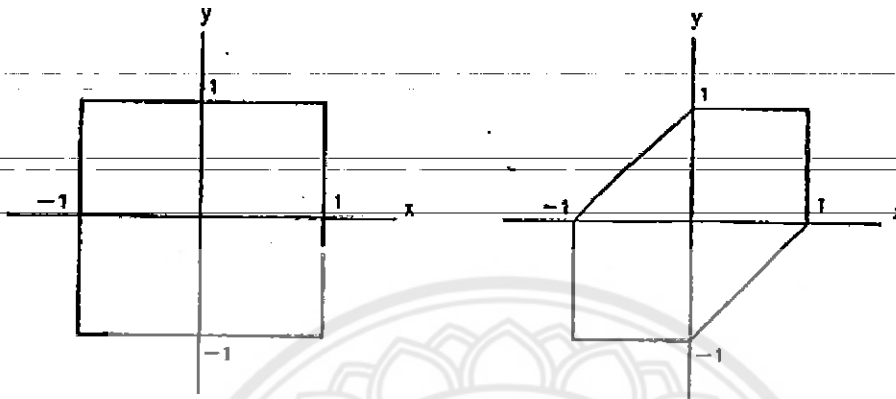
$$\sigma_1 = \pm \frac{\sigma_y}{N} \quad \text{ถ้า } |\sigma_1| > |\sigma_2| \quad (2.12)$$

$$\text{หรือ} \quad \sigma_2 = \pm \frac{\sigma_y}{N} \quad \text{ถ้า } |\sigma_2| > |\sigma_1| \quad (2.13)$$

ให้ $x = \frac{N\sigma_1}{\sigma_y}$ และ $y = \frac{N\sigma_2}{\sigma_y}$ สมการที่ (2.12) และสมการที่ (2.13) จะเขียนได้เป็น

$$x = \pm 1 \quad , \quad y = \pm 1$$

ซึ่งสมการนี้สามารถสร้างรูปแสดงขอบเขตของความเค้นที่มีได้ในวัสดุสำหรับชิ้นงานที่ออกแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังรูป 2.7 (ก)



(ก) ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด

(ข) ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

รูปที่ 2.7 ขอบเขตของความเค้นจากทฤษฎีความเสียหาย
ที่มา : ดร. วรวิทย์ อึ้งภากรณ์, การออกแบบเครื่องจักรกล (2545)

2.3.2 ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดเหมาะสำหรับวัสดุเหนียวมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเกณฑ์ของเทรสลา (Tresca's criterion) เป็นทฤษฎีที่นิยมใช้กันมากเพราะใช้ได้ง่ายและปลอดภัยทฤษฎีนี้กล่าวว่าวัสดุจะเกิดความเสียหาย เมื่อความเค้นเฉือนสูงสุดในวัสดุมีค่าเท่ากับความต้านแรงเฉือนสูงสุดของวัสดุชนิดเดียวกัน ที่ได้จากการทดสอบแรงดึงเมื่อถึงจุดครากจากกลศาสตร์วัสดุพบว่า ความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อวัสดุได้รับแรงดึงจนถึงจุดครากมีค่าเท่ากับ $\frac{\sigma_y}{2}$ และเกิดบนระนาบเอียงทำ

มุม 45° กับแนวแรงดึงขึ้นทดสอบ ซึ่งตามทฤษฎีนี้จะเริ่มเกิดความเสียหายเมื่อ τ_{\max} เท่ากับ $\frac{\sigma_y}{2}$

$$\tau_{\max} = \text{ค่าสูงสุดของ} \begin{cases} \frac{|\sigma_1 - \sigma_2|}{2} \\ \frac{|\sigma_1|}{2} \\ \frac{|\sigma_2|}{2} \end{cases} \quad (2.14)$$

เพราะฉะนั้นสมการที่ต้องนำมาคิดในการออกแบบคือ

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \pm \frac{\sigma_y}{2N} \quad (2.15)$$

หรือ
$$\frac{\sigma_1}{2} = \frac{\pm \sigma_y}{2N} \quad (2.16)$$

หรือ
$$\frac{\sigma_2}{2} = \pm \frac{\sigma_y}{2N} \quad (2.17)$$

ซึ่งจัดรูปใหม่จะได้

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \pm \frac{\sigma_y}{N} \quad (2.18)$$

$$\sigma_1 = \pm \frac{\sigma_y}{N} \quad (2.19)$$

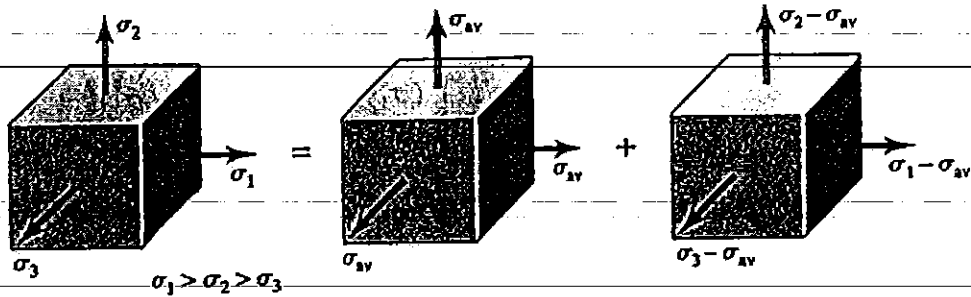
$$\sigma_2 = \pm \frac{\sigma_y}{N} \quad (2.20)$$

หรือ
$$x - y = \pm 1, x = \pm 1, y = \pm 1 \quad (2.21)$$

2.3.3 ทฤษฎีพลังงานของการเปลี่ยนรูปและทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล

ทฤษฎีพลังงานของการเปลี่ยนรูปนี้เกิดจากการสังเกตพลังงานที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปของวัสดุเหนียว โดยทฤษฎีนี้กล่าวว่า วัสดุจะเริ่มแตก เมื่อพลังงานของการเปลี่ยนรูปต่อหน่วยปริมาตร ของชิ้นงานที่อยู่ภายใต้ความเค้นรวม มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับพลังงานของการเปลี่ยนรูปเนื่องจากการแตกที่เกิดขึ้นในการทดสอบด้วยการดึงอย่างง่าย

ในทฤษฎีนี้ให้พิจารณาพลังงานของการเปลี่ยนรูปในชิ้นส่วนรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์เล็กๆที่อยู่ภายใต้ความเค้น 3 มิติ



(a) Triaxial stresses (b) Hydrostatic component (c) Distortional component

รูปที่ 2.8 พลังงานของการเปลี่ยนรูปในชิ้นส่วนรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์

ที่มา : ภาณุฤทธิ์ ยุกตะทัต, การออกแบบเครื่องจักรกล 1

โดย

$$\sigma_{av} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (2.22)$$

ดังนั้น ชิ้นส่วนในรูป (b) จะมีปริมาตรเปลี่ยนแปลงไปโดยไม่มีการบิดเบือนรูปร่างเชิงมุม ถ้าถือว่า σ_{av} เป็นองค์ประกอบของ σ_1 , σ_2 และ σ_3 องค์ประกอบนี้ก็จะสามารถนำไปลบออกได้ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ดังรูป (c) ซึ่งองค์ประกอบนี้จะเป็นองค์ประกอบที่อยู่ภายใต้การบิดเบือนรูปร่างเชิงมุม โดยที่ปริมาตรไม่มีการเปลี่ยนแปลง

พลังงานความเครียดต่อหน่วยปริมาตรภายใต้ความเค้นใน 3 มิติ คือ

$$\begin{aligned} u &= \frac{1}{2} (\varepsilon_1 \sigma_1 + \varepsilon_2 \sigma_2 + \varepsilon_3 \sigma_3) \\ &= \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1)] \end{aligned} \quad (2.23)$$

พลังงานความเครียดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะปริมาตร u_v จึงหาได้โดยแทนค่า σ_{av} สำหรับ σ_1 , σ_2 และ σ_3 ในสมการ (2.23)

$$u_v = \frac{3\sigma_{av}^2}{2E} (1 - 2\nu) \quad (2.24)$$

แทนค่าสมการ (2.22) ยกกำลังสอง ลงในสมการ (2.24) และจัดให้อยู่ในรูปแบบอย่างง่าย

$$u_v = \frac{1-2\nu}{6E} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + 2\sigma_1\sigma_2 + 2\sigma_2\sigma_3 + 2\sigma_3\sigma_1) \quad (2.25)$$

ดังนั้น จะสามารถหาพลังงานของการเปลี่ยนรูปได้จากการนำสมการที่ (2.25) ไปลบออกจากสมการ (2.23)

$$u_d = u - u_v = \frac{1+\nu}{3E} \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right] \quad (2.26)$$

พลังงานของการเปลี่ยนรูปจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อ $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$
สำหรับการทดสอบแรงดึงอย่างง่าย ที่จุดคราก $\sigma_1 = s_y$ และ $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ ดังนั้น พลังงานของการเปลี่ยนรูปจะมีค่าเท่ากับ

$$u_d = \frac{1+\nu}{3E} s_y^2 \quad (2.27)$$

ดังนั้น สำหรับสถานะความเค้นในสมการที่ (2.26) จะทำให้สามารถทำนายจุดครากของชิ้นงานได้ ถ้าสมการที่ (2.26) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับสมการที่ (2.27) ซึ่งจะได้

$$\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \geq s_y \quad (2.28)$$

ในการทดสอบแรงดึงอย่างง่าย จะเกิดความเค้น σ การครากของชิ้นงานจะเกิดขึ้นเมื่อ $\sigma \geq s_y$ ดังนั้น เทอมข้างซ้ายมือของสมการที่ (2.28) จะเป็นค่าความเค้นที่มีผลต่อพลังงานของการเปลี่ยนรูปซึ่งนิยมเรียกว่า Von-Mises-Stress ตามชื่อของผู้คิดค้นทฤษฎีนี้ โดยใช้สัญลักษณ์ σ' ดังนั้นจึงสามารถเขียนสมการที่ (2.28) ได้เป็น

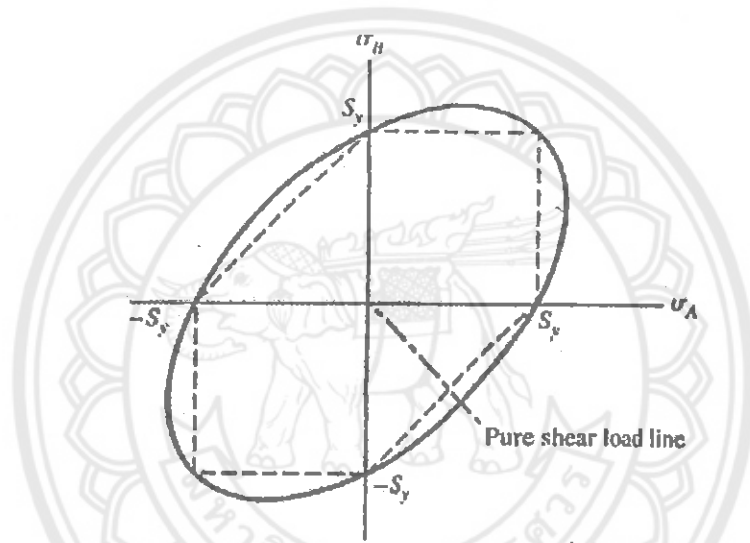
$$\sigma' \geq s_y \quad (2.29)$$

$$\text{เมื่อ } \sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.30)$$

สำหรับความเค้นในระนาบ กำหนดให้ σ_A และ σ_B เป็นความเค้นหลักซึ่งมีค่าไม่เท่ากับศูนย์
ดังนั้น

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A \sigma_B + \sigma_B^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.31)$$

สมการที่ (2.31) นี้เป็นสมการของวงรีบนระนาบ $\sigma_A \sigma_B$ ดังแสดงตามรูปที่ 2.9 โดย
 $\sigma' = s_y$ เส้นปะในรูปคือทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดซึ่งจะเห็นว่ามียุคจำกัดมากกว่า



รูปที่ 2.9 วงรีบนระนาบ $\sigma_A \sigma_B$

ที่มา : ภาณฤทธิ์ ยุกตะทัต, การออกแบบเครื่องจักรกล 1

การใช้องค์ประกอบของความเค้นใน 3 มิติ xyz จะสามารถเขียน Von Misses Stress ได้ดังนี้

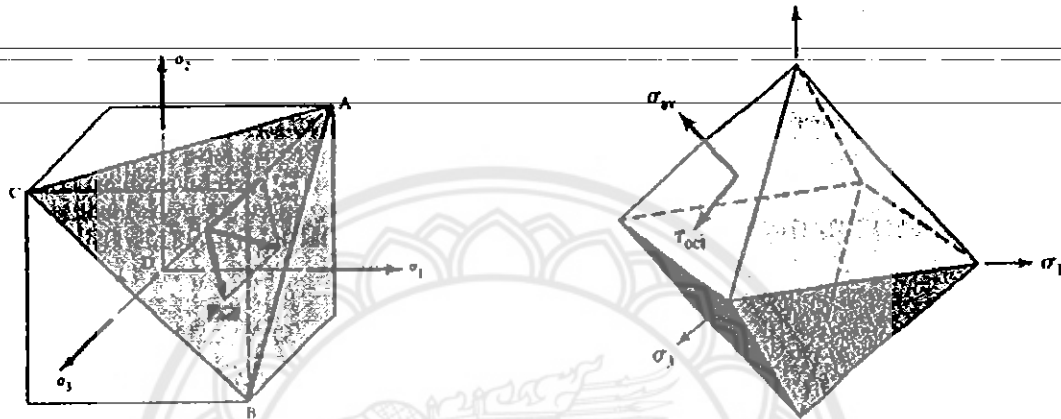
$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{\frac{1}{2}} \quad (2.32)$$

