

สารบัญ		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		ก
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
สารบัญตาราง		ฉ
สารบัญภาพ		ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์		ต
บทที่ 1 บทนำ		1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา		1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง		4
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย		5
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย		6
1.5 ขอบเขตการวิจัย		6

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	7
2.1 พลังงานศักย์ และพลังงานจลน์ของแผ่นบาง	7
2.2 การสั่นอิสระของแผ่นบางรูปวงแหวน	10
2.3 รูปร่างโหมด และความถี่ธรรมชาติ	17
2.4 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	19

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	21
3.1 การวิเคราะห์ความถี่ธรรมชาติเชิงทฤษฎี	22
3.2 การทดลองเพื่อหาความถี่ธรรมชาติและรูปร่างโหมด	38
3.2.1 แบบจำลองของชิ้นงาน	38
3.2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	39
3.2.3 วิธีการทดลอง	41
3.3 การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์	42
3.3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของใบเลื่อยวงเดือน	42
3.3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ของแผ่นบางรูปวงแหวน	43
3.4 เปรียบเทียบผลการวิจัย	45
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย	46
4.1 ผลวิจัยโดยการทดลอง	46
4.1.1 ผลการทดลองหาความถี่ธรรมชาติและรูปร่างโหมดของใบเลื่อยวงเดือน	46
4.1.2 ผลการทดลองหาความถี่ธรรมชาติและรูปร่างโหมดของแผ่นบางรูปวงแหวน	48
4.2 ผลการวิจัยโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	51
4.2.1 แสดงผลการวิจัยโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของใบเลื่อยวงเดือน	51
4.2.2 แสดงผลการวิจัยโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของแผ่นบางรูปวงแหวน	54
4.3 เปรียบเทียบผลการวิจัยจากการทดลองและผลการวิจัยโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	57
4.4 ผลการวิจัยโดยวิธีเรย์เล่-ริทซ์	58
4.4.1 ผลการวิจัยของแผ่นบางรูปวงแหวนโดยวิธีเรย์เล่-ริทซ์	58
4.4.2 ผลการวิจัยของใบเลื่อยวงเดือนโดยวิธีเรย์เล่-ริทซ์	59
4.5 วิจารณ์ผลการวิจัยความถี่ธรรมชาติของใบเลื่อย	60

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผลการวิจัย	62
5.1.1 รูปร่างโหนดของใบเลี้ยงวงเดือนและแผ่นบางรูปวงแหวน	62
5.1.2 การวิจัยความถี่ธรรมชาติของใบเลี้ยงวงเดือน	63
5.2 ข้อเสนอแนะ	63
บรรณานุกรม	66
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ	68
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างข้อมูลจากการทดลอง	75
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการหาสมการรูปร่างโหนด	95
ภาคผนวก ง. ตัวอย่างการหาความถี่ธรรมชาติ และผลการคำนวณ	98
ภาคผนวก จ. คำศัพท์อังกฤษ-ไทยที่ใช้ในงานวิจัย	106
ประวัติผู้เขียน	109

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 ความถี่ธรรมชาติ 6 โหมดแรกของใบเลื่อยวงเดือน	46
4.2 ความถี่ธรรมชาติ 6 โหมดแรกของแผ่นบางรูปวงแหวน	49
4.3 ความถี่ธรรมชาติ 6 โหมดแรกของใบเลื่อยวงเดือน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	51
4.4 ความถี่ธรรมชาติ 6 โหมดแรกของแผ่นบางรูปวงแหวน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	54
5.1 รูปร่างโหมด 6 โหมดแรกของใบเลื่อยวงเดือน และแผ่นบางรูปวงแหวน	62
ก.1 ข้อมูลจำเพาะหน่วยรับรู้ (Sensor unit)	69
ก.2 ข้อมูลจำเพาะหน่วยถอดสัญญาณ (Demodulation unit)	70
ก.3 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องวิเคราะห์สัญญาณ	72
ก.4 ข้อมูลจำเพาะของโปรแกรมวิเคราะห์ผล	74
ง.1 ความถี่ธรรมชาติ 6 โหมดแรกของแผ่นบางรูปวงแหวน และค่าความผิดพลาด	104
ง.2 ความถี่ธรรมชาติ 6 โหมดแรกของแผ่นบางรูปวงแหวนซึ่งแก้ไขเงื่อนไขขอบเป็นแบบยึดยึดหย่อน	104
ง.3 ความถี่ธรรมชาติ 6 โหมดแรกของใบเลื่อย เปรียบเทียบกับแผ่นวงแหวน	105

