

## สารบัญ

หน้า

|                         |   |
|-------------------------|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....    | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ข |
| กิตติกรรมประกาศ.....    | ค |
| สารบัญ.....             | ง |
| สารบัญตาราง.....        | ฉ |
| สารบัญรูป.....          | ช |

### บทที่ 1 บทนำ

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| 1.1 ความสำคัญของโครงการ .....       | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ .....    | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของโครงการ.....           | 1 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ..... | 2 |

### บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 2.1 ประวัติความเป็นมาของพลาสติก.....                 | 3  |
| 2.2 ชนิดของพลาสติกและคุณสมบัติของพลาสติก .....       | 3  |
| 2.2.1 เทอร์โมเซตติง .....                            | 4  |
| 2.2.2 เทอร์โมพลาสติก.....                            | 4  |
| 2.3 ทฤษฎีพฤติกรรมการไหลของพลาสติก .....              | 5  |
| 2.3.1 ความหนืดและสมบัติการไหล .....                  | 5  |
| 2.3.2 การแบ่งชนิดของของไหล .....                     | 6  |
| 2.3.2.1 ของไหลนิวทอนเนียน .....                      | 6  |
| 2.3.2.2 ของไหลนอนนิวทอนเนียน .....                   | 8  |
| 2.3.3 กลุ่มของไหลที่สมบัติการไหลไม่ขึ้นกับเวลา ..... | 8  |
| 2.3.3.1 การไหลของของไหลบิงแฮม.....                   | 8  |
| 2.3.3.2 ของไหลซูโดพลาสติก .....                      | 9  |
| 2.3.3.3 ของไหลไดแลทเท้น .....                        | 11 |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                       | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------|------|
| 2.3.4 กลุ่มของไหลที่สมบัติการไหลขึ้นกับเวลา .....                     | 11   |
| 2.3.4.1 ของไหลทริกโซทรอปิก .....                                      | 11   |
| 2.3.4.1 ของไหลรีโอเปคติก .....                                        | 12   |
| 2.3.4.3 ของไหลวิสโคอีลาสติก .....                                     | 13   |
| 2.3.5 พฤติกรรมการไหลของพอร์ลิเมอร์หลอม .....                          | 13   |
| 2.4 การถ่ายเทความร้อน .....                                           | 15   |
| 2.4.1 การถ่ายเทความร้อนในแนวนอน .....                                 | 16   |
| 2.4.2 ทรงกระบอก .....                                                 | 16   |
| 2.4.3 ระบบการนำความร้อนที่มีแหล่งผลิตความร้อนภายใน .....              | 18   |
| 2.4.3.1 ผนังเรียบมีแหล่งผลิตความร้อน .....                            | 18   |
| 2.4.3.2 ระบบนำความร้อนในแนวนอน .....                                  | 19   |
| 2.5 ระบบวัดและการควบคุม .....                                         | 20   |
| 2.5.1 ระบบควบคุม .....                                                | 21   |
| 2.5.1.1 ระบบควบคุมวงจรแบบเปิด .....                                   | 21   |
| 2.5.1.2 ระบบควบคุมวงจรแบบปิด .....                                    | 22   |
| 2.6 ฮีตเตอร์ (Heater) .....                                           | 23   |
| 2.6.1 หลักการทำงานของฮีตเตอร์ .....                                   | 23   |
| 2.6.2 ฮีตเตอร์ถูกแบ่งตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้ ..... | 23   |
| 2.6.3 ฮีตเตอร์รััดท่อ .....                                           | 23   |
| 2.7 เทอร์โมคัปเปิล .....                                              | 24   |
| 2.8 ทฤษฎีเครื่องมือวัดทางรีโอโลยี .....                               | 25   |
| 2.8.1 กาลิเลอีวิสโคมิเตอร์ .....                                      | 25   |
| 2.8.1.1 กรณีของของไหลนิวทอนเนียน .....                                | 26   |
| 2.8.1.2 พิจารณากรณีของของไหลวิสโคอีลาสติก .....                       | 27   |
| 2.9 ทฤษฎีการทดสอบอัตราการไหลของพลาสติก .....                          | 29   |