ดังนั้น สำหรับความเค้นในระนาบ $\sigma_z = 0$

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.33)$$

- ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล

ระนาบออกตะฮีดรัล หมายถึงระนาบที่เอียงทำมุมกับทิศทางของความเค้นหลักทั้งสามเท่ากัน
 ดังรูปที่ 2.10 ระนาบ ABC ก็คือระนาบออกตะฮีดรัล (Normal Vector ของระนาบนี้ทำมุมกับแกน
 σ_1 , σ_2 และ σ_3 เท่ากัน)



รูปที่ 2.10 ระนาบออกตะฮีดรัล

ที่มา : ภาณฤทธิ ยุคตะทัต, การออกแบบเครื่องจักรกล 1

ความเค้นเฉือนในระนาบมีค่า

$$\tau_{oct} = \frac{1}{3} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2} \quad (2.34)$$

ทฤษฎีออกตะฮีดรัลกล่าวว่า วัสดุจะเริ่มแตกเมื่อความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลสูงสุดในชิ้นงานที่อยู่ภายใต้ความเค้นรวมมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัลที่ได้จากการทดสอบด้วยการดึงอย่างง่าย ซึ่งในการทดสอบแรงดึงเมื่อถึงจุดแตกความเค้นหลัก σ_2 และ σ_3 มีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ $\sigma_1 = s_y$

ดังนั้น

$$\tau = \frac{\sqrt{2}}{3} s_y \quad (2.35)$$

นั่นคือการครากจะเกิดขึ้นที่สมการที่ (2.34) มากกว่าหรือเท่ากับสมการที่ (2.35) นั่นคือ

$$\left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \geq s_y \quad (2.36)$$

ซึ่งเหมือนกันทุกประการกับสมการที่ (2.28) ซึ่งเป็นที่มาชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งของทฤษฎีพลังงานของการเปลี่ยนรูปว่า ทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล

ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลโดยทั่วไป จะพิจารณาความเค้นในระนาบ ซึ่ง $\sigma_3 = 0$ เมื่อใช้ค่าความปลอดภัย n กำหนดค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริง (Von Misses Stress) คือ

$$\sigma' = \frac{s_y}{n} \quad (2.37)$$

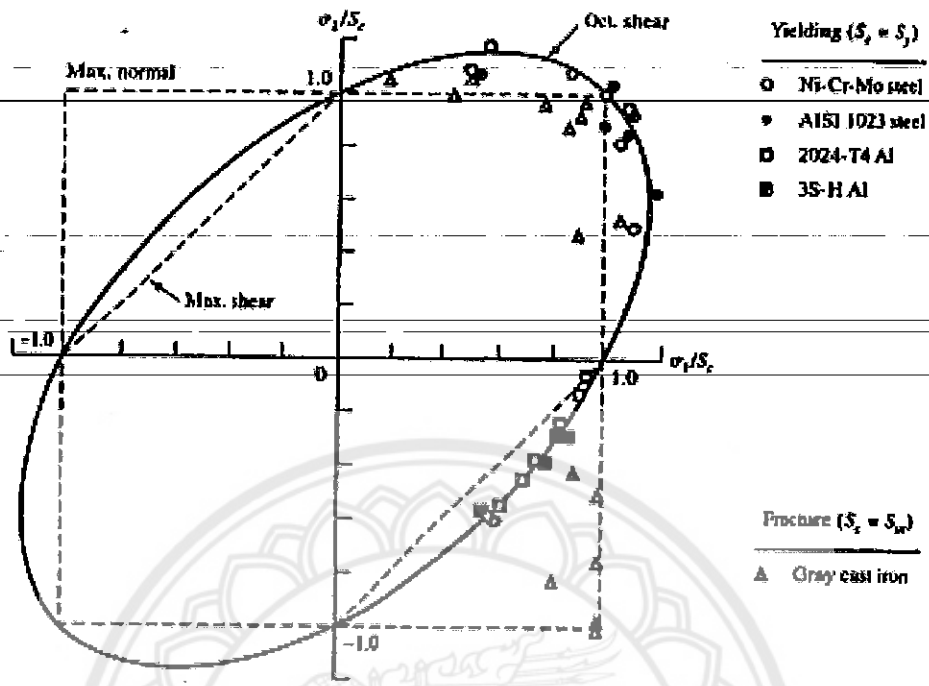
หากพิจารณากรณีที่มีการครากเกิดจากความเค้นเฉือนเพียงอย่างเดียว นั่นคือ $\sigma_x = \sigma_y = 0$ จะได้

$$\sqrt{3}\tau_{xy} = s_y \quad \text{หรือ} \quad \tau_{xy} = \frac{s_y}{\sqrt{3}} = 0.577s_y \quad (2.38)$$

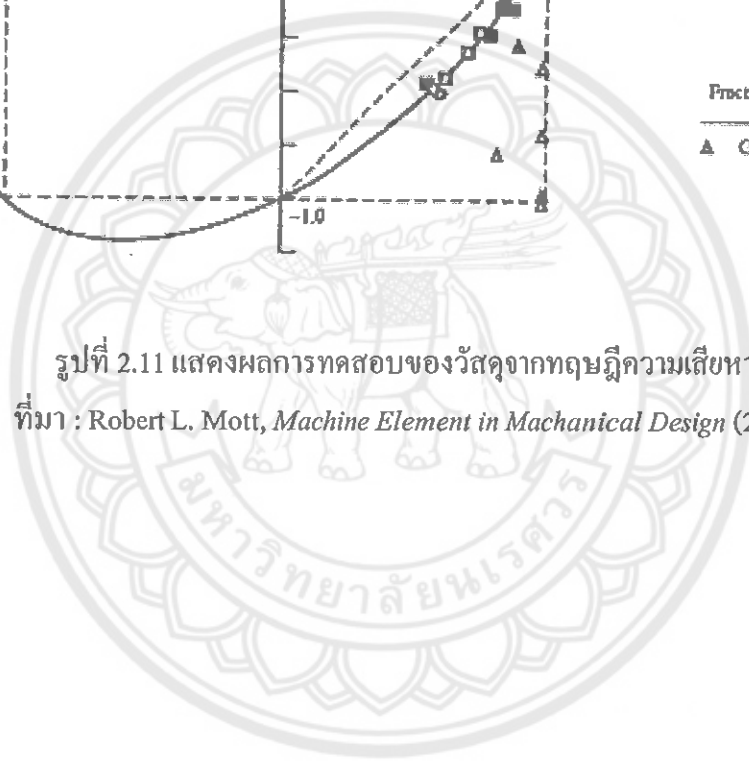
ดังนั้น เมื่อใช้ทฤษฎีพลังงานการเปลี่ยนรูป จะสามารถทำนายค่าความต้านแรงเฉือน (Shear Yield Strength) ได้ คือ

$$s_{sy} = 0.577s_y \quad (2.39)$$

สรุป ดังนั้นจะเลือกใช้ทฤษฎีพลังงานของการเปลี่ยนรูปและทฤษฎีความเค้นเฉือนออกตะฮีดรัล เนื่องจากทฤษฎีนี้เมื่อดูจากรูปที่ 2.11 แล้วการเสียหายของวัสดุส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นใกล้เส้นทฤษฎีดังกล่าวและค่า Von Misses Stress ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ไปคิดหาค่าความปลอดภัย (Safety factor) ซึ่งในการคำนวณค่าความปลอดภัยจะใช้ Yield Strength เปรียบเทียบกับ Von Misses Stress ที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 2.11 แสดงผลการทดสอบของวัสดุจากทฤษฎีความเสียหาย
 ที่มา : Robert L. Mott, *Machine Element in Mechanical Design* (2004)



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 1 ซึ่งจะสามารถแบ่งได้เป็น 3 หัวข้อใหญ่คือ 1.การศึกษาหาข้อมูล 2.การวิเคราะห์หาค่าความเค้นเฉือน 3. การเปรียบเทียบความเค้นเฉือนและวิเคราะห์หาค่าความเค้น Von Misses ดังมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนการดำเนินการศึกษา ดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาที่มาของปัญหาและข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของเพลลา

3.2 หาข้อมูลค่าแรงบิดสูงสุดเครื่องยนต์ เพื่อนำมาใช้หาแรงสูงสุดที่กระทำในแนวแกนและตำแหน่งตั้งฉากกับระนาบแกน X ของฟันเฟือง

3.3 หาข้อมูลคุณสมบัติเหล็ก AISI 4145 ที่ใช้ทำเพลลาเพื่อหาค่า Young 's Modulus และ Poisson 's Ratio

3.4 สร้างแบบจำลองเพลลาโดยโปรแกรม SolidWorks®

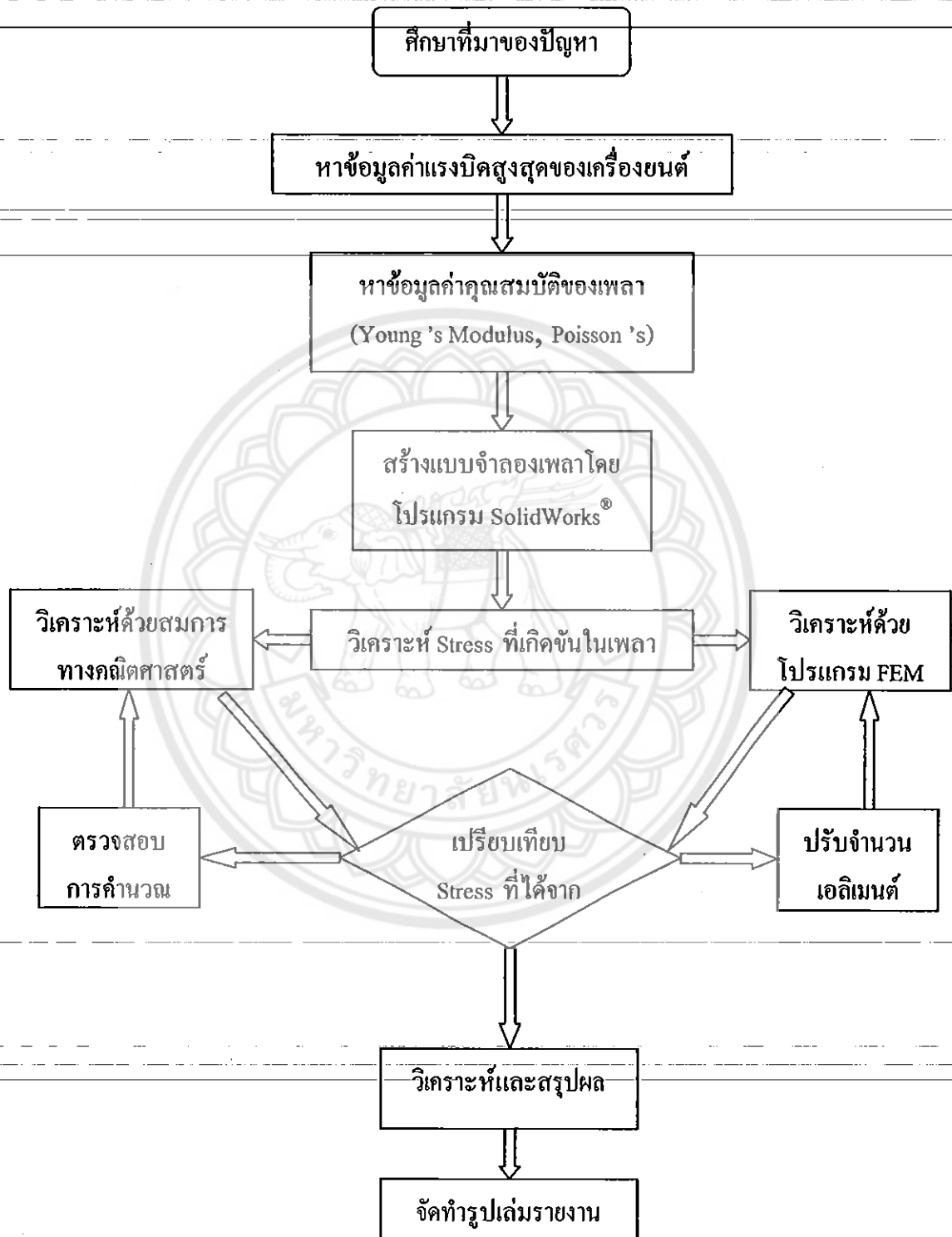
3.5 วิเคราะห์ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในเพลลา ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธี เพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบ

- การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์
- การวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

3.6 เปรียบเทียบความเค้นเฉือนที่ได้ระหว่าง การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ และการวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง

3.7 วิเคราะห์หาค่าความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเสียหายของเพลลาที่อาจจะเกิดขึ้น และสรุปผล

จากขั้นตอนการดำเนินงานดังกล่าวมา จะสามารถเขียนสรุปให้อยู่ในรูปของภาพแ่งดังได้



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินงาน

3.1 การศึกษาที่มาของปัญหาและข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของเพลลา

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ผ่านมา ซึ่งก็สามารถทำให้เราสามารถหาวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวได้

3.2 หาข้อมูลค่าแรงบิดสูงสุดเครื่องยนต์ เพื่อนำมาใช้หาแรงสูงสุดที่กระทำในแนวแกน และตำแหน่งตั้งฉากกับระนาบแกน X ของฟันเฟือง

จากการศึกษาเครื่องยนต์ของ Daihatsu แบบระบบหัวฉีด ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่เราใช้เข้าแข่งขันครั้งนี้จะพบว่ามีค่าแรงบิดสูงสุดอยู่ที่ 92.18 นิวตัน-เมตร ซึ่งจะแสดงค่าต่างๆของเครื่องยนต์ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของเครื่องยนต์

