สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(11)
สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ	(17)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 การตรวจเอกสาร	3
1.3 วัตถุประสงค์	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	5
2. ทฤษฎี	7
2.1 แบบคณิตศาสตร์ของวัสดุไฮเปอร์อีลาสติก	7
2.2 การทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุไฮเปอร์อีลาสติก	8
2.3 การหาสัมประสิทธิ์พลังงานความเครียดวัสดุไฮเปอร์อีลาสติก	10
2.4 ความแข็งตึงของยาง	15
2.5 ตัวประกอบรูปทรง	17
2.6 การกำหนดสมบัติชั้นกาวบาง	19
2.7 การเปลี่ยนกาวเป็นสปริงเอลิเมนต์ในแบบจำลอง 2 มิติ	21
2.8 การเปลี่ยนกาวเป็นสปริงเอลิเมนต์ในแบบจำลอง 3 มิติ	22
2.9 การวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	24
3. อุปกรณ์และวิธีวิจัย	28
3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	28
3.1.1 ยาง	28
3.1.2 กาว	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 เครื่องมือสำหรับงานวิจัย	29
3.3 ขั้นตอนและวิธีวิจัย	30
3.4 การทดสอบสมบัติทางกลของยาง	31
3.4.1 การทดสอบแรงดึงในแนวแกนเดียว	31
3.4.2 การทดสอบแรงกดในแนวแกนเดียว	34
3.4.3 การทดสอบแรงดึงในระนาบ	35
3.5 การทดสอบสมบัติของกาว	37
3.5.1 การทดสอบความต้านทานแรงดึง	37
3.5.2 การทดสอบความต้านทานแรงเฉือน	39
3.6 การยืนยันความถูกต้องแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	41
4. ผลการทดลอง	44
4.1 สมบัติทางกลของยาง	44
4.2 สมบัติทางกลของกาว	47
4.3 ค่าสัมประสิทธิ์พลังงานความเครียด	52
4.4 การศึกษาต้นแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปศึกษาปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์	53
4.4.1 การยืนยันความถูกต้องค่าสัมประสิทธิ์พลังงานความเครียดของยาง	54
4.4.2 การตรวจสอบความเหมาะสมของจำนวนและขนาดเอลิเมนต์ในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของรอยต่อชนยางกับกาว	59
4.4.3 การยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของรอยต่อชนยางกับกาว	62
4.4.3.1 ผลการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แบบแผ่นกลมรับแรงกด	65
4.4.3.2 ผลการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แบบแผ่นกลมรับแรงดึง	70

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.3.3 ผลการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แบบแผ่นสี่เหลี่ยมรับแรงกด	76
4.4.3.4 ผลการยืนยันความถูกต้องของแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์แบบแผ่นสี่เหลี่ยมรับแรงดึง	82
5. ผลการศึกษาการกระจายความเค้นจากแบบจำลอง	88
5.1 ผลการศึกษาการกระจายความเค้นในชิ้นงานยางแผ่นกลมเมื่อรับแรงกด	90
5.1.1 ลักษณะโดยทั่วไปของการกระจายความเค้นในชิ้นยางแผ่นกลม	90
5.1.2 ผลของตัวประกอบรูปทรงต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยาง	92
5.1.3 ผลความแข็งแรงของกาวต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยาง	95
5.1.4 ผลความแข็งแรงของกาวต่อความแข็งเชิงกดของชิ้นงาน	97
5.2 การศึกษาการกระจายความเค้นในชิ้นงานยางแผ่นกลมเมื่อรับแรงดึง	99
5.2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของการกระจายความเค้นในชิ้นยางแผ่นกลม	99
5.2.2 ผลของตัวประกอบรูปทรงต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยาง	101
5.3 ผลการศึกษาการกระจายความเค้นในชิ้นงานยางแผ่นสี่เหลี่ยมเมื่อรับแรงกด	103
5.3.1 ลักษณะโดยทั่วไปของการกระจายความเค้นในชิ้นยางแผ่นสี่เหลี่ยม	103
5.3.2 ผลตัวประกอบรูปทรงต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยาง	105
5.3.3 ผลความแข็งแรงของกาวต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยาง	108
5.3.4 ผลความแข็งแรงของกาวต่อความแข็งเชิงกดของชิ้นงาน	110
5.4 ผลการศึกษาการกระจายความเค้นในชิ้นงานยางแผ่นสี่เหลี่ยมเมื่อรับแรงดึง	113
5.4.1 ลักษณะโดยทั่วไปของการกระจายความเค้นในชิ้นยางแผ่นสี่เหลี่ยม	113
5.4.2 ผลตัวประกอบรูปทรงต่อการกระจายความเค้นในเนื้อยาง	114
6. บทสรุปและวิจารณ์ผล	117
6.1 สมบัติทางกลของยางและการยืนยันความถูกต้องค่าสัมประสิทธิ์พลังงานความเครียดของยาง	117
6.2 สมบัติทางกลของกาว	118