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 ขั้นตอนการผลิตน้ำแข็งของมือ	2
1.2 เครื่องตัดน้ำแข็งชุดเลื่อยผ่าข้าง	3
1.3 การเสียหายของใบเลื่อยวงเดือน	3
1.4 ภาพขยายการเสียหายของใบเลื่อยวงเดือน	4
2.1 แกนพิกัดและหน่วยย่อยของแผ่น	7
2.2 พิกัดเชิงขั้ว	10
2.3 แผ่นบางรูปวงแหวนขอบด้านในยึดแน่น และขอบด้านนอกปล่อยอิสระ	14
2.4 รูปร่างโหมคแบบต่าง ๆ	18
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	21
3.2 กราฟตัดแกน x ที่ 2.63578	26
3.3 กราฟตัดแกน x ที่ 2.62157	26
3.4 กราฟตัดแกน x ที่ 2.87385	26
3.5 กราฟตัดแกน x ที่ 3.66718	27
3.6 กราฟตัดแกน x ที่ 4.70617	27
3.7 กราฟตัดแกน x ที่ 5.79521	27
3.8 กราฟตัดแกน x ที่ 2.42739	34
3.9 กราฟตัดแกน x ที่ 2.39588	34
3.10 กราฟตัดแกน x ที่ 2.72096	35
3.11 กราฟตัดแกน x ที่ 3.61834	35
3.12 กราฟตัดแกน x ที่ 4.69349	35
3.13 กราฟตัดแกน x ที่ 5.79211	36
3.14 ใบเลื่อยวงเดือนขนาด 300 มิลลิเมตร	38
3.15 แผ่นบางรูปวงแหวนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 292 มิลลิเมตร	38

3.16	ชุดยึดขึ้นทดลอง	39
3.17	แผ่นบางรูปวงแหวนเมื่อติดตั้งบนชุดยึดขึ้นทดลอง	39
3.18	ฟังก์ชันต่อเครื่องมือวัด	40
3.19	ชุดเครื่องมือวัด	40
3.20	ตำแหน่งติดตั้งจุดสะท้อนลำแสงเลเซอร์	41
3.21	ตำแหน่งลำแสงเลเซอร์ และแสดงผลการทดลอง	42
3.22	แบบจำลองใบเลื่อยวงเดือน	44
3.23	แบบจำลองแผ่นบางรูปวงแหวน	44
4.1	รูปร่างโหมด 1(1,0) ของใบเลื่อยวงเดือน	47
4.2	รูปร่างโหมด 3(2,0) ของใบเลื่อยวงเดือน	47
4.3	รูปร่างโหมด 4(3,0) ของใบเลื่อยวงเดือน	47
4.4	รูปร่างโหมด 5(4,0) ของใบเลื่อยวงเดือน	48
4.5	รูปร่างโหมด 6(5,0) ของใบเลื่อยวงเดือน	48
4.6	รูปร่างโหมด 1(1,0) ของแผ่นบางรูปวงแหวน	49
4.7	รูปร่างโหมด 3(2,0) ของแผ่นบางรูปวงแหวน	49
4.8	รูปร่างโหมด 4(3,0) ของแผ่นบางรูปวงแหวน	50
4.9	รูปร่างโหมด 5(4,0) ของแผ่นบางรูปวงแหวน	50
4.10	รูปร่างโหมด 6(5,0) ของแผ่นบางรูปวงแหวน	50
4.11	รูปร่างโหมด 1(1,0) ของใบเลื่อย โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	52
4.12	รูปร่างโหมด 2(0,0) ของใบเลื่อย โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	52
4.13	รูปร่างโหมด 3(2,0) ของใบเลื่อย โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	52
4.14	รูปร่างโหมด 4(3,0) ของใบเลื่อย โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	53
4.15	รูปร่างโหมด 5(4,0) ของใบเลื่อย โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	53
4.16	รูปร่างโหมด 6(5,0) ของใบเลื่อย โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	53
4.17	รูปร่างโหมด 1(1,0) ของแผ่นบางรูปวงแหวน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	54
4.18	รูปร่างโหมด 2(0,0) ของแผ่นบางรูปวงแหวน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	55
4.19	รูปร่างโหมด 3(2,0) ของแผ่นบางรูปวงแหวน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	55
4.20	รูปร่างโหมด 4(3,0) ของแผ่นบางรูปวงแหวน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	55