Define	Parameter
Displacement, cc	659
Engine model	EF-JL
Transmission	5 speed manual
Max.power (Net), kw(PS)/rpm	64 ps (47.07 kw) / 7500 rpm
Max.torque(Net),N*m(kg*m)/rpm	9.4 kg*m (92.18 N*m) / 4000 rpm
Power density	10.78
Engine type	Water cooling serial 3 cylinder SOHC12 valve IC turbo
Engine information	Belt driving horizontal ranging
Fuel system	EFI (electronic fuel injection)
Turbocharger	Turbo with intercooler
Fuel type	Unleaded regular gasoline

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) แสดงคุณสมบัติของเครื่องยนต์

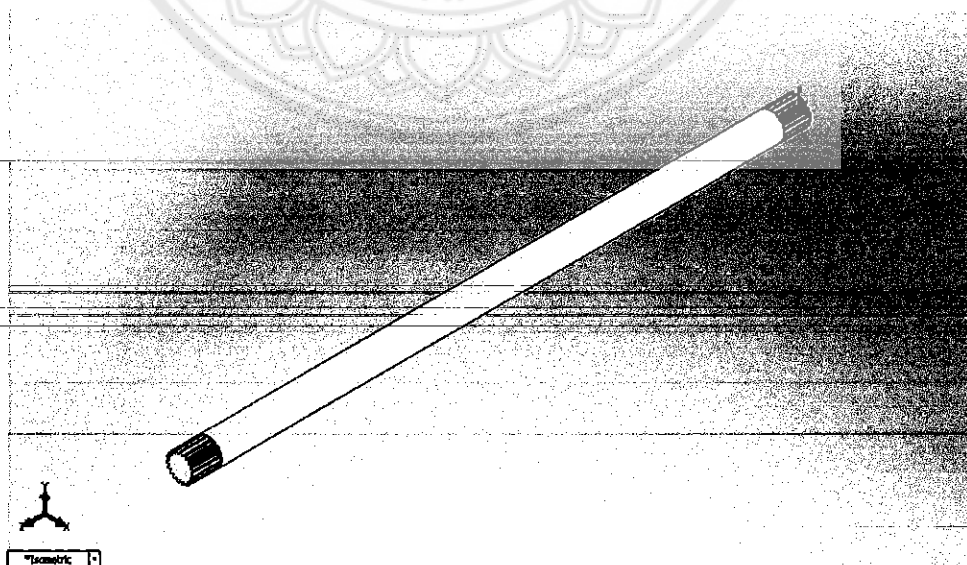
Define	Parameter
Fuel type	Unleaded regular gasoline
Compression ratio	8
Bore, mm	68
Stroke, mm	60.5
Fuel consumption at 10-15 modes, l/100km	5.5

ที่มา : www.cars-directory.net.

3.3 หาข้อมูลคุณสมบัติเหล็ก AISI 4145 ที่ใช้ทำเพลลาเพื่อหาค่า Young 's Modulus และ Poisson 's Ratio

จากการศึกษาหาข้อมูลของเหล็ก AISI 4145 จากเว็บไซต์ www.efanda.com ทำให้ทราบว่าเหล็ก AISI 4145 มีค่า Young 's Modulus = 210 GPa และ Poisson 's Ratio = 0.30

3.4 สร้างแบบจำลองเพลลาโดยโปรแกรม SolidWorks®



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของเพลลา

สร้างแบบจำลองของเพลลาให้มีลักษณะคล้ายกับของจริง โดยเพลลาจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 20 มิลลิเมตร ขนาดความยาวเท่ากับ 450 มิลลิเมตร และพื้นเฟืองทั้งสองข้างยาวเท่ากับ 20 มิลลิเมตร โดยพื้นเฟืองแต่ละข้างมีจำนวนพื้นเฟืองอยู่ 19 พื้นเฟือง (รายละเอียดเพิ่มเติมของเพลลาสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ก)

3.5 วิเคราะห์ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในเพลลา

3.5.1 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการสร้างและวิเคราะห์แบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของเพลลา TSAE โดยมีจุดประสงค์เพื่อหาค่าความเค้นเฉือนของเพลลาชนิดที่เกิดขึ้นจากแรงบิด (torque) ของเครื่องยนต์ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งในการวิเคราะห์ในหัวข้อนี้มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังนี้

3.5.1.1 ทำการเปิดแบบจำลองของเพลลาที่สร้างจากโปรแกรม SolidWorks® แสดงขึ้นบนโปรแกรม CosmosWorks®

3.5.1.2 กำหนดคุณสมบัติของวัสดุโดยกำหนดให้ค่าของเหล็กเป็นไปตามดังนี้ Young 's Modulus = 210 GPa และ Poisson 's Ratio = 0.30

3.5.1.3 กำหนดให้ภาระที่กระทำกับเพลลาเป็นแรงมีขนาด 554.87 นิวตัน ซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากแรงบิด (torque) ของเครื่องยนต์บนพื้นเฟืองแต่ละพื้นเฟือง ซึ่งจะมีมุมกด (Pressure angle) เท่ากับ 13.71° และสมมติให้ใช้รัศมีที่กึ่งกลางพื้นเฟือง (R_{avg}) ซึ่งสามารถหาค่าแรงได้จากสมการดังนี้

สมการแรงบิดที่กระทำกับเพลลา

$$W' \times R_{avg} = T$$

$$F \cos \theta \times R_{avg} = T$$

$$F = \frac{T}{\cos 13.71^\circ \times \left(\frac{R_o + R_i}{2} \right)}$$

$$F = \frac{92.18N \cdot m}{\cos 13.71^\circ \times \left(\frac{0.01 + 0.008}{2}\right)m}$$

$$F = 10542.60N$$

แรงที่กระทำบนพื้นเพียงแต่ละพื้นเพียงของเพลาหาได้จากสมการ

$$F_N = \frac{F}{N}$$

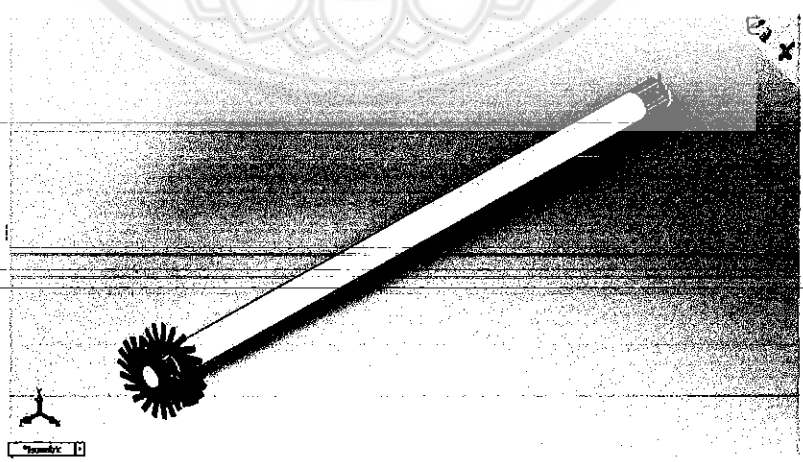
$$F_N = \frac{10542.60}{19}$$

$$F_N = 554.87N$$

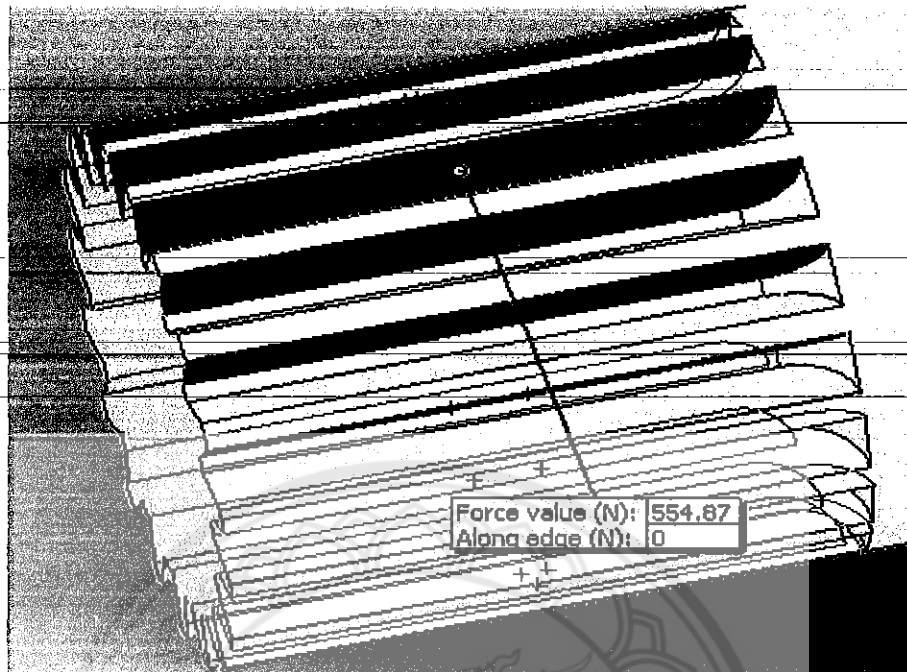
เมื่อ กำหนดให้ F คือแรงที่กระทำบนเพลา

F_N คือแรงที่กระทำบนพื้นเพียงแต่ละพื้นเพียงของเพลา

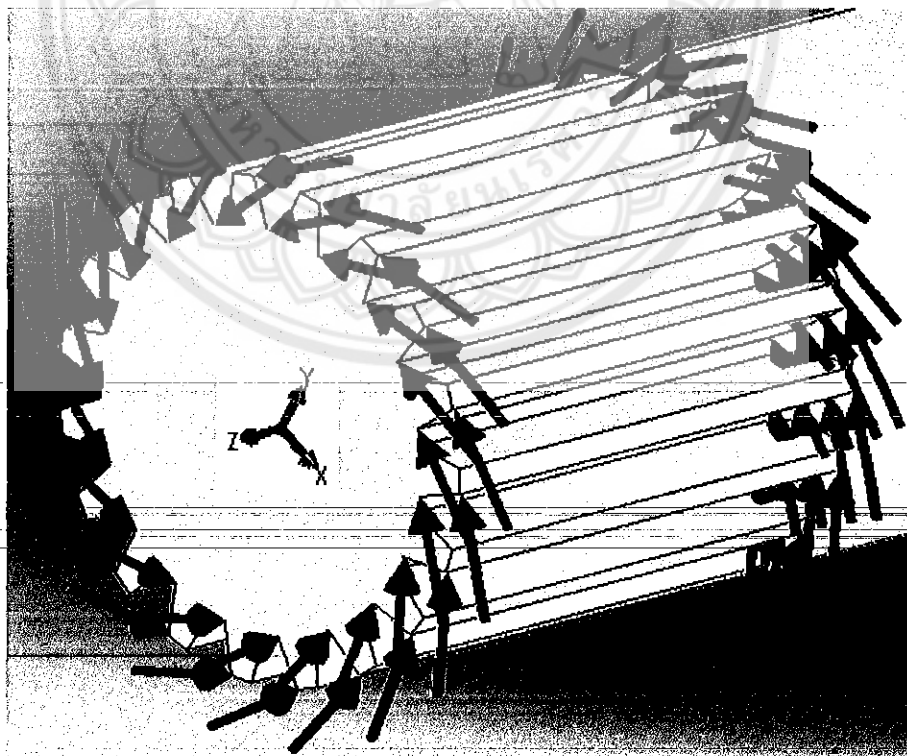
โดยในการวิเคราะห์หาความเค้นเฉือน แรงจะกระทำในลักษณะกระจายเต็มผิวหน้าพื้นเพียงทุกพื้นเพียงของเพลาและตั้งฉากกับระนาบ YZ และมีทิศทางในแนวแกน -X ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 การกำหนดภาวะที่กระทำต่อเพลา