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.3 จำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมในแบบจำลอง	118
6.4 การยืนยันความถูกต้องของต้นแบบไฟไนต์เอลิเมนต์ของรอยต่อชนยางกับกาว	119
6.5 ผลการศึกษาการกระจายความเค้นในเนื้อยางจากแบบจำลอง	119
6.6 สรุปผล	121
เอกสารอ้างอิง	122
ภาคผนวก	124
ก ตัวอย่างอินพุตไฟล์สำหรับชิ้นงานแบบต่างๆ	125
ข แบบอุปกรณ์ที่สร้างในงานวิจัย	156
ประวัติผู้เขียน	181

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงรายละเอียดชิ้นงานทดสอบแบบแผ่นกลม	42
3.2 แสดงรายละเอียดชิ้นงานทดสอบแบบแผ่นสี่เหลี่ยม	43
4.1 ผลการทดสอบมอดูลัสแรงดึงเบื้องต้น	47
4.2 สรุปผลค่าสมบัติเชิงกลของกาว	52
4.3 ผลการยืนยันความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์พลังงานความเครียดในลักษณะต่างๆ	57
4.4 ชิ้นงานรูปทรงแบบแผ่นกลมที่มีค่าความแข็งตึงที่ความเครียดใดๆใกล้เคียงกัน	62
4.5 ชิ้นงานรูปทรงแบบแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีค่าความแข็งตึงที่ความเครียดใดๆใกล้เคียงกัน	63
4.6 สมบัติเชิงกลของวัสดุในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์	64
4.7 แสดงผลการทดสอบของชิ้นงานแบบแผ่นกลมเมื่อรับแรงกด	66
4.8 แสดงผลการประมวลผลจากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นงานแบบแผ่นกลม เมื่อรับแรงกด	67
4.9 ค่าเฉลี่ยร้อยละความแตกต่างของการเปลี่ยนรูปในแนวตั้งฉากกับแรงที่ประมวลผลด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เทียบกับผลการทดลอง ตลอดช่วงความเครียด 0-30%	70
4.10 แสดงผลการทดสอบของชิ้นงานแบบแผ่นกลมเมื่อรับแรงดึง	72
4.11 แสดงผลการประมวลผลแบบจำลองชิ้นงานแบบแผ่นกลมเมื่อรับแรงดึง	73
4.12 ค่าเฉลี่ยร้อยละความแตกต่างของการเปลี่ยนรูปในแนวตั้งฉากกับแรงที่ประมวลผลด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เทียบกับผลการทดลองตลอดช่วงความเครียด 0-30%	75
4.13 แสดงผลการทดสอบของชิ้นงานแบบแผ่นสี่เหลี่ยมเมื่อรับแรงกด	77
4.14 แสดงผลการประมวลผลแบบจำลองชิ้นงานแบบแผ่นกลม เมื่อรับแรงกด	78
4.15 ค่าเฉลี่ยร้อยละความแตกต่างของการเปลี่ยนรูปในแนวตั้งฉากกับแรงที่ประมวลผลด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เทียบกับผลการทดลองตลอดช่วงความเครียด 0-30%	81
4.16 แสดงผลการทดสอบของชิ้นงานแบบสี่เหลี่ยมเมื่อรับแรงดึง	83
4.17 แสดงผลการประมวลผลแบบจำลองชิ้นงานแบบแผ่นสี่เหลี่ยมเมื่อรับแรงดึง	84
4.18 ค่าเฉลี่ยร้อยละความแตกต่างของการเปลี่ยนรูปในแนวตั้งฉากกับแรงที่ประมวลผลด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์เทียบกับผลการทดลองตลอดช่วงความเครียด 0-30 %	85

รายการภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1.1 ชิ้นงานต่อชนระหว่างยางกับชิ้นงานที่ไม่ใช่ยางแบบแผ่นกลม	2
1.2 ชิ้นงานต่อชนระหว่างยางกับชิ้นงานที่ไม่ใช่ยางแบบแผ่นสี่เหลี่ยม	2
2.1 ภาพแสดงการทดสอบยางในลักษณะต่างๆ	9
2.2 การเทียบการทดสอบเมื่อวัสดุมีสมบัติอัดตัวไม่ได้	10
2.3 การเปลี่ยนรูปชิ้นงานเมื่อได้รับแรง	16
2.4 ตัวประกอบรูปทรงของชิ้นงานยางแบบแผ่นกลม	18
2.5 ตัวประกอบรูปทรงของชิ้นงานยางแบบแผ่นสี่เหลี่ยม	18
2.6 การเปลี่ยนชั้นกาวเป็นสปริงเอลิเมนต์	19
2.7 การเปลี่ยนเอลิเมนต์ของชั้นกาวบางเป็นสปริงเอลิเมนต์ในแบบจำลองสองมิติ	21
2.8 การเปลี่ยนเอลิเมนต์ของชั้นกาวบางเป็นสปริงเอลิเมนต์ในแบบจำลองสามมิติ	23
3.1 ยางธรรมชาติสูตรกันกระแทกขนาดความหนาต่างๆ	29
3.2 กาวยางและกาวแห้งเร็ว	29
3.3 แผนภูมิแสดงขั้นตอนหลักในการวิจัย	31
3.4 ชิ้นงานทดสอบแบบ Dumbbell	32
3.5 แสดงการทดสอบแรงดึงในแนวแกนเดียว	32
3.6 การผิดรูปของยางภายใต้แรงดึงแกนเดียว	33
3.7 การทดสอบแรงกดในแนวแกนเดียว	34
3.8 การผิดรูปของยางภายใต้แรงกด	34
3.9 การทดสอบแรงดึงในระนาบ	35
3.10 การผิดรูปของยางภายใต้แรงดึงในระนาบ	36
3.11 ชิ้นทดสอบการต้านทานแรงดึง (กาว)	37
3.12 การทดสอบการต้านทานแรงดึง	38
3.13 อุปกรณ์ทดสอบการต้านทานแรงดึง	38
3.14 ชิ้นทดสอบการต้านทานแรงเฉือน	39
3.15 อุปกรณ์ทดสอบการต้านทานแรงเฉือน	40
3.16 การทดสอบการต้านทานแรงเฉือน	40
4.1 ผลการทดสอบแรงดึง	45

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.2 ผลการทดสอบแรงกด	46
4.3 ผลการทดสอบแรงดึงในแนวระนาบ	46
4.4 ผลการทดสอบ Butt-joint ของกาวยางยี่ห้อ ACT No. 354	49
4.5 ผลการทดสอบ Butt-joint ของกาวยางยี่ห้อ ACT No. 354 ช่วงยืดหยุ่น	50
4.6 ผลการทดสอบ Lap-joint ของกาวยางยี่ห้อ ACT No. 354	50
4.7 ผลการทดสอบ Butt-joint ของกาวแห้งเร็วยี่ห้อ LOCTITE No. 380	51
4.8 ผลการทดสอบ Lap-Joint ของกาวแห้งเร็วยี่ห้อ LOCTITE No. 380	51
4.9 แผนภูมิขั้นตอนการยืนยันความถูกต้องสัมประสิทธิ์พลังงานความเครียด	54
4.10 แบบจำลองของชิ้นงานทดสอบแรงดึง	55
4.11 แบบจำลองของชิ้นงานทดสอบแรงกด	56
4.12 ผลการยืนยันความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์พลังงานความเครียดสำหรับชิ้นยางที่รับแรงดึง	58
4.13 ผลการยืนยันความถูกต้องของค่าสัมประสิทธิ์พลังงานความเครียดสำหรับชิ้นยางที่รับแรงกด	58
4.14 แบบจำลองชิ้นงานแผ่นกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm หนา 10 mm	60
4.15 แบบจำลองชิ้นงานแบบแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดความกว้าง ยาว 30 mm และหนา 10 mm	61
4.16 ชิ้นงานยางแผ่นกลมรับแรงกด	65
4.17 แบบจำลองชิ้นงานยางแผ่นกลมรับแรงกด	65
4.18 การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในแนวแรงกดและในแนวตั้งฉากกับแรงที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ของชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm หนา 10 mm	68
4.19 การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในแนวแรงกดและในแนวตั้งฉากกับแรงที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ของชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm หนา 18 mm	69
4.20 การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในแนวแรงกดและในแนวตั้งฉากกับแรงที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ของชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm หนา 30 mm	69
4.21 ชิ้นงานยางแผ่นกลมรับแรงดึง	71
4.22 แบบจำลองชิ้นงานยางแผ่บกลมรับแรงดดึง	71

