

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

ในบทนี้อธิบายผลการศึกษา การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมแบ่งผลการวิจัยออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาขั้นตอนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมเดิม และปัญหาที่เกิดขึ้น

4.2 ผลการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม

4.3 การแก้ไขแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

4.4 สรุปผลการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม

#### 4.1 ผลการศึกษาขั้นตอนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมเดิม และปัญหาที่เกิดขึ้น

จากการเก็บข้อมูลระดมความคิดเห็นผู้จัดการและผู้เชี่ยวชาญ เพื่อสำรวจข้อมูลการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนไดนาโมเดิม โดยทำการทดสอบจากผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์อยู่ในระดับหัวหน้างาน ทั้งหมด 7 ท่าน ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

4.1.1 ผลการสัมภาษณ์ข้อมูลจากผู้จัดการและผู้เชี่ยวชาญ ได้แก่ ผลการวิเคราะห์ปัจจัยทางด้านกระบวนการผลิต

4.1.2 ผลการสรุปสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นจากการศึกษาขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วนไดนาโม

##### 4.1.1 ผลการสัมภาษณ์ข้อมูลจากผู้จัดการและผู้เชี่ยวชาญ

ผลการสัมภาษณ์ข้อมูล เกี่ยวกับสาเหตุทำให้เกิดปัญหาทางด้านคุณภาพของกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม ข้อมูลส่วนนี้เป็นปัจจัยทางด้านกระบวนการผลิต 4 ด้าน (4M) ที่มีผลต่อการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม ได้แก่

- 1) ปัจจัยด้านวัตถุดิบ (Material)
- 2) ปัจจัยด้านวิธีการ (Method)
- 3) ปัจจัยด้านเครื่องจักร (Machine)
- 4) ปัจจัยด้านกำลังคน (Manpower)

สรุปผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาทางด้านการกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม รายละเอียดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหารอยตำหนิของการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม

| ปัจจัย             | สาเหตุ                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1) ด้านวัตถุดิบ    | 1.1 ส่วนประกอบของเม็ดพลาสติก<br>1.2 แหล่งที่มาของเม็ดพลาสติก<br>1.3 สภาวะการจัดเก็บเม็ดพลาสติก<br>1.4 การอบไล่ความชื้นเม็ดพลาสติก<br>1.5 อุณหภูมิของเม็ดพลาสติก<br>1.6 เวลาในการเก็บเม็ดพลาสติก                                  |
| 2) ด้านวิธีการ     | 2.1 ความลึกหรือของอุปกรณ์ในการใช้งาน<br>2.2 ความบกพร่องในการออกแบบ<br>2.3 ลำดับขั้นตอนในการฉีด<br>2.4 ระยะเวลาในการทำงาน                                                                                                         |
| 3) ด้านเครื่องจักร | 3.1 กำลังในการฉีด<br>3.2 ความเร็วในการฉีด<br>3.3 ระยะเวลาในการฉีด<br>3.4 อุณหภูมิในการฉีด<br>3.5 ระยะเวลาหล่อเย็นแม่พิมพ์<br>3.6 อุณหภูมิแม่พิมพ์<br>3.8 วิธีการใช้งานเครื่องฉีดพลาสติก<br>3.9 พัดความสามารถของเครื่องฉีดพลาสติก |
| 4) ด้านกำลังคน     | 4.1 สมรรถนะในการทำงานของพนักงาน<br>4.2 วิธีการตรวจสอบชิ้นงาน<br>4.3 การฝึกอบรม<br>4.4 ความรู้เกี่ยวกับหลักการ และทฤษฎีในการฉีดพลาสติก                                                                                            |

#### 4.1.2 ผลการสรุปสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม

เมื่อทราบสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมแล้ว ผู้วิจัยสรุปสาเหตุหลักที่เกิดขึ้นจากข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้จัดการและผู้เชี่ยวชาญในการผลิตชิ้นส่วนไดนาโมโดยอธิบายได้ตามลำดับดังนี้