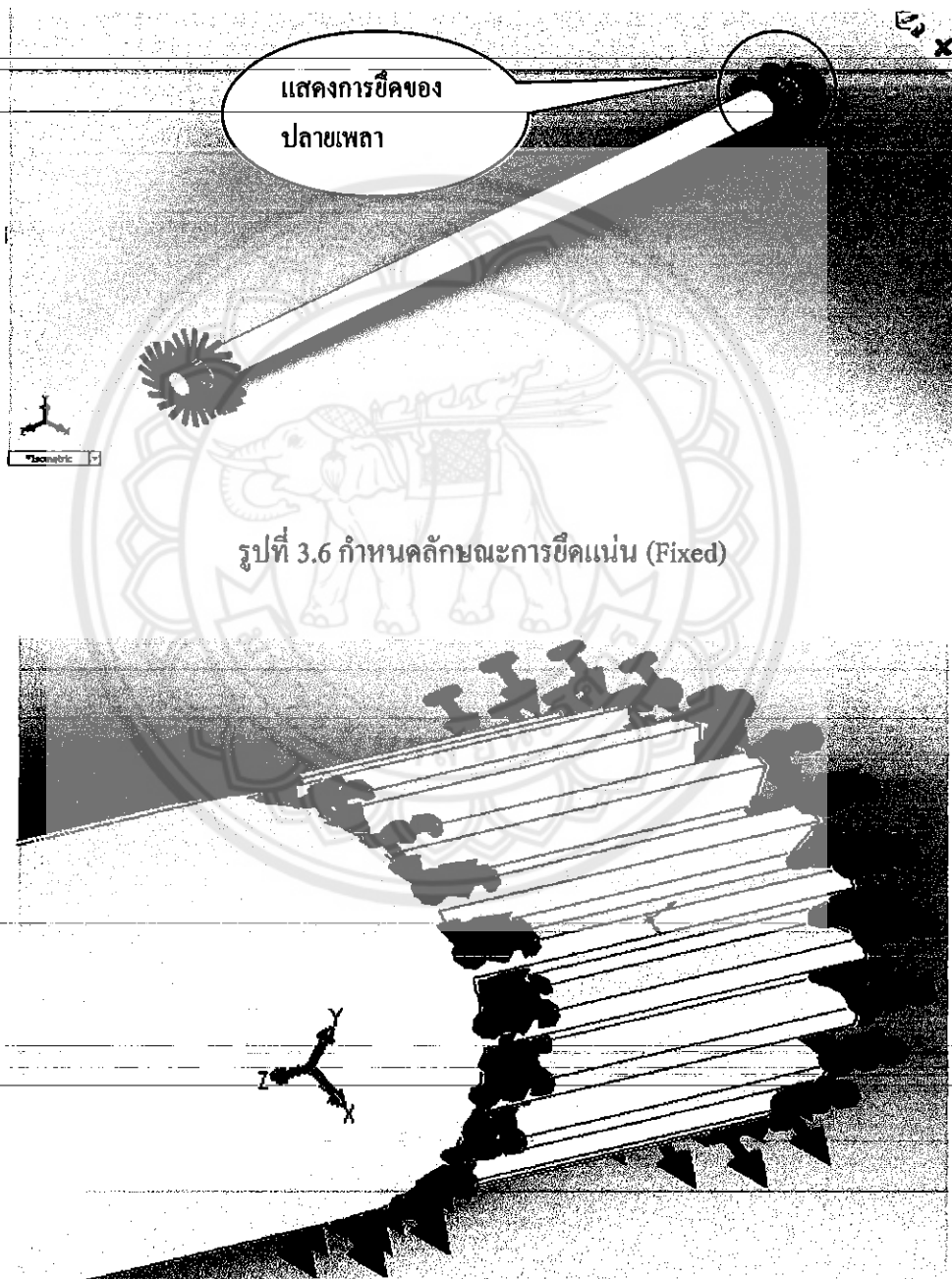


รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะการกระจายของแรงที่กระทำต่อระนาบของพื้นผิวทั้ง 19 พื้นผิว



รูปที่ 3.5 แสดงทิศทางของภาระที่กระทำบนปลายเพลา

3.5.1.4 กำหนดเงื่อนไขของแบบจำลอง โดยกำหนดให้แกน Z คือทิศทางของแนวแกนของเพลาดังนั้นที่ปลายของเพลานในแนวแกน Z ข้างหนึ่งจะถูกยึดแน่น (Fixed) มีทิศทางในแนวแกน X-Y-Z ซึ่งการยึดนี้จะยึดเต็มหน้าทุกหน้าของฟันเฟือง ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งจะถูกบิดด้วยแรงที่มีทิศทางในแนวแกน -X ดังแสดงในรูปที่ 3.6, 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงการจับยึดที่กระทำบนปลายเพลาลูก

3.5.1.5 วิเคราะห์ผลหาค่าความเค้นในแนวแกนสูงสุดที่เกิดในเพลาด้วยโปรแกรมวิเคราะห์
ไฟไนต์เอลิเมนต์ CosmosWorks® เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเค้นเฉือนที่ได้จากการคำนวณ
ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

3.5.2 การวิเคราะห์ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดของเพลากลมตันจะสามารถหาได้จากสมการ

$$\tau_{\max} = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (3.1)$$

เมื่อ T คือโมเมนต์บิด = 92.18 นิวตัน-เมตร

d คือเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาด = 20 มิลลิเมตร



บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการดำเนินงานตามขั้นตอนและระเบียบวิธีการดำเนินงานวิจัยดังแสดงไว้ในบทที่ 3 ซึ่งจะประกอบด้วยเนื้อหาและรายละเอียดของผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความเค้นเฉือนจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าความเค้นเฉือนจากสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง

4.2 การวิเคราะห์ผลค่าความเค้นเฉือนเพื่อเลือกขนาดของ Mesh

4.3 ผลการศึกษาความเค้น Von Misses สูงสุด

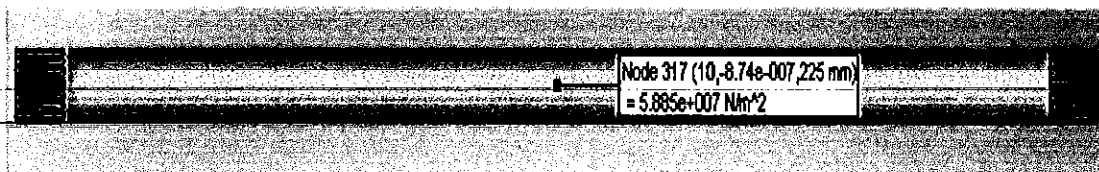
4.4 ผลการศึกษาความเค้น Von Misses ตรงกลางเพลลา

4.5 การวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยของแบบจำลอง

4.1 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความเค้นเฉือนจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าความเค้นเฉือนจากสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง

4.1.1 การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าความเค้นเฉือน

การวิเคราะห์การเปรียบเทียบค่าความเค้นเฉือนในเพลลาที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าความเค้นเฉือนที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ มีจุดประสงค์เพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้สร้างขึ้น โดยความเค้นเฉือนที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น จะใช้ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางเพลลาเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบเนื่องจากความเค้นหนาแน่น (Stress Concentrations) ดังแสดงตำแหน่งในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นในเพลลา

จากผลการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยทำการเปลี่ยนขนาดของ Mesh ซึ่งมีขนาด 1-17.5 มิลลิเมตร จะได้ผลค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นดังแสดงในตาราง

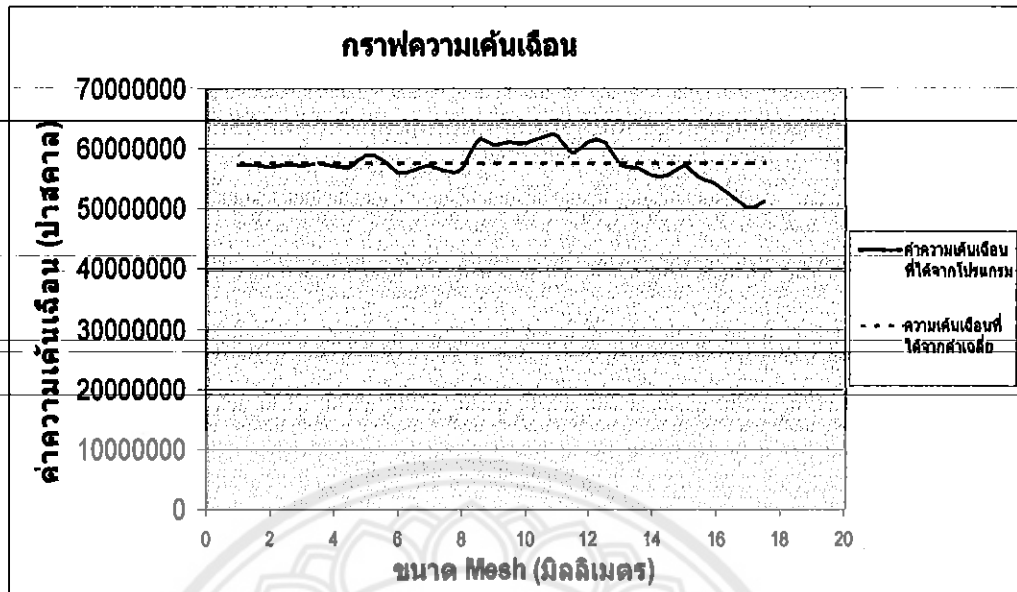
ตารางที่ 4.1 ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในเพลลาในช่วงขนาดของ Mesh 1-17.5 มิลลิเมตร

ขนาด Mesh (มิลลิเมตร)	ค่าความเค้นเฉือน (ปาสคาล)	เวลาที่ใช้วิเคราะห์ผล (วินาที)
1	57290000	1800
1.5	57390000	480
2	56880000	60
2.5	57480000	30
3	57120000	20
3.5	57690000	17
4	57100000	11
4.5	57040000	11
5	58850000	10
5.5	58160000	9
6	56130000	8
6.5	56380000	8
7	57190000	7
7.5	56350000	7
8	56650000	8
8.5	61290000	6

ตารางที่ 4.1(ต่อ) ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในเพลลาในช่วงขนาดของ Mesh 1-17.5 มิลลิเมตร

ขนาด Mesh (มิลลิเมตร)	ค่าความเค้นเฉือน (ปาสคาล)	เวลาที่ใช้วิเคราะห์ผล (วินาที)
9	60600000	6
9.5	61120000	7
10	61010000	5
10.5	61740000	6
11	62180000	7
11.5	59360000	6
12	61070000	6
12.5	61050000	6
13	57420000	6
13.5	56950000	6
14	55600000	6
14.5	55640000	6
15	57250000	6
15.5	55110000	6
16	53990000	6
17	50210000	5
17.5	51110000	5

ค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในแบบจำลองเพลลาเมื่อมีการเปลี่ยนขนาดของ Mesh จากตารางที่ 4.1 สามารถนำเสนอในรูปแบบของกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 4.2 ความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในเพลลาในช่วงขนาดของ Mesh 1-17.5 มิลลิเมตร

จากลักษณะของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งกึ่งกลางเพลลา จะมีแนวโน้มคงตัวเมื่อขนาดของ Mesh size มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตรและมีค่าเฉลี่ยของค่าความเค้นเฉือนเท่ากับ 57.59 เมกกะปาสคาล ส่วนในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ในแต่ละขนาดของ Mesh size จากตารางที่ 4.1 จะพบว่าเวลาที่ใช้จะเพิ่มขึ้นสูงมากเมื่อขนาดของ Mesh size มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร

4.1.2 ค่าความเค้นเฉือนจากสมการทางคณิตศาสตร์

ค่าความเค้นเฉือนจากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเค้นเฉือนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นดังแสดงข้อมูลในหัวข้อที่ 4.1.1 ซึ่งค่าความเค้นเฉือนที่เกิดจากการคำนวณที่แรงบิดสูงสุดกระทำกับเพลลาซึ่งจะมีขนาดเท่ากับค่าแรงบิดที่นำไปทำการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

$$\text{จาก} \quad \tau_{\max} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

$$\tau_{\max} = \frac{(16)(92.18)}{\pi(20 \times 10^{-3})^3}$$

$$\tau_{\max} = 58.68 \text{ MPa}$$

ดังนั้นค่า ค่าความเค้นเฉือนสูงสุดที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์คือ

$$\text{Maximum Shear Stress} = 58.68 \text{ เมกกะปาสคาล}$$

4.1.3 การเปรียบเทียบค่าความเค้นเฉือนเพื่อยืนยันความถูกต้องของแบบจำลอง

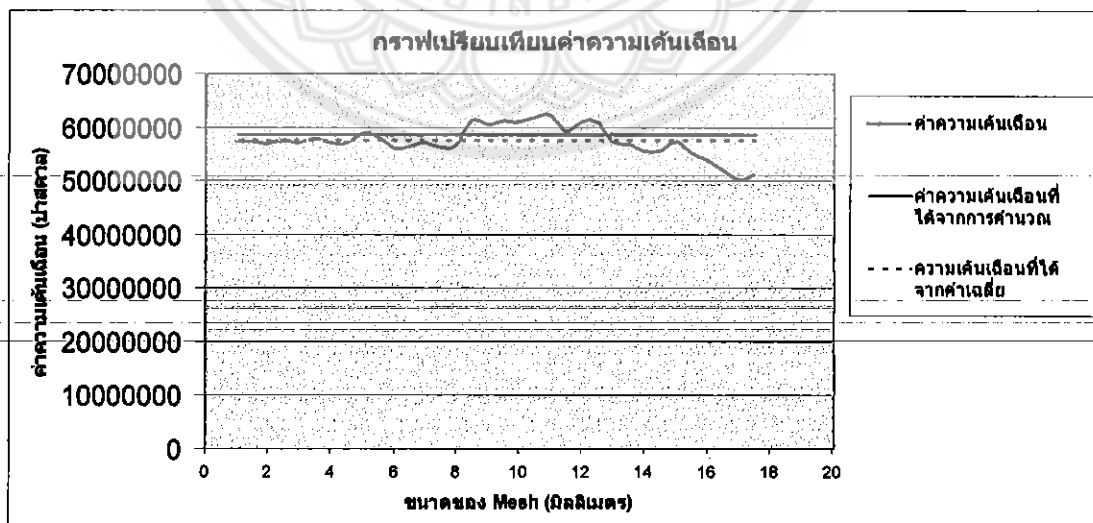
จากตารางที่ 4.1 สามารถหาค่าความเค้นเฉือนเฉลี่ยที่ได้จากการวิเคราะห์แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์มีค่าเท่ากับ 57.59 เมกกะปาสคาล เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นเฉือนที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีค่าเท่ากับ 58.68 เมกกะปาสคาล จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง คือ

$$\% \text{ Difference} = \frac{\tau_{\text{math}} - \tau_{\text{average}}}{\tau_{\text{math}}} \times 100$$

$$\% \text{ Difference} = \frac{58.68 - 57.59}{58.68} \times 100$$

$$\% \text{ Difference} = 1.86$$

โดยข้อมูลทั้งหมดค่าความเค้นเฉือนจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ขนาด Mesh ต่างๆ ค่าความเค้นเฉือนเฉลี่ย พร้อมทั้งค่าความเค้นเฉือนที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ จะสามารถนำมาแสดงการเปรียบเทียบในรูปของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบค่าความเค้นเฉือน

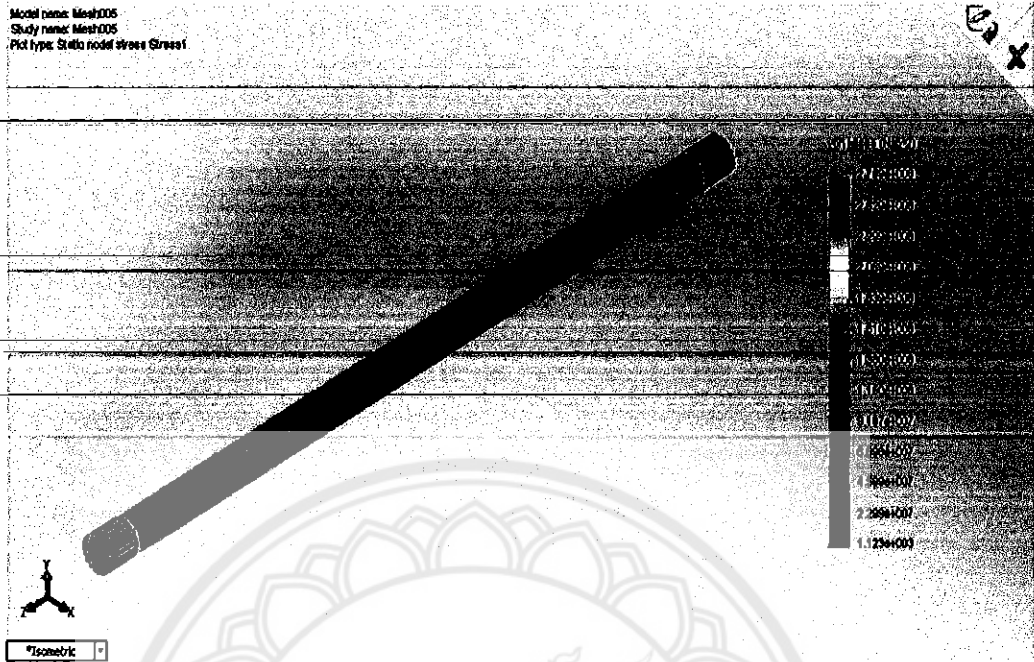
จากค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ได้ 1.86 เปอร์เซ็นต์นั้น จะเห็นได้ว่ามีค่าน้อยมากซึ่งในทางวิศวกรรมถือว่ายอมรับได้ ดังนั้นจะถือว่าแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่สร้างนี้มีความน่าเชื่อถือ และถูกต้องเพียงพอที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาค่าความปลอดภัยต่อไปได้

4.2 การวิเคราะห์ผลค่าความเค้นเฉือนเพื่อเลือกขนาดของ Mesh

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเค้นเฉือนที่ขนาด Mesh ต่างๆกันดังแสดงในตารางที่ 4.1 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ โดยถือว่าค่าความเค้นเฉือนที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์เป็นค่าความเค้นเฉือนที่ถูกต้อง ดังนั้นจะพบว่าค่าความเค้นเฉือนที่ขนาด Mesh 5 มิลลิเมตร จะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์มากที่สุดและเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ก็อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

4.3 ผลการศึกษาความเค้น Von Misses สูงสุด

สำหรับการศึกษาหาค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สำหรับโครงการนี้ จะเป็นการศึกษาหาค่าความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้น เนื่องจากเพลาทำมาจากเหล็ก AISI 4145 ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงและจัดอยู่ในวัสดุที่เหนียว ดังนั้นในการพิจารณาความเสียหายจึงเลือกทฤษฎีพลังงานเสีรูปร่างสูงสุดมาใช้ในการพิจารณาด้วยเหตุนี้ในการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นในเพล่า จึงศึกษาถึงค่าความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้นเพื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า Yield Strength ของเหล็ก AISI 4145 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 670 เมกกะปาสคาล จากผลการวิเคราะห์แบบจำลองผลของค่าความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้นในเพล่าซึ่งจะมีลักษณะการกระจายตัวของความเค้น Von Misses ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความเค้น Von Misses ที่เกิดขึ้นใน Mesh ที่ 5 มิลลิเมตรซึ่งจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 275.9 เมกกะปาสคาลและจะเกิดขึ้นที่บริเวณร่องของฟันเฟือง ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5



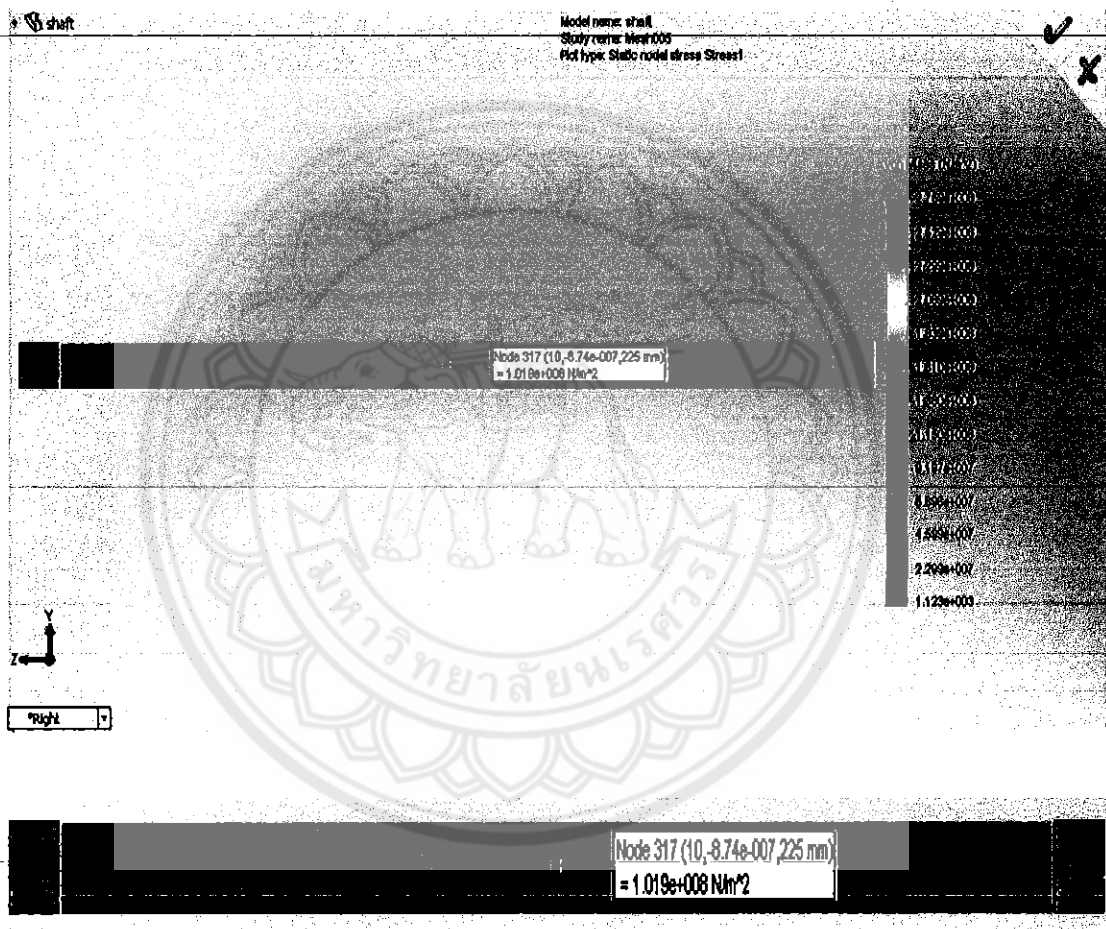
รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเค้น Von Misses



รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้นในเพลลา

4.4 ผลการศึกษาความเค้น Von Misses ตรงกลางเพลลา

จากการศึกษาดูงานที่มอเตอร์สปอร์ตแดนค์พบว่าลักษณะการเสียหายที่เกิดขึ้นจริงของเพลลา จะเกิดขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางเพลลา ซึ่งไม่ใช่บริเวณที่เกิดความเค้นสูงสุด ดังนั้นเพื่อศึกษาการเสียหายที่เกิดขึ้นจริงดังกล่าว จึงต้องทำการศึกษาค่าความเค้น Von Misses ที่บริเวณกึ่งกลางเพลลาด้วย เพื่อหาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นไปศึกษาพิจารณาการเสียหายของเพลลาต่อไป



รูปที่ 4.6 ความเค้น Von Misses ตรงกลางเพลลา

จากผลการศึกษาพบว่าค่าความเค้น Von Misses ตรงกลางเพลลาที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 101.9 เมกะปาสกาล ซึ่งค่าความเค้น Von Misses ที่ได้ตรงกลางเพลลาไปใช้ในการหาค่าความปลอดภัยต่อไป

4.5 การวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยของแบบจำลอง

4.5.1 การวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยที่บริเวณความเค้น Von Misses สูงสุด

การวิเคราะห์หาความเค้นจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกิดขึ้นในเพลลา ซึ่งจะศึกษาถึงค่าความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้น โดยทำการวิเคราะห์ด้วยขนาด Mesh ที่ 5 มิลลิเมตร จากผลการวิเคราะห์ที่ได้จะพบว่าค่าความเค้นวอนมิสเซสสูงสุดที่เกิดขึ้น จะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งปลายของเพลลาบริเวณตำแหน่งพื้นเฟือง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นมีความสอดคล้องกับทฤษฎีความเค้นหนาแน่น เนื่องจากบริเวณดังกล่าวนี้ได้รับอิทธิพลของความเค้นหนาแน่นเนื่องจากรูปร่างของพื้นเฟือง และยังมีการเปลี่ยนขนาดของหน้าตัดของเพลลาอีกด้วย โดยค่าความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ 275.9 เมกกะปาสคาล โดยเมื่อนำค่าความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้นที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 275.9 เมกกะปาสคาล มาเปรียบเทียบกับค่า Yield Strength ของเหล็ก AISI 4145 ซึ่งเป็นเหล็กที่ใช้ในการทำเพลลา ซึ่งจากการหาข้อมูลของเหล็ก AISI 4145 พบว่ามีค่า Yield Strength เท่ากับ 670 เมกกะปาสคาล จะได้ค่าความปลอดภัย มีค่าเท่ากับ

$$\text{Safety Factor} = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$\text{Safety Factor} = \frac{670}{275.9}$$

$$\text{Safety Factor} = 2.43$$

จากค่าความปลอดภัยขนาด 2.43 ดังกล่าว เมื่อนำเปรียบเทียบกับค่าความปลอดภัยในภาคผนวก ก จะเห็นได้ว่าเมื่อเพลลาถูกนำไปใช้งานและรับภาระแรงบิดขนาด 92.18 นิวตัน-เมตร จะมีความปลอดภัยเพียงพอต่อการใช้งาน และจะไม่เกิดการเสียหายของเพลลาขณะนำไปใช้งาน

4.5.2 การวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยที่บริเวณกลางเพลลา

การวิเคราะห์หาความเค้นจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เกิดขึ้นตรงกลางเพลลา ซึ่งจะศึกษาถึงค่าความเค้น Von Misses ที่เกิดขึ้น โดยทำการวิเคราะห์ด้วยขนาด Mesh ที่ 5 มิลลิเมตร จากผลการวิเคราะห์ที่ได้จะพบว่าค่าความเค้น Von Misses ที่เกิดขึ้นตรงกลางเพลลามีค่าเท่ากับ 101.9 เมกกะ

พลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และเมื่อนำค่าความเค้นวอนมีสเชสที่เกิดขึ้นที่ได้จากการวิเคราะห์ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 101.9 เมกะปาสคาล มาเปรียบเทียบกับค่า Yield Strength ของเหล็ก AISI 4145 ซึ่งเป็นเหล็กที่ใช้ในการทำเพลลาและมีค่า Yield Strength = 670 เมกะปาสคาล จะได้ค่าความปลอดภัย มีค่าเท่ากับ

$$\text{Safety Factor} = \frac{s_y}{\sigma'}$$

$$\text{Safety Factor} = \frac{670}{101.9}$$

$$\text{Safety Factor} = 6.58$$

จากค่าความปลอดภัยขนาด 6.58 ดังกล่าว เมื่อนำเปรียบเทียบกับค่าความปลอดภัยใน ภาคผนวก ค จะเห็นได้ว่าเมื่อเพลลาถูกนำไปใช้งานและรับภาระแรงบิดขนาด 92.18 นิวตัน-เมตร จะมีความปลอดภัยเพียงพอและจะไม่เกิดความเสียหายกับบริเวณตรงกลางเพลลาขณะใช้งาน

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบ

การวิเคราะห์แบบจำลองเพลลาที่ได้รับการกระทำจากแรงบิดโดยใช้ระเบียบวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ มีวิธีการดำเนินงานประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่จะใช้ในการวิเคราะห์และขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปหาค่าความปลอดภัย ซึ่งจะมีรายละเอียดสรุปผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

5.1.1 การยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

การยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ในการศึกษานี้ จะทำโดยการตรวจสอบค่าความเค้นเฉือนตรงกลางของเพลลาที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่าความเค้นเฉือนที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเมื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกันจะพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความเค้นเฉือนมีค่าเท่ากับ 1.86 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะถือว่าแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ได้มีความถูกต้องเพียงพอต่อการนำไปวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยต่อไป