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.23 การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในแนวแรงดึงและในแนวตั้งฉากกับแรงที่ได้จากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ของชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm หนา 10 mm	74
4.24 การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในแนวแรงดึงและในแนวตั้งฉากกับแรงที่ได้จากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ของชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm หนา 18 mm	74
4.25 การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในแนวแรงดึงและในแนวตั้งฉากกับแรงที่ได้จากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ของชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm หนา 30 mm	75
4.26 ชิ้นงานยางแผ่นสี่เหลี่ยมรับแรงกด	76
4.27 แบบจำลองชิ้นงานยางแผ่นสี่เหลี่ยมรับแรงกด	76
4.28 การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในแนวแรงกดและในแนวตั้งฉากกับแรงที่ได้จากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ของชิ้นงานขนาดความกว้าง ยาว 30 mm หนา 10 mm	79
4.29 การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในแนวแรงกดและในแนวตั้งฉากกับแรงที่ได้จากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ของชิ้นงานขนาดความกว้าง ยาว 40 mm หนา 18 mm	80
4.30 การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในแนวแรงกดและในแนวตั้งฉากกับแรงที่ได้จากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ของชิ้นงานขนาดความกว้าง ยาว 50 mm หนา 30 mm	80
4.31 ชิ้นงานยางแผ่นสี่เหลี่ยมรับแรงดึง	82
4.32 แบบจำลองชิ้นงานยางแผ่นสี่เหลี่ยมรับแรงดึง	82
4.33 การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในแนวแรงดึงและในแนวตั้งฉากกับแรงที่ได้จากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ของชิ้นงานขนาดความกว้าว ยาว30 mm หนา 10 mm	86
4.34 การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในแนวแรงดึงและในแนวตั้งฉากกับแรงที่ได้จากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ของชิ้นงานขนาดความกว้าว ยาว40 mm หนา 18 mm	86
4.35 การเปลี่ยนรูปของชิ้นงานในแนวแรงดึงและในแนวตั้งฉากกับแรงที่ได้จากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ของชิ้นงานขนาดความกว้าว ยาว50 mm หนา 30 mm	87
5.1 ลักษณะชิ้นงานแผ่นกลมรับแรงกด และ ดึง	88
5.2 ลักษณะชิ้นงานแผ่นสี่เหลี่ยมรับแรงกด และดึง	89
5.3 ตัวอย่างลักษณะการกระจายความเค้นในเนื้อยาง	91
5.4 ลักษณะการกระจายค่า σ_h / P_a ตามแนวรัศมีของชิ้นยาง เมื่อชิ้นยางรับแรงกด	92

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
5.5	ลักษณะการกระจายค่า σ_h / P_a ตามแนวรัศมีของชิ้นยาง ที่ตำแหน่งความหนา h/t = 0.96 ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อแบบสมบูรณ์	93
5.6	ลักษณะการกระจายค่า σ_h / P_a ตามแนวรัศมีของชิ้นยาง ที่ตำแหน่งความหนา h/t = 0.96 ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อด้วยกาวแห้งเร็ว	94
5.7	ลักษณะการกระจายค่า σ_h / P_a ตามแนวรัศมีของชิ้นยาง ที่ตำแหน่งความหนา h/t = 0.96 ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อด้วยกาวยาง	94
5.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า σ_h / P_a ในเนื้อยางที่ตำแหน่ง h/t = 0.96, r/R = 0.03 กับค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว	95
5.9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า σ_h / P_a ในเนื้อยางที่ตำแหน่ง h/t = 0.96, r/R = 0.5 กับค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว	96
5.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า σ_h / P_a ในเนื้อยางที่ตำแหน่ง h/t = 0.96, r/R = 0.97 กับค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว	96
5.11	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นทางวิศวกรรมและความเครียด ของชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm หนา 20 mm ตัวประกอบรูปทรง 0.5	97
5.12	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นทางวิศวกรรมและความเครียด ของชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 mm หนา 10 mm ตัวประกอบรูปทรง0.75	98
5.13	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นทางวิศวกรรมและความเครียด ของชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 mm หนา 10 mm ตัวประกอบรูปทรง1.0	98
5.14	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นทางวิศวกรรมและความเครียด ของชิ้นงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm หนา 10 mm ตัวประกอบรูปทรง1.25	99
5.15	ตัวอย่างลักษณะการกระจายความเค้นในเนื้อยาง	100
5.16	ลักษณะการกระจายค่า σ_h / P_a ตามแนวรัศมีของชิ้นยางเมื่อชิ้นงานรับแรงดึง	101
5.17	ลักษณะการกระจายค่า σ_h / P_a ตามแนวรัศมีของชิ้นยาง ที่ตำแหน่งความหนา h/t = 0.96 ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อแบบสมบูรณ์	102
5.18	ลักษณะการกระจายค่า σ_h / P_a ตามแนวรัศมีของชิ้นยางที่ตำแหน่งความหนา h/t = 0.96 ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อด้วยกาวแห้งเร็ว	103
5.19	ตัวอย่างลักษณะการกระจายความเค้นในเนื้อยาง	104

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.20 ลักษณะการกระจายค่า σ_h / P_a ตามแนวแกน x (y=0) เมื่อชิ้นยางรับแรงกด	105
5.21 ลักษณะการกระจายค่า σ_h / P_a ตามแนวแกน x (y=0) ของชิ้นยางที่ตำแหน่ง ความหนา h/t = 0.96 ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อแบบสมบูรณ์	106
5.22 ลักษณะการกระจายค่า σ_h / P_a ตามแนวแกน x (y=0) ของชิ้นยาง ที่ตำแหน่ง ความหนา h/t = 0.96 ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อด้วยกาวแห้งเร็ว	107
5.23 ลักษณะการกระจายของ σ_h / P_a ตามแนวแกน x (y=0) ของชิ้นยาง ที่ตำแหน่ง ความหนา h/t = 0.96 ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อด้วยกาวยาง	107
5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า σ_h / P_a ในเนื้อยางที่ตำแหน่ง h/t = 0.96, x (r/R) = 0.05, y = 0 กับค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว	108
5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า σ_h / P_a ในเนื้อยางที่ตำแหน่ง h/t = 0.96, x(r/R) = 0.45, y = 0 กับค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว	109
5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า σ_h / P_a ในเนื้อยางที่ตำแหน่ง h/t = 0.96, x (r/R) = 0.95, y = 0 กับค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว	109
5.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า σ_h / P_a ในเนื้อยาง ที่ตำแหน่ง h/t = 0.96, x (r/R) = 0.95, y(r/R) = 0.95 กับค่าความต้านทานแรงเฉือนของกาว	110
5.28 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของชิ้นงานขนาด ความกว้าง ยาว 40 mm หนา 20 mm ตัวประกอบรูปทรง 0.5	111
5.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของชิ้นงานขนาด ความกว้าง ยาว 30 mm หนา 10 mm ตัวประกอบรูปทรง0.75	111
5.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของชิ้นงานขนาด ความกว้าง ยาว 40 mm หนา 10 mm ตัวประกอบรูปทรง1.0	112
5.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ของชิ้นงานขนาด ความกว้าง ยาว 50 mm หนา 10 mm ตัวประกอบรูปทรง1.25	112
5.32 ตัวอย่างลักษณะการกระจายความเค้นในเนื้อยาง	113
5.33 ลักษณะการกระจาย ค่า σ_h / P_a ตามแนวแกน x (y=0) เมื่อชิ้นยางรับแรงดึง	114

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

5.34 ลักษณะการกระจายค่า σ_h / P_a ตามแนวแกน x (y=0) ของชิ้นยาง ที่ตำแหน่งความหนา h/t = 0.96 ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อแบบสมบูรณ์ 115

5.35 ลักษณะการกระจายค่า σ_h / P_a ตามแนวแกนx (y=0) ของชิ้นยาง ที่ตำแหน่งความหนา h/t = 0.96 ของชิ้นงานที่เชื่อมต่อด้วยกาวแห้งเร็ว 116

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ

A	พื้นที่หน้าตัดของยางเมื่อมีแรงกระทำ
A_0	พื้นที่หน้าตัดของยางเมื่อไม่มีแรงกระทำ
C_{ijk}	สัมประสิทธิ์พลังงานความเครียด
D	เส้นผ่าศูนย์กลางหรือความกว้าง ยาวของชิ้นงาน
E	ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของยางที่ความเครียดใดๆ
E	สมบัติการต้านทานแรงดึงของกาว
F	แรงที่กระทำต่อชิ้นงาน
$F_{n,i}$	แรงลัพธ์ในสปริงในแนวตั้งฉาก
$F_{f,i}$	แรงลัพธ์ในสปริงในแนวเฉือน
G	สมบัติการต้านทานแรงเฉือนของกาว
I_1, I_2, I_3	Three Invariants of the Green Deformation Tensor
J_{el}	อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงของปริมาตร
K	ความแข็งตึง ของยางที่สภาวะใดๆ
$K_{n,i}$	ความแข็งตึง (Stiffness) ของสปริงในแนวตั้งฉาก
$K_{f,i}$	ความแข็งตึงเฉือน (Shear Stiffness) ของสปริงในแนวเฉือน
L	ความหนาของยางเมื่อมีแรงกระทำ
L_0	ความหนาของยางเมื่อไม่มีแรงกระทำ
ΔL	คือความยาวที่เปลี่ยนไปเมื่อชิ้นงานถูกแรงกระทำ
P_a	แรงดันที่กระทำต่อชิ้นงาน
S	ตัวประกอบรูปทรง
U	พลังงานความเครียด
d	ความลึกของเอลิเมนต์ในทิศทางแกน x ซึ่งมีค่าเท่ากับหนึ่งหน่วย
t	ความหนาชิ้นงาน
$u_{f,i}$	การเคลื่อนตัวของสปริงในแนวเฉือน
$v_{n,i}$	การเคลื่อนตัวของสปริงในแนวตั้งฉาก
w	ความกว้างของเอลิเมนต์ในทิศทางแกน y
x	ระยะการเปลี่ยนรูปในแนวแรง
ε	ความเครียด

สัญลักษณ์คำย่อและตัวย่อ (ต่อ)

ε_U	ความเครียดที่เกิดจากความเค้นในแนวแรงแกนเดียว
ε_B	ความเครียดที่เกิดจากความเค้นในแนวแรงสองแกน
ε_S	ความเครียดที่เกิดจากความเค้นในแนวแรงตามแนวระนาบ
γ	ความเครียดแรงเฉือน
$\gamma_{xz}, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{yx}$	การเคลื่อนตัวของสปริง
$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$	อัตราการยืดตัวในทิศทาง 1,2,3 ตามลำดับ
σ_h	ความเค้นอุทกสถิต
σ_p	ความเค้นทางวิศวกรรม
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	ความเค้นในทิศทางแกน x, y, z ตามลำดับ
σ_U	ความเค้นในแนวแรงแกนเดียว
σ_B	ความเค้นในแนวแรงสองแกน
σ_S	ความเค้นในแนวแรงตามแนวระนาบ
τ	ความเค้นแรงเฉือน
$\tau_{xz}, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{yx}, \tau_{zy}$	ความเค้นแรงเฉือนในทิศทางต่างๆ

สัญลักษณ์ชิ้นงาน

แสดงหมายเลขชิ้นงานทดสอบ “01,02,03…”
หรือสัญลักษณ์แสดงแบบจำลอง “ M ”

แสดงขนาดความหนาของชิ้นงาน ในหน่วย mm

แสดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง หรือ ความกว้างของชิ้นงานในหน่วย mm

แสดงสัญลักษณ์การยึดชิ้นงาน ดังนี้

“ F ” แสดงการยึดแบบ free bonding คือไม่มีกาวเป็นตัวยึดติดชิ้นงาน

“ R ” แสดงการยึดติดชิ้นงานโดยใช้กาวยาง (rubber glue)

“ I ” แสดงการยึดติดชิ้นงานโดยใช้กาวแห้งเร็ว (instant glue)

“ P ” แสดงการยึดติดแบบสมบูรณ์ (perfect bonding) ใช้ในแบบจำลอง

แสดงสัญลักษณ์รูปร่างของชิ้นงานแบบต่าง ๆ ดังนี้

“ C ” แสดงชิ้นงานรูปร่างเป็นแผ่นกลม Circular disk

“ R ” แสดงชิ้นงานรูปร่างเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม Rectangular disk

“ D ” แสดงชิ้นงานรูปร่างทรง Dumbbell

“ P ” แสดงชิ้นงานสำหรับทดสอบ planar test

“ B ” แสดงชิ้นงานทดสอบกาวแบบ Butt-joint

“ L ” แสดงชิ้นงานทดสอบกาวแบบ Lap-joint

แสดงสัญลักษณ์ลักษณะของแรงที่กระทำต่อชิ้นงานทดสอบ ดังนี้

“ C ” แสดงสัญลักษณ์แรงกด Compression test

“ T ” แสดงสัญลักษณ์แรงดึง Tension test