

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานวิทยานิพนธ์	3
1.3 ขอบเขตวิธีวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.5 ขั้นตอนวิธีวิจัย	6
<b>บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 การออกแบบการทดลอง	9
2.1.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล	9
2.1.2 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม	10
2.1.3 การออกแบบการทดลองแบบรวมปัจจัยส่วนผสมและกระบวนการ	13
2.2 การออกแบบพื้นผิวตอบ	14
2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน	16
2.4 แบบจำลองการถดถอย	17
2.4.1 แบบจำลองการถดถอยสำหรับ Mixture Design	17
2.4.2 แบบจำลองการถดถอยสำหรับ Central Composite Design	18
2.5 ความแข็ง	18
2.6 โพลีเอสเทอร์เรซิน	21
2.7 เรซิน	21
2.8 อลูมิเนียม	22
2.9 ทัลคัม	23

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10 วัสดุผสม	23
2.11 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพลาสติกชนิดแผ่น	25
2.12 การออกแบบและการสร้างแม่พิมพ์	27
2.13 วรรณกรรม และเอกสารที่เกี่ยวข้อง	29
2.13.1 การทบทวน บทความ เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ การทดสอบค่าความแข็ง	30
2.13.2 การทบทวน บทความ เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองทางวิศวกรรม	31
2.13.3 การทบทวน บทความ เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุผสม	33
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	
3.1 การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสม ของวัสดุผสมสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยความร้อนของพลาสติกแผ่น	35
3.1.1 ศึกษาถึงปัจจัยวัสดุผสมที่มีผลต่อค่าความแข็งของวัสดุผสม	35
3.1.2 ออกแบบการทดลองเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการหาส่วนผสม ที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยความร้อน ของพลาสติกแผ่นให้มีค่าความแข็งมากที่สุด	35
3.1.3 การวิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสมกับผลตอบ	36
3.1.4 วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระแต่ละตัว ในแบบจำลองที่เลือก	38
3.1.5 การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบ	39
3.1.6 พิจารณาพื้นผิวผลตอบ	41
3.1.7 ทดสอบเพื่อยืนยันผลและทำการเปรียบเทียบ	41
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	42
3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	42
3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต	42
3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ	42
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ	42

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 กระบวนการผลิตแม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกชนิดแผ่น	43
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย	
4.1 ผลการออกแบบการทดลองเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการหาส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยความร้อนของพลาสติกแผ่นที่ให้ค่าความแข็งมากที่สุด	44
4.2 วิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสมกับผลตอบ	47
4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระในแบบจำลองที่เลือก	49
4.4 ผลการตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบ	52
4.4.1 การตรวจสอบส่วนตกค้าง	52
4.4.2 ผลวิเคราะห์การตรวจสอบค่าผิดปกติเนื่องจากค่าของตัวแปรอิสระ	54
4.4.3 ผลการตรวจสอบค่าผิดปกติเนื่องจากค่าของตัวแปรตาม	54
4.4.4 ผลวิเคราะห์การตรวจสอบค่าที่มีอิทธิพล	55
4.5 พิจารณาพื้นผิวตอบ	56
4.6 แสดงผลตอบค่าความแข็งของส่วนผสมที่ให้ค่าความแข็งมากที่สุด	56
4.7 ผลการทดสอบยืนยันผลที่ได้จากการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม	62
4.8 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การหดตัวของวัสดุผสมที่ให้ค่าความแข็งมากที่สุด	63
4.9 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	64
4.9.1 อีพ็อกซีเรซินต่างประเทศ	64
4.9.2 วัสดุผสม	65
4.9.3 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวัสดุผสม	67
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการวิจัย	
5.1 สรุปผลงานวิจัย	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	71
บรรณานุกรม	73
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก แสดงคุณสมบัติของฟาสแคสเรซิน	77

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข ข้อมูลทางสถิติ	80
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบหาค่าความแข็งของวัสดุผสมสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูป ด้วยความร้อนของพลาสติกชนิดแผ่น	85
ภาคผนวก ง อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่ให้ค่าความแข็งวัสดุผสมมากที่สุด ในแต่ละคำตอบ	88
ภาคผนวก จ การทดสอบยืนยันผลจากการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมจำนวน 9 การทดลอง	90
ภาคผนวก ฉ แสดงผลเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทำนายกับค่าที่ได้จากการทดสอบ ประวัติผู้เขียน	96 98

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
1-1	ระดับและขอบเขตของปัจจัยในการทดลองเบื้องต้น	7
1-2	แผนการดำเนินการวิจัย	8
2-1	แสดงประเภทเครื่องทดสอบความแข็งแบบชอร์คูโรมิเตอร์ A และ D	20
2-2	แสดงวัสดุผสมแบบต่าง ๆ	24
3-1	แสดงแบบจำลองการถดถอยและสมมติฐานที่ใช้การออกแบบแบบรวมส่วนผสมและกระบวนการ	36
4-1	ตัวแปรและระดับของการออกแบบการทดลอง	44
4-2	ตารางออกแบบการทดลองด้วยวิธีการออกแบบแบบรวมส่วนผสม	45
4-3	แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองการถดถอยของผลตอบ	48
4-4	แสดงผลทางสถิติในแต่ละแบบจำลอง	48
4-5	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของรูปแบบคควอสแดติกส์คควอสแดติกส์	50
4-6	แสดงผลทางสถิติของแบบจำลองคควอสแดติกส์คควอสแดติกส์	52
4-7	การกำหนดเกณฑ์ระดับปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งของส่วนผสมวัสดุผสมเพื่อวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสม	56
4-8	แสดงผลการทดสอบยืนยันผลที่ได้จากการหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม	63
4-9	แสดงการเปรียบเทียบจุดคุ้มทุนในการผลิตของวัสดุทั้ง 2 ประเภท	66
4-10	การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวัสดุผสม	67
5-1	อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่ให้ค่าความแข็งวัสดุผสมมากที่สุดในแต่ละคำตอบ	70
5-2	แสดงค่าของวัสดุผสมใหม่ที่ได้จากการออกแบบการทดลองทั้ง 9 คำตอบ	71
1ก	แสดงคุณสมบัติของฟาสแคสเรซิน	77
1ข	ค่าวิกฤตของ t	80
2ข	ค่าวิกฤตของ F สำหรับสถิติ Cook's D <sub>i</sub>	81
3ข	แสดงผลการตรวจสอบความเหมาะสม	82
1ค	แสดงผลการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการออกแบบส่วนผสมและกระบวนการ	85
1ง	อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่ให้ค่าความแข็งวัสดุผสมมากที่สุดในแต่ละคำตอบ	88
1จ	แสดงผลการทดสอบยืนยันผลจากการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับคำตอบที่ 1	90
2จ	แสดงผลการทดสอบยืนยันผลจากการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับคำตอบที่ 2	91