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

### บทที่ 3 การออกแบบและการดำเนินงาน

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 การวางแผนการดำเนินงาน .....                                                             | 33 |
| 3.2 การออกแบบ .....                                                                         | 33 |
| 3.2.1 แบบของชุดกระบอกหลอม .....                                                             | 33 |
| 3.2.2 ออกแบบหัวปิดด้านล่างใหม่ .....                                                        | 34 |
| 3.2.3 แบบของโครงเครื่อง .....                                                               | 34 |
| 3.2.4 การออกแบบวงจรไฟฟ้า .....                                                              | 35 |
| 3.3 ออกแบบชุดกระบอกหลอมใหม่ เนื่องจากเกิดปัญหาเครื่องทดสอบมีอัตราการไหลที่ช้ากว่าปกติ ..... | 35 |
| 3.3.1 หาสาเหตุของปัญหา .....                                                                | 35 |
| 3.3.1 สรุปสาเหตุของปัญหา .....                                                              | 36 |
| 3.3.3 ทำการแก้ไขปัญหา .....                                                                 | 37 |
| 3.4 การคำนวณ .....                                                                          | 38 |
| 3.4.1 การคำนวณหาความร้อนสูญเสีย .....                                                       | 38 |
| 3.4.2 คำนวณการกระจายความร้อนภายในกระบอกหลอม .....                                           | 38 |
| 3.4.3 คำนวณค่าไฟฟ้าที่เครื่องทดสอบต้องใช้ .....                                             | 40 |
| 3.5 การจัดสร้างเครื่องทดสอบอัตราการไหลของพลาสติก .....                                      | 40 |

### บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 ผลการจัดสร้างเครื่องทดสอบอัตราการไหลของพลาสติก .....   | 41 |
| 4.2 ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบอัตราการไหลของพลาสติก .....   | 42 |
| 4.2.1 กระบอกหลอมจากเหล็กกล้าไร้สนิม .....                  | 42 |
| 4.2.2 ลูกสูบจากเหล็กกล้าไร้สนิม .....                      | 42 |
| 4.2.3 ไม่กระทุ้ง .....                                     | 42 |
| 4.2.4 โครงสร้างของเครื่องทดสอบ .....                       | 43 |
| 4.2.5 กล่องควบคุม .....                                    | 43 |
| 4.2.6 ภายในกล่องควบคุม .....                               | 44 |
| 4.2.7 การติดตั้งฉนวน .....                                 | 44 |
| 4.2.8 ชุดประกอบกระบอกเข้ากับเครื่องทดสอบ .....             | 44 |
| 4.3 การทดลองเพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องด้านความร้อน ..... | 45 |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                               | หน้า |
|-----------------------------------------------|------|
| 4.3.1 ชื่อการทดลองที่1 .....                  | 45   |
| 4.3.2 วัตถุประสงค์การทดลองที่1 .....          | 45   |
| 4.3.3 วิธีการทดลองที่1 .....                  | 45   |
| 4.3.4 ผลการทดลองที่1 .....                    | 45   |
| 4.3.5 สรุปผลการทดลองที่1 .....                | 46   |
| 4.3.6 ชื่อการทดลองที่2 .....                  | 46   |
| 4.3.7 วัตถุประสงค์การทดลองที่2 .....          | 46   |
| 4.3.8 วิธีการทดลองที่2 .....                  | 46   |
| 4.3.9 ผลการทดลองที่2 .....                    | 47   |
| 4.4 การทดสอบการทำงานของเครื่องทดสอบ .....     | 49   |
| 4.4.1 ชื่อการทดลอง .....                      | 49   |
| 4.4.2 วัตถุประสงค์การทดลอง .....              | 49   |
| 4.4.3 วิธีการทดลอง .....                      | 49   |
| 4.4.4 ผลการทดลอง .....                        | 50   |
| 4.4.5 สรุปผลการทดลอง .....                    | 51   |
| <b>บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน</b> |      |
| 5.1 สรุปผลการดำเนินการ .....                  | 52   |
| 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข .....                 | 52   |
| 5.2.1 ปัญหาที่พบ .....                        | 52   |
| 5.2.2 แนวทางแก้ไข .....                       | 52   |
| เอกสารอ้างอิง .....                           | 53   |
| ภาคผนวก ก .....                               | ผก   |
| ภาคผนวก ข .....                               | ผข   |
| ภาคผนวก ค .....                               | ผค   |
| ภาคผนวก ง .....                               | ผง   |
| ภาคผนวก จ .....                               | ผจ   |
| ภาคผนวก ฉ .....                               | ผฉ   |
| ภาคผนวก ช .....                               | ผช   |

## สารบัญตาราง

|                                                                                                  | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 2.1 ความหนืดของวัสดุต่างๆ.....                                                          | 5    |
| ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติเปรียบเทียบเทอร์โมคัปเปิล.....                                             | 24   |
| ตารางที่ 2.3 ค่ากำหนดสำหรับการทดสอบหาค่าอัตราการไหลของพลาสติก.....                               | 30   |
| ตารางที่ 3.1 การคำนวณหาการกระจายความร้อนภายในกระบอกหลอม .....                                    | 39   |
| ตารางที่ 4.1 ค่าอัตราการไหลของพลาสติกชนิด Polypropylene (PP).....                                | 50   |
| ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของพลาสติก.....                                         | 50   |
| ตาราง ผข. 1 ราคาวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้.....                                                          | ผข1  |
| ตาราง ผค. 1 ข้อมูลทางเทคนิคของเทอร์โมคัปเปิล.....                                                | ผค1  |
| ตาราง ผค.2 ข้อมูลทางเทคนิคของอิฐทนไฟที่เลือกใช้ .....                                            | ผค2  |
| ตาราง ผค.3 ข้อมูลเทคนิคของประเก็นฉนวนที่เลือกใช้.....                                            | ผค3  |
| ตาราง ผค.4 ข้อมูลเกลียวแบบมาตรฐานระหว่างประเทศ เกลียวธรรมดา .....                                | ผค4  |
| ตาราง ผค.5 คุณสมบัติเทอร์โมไดนามิกส์ของเหล็กกล้าไร้สนิม .....                                    | ผค5  |
| ตาราง ผจ.1 ข้อมูลคุณสมบัติของพลาสติกชนิด Polypropylene(PP).....                                  | ผจ1  |
| ตาราง ผจ.1 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาภายนอกที่อุณหภูมิที่ 300°C .....  | ผจ1  |
| ตาราง ผจ.2 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาภายในที่อุณหภูมิที่ 300°C .....   | ผจ4  |
| ตาราง ผจ.3 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิที่100°C..... | ผจ6  |
| ตาราง ผจ.4 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิที่150°C..... | ผจ7  |
| ตาราง ผจ.5 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิที่200°C..... | ผจ8  |
| ตาราง ผจ.6 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิที่250°C..... | ผจ9  |
| ตาราง ผจ.7 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิที่300°C..... | ผจ10 |

