

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฉ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	6
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎี	6
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	7
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	8
2.1 ทฤษฎีทางด้านอีลาสติก	8
2.1.1 ความเค้น	8
2.1.2 สมการสมดุล	9
2.1.3 ความเครียด	9
2.1.4 ปัญหาสองมิติ	10
2.1.5 ฟังก์ชันความเค้น	12
2.1.6 ระบบพิกัดเชิงขั้ว	13
2.1.7 กรณีแผ่นระนาบกว้างมีรูกลมรับแรงดิ่งภายนอกแผ่กระจาย สม่ำเสมอในแนวเดียวกัน	14
2.1.8 กรณีแหวนวงกลมรับความดันสม่ำเสมอภายนอก	16
2.2 ทฤษฎีทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์	18

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	21
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย	21
3.2 การวิเคราะห์หาค่าความเค้นจากฟังก์ชันความเค้น	21
3.2.1 การวิเคราะห์หาค่าความเค้น	21
3.2.2 การตรวจสอบสมการความเค้น	22
3.2.3 การวิเคราะห์หาค่าความเครียด	22
3.3 การวิเคราะห์หาค่าความเค้นโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	22
บทที่ 4 ผลและการวิจารณ์	25
4.1 ผลการวิจัย	25
4.1.1 ผลการวิจัยจากวิธีวิเคราะห์จากฟังก์ชันความเค้น	25
4.1.2 ผลการวิจัยจากวิธีการวิเคราะห์จากไฟไนต์เอลิเมนต์	39
4.1.3 การเปรียบเทียบค่าจากการวิเคราะห์จากฟังก์ชันความเค้น และค่าจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	45
4.1.4 ค่าปัจจัยความเค้นเข้มข้นที่ได้จากปัญหาตัวอย่างวิจัย	47
4.2 การวิจารณ์ผลการวิจัย	61
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	63
5.1 สรุป	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
บรรณานุกรม	65
ภาคผนวก	67
ภาคผนวก ก โปรแกรมที่ใช้ในการหาค่าความเค้นและความเครียด	68
ภาคผนวก ข การตรวจสอบโปรแกรม	78
ภาคผนวก ค ตารางเปรียบเทียบค่าความเค้นจากสูตรจากการวิเคราะห์จาก ฟังก์ชันความเค้นกับค่าความเค้นจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	89

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ง ตัวอย่างไฟล์แบบจำลองเพื่อทำการวิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์ เอลิเมนต์	142
ภาคผนวก จ แผนภาพของนิวเบอร์ (Neuber's diagram)	147
ประวัติผู้เขียน	150

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
3.1 วัสดุที่เลือกใช้ในการวิจัย	23
3.2 ปัญหาที่ใช้ในการวิจัย	23
4.1 ค่าปัจจัยความเค้นแฉกที่ได้จากปัญหาคำอย่างวิจัย	47