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
3จ	แสดงผลการทดสอบยืนยันผลจากการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับคำตอบที่ 3	91
4จ	แสดงผลการทดสอบยืนยันผลจากการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับคำตอบที่ 4	92
5จ	แสดงผลการทดสอบยืนยันผลจากการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับคำตอบที่ 5	92
6จ	แสดงผลการทดสอบยืนยันผลจากการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับคำตอบที่ 6	93
7จ	แสดงผลการทดสอบยืนยันผลจากการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับคำตอบที่ 7	93
8จ	แสดงผลการทดสอบยืนยันผลจากการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับคำตอบที่ 8	94
9จ	แสดงผลการทดสอบยืนยันผลจากการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับคำตอบที่ 9	94
1ฉ	แสดงผลการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทำนายกับค่าที่ได้จากการทดสอบ	96

## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1-1 แสดงวัสดุรีไซเคิลที่เรซินจากต่างประเทศที่ใช้ในการผลิตแม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกแผ่น	2
1-2 แสดงแม่พิมพ์สูญญากาศที่ผลิตด้วยวัสดุรีไซเคิลที่เรซินจากต่างประเทศและแม่พิมพ์ที่ผลิตจากแม่พิมพ์สูญญากาศ	2
1-3 แสดงภาพผงอลูมิเนียมและผงทัลคัม	3
1-4 แสดงภาพโพลีเอสเตอร์เรซิน	3
1-5 แม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกแผ่น จากวัสดุผสม (แบบที่ 1)	4
1-6 แม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกแผ่น จากวัสดุผสม (แบบที่ 2)	5
1-7 แม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกแผ่น จากวัสดุผสม (แบบที่ 3)	5
2-1 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเซฟเฟอิมเพล็กซ์เล็กทิส	11
2-2 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเซฟเฟอิมเพล็กซ์เล็กทิส ที่มี 3 ตัวแปร แต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ และ 3 ระดับ	11
2-3 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเซฟเฟอิมเพล็กซ์เซนทรอยด์	12
2-4 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเซฟเฟอิมเพล็กซ์แอกเซียล	12
2-5 แสดงรูปสามเหลี่ยมของส่วนผสม 3 ตัวแปร และตัวแปรกระบวนการ 2 ตัวแปร	14
2-6 พื้นผิวตอบแบบสามมิติ	15
2-7 การออกแบบส่วนประสมกลาง สำหรับ $k=2$ และ $k=3$	16
2-8 แสดงการออกแบบบ็อกซ์-เบห์เคน สำหรับ $k=3$	16
2-9 เครื่องทดสอบความแข็งแบบชอร์สเกลโรสโคป	19
2-10 เครื่องทดสอบความแข็งแบบชอร์คูโรมิเตอร์	20
2-11 แบบอัดด้วยแม่พิมพ์	25
2-12 แบบแม่พิมพ์สูญญากาศ	26
2-13 แบบแม่พิมพ์อัดลม	27
2-14 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์	29
3-1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	34
3-2 แสดงจุดที่ทำการคัดเลือกสำหรับการออกแบบรวมส่วนผสมและกระบวนการ	35
4-1 กราฟส่วนตกค้างแบบการพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติ	53
4-2 กราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าประมาณบนเส้นถดถอย	53

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4-3 กราฟแสดงค่าระหว่างเฟลเวอร์เลขกับลำดับการถดถอย	54
4-4 กราฟแสดงค่าเออร์ไลเออร์ที่กับลำดับการทดลอง	55
4-5 กราฟแสดงค่าคูกส์คิสแตนต์กับลำดับการทดลอง	55
4-6 กราฟแสดงการทำนายการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับคำตอบที่ 1	57
4-7 กราฟแสดงการทำนายการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับคำตอบที่ 2	57
4-8 กราฟแสดงการทำนายการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับคำตอบที่ 3	58
4-9 กราฟแสดงการทำนายการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับคำตอบที่ 4	59
4-10 กราฟแสดงการทำนายการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับคำตอบที่ 5	59
4-11 กราฟแสดงการทำนายการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับคำตอบที่ 6	60
4-12 กราฟแสดงการทำนายการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับคำตอบที่ 7	61
4-13 กราฟแสดงการทำนายการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับคำตอบที่ 8	61
4-14 กราฟแสดงการทำนายการหาค่าที่ดีที่สุดสำหรับคำตอบที่ 9	62