

## สารบัญ

## หน้า

|                    |   |
|--------------------|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย    | ข |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ค |
| กิตติกรรมประกาศ    | ง |
| สารบัญ             | จ |
| รายการตาราง        | ช |
| รายการรูปประกอบ    | ฉ |

## บทที่

|                                                                                                                                                    |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. บทนำ</b>                                                                                                                                     | <b>1</b>  |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา                                                                                                                 | 1         |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา                                                                                                                        | 1         |
| 1.3 สมมุติฐาน                                                                                                                                      | 2         |
| 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย                                                                                                                              | 2         |
| 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ                                                                                                                              | 2         |
| <b>2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>                                                                                                            | <b>3</b>  |
| 2.1 วัสดุเชิงประกอบ                                                                                                                                | 3         |
| 2.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Tests)                                                                                                        | 5         |
| 2.3 เส้นใยแก้ว (Fiberglass)                                                                                                                        | 7         |
| 2.4 โพลีเอสเตอร์เรซิน                                                                                                                              | 8         |
| 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                                                                                                                          | 11        |
| <b>3. ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน</b>                                                                                                               | <b>14</b> |
| 3.1 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน                                                                                                                     | 14        |
| 3.2 ขั้นตอนการออกแบบชิ้นงานของกระเบื้องไฟเบอร์กลาส จากเส้นใยแก้วชนิด E-glass ตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials ASTM D638    | 15        |
| 3.3 ขั้นตอนการออกแบบชิ้นงานของกระเบื้องไฟเบอร์กลาส จากเส้นใยไฟเบอร์ชนิด E-glass ตามมาตรฐานของ American Society for Testing and Materials ASTM D256 | 16        |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                                                                                               | หน้า      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.4 ขั้นตอนในการทดสอบคุณสมบัติทางกลของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสจากเส้นใยแก้วชนิด E-glass                                                                           | 17        |
| 3.5 สมการปริมาณส่วนผสมของวัสดุเชิงประกอบ                                                                                                                      | 19        |
| 3.6 การจำลองอิทธิพลทางความร้อนที่กระทำต่อชิ้นงานโดยการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ในการสุ่มตัวอย่าง                                                                    | 20        |
| <b>4. ผลการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล</b>                                                                                                                        | <b>24</b> |
| 4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองคุณสมบัติทางด้านการทนแรงดึง โดยใช้อุณหภูมิในการอบความร้อน ของการแข็งตัวของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสจากเส้นใยแก้วชนิด E-glass             | 24        |
| 4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองคุณสมบัติทางด้านการทนแรงดึง (Tensile) โดย ใช้ระยะเวลาในการแข็งตัวของกระเบื้องไฟเบอร์กลาส จากเส้นใยแก้วชนิด E-glass                  | 27        |
| 4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลองคุณสมบัติทางด้านการทนแรงดึง (Tensile) โดยใช้ความยาวของเส้นใยแก้วขนาด 1,2 และ 3 เซนติเมตรจากเส้นใยแก้วชนิด E-glass                   | 30        |
| 4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองคุณสมบัติทางด้านการทนแรงดึง (Tensile) โดยใช้ความยาวของเส้นใยแก้ว 2 เซนติเมตร ผสมกับเส้นใยแก้ว 3 เซนติเมตร                           | 31        |
| 4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลองคุณสมบัติทางด้านการทนแรงกระแทก (Impact) โดยใช้อุณหภูมิในการอบความร้อน ของการแข็งตัวของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสจากเส้นใยแก้วชนิด E-glass | 45        |
| 4.6 การวิเคราะห์ผลการทดลองคุณสมบัติทางด้านการทนแรงกระแทก (Impact) โดยใช้เวลาในการแข็งตัวของกระเบื้องไฟเบอร์กลาส จากเส้นใยแก้วชนิด E-glass                     | 36        |
| 4.7 การวิเคราะห์ผลการทดลองคุณสมบัติทางด้านการทนแรงกระแทก (Impact) โดยใช้ความยาวของเส้นใยแก้วขนาด 1, 2 และ 3 เซนติเมตร จากเส้นใยแก้วชนิด E-glass               | 38        |
| 4.8 การวิเคราะห์ผลการทดลองคุณสมบัติทางด้านการทนแรงกระแทก (Impact) โดยใช้ความยาวของเส้นใยแก้ว 2 เซนติเมตร ผสมกับเส้นใยแก้ว 3 เซนติเมตร                         | 40        |

| สารบัญ (ต่อ)                                                                                     | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.9 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสโดยใช้กล้องจุลทรรศน์                             | 40   |
| 4.10 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวของกระเบื้องไฟเบอร์กลาส โดยใช้กล้องจุลทรรศน์<br>อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด | 44   |
| 5. สรุปอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ                                                                   | 48   |
| 5.1 สรุปผล                                                                                       | 48   |
| เอกสารอ้างอิง                                                                                    | 50   |
| ภาคผนวก                                                                                          |      |
| ก. การทดลอง                                                                                      | 52   |
| ประวัติผู้วิจัย                                                                                  | 57   |

## รายการตาราง

| ตาราง                                                     | หน้า |
|-----------------------------------------------------------|------|
| 3.1 การออกแบบการทดลองขนาดของความยาวของเส้นใย              |      |
| 3.2 ตารางการสุ่มตัวอย่างโดยใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ | 20   |

