

## สารบัญ

|                                                       | หน้า |
|-------------------------------------------------------|------|
| กิตติกรรมประกาศ                                       | ค    |
| บทคัดย่อภาษาไทย                                       | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                    | จ    |
| สารบัญเรื่อง                                          | ฉ    |
| สารบัญตาราง                                           | ณ    |
| สารบัญภาพ                                             | ญ    |
| บทที่ 1 บทนำ                                          | 1    |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย                 | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย                           | 4    |
| 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา              | 4    |
| 1.4 ขอบเขตการวิจัย                                    | 4    |
| บทที่ 2 กรอบแนวคิดทางทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 5    |
| 2.1 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง  | 5    |
| 2.1.1 กระบวนการนิรนัยพลาสติก                          | 5    |
| 2.1.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง           | 7    |
| 2.2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง                      | 10   |
| 2.2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับพลาสติก                           | 10   |
| 2.2.2 งานนิรนัยพลาสติก                                | 29   |
| 2.2.3 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ  | 49   |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย                         | 74   |
| 3.1 กรอบแนวความคิด                                    | 74   |
| 3.2 ขั้นตอนการวิจัย                                   | 74   |

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3 กระบวนการฉีดขึ้นรูปชิ้นส่วนไดนาโม                                                            | 85  |
| 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย                                                                   | 85  |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์                                                                | 87  |
| 4.1 ผลการศึกษาขั้นตอนการฉีดพลาสติกขึ้นรูปชิ้นส่วนไดนาโมเดิม และปัญหาที่เกิดขึ้น                  | 87  |
| 4.1.1 ผลการสัมภาษณ์ข้อมูลจากผู้จัดการและผู้เชี่ยวชาญ                                             | 87  |
| 4.1.2 ผลการสรุปสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นจากการศึกษาขั้นตอนการฉีดพลาสติกขึ้นรูปชิ้นส่วนไดนาโม     | 89  |
| 4.2 ผลการกำหนดเกณฑ์ในการทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการฉีดพลาสติกขึ้นรูปชิ้นส่วนไดนาโม | 92  |
| 4.2.1 ผลการคัดกรองปัจจัยโดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเศษส่วน                             | 92  |
| 4.2.2 ผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล                          | 96  |
| 4.2.3 การทดสอบยืนยันผลของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม                                                | 102 |
| 4.3 การแก้ไขแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก                                                                   | 104 |
| 4.4 สรุปผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดพลาสติกขึ้นรูปชิ้นส่วนไดนาโม               | 106 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ                                                   | 109 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย                                                                               | 109 |
| 5.2 อภิปรายผล                                                                                    | 111 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ                                                                                   | 112 |
| บรรณานุกรม                                                                                       | 113 |
| ภาคผนวก                                                                                          | 116 |
| ประวัติผู้เขียน                                                                                  | 123 |

## สารบัญตาราง

| ตาราง                                                                           | หน้า |
|---------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1 ปริมาณการผลิตของบริษัท อักซ่า สเตนมัน (ประเทศไทย) ปี พ.ศ. 2550              | 2    |
| 1.2 ปัญหารอยตำหนิของการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม                                 | 3    |
| 2.1 แสดงคุณสมบัติของ เทอร์โมพลาสติกเมื่อได้รับความร้อน                          | 16   |
| 2.2 แสดงคุณสมบัติโครงสร้างแบบไม่เป็นระเบียบแต่มีการเกาะตัวกันด้วยพันธะเคมี      | 17   |
| 2.3 แสดงสถานะเทอร์โมเซตติงเมื่อได้รับความร้อน                                   | 18   |
| 2.4 ตัวอย่างสารป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ที่ใช้กับพลาสติกแต่ละชนิด                      | 25   |
| 2.5 คุณสมบัติของสารเพิ่มเนื้อและสารเสริมแรงสำหรับใช้งาน                         | 27   |
| 2.6 ระยะเวลาหล่อเย็นเฉลี่ยของพลาสติกแต่ละชนิด                                   | 33   |
| 2.7 อุณหภูมิสำหรับฉีดและอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก                                    | 33   |
| 2.8 แสดงการกำหนดเงื่อนไขในแต่ละปัจจัยการทดลองแบบแฟคทอเรียล                      | 53   |
| 2.9 ข้อมูลการทดลองของปัจจัย A และ B                                             | 54   |
| 2.10 ตารางวิเคราะห์ผลความแปรปรวนของตัวอย่างในรูปที่ 2.30                        | 58   |
| 2.11 เครื่องหมายทางพีชคณิตสำหรับการคำนวณผลในการออกแบบ $2^2$                     | 59   |
| 2.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบ $2^k$                                  | 62   |
| 2.13 เครื่องหมายบวกและลบสำหรับการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^3$                  | 67   |
| 2.14 ผลรวมเชิงเส้นทั้ง 3 คู่ ของปัจจัย A, B และ C                               | 69   |
| 2.15 เศษส่วนครึ่งจำนวนของการออกแบบ $2^3$ ทั้งสองแบบ                             | 70   |
| 3.1 ดัชนีชี้วัดการดำเนินงานวิจัย                                                | 76   |
| 3.2 ระยะเวลาหล่อเย็นเฉลี่ยของพลาสติกแต่ละชนิด                                   | 79   |
| 3.3 อุณหภูมิสำหรับฉีดและอัดรีดขึ้นรูปพลาสติก                                    | 79   |
| 3.4 แสดงระดับค่าพารามิเตอร์ในการฉีดพลาสติก                                      | 80   |
| 3.5 ตารางทดลองการคัดกรองปัจจัยในการศึกษา $2^{6-2}$                              | 81   |
| 4.1 ผลวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหารอยตำหนิของการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม    | 88   |
| 4.2 รายละเอียดข้อมูลการเกิดรอยตำหนิที่ชิ้นส่วนไดนาโม เดือนตุลาคม – ธันวาคม 2550 | 89   |
| 4.3 ตารางการทดลองการคัดกรองปัจจัยในการศึกษา $2^{6-2}$                           | 92   |