4.21	รูปร่างโหนด 5(4,0) ของแผ่นบางรูปวงแหวนโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	56
4.22	รูปร่างโหนด 6(5,0) ของแผ่นบางรูปวงแหวนโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	56
4.23	เปรียบเทียบความถี่ธรรมชาติของใบเลื่อยวงเดือน	57
4.24	เปรียบเทียบความถี่ธรรมชาติของแผ่นบางรูปวงแหวน	57
4.25	ผลการคำนวณความถี่ธรรมชาติ 6 โหนดแรกของแผ่นบางรูปวงแหวน และผลการทดลองแผ่นบางรูปวงแหวน	58
4.26	ผลการคำนวณความถี่ธรรมชาติ 6 โหนดแรกของแผ่นบางรูปวงแหวนซึ่งแก้ไข เงื่อนไขขอบเป็นแบบยึดยึดหยุ่น และผลการทดลองแผ่นบางรูปวงแหวน	59
4.27	ผลการคำนวณความถี่ธรรมชาติ 6 โหนดแรกของใบเลื่อยวงเดือน และผลการทดลองใบเลื่อยวงเดือน	59
4.28	เปรียบเทียบความถี่ธรรมชาติ 4 โหนดแรกของการทดลองใบเลื่อยวงเดือน วิเคราะห์ ใบเลื่อยวงเดือนวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และการคำนวณโดยใช้สมการรูปวงแหวน	60
5.1	ค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ธรรมชาติของโหนด 1(0,0)	64
5.2	ค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ธรรมชาติของโหนด 2(1,0)	64
5.3	ค่าสัมประสิทธิ์ความถี่ธรรมชาติของโหนด 3(2,0)	64
ก.1	หน่วยรับรู้	69
ก.2	เครื่องถอดสัญญาณ	70
ก.3	ช่วงการทำงานปกติของเลเซอร์คอปเปอร์	71
ก.4	เครื่องวิเคราะห์สัญญาณ	72
ก.5	ค้อนอิมพัลส์	73
ก.6	(ซ้าย) แสดงรูปร่างพัลส์ของค้อนหัวเหล็กและหัวพลาสติก, (กลาง) สัญญาณแรง กระแทกของค้อนหัวพลาสติกบนแผ่นอลูมิเนียม, (ขวา) เช่นเดียวกับรูปกลาง ในกรณีของหัวค้อนเหล็ก	73
ก.7	แวนป้องกันอันตรายจากลำแสงเลเซอร์	74
ข.1	ตำแหน่งการทดลอง	76
ข.2	ผลการทดลองแสดงขนาดของตำแหน่ง 1-1	77
ข.3	ผลการทดลองแสดงค่าจลนภาพของตำแหน่ง 1-1	77
ข.4	ผลการทดลองแสดงขนาด ตำแหน่ง 1-22	78

ข.5 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 1-22	78
ข.6 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 1-37	79
ข.7 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 1-37	79
ข.8 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 4-1	80
ข.9 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 4-1	80
ข.10 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 4-22	81
ข.11 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 4-22	81
ข.12 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 4-37	82
ข.13 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 4-37	82
ข.14 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 7-1	83
ข.15 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 7-1	83
ข.16 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 7-22	84
ข.17 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 7-22	84
ข.18 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 7-37	85
ข.19 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 7-37	85
ข.20 ตำแหน่งการทดลอง	86
ข.21 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 3-1	86
ข.22 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 3-1	86
ข.23 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 3-20	87
ข.24 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 3-20	87
ข.25 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 3-36	88
ข.26 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 3-36	88
ข.27 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 6-1	89
ข.28 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 6-1	89
ข.29 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 6-20	90
ข.30 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 6-20	90
ข.31 ผลการทดลองแสดงขนาดตำแหน่ง 6-36	91
ข.32 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพตำแหน่ง 6-36	91