## รายการรูปประกอบ

| รูป | หน้า                                                                                                                                        |    |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 | รูปร่างชิ้นตัวอย่างกระเบื้องไฟเบอร์กลาสตามมาตรฐาน ASTM D638                                                                                 | 6  |
| 2.2 | รูปร่างชิ้นตัวอย่างกระเบื้องไฟเบอร์กลาส ตามมาตรฐาน ASTM D256                                                                                | 7  |
| 2.3 | เส้นใยแก้ว                                                                                                                                  | 8  |
| 2.4 | เรซิน                                                                                                                                       | 9  |
| 2.5 | โพลีเอสเตอร์เรซิน ชนิด non promote                                                                                                          | 9  |
| 2.6 | เรซิน                                                                                                                                       | 10 |
| 3.1 | ผังการดำเนินงาน                                                                                                                             | 14 |
| 3.2 | โครงสร้างชิ้นงานในการทดสอบแรงดึงของไฟเบอร์กลาสตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials ASTM D638                               | 15 |
| 3.3 | โครงสร้างชิ้นงานในการทดสอบแรงกระแทกของไฟเบอร์กลาสตามมาตรฐาน American Society for Testing and Materials ASTM D256 ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า | 16 |
| 3.4 | เครื่องมือในการทดสอบคุณสมบัติทางกลของชิ้นตัวอย่างกระเบื้องไฟเบอร์กลาส                                                                       | 17 |
| 3.5 | เครื่องมือในการทดสอบคุณสมบัติทางกลของชิ้นตัวอย่างกระเบื้องไฟเบอร์กลาส                                                                       | 18 |
| 4.1 | ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงดึงของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับระยะเวลาในการแข็งตัว ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส                                   | 24 |
| 4.2 | ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงดึงของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับระยะเวลาในการแข็งตัว ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส                                   | 25 |
| 4.3 | ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงดึงของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับระยะเวลาในการแข็งตัวของอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส                                    | 26 |
| 4.4 | ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงดึงของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับอุณหภูมิของการอบความร้อนของการแข็งตัว ที่ระยะเวลา 10 นาที                          | 27 |
| 4.5 | ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงดึงของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับอุณหภูมิของการอบความร้อนของการแข็งตัว ที่ระยะเวลา 15 นาที                          | 28 |
| 4.6 | ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงดึงของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับอุณหภูมิของการอบความร้อนของการแข็งตัว ที่ระยะเวลา 20 นาที                          | 29 |
| 4.7 | ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงดึงของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับอุณหภูมิและระยะเวลา ของความยาวเส้นใย                                               | 30 |

## รายการรูปประกอบ

| รูป                                                                                                                                                                  | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงดึงของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับอุณหภูมิ และระยะเวลาของความยาวเส้นใย 2 เซนติเมตร ผสมกับเส้นใยแก้ว 3 เซนติเมตร จากเส้นใยแก้วชนิด E-glass | 31   |
| 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงกระแทกของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับระยะเวลา ในการแข็งตัว ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส                                                    | 33   |
| 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงกระแทกของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับระยะเวลา ในการแข็งตัว ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส                                                   | 34   |
| 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงกระแทกของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับระยะเวลา ในการแข็งตัวของอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส                                                    | 35   |
| 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงกระแทกของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับอุณหภูมิ ของการอบความร้อนของการแข็งตัว ที่ระยะเวลา 10 นาที                                          | 36   |
| 4.13 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงกระแทกของกระเบื้องไฟเบอร์กลาส กับอุณหภูมิของการอบความร้อนของการแข็งตัว ที่ระยะเวลา 15 นาที                                  | 37   |
| 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงกระแทกของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับอุณหภูมิ ของการอบความร้อนของการแข็งตัว ที่ระยะเวลา 20 นาที                                          | 38   |
| 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงกระแทกของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับอุณหภูมิ และ ระยะเวลา ของความยาวเส้นใย 1, 2 และ 3 เซนติเมตร                                         | 39   |
| 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง การทนแรงกระแทกของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสกับอุณหภูมิ และ ระยะเวลา ของความยาวเส้นใย 1, 2 , 3 และ 2,3 เซนติเมตรผสมกัน                             | 40   |
| 4.17 การวิเคราะห์พื้นผิวของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ของความยาว เส้นใย 1 เซนติเมตร ในระยะการอบความร้อนที่ 15 นาที                                      | 41   |
| 4.18 การวิเคราะห์พื้นผิวของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ของ ความยาวเส้นใย 2 เซนติเมตร ในระยะการอบความร้อนที่ 15 นาที                                      | 42   |
| 4.19 การวิเคราะห์พื้นผิวของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ของความยาว เส้นใย 3 เซนติเมตร ในระยะการอบความร้อนที่ 15 นาที                                      | 43   |
| 4.20 การวิเคราะห์พื้นผิวของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ของ ความยาวเส้นใย 2, 3 เซนติเมตร ผสมกัน ในระยะการอบความร้อนที่ 15 นาที                            | 44   |

## รายการรูปประกอบ

| รูป                                                                                       | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.21 พื้นผิวของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสโดยใช้กล้อง SEM ที่ความยาวเส้นใยแก้ว 1 เซนติเมตร       | 45   |
| 4.22 พื้นผิวของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสโดยใช้กล้อง SEM ที่ความยาวเส้นใยแก้ว 2 เซนติเมตร       | 45   |
| 4.23 พื้นผิวของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสโดยใช้กล้อง SEM ที่ความยาวเส้นใยแก้ว 3 เซนติเมตร       | 46   |
| 4.24 พื้นผิวของกระเบื้องไฟเบอร์กลาสโดยใช้กล้อง SEM ที่ความยาวเส้นใยแก้ว 2 และ 3 เซนติเมตร | 47   |