|      |                                                                              |     |
|------|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4  | ผลการประมาณผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลักและอันตรกริยาร่วมเมื่อไม่แปลงค่าข้อมูล | 93  |
| 4.5  | ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อไม่แปลงค่าข้อมูล                               | 94  |
| 4.6  | ผลการประมาณผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลักและอันตรกริยาร่วมเมื่อแปลงค่าข้อมูล    | 95  |
| 4.7  | ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อแปลงค่าข้อมูล                                  | 95  |
| 4.8  | การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม                                           | 96  |
| 4.9  | การประมาณผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลักและอันตรกริยาร่วม                        | 97  |
| 4.10 | ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม                  | 98  |
| 4.11 | การประมาณผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลักและอันตรกริยาร่วม                        | 99  |
| 4.12 | การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง                                             | 99  |
| 4.13 | แสดงระดับค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม     | 102 |
| 4.14 | จำนวนรอยตำหนิในการทดสอบชิ้นงาน                                               | 103 |
| 4.15 | รายละเอียดการแก้ไขแม่พิมพ์                                                   | 105 |
| 4.16 | จำนวนรอยตำหนิในการทดสอบเมื่อมีการปรับแก้ไขแม่พิมพ์                           | 106 |
| 4.17 | ตารางวิเคราะห์ผลรอยตำหนิที่เกิดขึ้นแต่โพรงของแม่พิมพ์                        | 107 |
| 4.18 | ข้อมูลเปรียบเทียบจำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนไดนาโม                   | 107 |
| 4.19 | ข้อมูลเปรียบเทียบจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนไดนาโม                    | 108 |
| 5.1  | ผลสรุปงานวิจัย                                                               | 111 |