5.1.2 การวิเคราะห์หาค่าความเค้นสูงสุดและค่าความปลอดภัย

จากการวิเคราะห์หาค่าความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้น จะพบว่าค่าความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งปลายเพลลาบริเวณพื้นเฟือง ซึ่งมีความสอดคล้องกับทฤษฎีความเค้นหนาแน่น เนื่องจากบริเวณดังกล่าวได้รับผลกระทบของความเค้นหนาแน่นจากรูปร่างของพื้นเฟืองและการเปลี่ยนขนาดหน้าตัดของเพลลา เมื่อนำค่าความเค้น Von Misses สูงสุดที่เกิดขึ้นดังกล่าวมาคำนวณหาค่าความปลอดภัยโดยใช้การเปรียบเทียบระหว่างค่าความเค้น Von Misses ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์กับค่า Yield Strength ที่ได้จากการศึกษาของเหล็ก AISI 4145 จะพบว่าค่าความปลอดภัยมีค่าเท่ากับ 2.43 ซึ่งจากภาพผนวก ก จะเห็นได้ว่าเป็นค่าความ

ปลอดภัยที่เพียงพอต่อการใช้งานและจะไม่ส่งผลให้เกิดความเสียหายกับเพลลาที่ใช้กับรถ TSAE Student Formula แต่จากการศึกษางานที่มอเตอร์สปอร์ตแลนค์พบว่าความเสียหายของเพลลาจะเกิดขึ้นที่บริเวณกลางเพลลา ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าค่าความเค้น Von Misses ที่เกิดขึ้นบริเวณกลางเพลลาดังกล่าวจะมีขนาดเท่ากับ 101.9 เมกะปาสคาล และจะมีค่าความปลอดภัยเท่ากับ 6.58 จะเห็นได้ว่าเป็นค่าความปลอดภัยที่สูงมาก ดังนั้นเพลลาของเราที่ใช้ในการแข่งขันครั้งนี้ไม่น่าจะเกิดความเสียหายขึ้น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์นี้ไม่ได้ครอบคลุมถึงภาระในรูปแบบอื่นที่เกิดขึ้นกับตัวเพลลา เช่น ภาระแรงดัดที่กระทำกับตัวเพลลา อีกทั้งลักษณะของภาระที่กระทำกับตัวเพลลาซึ่งอยู่ในรูปของภาระที่กระทำเป็นรอบ (Cyclic Loading) ซึ่งจะส่งผลให้ตัวเพลลาเกิดการเสียหายด้วยความล้าของวัสดุอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการวิเคราะห์เพลลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ความยาว 450 มิลลิเมตรและใช้วัสดุเหล็ก AISI 4145 การวิเคราะห์สามารถนำไปใช้งานจริงได้ ซึ่งหากมีผู้สนใจในการทำการวิเคราะห์เพิ่มเติม อาจทำการศึกษาในหัวข้อต่อไปนี้

5.2.1 การวิเคราะห์ภาระเนื่องจากแรงดัดเพิ่มเติมในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

5.2.2 การวิเคราะห์ความล้าของเพลลาโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

5.2.3 ศึกษาการเปลี่ยนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลลา

5.2.4 ศึกษาการเปลี่ยนขนาดของความยาวของเพลลา

5.2.5 ศึกษาการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำเพลลา

5.2.6 ศึกษาการเปลี่ยนขนาดของแรงบิดที่กระทำต่อเพลลา

บรรณานุกรม

เอกสารประกอบการสอน ME422 Introduction to Finite Element Method. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รัตนา การบุญบุญนันท์. เอกสารประกอบการสอนวิชา 302221 กลศาสตร์ของของแข็ง 1. พิษณุโลก : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

รองศาสตราจารย์ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี และสถาพร ว่างฉาย. SolidWorks/COSMOSWork ขั้นพื้นฐาน (วิเคราะห์ความแข็งแรง). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2549.

ศาสตราจารย์ ดร.วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และรองศาสตราจารย์ชาญ ถนัดงาน. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์ และ ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545. หน้า 84-91.

มนตรี พิรุณเกษม. กลศาสตร์ของวัสดุ เล่ม 1. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2541. หน้า 251-254.

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี. SolidWorks ขั้นพื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเทคโนโลยีขนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548.

นพรัตน์ สีหะวงษ์. วิทยานิพนธ์ เรื่อง การวิเคราะห์ตัวแปรของสกรูอิมเพลนต์ขนาดเล็กต่อการกระจายความเค้นในกระดูก โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549.

Robert L. Mott and John Tong. Mechine Elements in Machanical Design. 4th ed. Pearson Education, 2004.

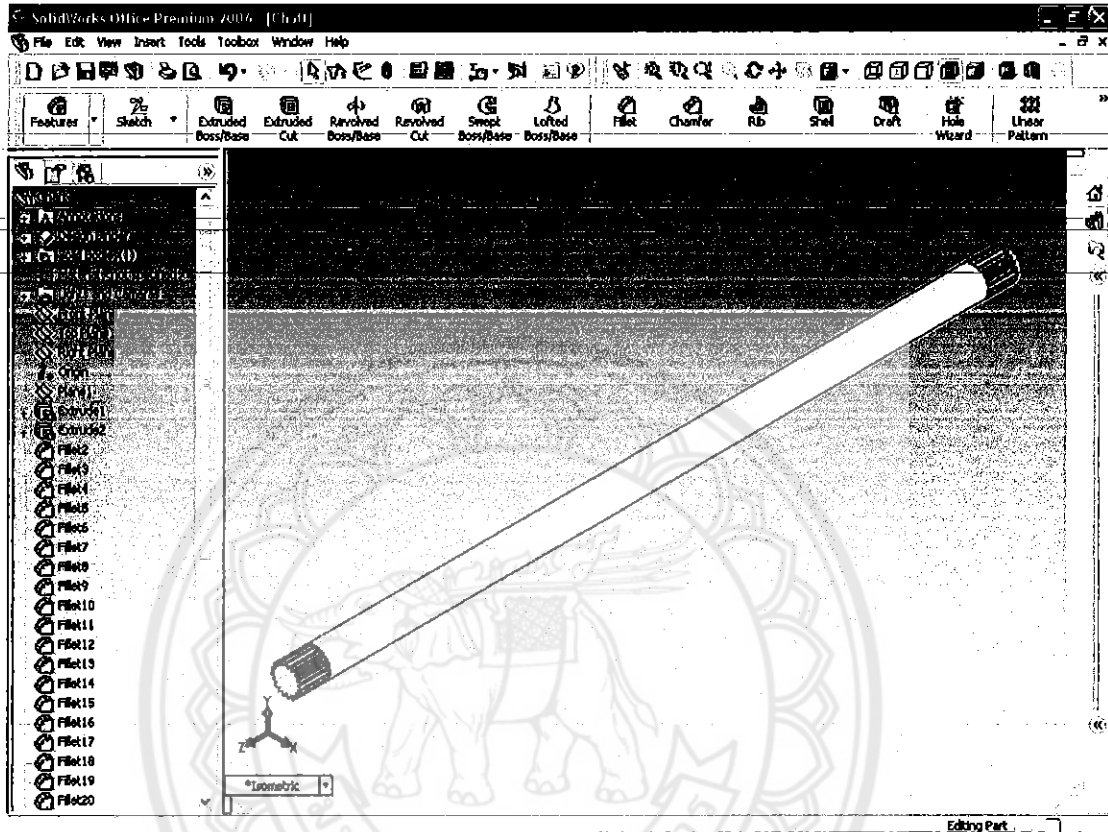
www.cars-directory.net.

www.efunda.com.





การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม SolidWorks®



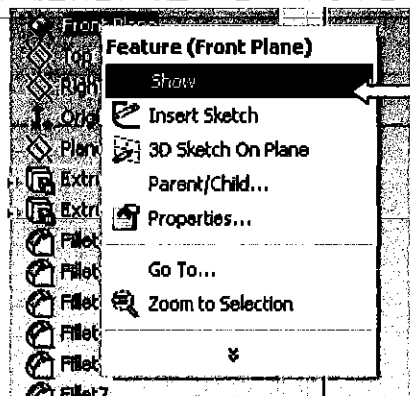
- สร้างเพลลาให้เหมือนดังรูป โดยมีขั้นตอนดังนี้


1.) สร้างระนาบให้มีขนาดดังต่อไปนี้


1.1) คลิก New  แล้วเลือก UNIT_MM เพื่อเปิดไฟล์การสร้างชิ้นงานใหม่


1.2) คลิก View, Planes เพื่อให้โปรแกรมแสดงระนาบให้เห็น

1.3) คลิกขวาที่ระนาบ Front แล้วเลือก Show จากเมนูถัด






1.4) คลิกระนาบ Front แล้วเลือก  จากแถบเครื่องมือ Reference Geometry หรือ คลิก Insert, Reference Geometry, Planes จะมีใบรายการ Planes แสดงขึ้นมา

1.4.1) ที่ช่อง Offset Distance  20.00mm | ใส่ค่าเป็น 20 mm (ระยะห่างของระนาบ)


1.4.2) ที่ช่อง Number of Planes to Create  1 | ใส่ค่าเป็น 1 ในส่วนนี้จะเป็นการสร้างระนาบใหม่ขึ้นมาอีก 1 ระนาบ


1.5.) คลิก OK  เพื่อทำการยืนยันค่า ระนาบใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นจะมีชื่อว่า Plane 1 โดยระนาบจะมีระยะห่าง 20 mm

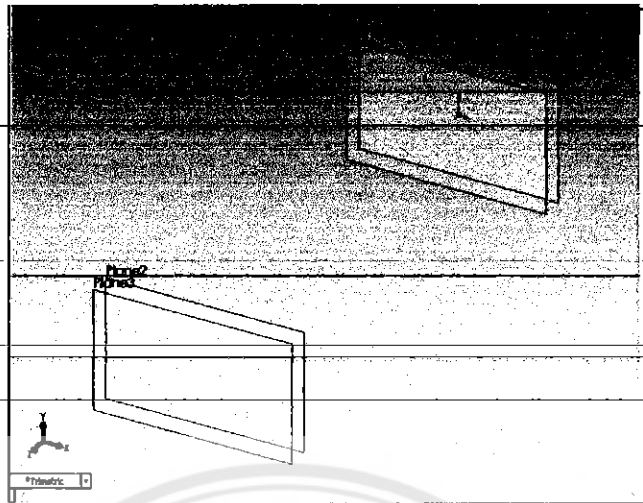
1.6.) กด Ctrl ค้างไว้ แล้วคลิกและลาก Plane 1 (คลิกที่เส้นขอบ) ออกมาด้านหน้าแล้วปล่อยเมาส์ จะเป็นการ Copy ระนาบ Plane 1

1.7.) กำหนด Offset Distance  410.00mm | เป็น 410 mm ที่ช่อง Number of Planes to Create  1 | ใส่ค่าเป็น 1 ในส่วนนี้จะเป็นการสร้างระนาบใหม่ขึ้นมาอีก 1 ระนาบ แล้วคลิก OK  ระนาบใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นจะมีชื่อว่า Plane 2 โดยระนาบจะมีระยะห่าง 410 mm

1.8.) กด Ctrl ค้างไว้ แล้วคลิกและลาก Plane 2 (คลิกที่เส้นขอบ) ออกมาด้านหน้าแล้วปล่อยเมาส์ จะเป็นการ Copy ระนาบ Plane 2

1.9.) กำหนด Offset Distance  20.00mm | ใส่ค่าเป็น 20 mm ที่ช่อง Number of Planes to Create  1 | ใส่ค่าเป็น 1 ในส่วนนี้จะเป็นการสร้าง

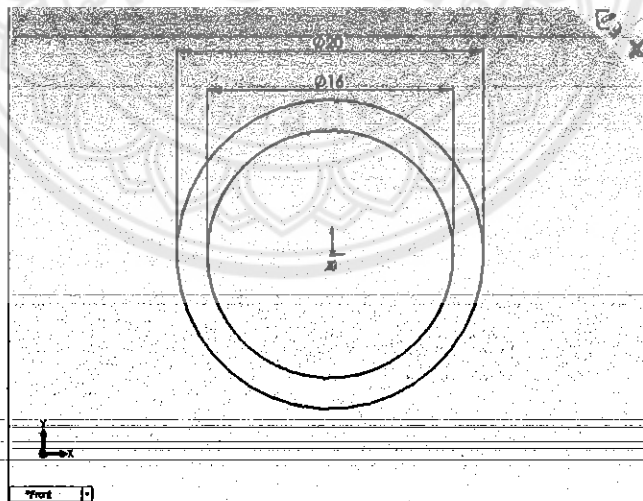
ระนาบใหม่ขึ้นมาอีก 1 ระนาบ แล้วคลิก OK  ระนาบใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นจะมีชื่อว่า Plane 3 โดยระนาบจะมีระยะห่าง 20 mm




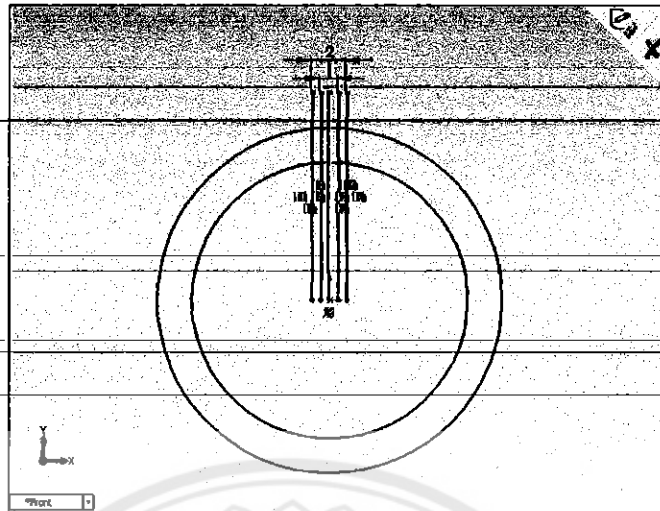
2.) การสร้างเส้นร่างบนระนาบ Front

2.1) คลิกขวามบนระนาบ Front แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนูถัด โดยระนาบ Front จะหันมาตั้งฉากกับหน้าจอ

2.2) สร้างวงกลม 2 วง โดยคลิกเลือก  ที่แถบเครื่องมือ Sketch ทำการสร้างที่จุด Origin ให้มีรัศมีเท่ากับ 8 mm และ 10 mm

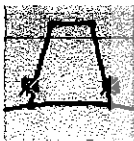


2.3) คลิก  Line เพื่อสร้างเส้นตั้งฉากเริ่มที่จุด Origin ยาว 12 mm



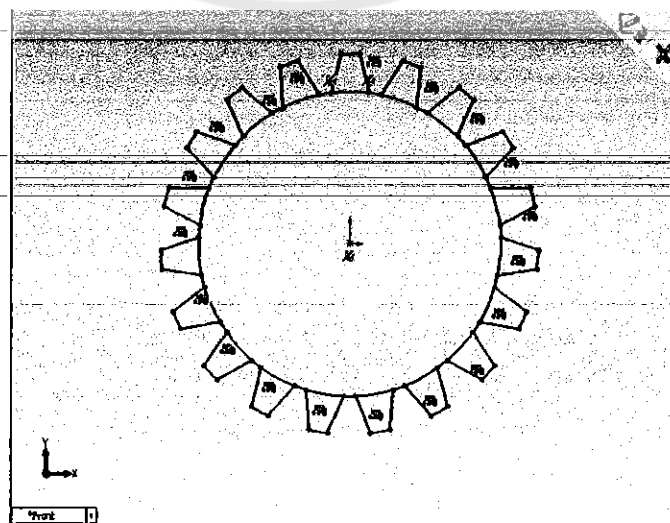
2.4) ทำการ Offset คลิกเลือก Offset จากแถบเครื่องมือ Sketch โดยกำหนดค่า 1 mm และ 0.5 mm

2.5) คลิกเลือก Trim Entities เพื่อตัดส่วนที่ไม่ต้องการในการสร้างพื้นเพียง



2.6) ทำการสร้างสำเนาขอบวงกลม โดยคลิก Tools, Sketch tools แล้วเลือก Circular pattern จะมีใบรายการแสดงขึ้นมาเลือกเส้นที่ต้องการสำเนาแล้วกำหนดค่า Number

คลิก OK จะเกิดสำเนาขึ้นดังรูป

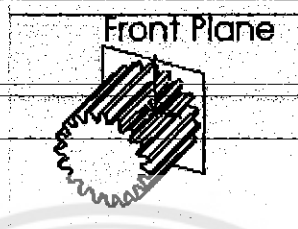


2.7) คลิก View เป็นแบบ Isometric เพื่อทำการ Extruded

2.8) คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base กำหนด Distance

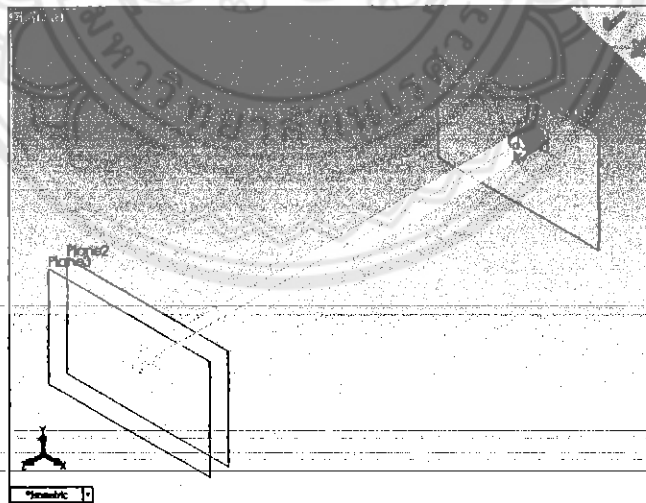
20.00mm


ใส่ค่าเป็น 20 mm คลิก OK  จะเกิดการยืดออกดังรูป



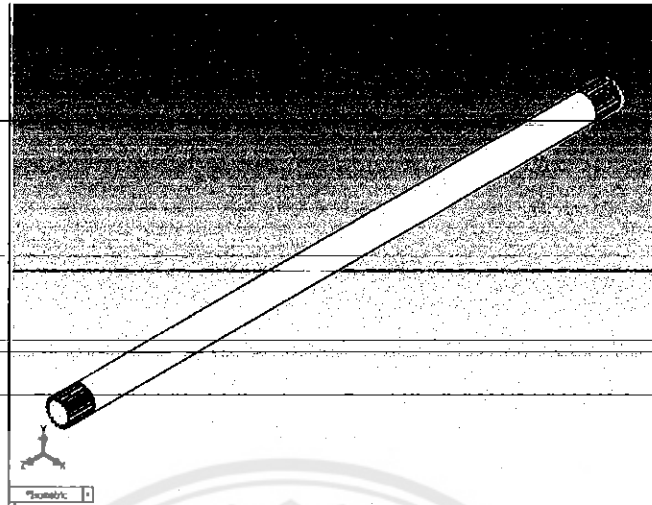
2.9) คลิกขวาที่ Plane 1 แล้วเลือก Insert Sketch  แล้วสร้างวงกลมขนาดรัศมี 10 mm ที่จุด Origin

2.10) คลิก View เป็นแบบ Isometric เพื่อทำการ Extruded คลิก Features เลือก Extruded Boss/Base กำหนด Distance  ใส่ค่าเป็น 410 mm คลิก OK  จะเกิดการยืดออกดังรูป



2.11) คลิกขวานระนาบ Plane 3 แล้วเลือก Insert Sketch  จากเมนู ลัด โดยระนาบ Plane 3 จะหันมาตั้งฉากกับหน้าจอ

2.12) ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 2.2 – 2.9 เพื่อสร้างพื้นเพื่องอีกด้านหนึ่งของเพลลา ลักษณะเพลลาที่ได้จะเป็นดังรูปข้างนี้



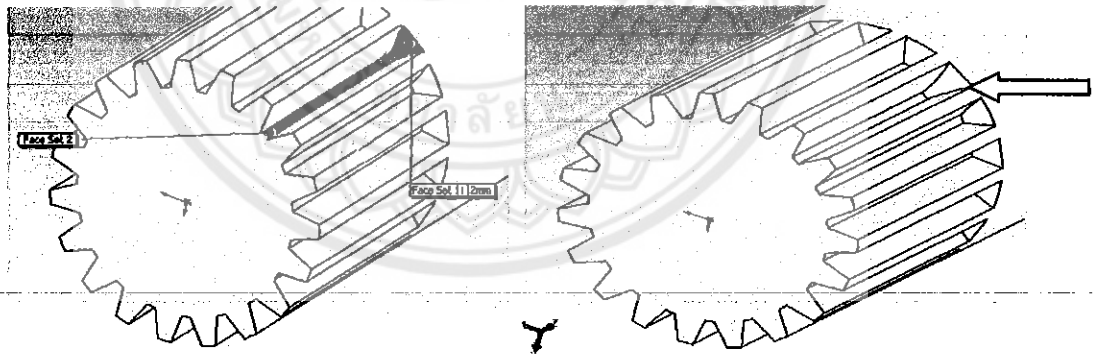
3.) การลบมุมของพื้นผิว (Fillet)

3.1) คลิกเลือก Fillet ที่แถบของ Features จะมีกรอบรายการ Fillet แสดงขึ้นมา

3.1) ได้กรอบ Fillet type ให้ใช้ตัวเลือก Face Fillet

3.2) คลิกที่ช่อง Face Set 1 และ Face Set 2 ให้เลือกผิวหน้าและที่ช่อง

2.00mm ใส่ขนาดของรัศมีเท่ากับ 2 mm คลิก OK และจะได้ผลดังรูป

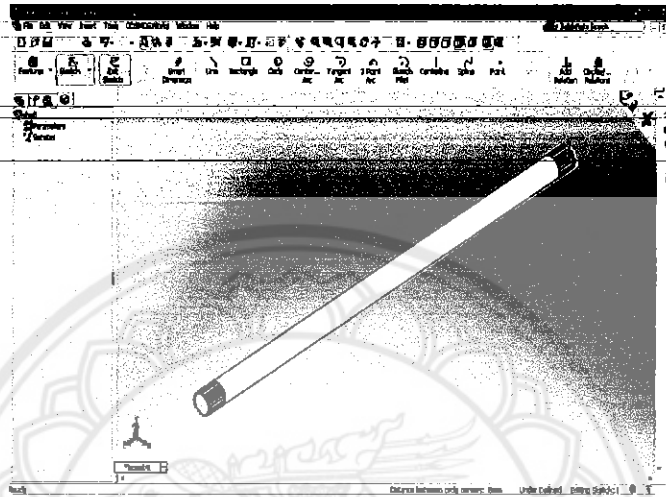


3.3) ทำซ้ำข้อ 3.1-3.2 ของทุกพื้นผิว

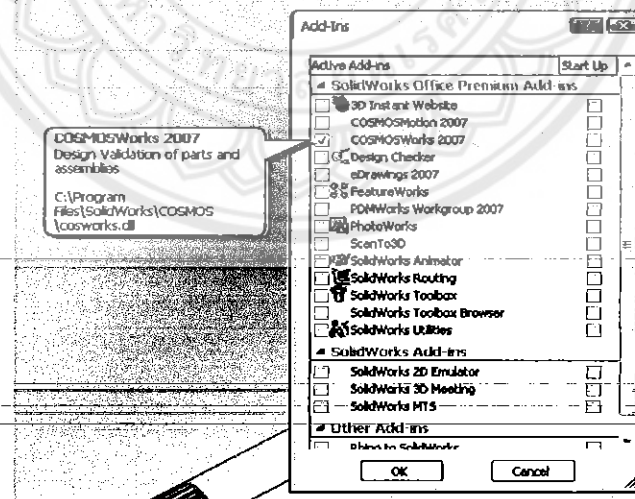


วิธีการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์

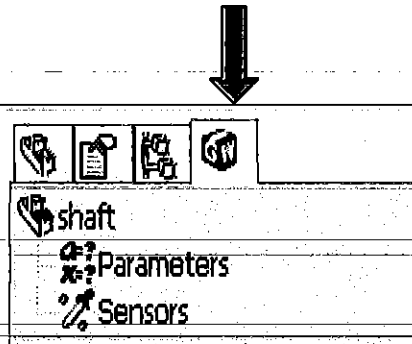
1. เปิดไฟล์ของเพล้าขึ้นมา



2. คลิกที่ Tool แล้วเลือก Add install และเลือก Cosmosworks 2007 คลิก OK เพื่อเรียกใช้โปรแกรม Cosmosworks 2007



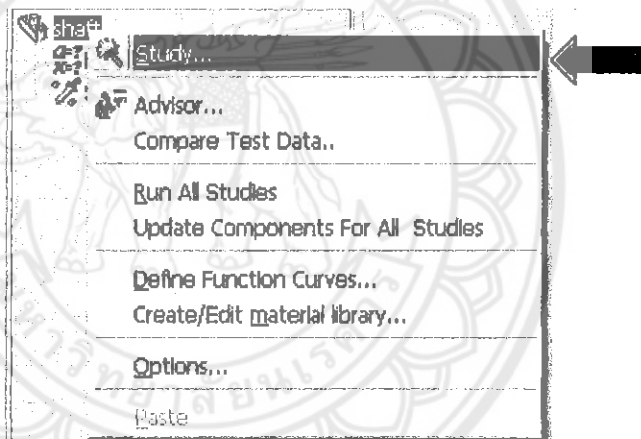
3. แถบ Menu Bar จะเพิ่ม Cosmosworks ขึ้นมาและที่แผนแสดงใบรายการจะเพิ่ม Cosmosworks ด้วยเช่นกัน



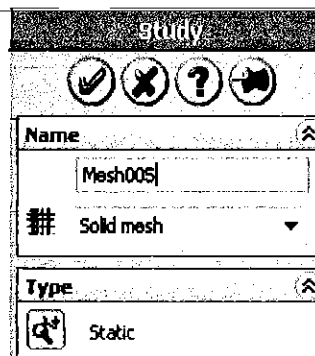
4. การวิเคราะห์แบบจำลองด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์มีขั้นตอนดังนี้

4.1 Pre-processing

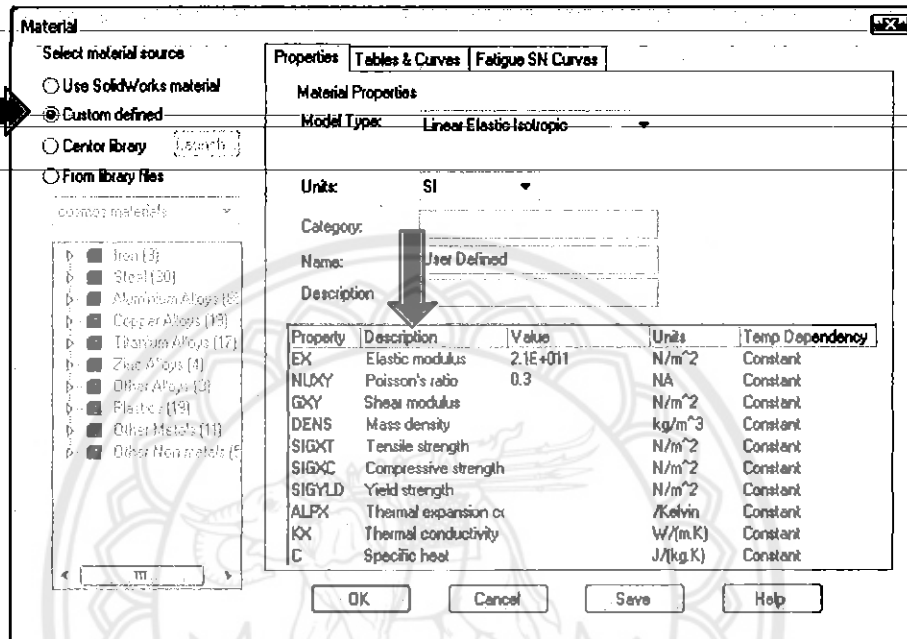
4.1.1 คลิกขวาที่ไอคอนชิ้นงาน(Shaft)ในใบรายการของ CosmosWorks และเลือก Study