1) สาเหตุที่เกิดจากเครื่องมือและเครื่องจักร แบ่งเป็น 2 ประการ คือ

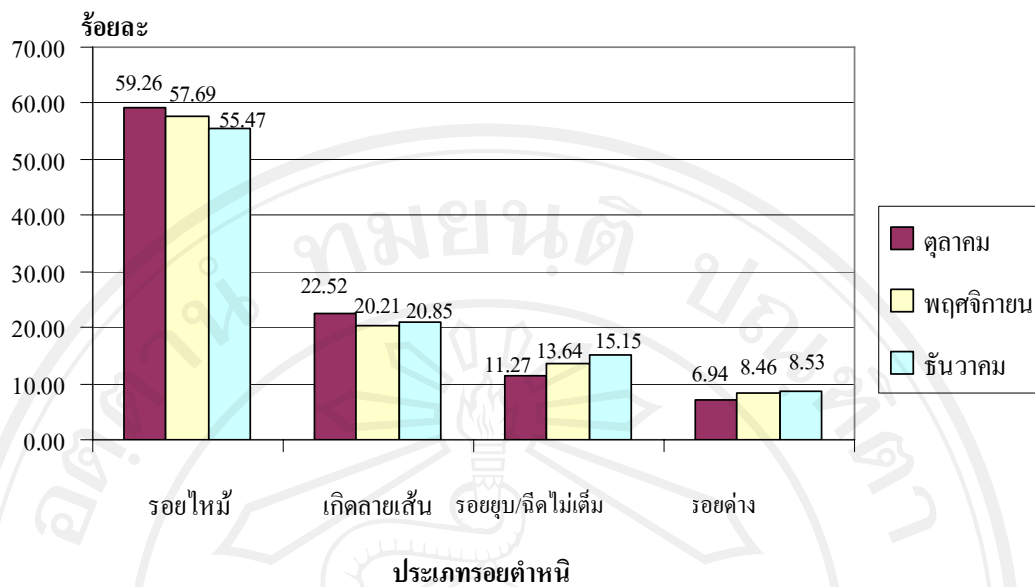
1.1) เครื่องฉีดพลาสติก พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการปรับเครื่องฉีด ได้แก่ กำลังในการฉีด ความเร็วในการฉีด ระยะเวลาในการฉีด และอุณหภูมิในการฉีด

1.2) แม่พิมพ์สำหรับชิ้นส่วนไดนาโม พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ระยะเวลาในการหล่อเย็นแม่พิมพ์ และอุณหภูมิของแม่พิมพ์

ปัญหาที่สำคัญทำให้เกิดรอยตำหนิบนชิ้นส่วนไดนาโมได้แก่ ชิ้นงานมีรอยไหม้ เกิดลายเส้น รอยยุบและเป็นรอยด่าง ข้อมูลการเกิดรอยตำหนิที่ชิ้นส่วนไดนาโม ในเดือนตุลาคม ถึง ธันวาคม 2550 แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดการเกิดรอยตำหนิที่ชิ้นส่วนไดนาโม ข้อมูลเดือนตุลาคมถึงธันวาคม 2550

| เดือน     | ปริมาณผลิต(ชิ้น) | ปัญหาที่พบ                  | จำนวนงานเสีย   | คิดเป็นร้อยละ |
|-----------|------------------|-----------------------------|----------------|---------------|
| ตุลาคม    | 30,000           | 1. ชิ้นงานมีรอยไหม้         | 2,434          | 59.26         |
|           |                  | 2. ชิ้นงานเกิดลายเส้น       | 925            | 22.52         |
|           |                  | 3. ชิ้นงานรอยยุบ/ฉีดไม่เต็ม | 463            | 11.27         |
|           |                  | 4. ชิ้นงานรอยด่าง           | 285            | 6.94          |
|           |                  | รวม                         | 4,107 (13.69%) | 100.00        |
| พฤศจิกายน | 30,000           | 1. ชิ้นงานมีรอยไหม้         | 2,381          | 57.69         |
|           |                  | 2. ชิ้นงานเกิดลายเส้น       | 834            | 20.21         |
|           |                  | 3. ชิ้นงานรอยยุบ/ฉีดไม่เต็ม | 563            | 13.64         |
|           |                  | 4. ชิ้นงานรอยด่าง           | 349            | 8.46          |
|           |                  | รวม                         | 4,127 (13.76%) | 100.00        |
| ธันวาคม   | 25,000           | 1. ชิ้นงานมีรอยไหม้         | 2,134          | 55.47         |
|           |                  | 2. ชิ้นงานเกิดลายเส้น       | 802            | 20.85         |
|           |                  | 3. ชิ้นงานรอยยุบ/ฉีดไม่เต็ม | 583            | 15.15         |
|           |                  | 4. ชิ้นงานรอยด่าง           | 328            | 8.53          |
|           |                  | รวม                         | 3,847 (15.39%) | 100.00        |