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 แผ่นระนาบกว้างมีรูกลมและมีแผ่นวัสดุอื่นรูปวงแหวนติดอยู่ในรูกลม	1
1.2 แผ่นวัสดุเจาะรูในแนวสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมทั้งสี่แบบ	3
2.1 องค์ประกอบความเค้น	8
2.2 ปัญหาความเครียดระนาบของทรงกระบอก	10
2.3 ปัญหาความเค้นระนาบของแผ่นระนาบบาง	11
2.4 แผ่นระนาบกว้างมีรูกลมรับแรงดึงภายนอกแผ่กระจายสม่ำเสมอในแนวเดียวกัน	15
2.5 แหวนวงกลมรับความดันสม่ำเสมอภายนอก	16
3.1 แผ่นระนาบกว้างมีรูกลมและมีแผ่นวัสดุอื่นรูปวงแหวนติดอยู่ในรูกลม	23
4.1 วงแหวนรับความเค้นที่เกิดจากการแยกส่วนออกจากแผ่นระนาบกว้าง	25
4.2 แผ่นระนาบกว้างมีรูกลม รับแรงดึงแผ่กระจายสม่ำเสมอที่ขอบนอกและเกิดความเค้นที่เกิดจากการแยกส่วนของวงแหวนออกจากกระนาบกว้างที่ขอบใน	29
4.3 ตัวอย่างของปัญหาที่วิเคราะห์โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	41
4.4 ปัญหาที่ได้ทำการวิเคราะห์แล้ว โดย วัสดุของวงแหวนคืออลูมิเนียม และวัสดุของแผ่นระนาบกว้างมีรูกลมคือเหล็ก	42
4.5 แสดงความเค้นที่เกิดขึ้น โดยขยายบริเวณวงแหวนของ ปัญหาที่วัสดุของวงแหวนคืออลูมิเนียม และวัสดุของแผ่นระนาบกว้างมีรูกลมคือเหล็ก	42
4.6 แสดงตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นเข้ม คือตำแหน่งขอบในของแผ่นระนาบกว้างมีรูกลม ที่มุม $\theta = 90^\circ$ โดยวัสดุของวงแหวนคืออลูมิเนียม และวัสดุของแผ่นระนาบกว้างมีรูกลมคือเหล็ก	43
4.7 ปัญหาที่ได้ทำการวิเคราะห์แล้ว โดย วัสดุของวงแหวนคือเหล็ก และวัสดุของแผ่นระนาบกว้างมีรูกลมคืออลูมิเนียม	43
4.8 แสดงความเค้นที่เกิดขึ้น โดยขยายบริเวณวงแหวนของ ปัญหาที่วัสดุของวงแหวนคือเหล็ก และวัสดุของแผ่นระนาบกว้างมีรูกลมคืออลูมิเนียม	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.9 แสดงตำแหน่งที่เกิดค่าความเค้นเฉ้ม คือตำแหน่งขอบในของวงแหวน ที่มุม $\theta = 90^\circ$ โดยวัสดุของวงแหวนคือเหล็ก และวัสดุของแผ่นระนาบกว้างมีรูปกลมคืออลูมิเนียม	44
4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นที่ตำแหน่งขอบในของวงแหวน ของตัวอย่าง วิจัย วัสดุของวงแหวนคืออลูมิเนียม และวัสดุของแผ่นระนาบกว้างคือเหล็ก	48
4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นที่ตำแหน่งขอบนอกของวงแหวน ของ ตัวอย่างวิจัย วัสดุของวงแหวนคืออลูมิเนียม และวัสดุของแผ่นระนาบกว้างคือเหล็ก	49
4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นที่ตำแหน่งขอบในของแผ่นระนาบกว้าง มีรูปกลม ของตัวอย่างวิจัย วัสดุของวงแหวนคืออลูมิเนียม และวัสดุของแผ่นระนาบ กว้างคือเหล็ก	50
4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นที่ตำแหน่งขอบในของวงแหวน ของตัวอย่าง วิจัย วัสดุของวงแหวนคือเหล็ก และวัสดุของแผ่นระนาบกว้างคืออลูมิเนียม	51
4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นที่ตำแหน่งขอบนอกของวงแหวน ของตัวอย่าง วิจัย วัสดุของวงแหวนคือเหล็ก วัสดุของแผ่นระนาบกว้างคืออลูมิเนียม	52
4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความเค้นที่ตำแหน่งขอบในของแผ่นระนาบกว้างมีรูปกลม ของตัวอย่างวิจัย วัสดุของวงแหวนคือเหล็ก และวัสดุของแผ่นระนาบกว้างคืออลูมิเนียม	53
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน a/b กับค่าความเค้นที่ขอบในของวงแหวน มุม $\theta = 90^\circ$ ของตัวอย่างวิจัย วัสดุของวงแหวนคือเหล็ก และวัสดุของแผ่นระนาบกว้าง มีรูปกลมคืออลูมิเนียม	54
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน a/b กับค่าความเค้นที่ขอบในของแผ่น ระนาบกว้างมีรูปกลม มุม $\theta = 90^\circ$ ของตัวอย่างวิจัย วัสดุของวงแหวนคืออลูมิเนียม และวัสดุของแผ่นระนาบกว้างมีรูปกลมคือเหล็ก	55
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน E_1/E_2 กับค่าความเค้น ที่ขอบในของ วงแหวน มุม $\theta = 90^\circ$ ของตัวอย่างวิจัยที่อัตราส่วน $a/b = 0.8$	56
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน E_1/E_2 กับค่าความเค้น ที่ขอบในของ แผ่นระนาบกว้างมีรูปกลม มุม $\theta = 90^\circ$ ของตัวอย่างวิจัยที่อัตราส่วน $a/b = 0.8$	57

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน v_1/v_2 กับค่าความเค้น ที่ขอบในของวงแหวน มุม $\theta = 90^\circ$ ของตัวอย่างวิจัยที่อัตราส่วน $a/b = 0.8$	58
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน v_1/v_2 กับค่าความเค้น ที่ขอบในของแผ่นระนาบกว้างมีรูปกลม มุม $\theta = 90^\circ$ ของตัวอย่างวิจัยที่อัตราส่วน $a/b = 0.8$	59
4.22 กราฟแสดงผลค่าปัจจัยความเค้นเข้มข้นที่ได้จากปัญหาตัวอย่างวิจัย	60

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
σ	ความเค้น	N/m^2
ΔF	แรงที่เปลี่ยนแปลง	N
ΔA	พื้นที่ที่รับแรง	m^2
σ_n	ความเค้นที่มีทิศทางตั้งฉากกับระนาบ	N/m^2
σ_s	ความเค้นที่มีทิศทางสัมผัสกับระนาบ	N/m^2
τ	ความเค้นเฉือน	N/m^2
F_i	แรงในตัววัสดุตามทิศทาง i	N
ε	ความเครียด	-
γ	ความเครียดเฉือน	-
E	โมดูลัสของยังค์	N/m^2
G	โมดูลัสเฉือน	N/m^2
λ	ค่าคงที่ของลาเม	N/m^2
ν	อัตราส่วนปัวส์ซอง	-
Φ	ฟังก์ชันความเค้น	N
∇	เกรเดียนต์	-
u	การเปลี่ยนตำแหน่งในทิศทางตามแนวรัศมี	m
v	การเปลี่ยนตำแหน่งในทิศทางตามแนวตั้งฉากกับแนวรัศมี	m
n	จำนวนเต็ม	-
ϕ_n	ตำแหน่งของตัวไม่รู้ค่า	-
$N(x, y)$	ฟังก์ชันประมาณภายในเอลิเมนต์	-
E_1	โมดูลัสของยังค์ของแหวนกลม	N/m^2
E_2	โมดูลัสของยังค์ของแผ่นระนาบกว้าง	N/m^2
ν_1	อัตราส่วนปัวส์ซองของแหวนกลม	-
ν_2	อัตราส่วนปัวส์ซองของแผ่นระนาบกว้าง	-

อักษรย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
r_1	ตำแหน่งที่หาค่าในแหวนกลม	m
r_2	ตำแหน่งที่หาค่าในแผ่นระนาบกว้าง	m
θ_1	มุมที่หาค่าในแหวนกลม	°
θ_2	มุมที่หาค่าในแผ่นระนาบกว้าง	°
σ_r	ความเค้นในแนวรัศมี	N/m ²
σ_{r1}	ความเค้นในแนวรัศมีของแหวนกลม	N/m ²
σ_{r2}	ความเค้นในแนวรัศมีของแผ่นระนาบกว้าง	N/m ²
σ_θ	ความเค้นในแนวตั้งฉากกับรัศมี	N/m ²
$\sigma_{\theta1}$	ความเค้นในแนวตั้งฉากกับรัศมีของแหวนกลม	N/m ²
$\sigma_{\theta2}$	ความเค้นในแนวตั้งฉากกับรัศมีของแผ่นระนาบกว้าง	N/m ²
$\tau_{r\theta}$	ความเค้นเฉือน	N/m ²
$\tau_{r\theta1}$	ความเค้นเฉือนของแหวนกลม	N/m ²
$\tau_{r\theta2}$	ความเค้นเฉือนของแผ่นระนาบกว้าง	N/m ²
ε_r	ความเครียดในแนวรัศมี	-
ε_{r1}	ความเครียดในแนวรัศมีของแหวนกลม	-
ε_{r2}	ความเครียดในแนวรัศมีของแผ่นระนาบกว้าง	-
ε_θ	ความเครียดในแนวตั้งฉากกับรัศมี	-
$\varepsilon_{\theta1}$	ความเครียดในแนวตั้งฉากกับรัศมีของแหวนกลม	-
$\varepsilon_{\theta2}$	ความเครียดในแนวตั้งฉากกับรัศมีของแผ่นระนาบกว้าง	-
$\gamma_{r\theta1}$	ความเครียดเฉือนของแหวนกลม	-
$\gamma_{r\theta2}$	ความเครียดเฉือนของแผ่นระนาบกว้าง	-