## สารบัญรูป

|                                                                                          | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 2.1 การไหลและการผิดรูปของ ของไหลนิวทอนเนียนระหว่างแผ่นกระจำสองแผ่น .....          | 6    |
| รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนและอัตราการเฉือน.....                         | 7    |
| รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราการเฉือนของของไหลนิวทอนเนียน 2 ชนิด.....   | 7    |
| รูปที่ 2.4 เส้นกราฟของการไหลและเส้นกราฟของความหนืดของของไหลชนิดต่างๆ.....                | 9    |
| รูปที่ 2.5 เส้นกราฟการไหลของของไหล ชนิดต่างๆ.....                                        | 11   |
| รูปที่ 2.6 สมบัติของของไหลทริกโซโทรปิก .....                                             | 12   |
| รูปที่ 2.7 Hysteresis loop ของ ของไหลทริกโซโทรปิก 2 ชนิด .....                           | 12   |
| รูปที่ 2.8 สมบัติการไหลของของไหลรีโอเพลติก.....                                          | 13   |
| รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอัตราเฉือน .....                        | 14   |
| รูปที่ 2.10 การกระจายความร้อนสำหรับผนังทรงกระบอกหลายชั้น.....                            | 17   |
| รูปที่ 2.11 ระบบการวัดปริมาณต่างๆ ของเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม .....                       | 20   |
| รูปที่ 2.12 ระบบการควบคุมวงจรเปิด.....                                                   | 21   |
| รูปที่ 2.13 ระบบการควบคุมแบบปิด.....                                                     | 22   |
| รูปที่ 2.14 แสดงผลของซีเบ็ค.....                                                         | 24   |
| รูปที่ 2.15 ภาพตัดขวางของคาปิลารีวิสโคมิเตอร์ .....                                      | 25   |
| รูปที่ 2.16 ภาพตัดการไหลของของไหลนิวทอนเนียนในท่อคาปิลารี .....                          | 27   |
| รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln Q$ กับ $\ln PR/2\ell$ .....                         | 28   |
| รูปที่ 2.18 เครื่องทดสอบอัตราการไหลของพลาสติก.....                                       | 29   |
| รูปที่ 2.19 กราฟแสดงค่าความหนืดที่ขึ้นอยู่กับความเร็วเฉือน LDPE ที่อุณหภูมิ 150 C° ..... | 32   |
| รูปที่ 3.1 กระบอกกลม .....                                                               | 33   |
| รูปที่ 3.2 การประกอบหัวปิด.....                                                          | 34   |
| รูปที่ 3.3 แรงที่กระทำต่อโครงสร้างเครื่อง.....                                           | 34   |
| รูปที่ 3.4 การเสียรูปและส่วนที่รับความเค้น .....                                         | 34   |
| รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่อง .....                                            | 35   |
| รูปที่ 3.6 ภาพประกอบการคำนวณอุณหภูมิระหว่างแผ่นเหล็กกล้าไร้สนิมกับเหล็กหัวปิด .....      | 36   |
| รูปที่ 3.7 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆขณะให้ความร้อนที่ 230 องศาเซลเซียส .....               | 36   |

## สารบัญรูป (ต่อ)

|                                                                                                      | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 3.8 การประกอบประกั้นฉนวนเข้ากับเครื่อง.....                                                   | 37   |
| รูปที่ 3.9 ภาพตัดขวางของชุดกระบอกหลอมที่ได้ออกแบบใหม่ .....                                          | 37   |
| รูปที่ 3.10 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆจะให้ความร้อนที่ 230 องศาเซลเซียส .....                           | 37   |
| รูปที่ 3.11 การกระจายความร้อนภายในกระบอกหลอม.....                                                    | 39   |
| รูปที่ 4.1 เครื่องทดสอบอัตราการไหลของพลาสติกที่เสร็จสมบูรณ์.....                                     | 41   |
| รูปที่ 4.2 กระบอกหลอม .....                                                                          | 42   |
| รูปที่ 4.3 ลูกสูบ.....                                                                               | 42   |
| รูปที่ 4.4 ไม้กระทุ้ง.....                                                                           | 42   |
| รูปที่ 4.5 โครงสร้างของเครื่องทดสอบ .....                                                            | 43   |
| รูปที่ 4.6 ถังควบคุม .....                                                                           | 43   |
| รูปที่ 4.7 การติดตั้งสายไฟฟ้าเข้ากับชุดควบคุม .....                                                  | 44   |
| รูปที่ 4.8 การติดตั้งฉนวน.....                                                                       | 44   |
| รูปที่ 4.9 การประกอบกระบอกเข้ากับเครื่องทดสอบ .....                                                  | 44   |
| รูปที่ 4.10 การทดสอบเครื่องทางความร้อนที่อุณหภูมิ 300c° .....                                        | 45   |
| รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบอุณหภูมิผนังภายในกับอุณหภูมิผนังภายนอกกระบอกหลอม .....                     | 46   |
| รูปที่ 4.12 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิที่ 100 c° ..... | 47   |
| รูปที่ 4.13 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิที่ 150 c° ..... | 47   |
| รูปที่ 4.14 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิที่ 200 c° ..... | 48   |
| รูปที่ 4.15 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิที่ 250 c° ..... | 48   |
| รูปที่ 4.16 ผลการทดลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นต่อเวลาเมื่อตั้งค่าอุณหภูมิที่ 300 c° ..... | 49   |
| รูปที่ 4.17 การไหลของพลาสติก.....                                                                    | 50   |
| รูปที่ 4.18 พลาสติกที่ได้จากการทดสอบอัตราการไหล.....                                                 | 50   |