## สารบัญภาพ

| รูป                                                                                                   | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1 กราฟแสดงจำนวนชิ้นงานพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมที่เกิดปัญหาในปี พ.ศ. 2549                               | 3    |
| 2.1 แผนภูมิการแบ่งโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์                                                        | 11   |
| 2.2 กระบวนการโคพอลิเมอร์ไรเซชัน                                                                       | 12   |
| 2.3 กราฟพอลิเมอร์ไรเซชัน                                                                              | 12   |
| 2.4 กระบวนการพอลิคอนเดนเซชัน                                                                          | 13   |
| 2.5 ลักษณะของการเกาะตัวของโมเลกุลในกระบวนการพอลิแอตติง                                                | 13   |
| 2.6 กระบวนการพอลิแอตติงในการผลิตพอลิยูรีเทน                                                           | 14   |
| 2.7 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบไม่เป็นระเบียบ                                                           | 14   |
| 2.8 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลแบบมีการเกาะตัวกันด้วยพันธะเคมี                                             | 15   |
| 2.9 โครงสร้างโมเลกุลของแบบตาข่าย (Cross linked polymers)                                              | 15   |
| 2.10 แผนภูมิแสดงคุณสมบัติเมอร์โมพลาสติกเมื่อได้รับความร้อน                                            | 16   |
| 2.11 แผนภูมิแสดงคุณสมบัติโครงสร้างแบบไม่เป็นระเบียบแต่มีการเกาะตัวกันด้วยพันธะเคมีเมื่อได้รับความร้อน | 17   |
| 2.12 แผนภาพสถานะของเทอร์โมเซตติงเมื่อได้รับความร้อน                                                   | 18   |
| 2.13 เครื่องย่อยพลาสติกแบบต่าง ๆ                                                                      | 19   |
| 2.14 โมตัด                                                                                            | 20   |
| 2.15 เครื่องผสมและนวด                                                                                 | 21   |
| 2.16 เครื่องผสมสี                                                                                     | 21   |
| 2.17 ลักษณะการแทรกตัวของสารทำให้อ่อนตัว                                                               | 22   |
| 2.18 การขึ้นรูปพลาสติกโดยการฉีด                                                                       | 30   |
| 2.19 ชุดฉีด (Injection Unit)                                                                          | 30   |
| 2.20 อุณหภูมิช่วงต่าง ๆ สำหรับการฉีดโพลีเอไมด์ (Polyamide: PA)                                        | 34   |
| 2.21 ลักษณะรอยฟ่นบนชิ้นงานฉีด                                                                         | 36   |
| 2.22 ลักษณะการเกิดครีบกาวที่ชิ้นงานฉีด                                                                | 37   |
| 2.23 ลักษณะประกายเงินที่ชิ้นงานฉีด                                                                    | 39   |
| 2.24 ลักษณะของรอยไหม้ที่ชิ้นงานฉีด                                                                    | 40   |

|      |                                                               |     |
|------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 2.25 | ลักษณะของรอยยุบและรอยแหว่งที่ชิ้นงานฉีด                       | 42  |
| 2.26 | ลักษณะของร่องรอยการไหลที่ชิ้นงานฉีด                           | 44  |
| 2.27 | ลักษณะการโก่งงอของชิ้นงานฉีด                                  | 45  |
| 2.28 | ลักษณะการเกิดขนาดคลาดเคลื่อนที่ชิ้นงานฉีด                     | 46  |
| 2.29 | ลักษณะของแนวประสานที่ไม่สมบูรณ์ของชิ้นงานฉีด                  | 47  |
| 2.30 | การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย                              | 53  |
| 2.31 | การทดลองร่วมปัจจัยของการออกแบบ $2^k$                          | 55  |
| 2.32 | กราฟของส่วนตกค้างสำหรับการทดลองเกี่ยวกับกระบวนการเคมี         | 60  |
| 2.33 | การออกแบบ $2^2$ ที่มีจุดศูนย์กลาง                             | 65  |
| 2.34 | ครั้งจำนวนของการออกแบบ $2^3$                                  | 67  |
| 3.1  | ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย                                      | 75  |
| 3.2  | แผนภูมิแก๊งปลาแสดงการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น                | 76  |
| 3.3  | ตำแหน่งในการนับรอยตำหนิของชิ้นส่วนไดนาโมจักรยาน               | 82  |
| 3.4  | ชิ้นส่วนไดนาโมจักรยานที่เกิดรอยด่าง                           | 82  |
| 3.5  | ชิ้นส่วนไดนาโมจักรยานที่เกิดลายเส้น                           | 82  |
| 3.6  | ชิ้นส่วนไดนาโมจักรยานที่เกิดรอยไหม้                           | 83  |
| 3.7  | ชิ้นส่วนไดนาโมจักรยานที่เกิดรอยบุบ/ ฉีดไม่เต็ม                | 83  |
| 3.8  | ขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนไดนาโม                                  | 86  |
| 4.1  | การเกิดรอยตำหนิที่ชิ้นส่วนไดนาโมเดือนตุลาคม – ธันวาคม 2550    | 90  |
| 4.2  | กราฟผลการทดลองเมื่อไม่มีการแปลงค่าข้อมูลปกติของส่วนตกค้าง     | 93  |
| 4.3  | กราฟผลการทดลองเมื่อมีการแปลงค่าข้อมูล                         | 94  |
| 4.4  | กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง                         | 100 |
| 4.5  | กราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าทำนาย                              | 100 |
| 4.6  | กราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง                         | 101 |
| 4.7  | กราฟการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างกับจำนวนรอยตำหนิ             | 101 |
| 4.8  | แสดงรูปแบบการกระจายของข้อมูล                                  | 101 |
| 4.9  | กราฟแสดงระยะการเกิดรอยตำหนิก่อนการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติก | 104 |
| 4.10 | กราฟแสดงระยะการเกิดรอยตำหนิจากการทดสอบยืนยันผล                | 104 |