4.1.2 กรอช Name กำหนดชื่อชิ้นงานในการศึกษาเป็น Mesh005 เพื่อจะทำการวิเคราะห์ กำหนดการแบ่งเอลิเมนต์ที่แตกต่างกัน และจะกำหนดขนาด Mesh 1-17.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ เลือกชนิดของเอลิเมนต์ (Mesh Type) เลือกเป็น Solid mesh และรูปแบบการวิเคราะห์ที่กรอช Type เลือกเป็น Static

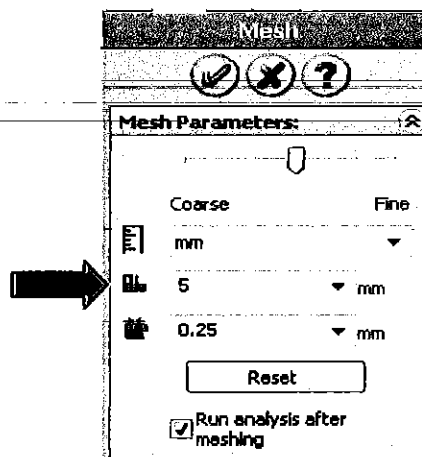


4.1.3 กำหนดคุณสมบัติวัสดุโดยคลิกขวาที่โฟลเดอร์ Solid และเลือก Apply Material to All
 เปิดหน้าต่าง Material ที่กรอบ Select material source เลือกตัวเลือก Custom defined และทำการ
 กำหนดค่าของ Elastic modulus เท่ากับ 210 เมกะปาสกาล, ค่าของ Poisson's ratio เท่ากับ 0.30



4.1.4 กำหนดเงื่อนไขการจับยึด คลิกขวาที่ Load/Restiant โดยคลิกเลือก Restains และ Force ตามลำดับ

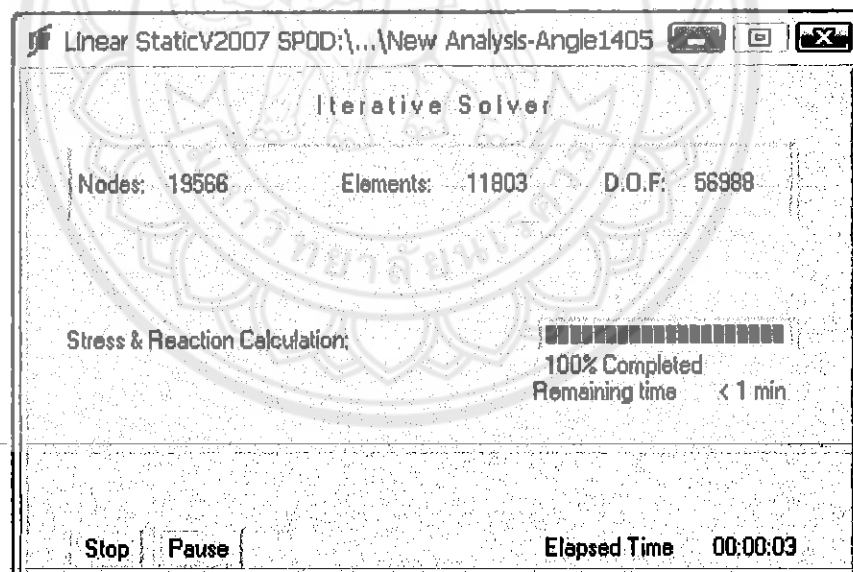
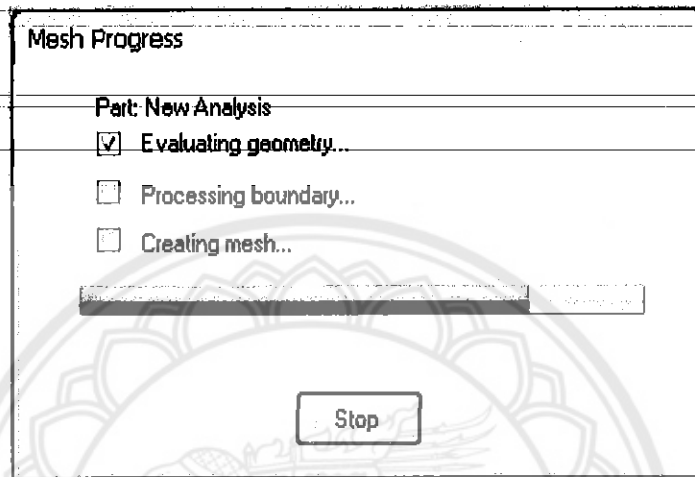
4.1.5 การแบ่งและการกำหนดขนาดเอลิเมนต์ โดยการคลิกขวาที่โฟลเดอร์ Mesh โปรแกรมจะแสดงรายการเมนูย่อย คลิกเลือก Create เพื่อเปิดกรอบหน้าต่าง Mesh และกำหนดขนาดของ Mesh เท่ากับ 5 mm



4.2 Processing

คลิกที่ช่อง Run analysis after meshing แล้วคลิก  ทางโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ผล

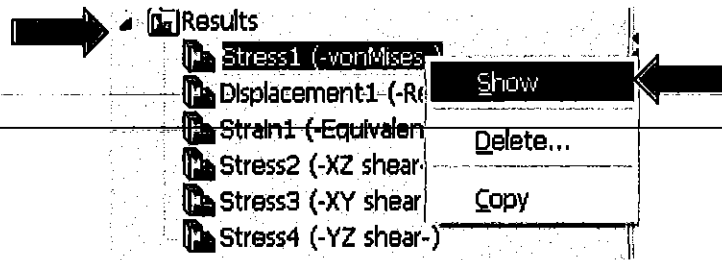
ต่อไป



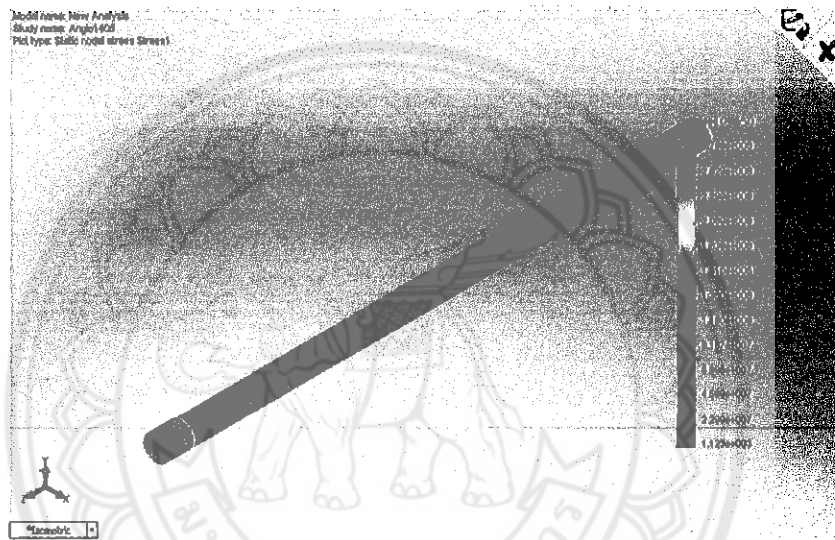
4.3 Post-processing

4.3.1 การแสดงผลของค่าความเค้น Von Misses

4.3.1.1 คลิกที่ Results เลือก Stress แล้วคลิกขวาเลือก Show

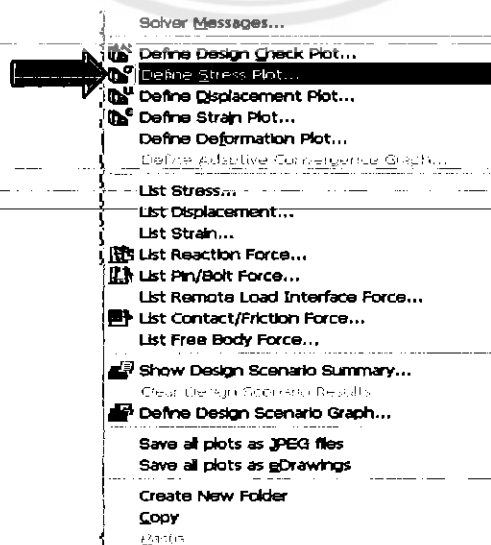


4.3.1.2 โปรแกรมจะทำการแสดงผลค่าความเค้น Von Misses

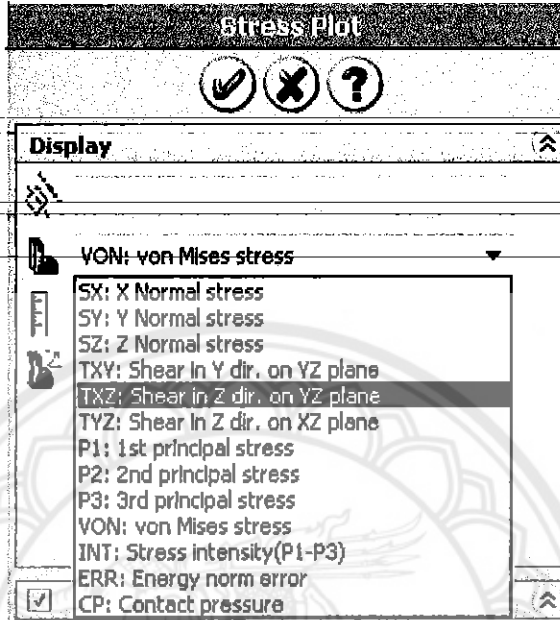


4.3.2 การแสดงผลของค่าความเค้นเฉือน

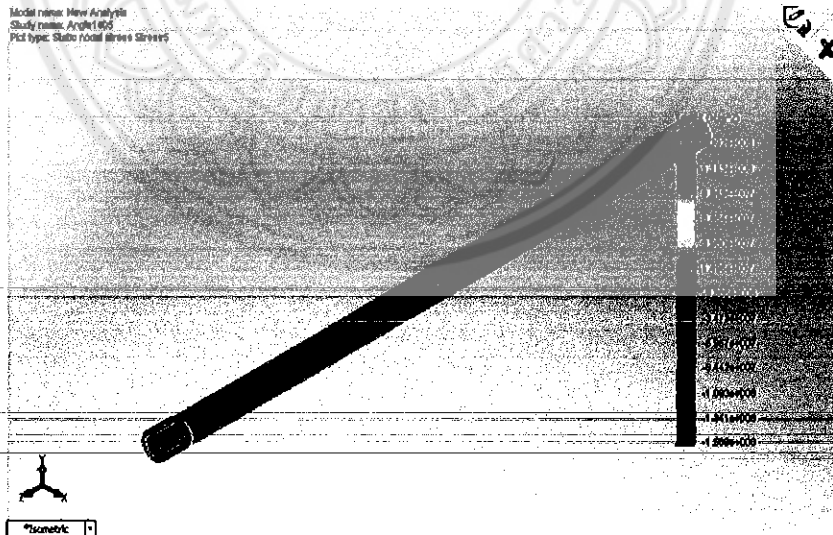
4.3.2.1 คลิกขวาที่ Results แล้วเลือก Define Stress Plot



4.3.2.2 Stress Plot เลือก TXZ: Shear in Z dir, on YZ plane แล้วคลิก 



4.3.2.3 โปรแกรมจะทำการแสดงผลค่าความเค้นเฉือน





Factor of Safety

Factor of Safety	Application
1.25 - 2.0	Design of structures under static loads for which there is a high level of confidence in all design data.
2.0 - 2.5	Design of machine elements under dynamic loading with average confidence all design data.
2.5 - 4.0	Design of static structures or machine elements under dynamic loading with uncertainty about loads, material properties, stress analysis, or the environment.
4.0 - over	Design of static structures or machine elements under dynamic loading with uncertainty about some combination of loads, material properties, stress analysis, or the environment. The desire to provide extra safety to critical components may also justify these values.

ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ นายประวิทย์ ยิ่งฉลาด รหัสสนิต 47360797

วัน เดือน ปีเกิด 4 สิงหาคม 2528

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาประถมศึกษา โรงเรียนวัดแสนตอ

ปีการศึกษา 2540

สำเร็จการศึกษาดอนต้น โรงเรียนท่าชัยวิทยา

ปีการศึกษา 2543

สำเร็จการศึกษามัธยมตอนปลาย โรงเรียนท่าชัยวิทยา

ปีการศึกษา 2546

ชื่อ นายวิเชียร แสงห่อ รหัสสนิต 47360854

วัน เดือน ปีเกิด 11 สิงหาคม 2528

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาประถมศึกษา โรงเรียนบ้านหนองบัวเงิน

ปีการศึกษา 2540

สำเร็จการศึกษามัธยมตอนต้น โรงเรียนฝายกวางวิทยาคม

ปีการศึกษา 2543

สำเร็จการศึกษามัธยมตอนปลาย โรงเรียนฝายกวางวิทยาคม

ปีการศึกษา 2546

ชื่อ นายอนุรักษ์ บำรุงศิริ รหัสสนิต 47363148

วัน เดือน ปีเกิด 6 พฤศจิกายน 2527

ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาประถมศึกษา โรงเรียนบางกรวยนนทบุรี

ปีการศึกษา 2540

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนประชามงคล

ปีการศึกษา 2543

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนประชามงคล

ปีการศึกษา 2546