รูป 4.1 การเกิดรอยตำหนิที่ชิ้นส่วนไดนาโม เดือนตุลาคม – ธันวาคม 2550

2) สาเหตุเกิดจากเม็ดพลาสติกที่ใช้ฉีดชิ้นส่วนไดนาโม พบว่ามีสองสาเหตุทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นส่วนไดนาโมคือ

2.1) คุณภาพของเม็ดพลาสติก ในการผลิตชิ้นส่วนไดนาโมใช้เม็ดพลาสติกชนิด โพลีเอไมด์ (Polyamide: PA) มาจากแหล่งผลิต 2 แห่งได้แก่ 1) นำเข้าจากประเทศสิงคโปร์ และ 2) นำเข้าจากประเทศเยอรมนี แต่เนื่องจากระยะเวลาขนส่งใช้เวลานานและต้นทุนสูง บริษัทจึงเปลี่ยนมาใช้เม็ดพลาสติกจากผู้ขายภายในประเทศไทย ซึ่งคุณภาพของเม็ดพลาสติกจากแต่ละแห่งมีความต่างกันอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อการฉีดพลาสติก

2.2) ปัญหาการเตรียมเม็ดพลาสติกก่อนการฉีดพลาสติก เพื่อป้องกันการหดตัวขณะใช้งานทำให้คุณภาพเม็ดพลาสติกไม่ดีจึงนำไปอบเพื่อไล่ความชื้น ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง อุณหภูมิเม็ดพลาสติกหลังการอบจะอยู่ในช่วงระหว่าง 70 ถึง 80 องศาเซลเซียส จากนั้นนำเม็ดพลาสติกเข้าเครื่องฉีดในทันที

พิจารณาจากสาเหตุในหัวข้อนี้ ทางโรงงานได้หามาตรการควบคุมคุณภาพของเม็ดพลาสติกที่นำมาฉีดในด้านคุณภาพและการเตรียมเม็ดพลาสติกก่อนการฉีดพลาสติก ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดปัจจัยดังกล่าวออกไปจากปัญหาที่ทำการศึกษา

### 3) สาเหตุจากขั้นตอนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม แบ่งเป็น 2 ประการ คือ

3.1) สาเหตุจาก ลำดับขั้นตอนการฉีดพลาสติก เริ่มต้นจากการติดตั้งแม่พิมพ์ ปรับระยะหุ่นยนต์จับชิ้นงาน จากนั้นทำการปรับพารามิเตอร์ในการฉีด ได้แก่ อุณหภูมิในการฉีด ความเร็วในการฉีด กำลังในการฉีด ระยะเวลาในการฉีด ระยะเวลาในการหล่อเย็น และอุณหภูมิแม่พิมพ์ เมื่อปรับพารามิเตอร์ดังกล่าวแล้ว ทำการทดลองฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม ตรวจสอบชิ้นงาน หากสถานะเหมาะสมดำเนินการฉีดชิ้นงานต่อ หากไม่ใช่ต้องปรับพารามิเตอร์ดังกล่าวใหม่อีกครั้ง วิธีการนี้เสียเวลาในการทำงานนาน เนื่องจากต้องปรับตั้งค่าเพื่อหาพารามิเตอร์ในการฉีดจนกว่าจะเหมาะสม

3.2) ปัญหาการใช้งาน ได้แก่ ความสึกหรอของอุปกรณ์เครื่องมือ และความบกพร่องจากการออกแบบ ในส่วนนี้ทางบริษัทเป็นผู้ออกแบบชิ้นงานตัวอย่าง เพื่อให้ลูกค้าพิจารณา หากลูกค้ายอมรับ ดำเนินการส่งแบบชิ้นงานตัวอย่างให้กับบริษัทผลิตแม่พิมพ์ดำเนินการผลิตต่อไป สาเหตุที่ชิ้นงานมีปัญหา เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ใช้ฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมจริงมีความคลาดเคลื่อนกับแบบที่โรงงานส่งให้ หรือเกิดความผิดพลาดในการผลิตแม่พิมพ์ สาเหตุดังกล่าวส่งผลกระทบต่อคุณภาพชิ้นงานในการฉีดขึ้นรูปชิ้นส่วนไดนาโมได้