ข.33 ผลการทดลองแสดงขนาดที่ตำแหน่ง 8-1	92
ข.34 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพที่ตำแหน่ง 8-1	92
ข.35 ผลการทดลองแสดงขนาดที่ตำแหน่ง 8-20	93
ข.36 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพที่ตำแหน่ง 8-20	93
ข.37 ผลการทดลองแสดงขนาดที่ตำแหน่ง 8-36	94
ข.38 ผลการทดลองแสดงค่าจินตภาพที่ตำแหน่ง 8-36	94
ง.1 แผ่นบางรูปวงแหวน	99
ง.2 ใบเลื่อยวงเดือนขนาด 300 มิลลิเมตร และแสดงขนาดวงพิทช์ 292 มิลลิเมตร	102

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
a	รัศมีขอบนอกของแผ่นบางรูปวงแหวน	m
b	รัศมีขอบในของแผ่นบางรูปวงแหวน	m
D	ความแกร่งของแผ่นบาง	$N.m^2/m$
E	มอดุลัสของยัง	N/m^2
f	ความถี่	Hz
G	มอดุลัสเฉือน	N/m^2
h	ความหนาของแผ่นบาง	m
i	ดัชนี	-
j	ดัชนี	-
k_{ij}	สัมประสิทธิ์ค่านิจ	-
m	ดัชนี	-
m_{ij}	สัมประสิทธิ์มวล	-
M	โมเมนต์คดต่อหนึ่งหน่วยความยาว	$N. m/m$
n	ดัชนี	-
r	รัศมีของแผ่นบาง	m
R	ขอบเขต	-
t	เวลา	s
T	พลังงานจลน์	J
u, v, w	ระยะกระจัดในแนวแกน x, y, z ตามลำดับ	m
U	พลังงานศักย์	J
V	แรงเฉือนต่อหนึ่งหน่วยความยาว	N/m
W	ระยะการแอ่นในแนวแกน z ของแผ่นบาง	m

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright © by Chiang Mai University

All rights reserved

x, y, z	แกนคาร์ทีเซียน x, y, z	-
$\{A\}$	เวกเตอร์ของแอมพลิจูด	N
$\{c\}$	เวกเตอร์ของความหน่วงหนืด	$N.s/m$
$\{D\}$	เวกเตอร์ของกระจัด	m
$\{F\}$	เวกเตอร์ของแรงกระทำเป็นฟังก์ชันของเวลา	N
$[k]$	เมทริกซ์ค่านิจวัสดุ	N/m
$[m]$	เมทริกซ์มวล	kg
c_i, c_j	ค่าคงที่ใดๆ	-
β	สัดส่วนระหว่างความชันและโมเมนต์	-
γ_{xy}	ความเครียดเฉือนในพิกัดคาร์ทีเซียน	m/m
$\varepsilon_x, \varepsilon_y$	ความเครียดในแนวแกน x, y ตามลำดับ	m/m
θ	กระจัดเชิงมุม	rad
ρ	ความหนาแน่น	kg/m^3
σ_x, σ_y	ความเค้นตั้งฉากในแนวแกน x, y ต่อหนึ่งหน่วยความยาว	$(N/m^2)/m$
τ_{xy}	ความเค้นเฉือนต่อหนึ่งหน่วยความยาว	$(N/m^2)/m$
v	อัตราส่วนปัวซองของวัสดุ	-
ω	ความถี่ธรรมชาติ	rad/s
Ω	สัมประสิทธิ์ความถี่ธรรมชาติ	-
μ, ξ, ζ	ค่าคงที่ใดๆ	-
$\in_n$	มุมเฟส	rad

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved