

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1.1 การขยายตัวของรอยร้าวผ่าน Hard Inclusion	3
1.2 ชุดทดสอบโฟโตอีลาสติก และอุปกรณ์เสริม	5
1.3 อุปกรณ์จับยึดและใส่แรงสำหรับการทดสอบด้วยเทคนิคโฟโตอีลาสติกซีดี	5
1.4 กราฟแสดงผลที่ได้จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และ เทคนิคโฟโตอีลาสติกซีดีเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Freese	7
1.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง พารามิเตอร์ของรูปร่างกับค่า G	8
1.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของ Inclusion และระยะห่างจากปลาย รอยร้าว	9
1.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนของค่า Young's modulus กับค่า G	9
1.8 ผลการเปรียบเทียบการทดลองของ R. Kitey	11
2.1 แสดงตัวอย่างวัสดุที่ใช้วัสดุหลักเป็น Polymer	13
2.2 เครื่องบิน The Boeing 787 “Dreamliner” เป็นเครื่องบินลำแรกที่ใช้ วัสดุผสม ทั้งลำ	14
2.3 วัสดุคอมโพสิตส์ที่ใช้ เซรามิกเป็นวัสดุหลัก	14
2.4 ตัวอย่างเมตชีลคอนคาร์ไบด์ ที่นำมาใช้อย่างแพร่หลายในวัสดุซีเมนต์	16
2.5 ตัวอย่างลักษณะของ Fiberglass และการใช้งาน	18
2.6 ตัวอย่างเส้นใยคาร์บอนและเส้นใยแกรไฟต์	19
2.7 ตัวอย่างวัสดุที่จัดเรียงเป็นชั้นๆ	21
2.8 แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างความยาวของเส้นใยกับความต้านทานแรงดึง	22
2.9 แสดงความสัมพันธ์ของมุมระหว่างเส้นใยและความเค้น กับ ความต้านทาน แรงดึง	23
2.10 ลักษณะการจัดเรียงตัวของชั้นเส้นใยในทิศทางเดียวและหลายทิศทาง	24
2.11 ตัวอย่างการขึ้นรูปวัสดุผสมด้วยมือ	25
2.12 ภาพจำลองการทำงานของเครื่องขึ้นรูปวัสดุผสมแบบพ่น	26
2.13 ภาพจำลองการทำงานของเครื่องขึ้นรูปวัสดุผสมแบบพัน	27
2.14 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของการขึ้นรูปวัสดุผสมโดยวิธีการพัน	27

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.15 ภาพจำลองการขึ้นรูปวัสดุผสมโดยวิธีการผลิตภายใต้ความดันต่ำ The Low Pressure Cure (LPC)	28
2.16 ตัวอย่างวิธีการขึ้นรูปวัสดุผสมโดยวิธีการผลิตภายใต้ความดันต่ำ The Low Pressure Cure (LPC)	29
2.17 ภาพจำลองการขึ้นรูปวัสดุผสมด้วยวิธี Autoclaves	30
2.18 ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการขึ้นรูปวัสดุผสมแบบ Autoclave	30
2.19 แสดงรูปร่างของขึ้นทดสอบที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....	34
3.1 แสดงลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	36
3.2 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	37
3.3 ค.ศ.1801 โทมัส ค้นพบการแทรกสอดของแสงผ่านสลิตคู่.....	39
3.4 แสดงการสะท้อนและการหักเหของคลื่นแสงผ่านตัวกลาง 2 ชนิด	41
3.5 แสดงการแทรกสอดของแสง	42
3.6 แสดงลักษณะการเลี้ยวเบนผ่านช่องแคบเดี่ยว	42
3.7 การเกิดปรากฏการณ์การแทรกสอดและเลี้ยวเบนทำให้เกิดแถบมืดและสว่างที่ฉากรับแสง.....	43
3.8 แสดงการเปรียบเทียบเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าของแสง	44
3.9 การทำโพลาไรซ์เซชันของคลื่นแสง แสงสีขาวจากหลอดไฟธรรมดา.....	45
3.10 แสดงลักษณะการเกิดภาพจากการวางแผ่นตัวรับมาลีนในทิศทางต่างๆ	45
3.11 คุณสมบัติของแผ่นโพลาไรซ์เซอร์แบบระนาบ.....	47
3.12 แสดงแสงโพลาไรซ์ผ่านแผ่นการหักเหสองแกน.....	48
3.13 โพลาไรสโคปแบบระนาบ	49
3.14 แสดงการจัดเรียงตัวในรูปแบบ A ของโพลาไรสโคปแบบวงกลม.....	50
4.1 ของแข็งยืดหยุ่นถูกกระทำด้วยแรงภายนอกภายใต้สภาวะสมดุล	56
4.2 เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมเล็กๆ ภายใต้สภาวะสมดุลของของแข็งยืดหยุ่นในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนสองมิติ	57
4.3 การแบ่งขอบเขตของปัญหาให้เป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ.....	60

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.4 เอลิเมนต์สามเหลี่ยมประกอบด้วย 3 จุดต่อ โดยมีตัวไม่ทราบค่า ณ จุดต่อแต่ละจุด.....	60
5.1 ความเสียหายของเครื่องบิน Aloha 737	63
5.2 รูปแบบลักษณะภาวะที่กระทำต่อรอยร้าว	65
5.3 ลักษณะของรอยร้าวในรูปแบบเปิดและแบบผสม	66
5.4 ตัวอย่างพื้นผิวความเสียหายของชิ้นทดสอบแบบต่างๆ	67
5.5 ระยะและมุมในพิกัดเชิงขั้ว	69
5.6 โพลาริสโคป	71
5.7 มุมและความยาวรัศมีของแถบไอโซโครเมติก 1 แถบ	73
5.8 จุดต่อและเอลิเมนต์บริเวณปลายรอยร้าว	75
5.9 จุดต่อและเอลิเมนต์บริเวณปลายรอยร้าวในแนวแกนใดๆ	75
5.10 เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมแปดจุดต่อบริเวณปลายรอยร้าว	77
5.11 แสดงการจัดเรียงตัวของเอลิเมนต์แบบต่างๆ	77
5.12 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความเค้นในแนวแกน X และ Y	78
6.1 ชุดโพลาริสโคป	81
6.2 ชุดอุปกรณ์จับยึด	81
6.3 ลักษณะการติดตั้งชิ้นทดสอบโฟโตอีลาสติกรีติ	84
6.4 กล้องฟิล์มและอุปกรณ์เสริม	85
6.5 รูปร่างของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวข้างเดียวภายใต้แรงดึง	86
6.6 รายละเอียดของปัญหาปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวข้างเดียวภายใต้แรงดึง	87
6.7 ภาพถ่ายจากเทคนิคโฟโตอีลาสติกรีติแผ่นสี่เหลี่ยมแบบที่มีรอยร้าวที่ขอบข้างเดียวภายใต้แรงดึง	88

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
6.8 กราฟเปรียบเทียบค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่รอยร้าวต่างๆ สำหรับปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบที่มีรอยร้าวข้างเดียวภายใต้แรงดึงสำหรับ Hard inclusion และ Soft inclusion เปรียบเทียบกับแบบไม่มี Inclusion (Hole).....	90
6.9 รูปร่างของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง	91
6.10 รายละเอียดของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง.....	92
6.11 ภาพถ่ายจากเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตีแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง	93
6.12 กราฟเปรียบเทียบค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่รอยร้าวต่างๆ สำหรับปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง สำหรับ Hard inclusion และ Soft inclusion เปรียบเทียบกับแบบไม่มี Inclusion (Hole)	95
6.13 รูปร่างของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง	96
6.14 รายละเอียดของปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง.....	97
6.15 ภาพถ่ายจากเทคนิคโฟโตอีลาสติกซิตีแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง	98
6.16 กราฟเปรียบเทียบค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่รอยร้าวต่างๆ สำหรับปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียง 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง สำหรับ Hard inclusion และ Soft inclusion เปรียบเทียบกับแบบไม่มี Inclusion (Hole).....	100
7.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบปรับขนาด อัตโนมัติ.....	103

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
7.2	รูปร่างของปัญหาแผ่นสีเหลืองแบบมีรอยร้าวข้างเดียวภายใต้แรงดึง	105
7.3	รายละเอียดของปัญหาแผ่นสีเหลืองแบบมีรอยร้าวข้างเดียวภายใต้แรงดึง....	106
7.4	รูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์ของปัญหาแผ่นสีเหลืองแบบมีรอยร้าวที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง	107
7.5	กราฟเปรียบเทียบค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่รอยร้าวต่างๆ สำหรับปัญหาแผ่นสีเหลืองแบบที่มีรอยร้าวข้างเดียวภายใต้แรงดึงสำหรับ Hard inclusion และ Soft inclusion เปรียบเทียบกับแบบไม่มี Inclusion (Hole).....	109
7.6	รูปร่างปัญหาแผ่นสีเหลืองแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง	110
7.7	รายละเอียดของปัญหาแผ่นสีเหลืองแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง.....	111
7.8	รูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์ของ ปัญหาแผ่นสีเหลืองแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง	112
7.9	กราฟเปรียบเทียบค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่รอยร้าวต่างๆ สำหรับปัญหาแผ่นสีเหลืองมีรอยร้าวเฉียงมุม 30° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง สำหรับ Hard inclusion และ Soft inclusion เปรียบเทียบกับแบบไม่มี Inclusion (Hole).....	114
7.10	รูปร่างของปัญหาแผ่นสีเหลืองแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง	115
7.11	รายละเอียดของปัญหาปัญหาแผ่นสีเหลืองแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง	116
7.12	รูปแบบของไฟไนต์เอลิเมนต์ของ ปัญหาแผ่นสีเหลืองแบบมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง	117

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
7.13	กราฟเปรียบเทียบค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่รอยร้าวต่างๆ สำหรับปัญหาแผ่นสี่เหลี่ยมมีรอยร้าวเฉียงมุม 45° ที่ขอบด้านเดียวภายใต้แรงดึง สำหรับ Hard inclusion และ Soft inclusion เปรียบเทียบกับแบบไม่มี Inclusion (Hole).....	119
8.1	ตัวอย่างปัญหาของโปรแกรม BUILT เรื่องข้อผิดพลาดจากข้อมูลรับเข้าของ โปรแกรม (Input file)	124
8.2	แสดงตัวอย่างผลของจำนวนโนดและเอลิเมนต์ที่มากเกินไปที่โปรแกรมทำงานได้ ทำให้ไม่สามารถเรียกหน้าต่างคำสั่งมาใช้งานได้	125
8.3	แสดงตัวอย่างหน้าต่างคำสั่งของโปรแกรม BUILT ที่เกิดข้อผิดพลาดจากสัดส่วน มากที่สุด และน้อยที่สุดของขนาดเอลิเมนต์ ในโปรแกรม Spece_crack2D ..	126
8.4	แสดงตัวอย่างของโปรแกรม BUILT (Remashing) โดยข้อมูลที่ได้เกินข้อกำหนด “mxnnp” ของโปรแกรม BUILT.....	127