พิจารณาจากสาเหตุในหัวข้อนี้ พบว่าสาเหตุหลักประการแรก คือ การดำเนินการผลิต ผู้วิจัยพบว่าหากขั้นตอนการปรับพารามิเตอร์ในการฉีดมีสถานะเหมาะสมแล้ว จะช่วยให้จำนวนชิ้นงานเสียและมีรอยตำหนิตลดลง ส่วนสาเหตุจากการใช้งานนั้นบริษัทอาจต้องหาวิธีพิสูจน์ข้อเท็จจริงว่าปัญหาชิ้นงานเสียและมีรอยตำหนิ เกิดขึ้นจากแม่พิมพ์หลังจากนั้นทำการส่งแม่พิมพ์กลับไปให้ทางบริษัทผู้ผลิตแม่พิมพ์ทำการแก้ไขต่อไป

### 4) สาเหตุจากพนักงานที่ปฏิบัติงานฉีดพลาสติก แบ่งเป็น 3 ประการ คือ

4.1) วิธีตรวจสอบ โดยพนักงานต้องรอบคอบและมีสมาธิในการทำงานที่ดี เพื่อป้องกันไม่ให้ความผิดพลาดเกิดขึ้นในการผลิต

4.2) พื้นฐานความรู้ของพนักงาน ได้แก่ ความรู้หลักการและทฤษฎีที่นำมาใช้ในการฉีดขึ้นรูปพลาสติก และความรู้จากการฝึกอบรม

4.3) ความชำนาญของพนักงาน ได้แก่ ความสามารถในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิต และประสิทธิภาพการทำงาน

พิจารณาจากสาเหตุในหัวข้อนี้ พบว่า ปัจจัยทางด้านพนักงานเป็นส่วนหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม หากมีการกำหนดขั้นตอนการผลิตอย่างเหมาะสมแล้ว แต่พนักงานขาดความรอบคอบ หรือเอาใจใส่ จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานได้

#### 4.2 ผลการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สำหรับกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนนี้ เป็นผลจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้คือ

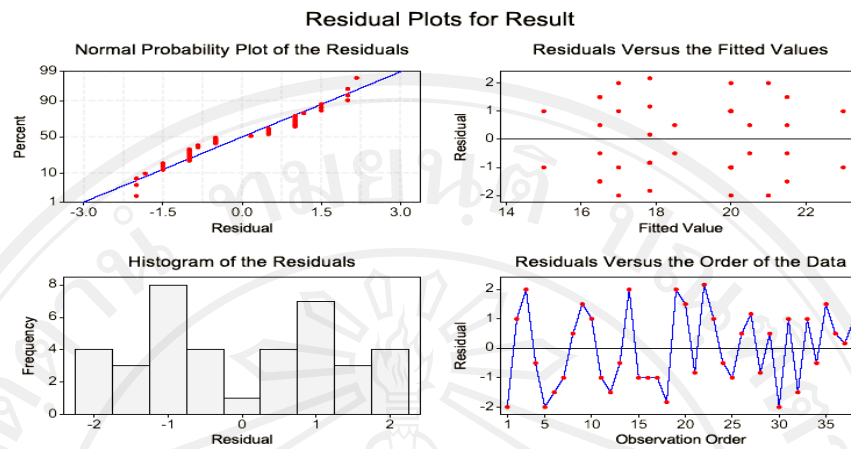
1. ผลการคัดกรองปัจจัย โดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเศษส่วน
2. ผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มจำนวน
3. การทดสอบยืนยันผลของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

##### 4.2.1 ผลการคัดกรองปัจจัย โดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเศษส่วน

การทดลองคัดกรองปัจจัยโดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเศษส่วนผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการคัดกรองปัจจัยในการศึกษา 2<sup>6-2</sup>

| ลำดับ<br>มาตรฐาน | ลำดับ<br>การ<br>ทดลอง | ปัจจัยที่ศึกษา |    |    |    |    |    | ค่าระดับของปัจจัย |      |     |     |     |    | การทดลองครั้งที่ 1  |                                  | การทดลองครั้งที่ 2  |                                  |
|------------------|-----------------------|----------------|----|----|----|----|----|-------------------|------|-----|-----|-----|----|---------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|
|                  |                       | P              | S  | I  | C  | M  | N  | P                 | S    | I   | C   | M   | N  | รอย<br>ตำหนิ<br>(y) | ค่า<br>แปลง<br>(y <sub>p</sub> ) | รอย<br>ตำหนิ<br>(y) | ค่า<br>แปลง<br>(y <sub>p</sub> ) |
| 1, 20            | 5, 9                  | -1             | -1 | 1  | -1 | 1  | 1  | 600               | 75   | 8   | 5   | 260 | 60 | 15                  | 4.373                            | 19                  | 4.859                            |
| 2, 21            | 30, 37                | 1              | -1 | 1  | 1  | -1 | -1 | 750               | 75   | 8   | 10  | 220 | 30 | 21                  | 5.083                            | 19                  | 4.859                            |
| 3, 22            | 21, 36                | 0              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 675               | 97.5 | 5.5 | 7.5 | 240 | 45 | 18                  | 4.743                            | 17                  | 4.623                            |
| 4, 23            | 22, 18                | 1              | -1 | 1  | -1 | -1 | 1  | 750               | 75   | 8   | 5   | 220 | 60 | 20                  | 4.972                            | 21                  | 5.083                            |
| 5, 24            | 17, 15                | -1             | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 600               | 75   | 3   | 5   | 220 | 30 | 19                  | 4.859                            | 23                  | 5.296                            |
| 6, 25            | 7, 2                  | -1             | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | 600               | 120  | 8   | 5   | 220 | 30 | 15                  | 4.373                            | 18                  | 4.743                            |
| 7, 26            | 4, 3                  | 1              | 1  | -1 | -1 | -1 | 1  | 750               | 120  | 3   | 5   | 220 | 60 | 19                  | 4.859                            | 21                  | 5.083                            |
| 8, 27            | 26, 38                | 1              | -1 | -1 | 1  | 1  | 1  | 750               | 75   | 3   | 10  | 260 | 60 | 22                  | 5.190                            | 21                  | 5.083                            |
| 9, 28            | 24, 35                | 1              | 1  | 1  | -1 | 1  | -1 | 750               | 120  | 8   | 5   | 260 | 30 | 18                  | 4.743                            | 15                  | 4.373                            |
| 10, 29           | 20, 6                 | 0              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 675               | 97.5 | 5.5 | 7.5 | 240 | 45 | 17                  | 4.623                            | 16                  | 4.500                            |
| 11, 30           | 12, 11                | 1              | 1  | -1 | 1  | -1 | -1 | 750               | 120  | 3   | 10  | 220 | 30 | 22                  | 5.190                            | 24                  | 5.399                            |
| 12, 31           | 25, 13                | -1             | -1 | -1 | 1  | -1 | 1  | 600               | 75   | 3   | 10  | 220 | 60 | 20                  | 4.972                            | 23                  | 5.296                            |
| 13, 32           | 19, 8                 | -1             | 1  | -1 | -1 | 1  | 1  | 600               | 120  | 3   | 5   | 260 | 60 | 16                  | 4.500                            | 17                  | 4.623                            |
| 14, 33           | 27, 28                | -1             | 1  | -1 | 1  | 1  | -1 | 600               | 120  | 3   | 10  | 260 | 30 | 22                  | 5.190                            | 19                  | 4.859                            |
| 15, 34           | 29, 10                | -1             | -1 | 1  | 1  | 1  | -1 | 600               | 75   | 8   | 10  | 260 | 30 | 16                  | 4.500                            | 18                  | 4.743                            |
| 16, 35           | 14, 23                | 1              | -1 | -1 | -1 | 1  | -1 | 750               | 75   | 3   | 5   | 260 | 30 | 21                  | 5.083                            | 19                  | 4.859                            |
| 17, 36           | 32, 31                | 1              | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 750               | 120  | 8   | 10  | 260 | 60 | 14                  | 4.103                            | 16                  | 4.500                            |
| 18, 37           | 34, 33                | 0              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 675               | 97.5 | 5.5 | 7.5 | 240 | 45 | 16                  | 4.500                            | 17                  | 4.623                            |
| 19, 38           | 1, 16                 | -1             | 1  | 1  | 1  | -1 | 1  | 600               | 120  | 8   | 10  | 220 | 60 | 18                  | 4.743                            | 19                  | 4.859                            |



**รูปที่ 4.2** กราฟผลการทดลองเมื่อไม่มีการแปลงค่าข้อมูล

ผลการตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลเมื่อไม่มีการแปลงค่าพบว่ากราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างมีแนวโน้มการกระจายตัวแบบไม่ปกติ (Normal Probability Plot of the Residuals) และรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟฮิสโตแกรมไม่ได้มีแนวโน้มที่เข้าใกล้ศูนย์ (Histogram of the Residuals)

**ตาราง 4.4** ผลการประมาณผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วมเมื่อไม่แปลงค่าข้อมูล

| Term     | Effect | Coef   | SE Coef | t     | p     |
|----------|--------|--------|---------|-------|-------|
| Constant |        | 18.842 | 0.2885  | 65.31 | 0.000 |
| P        | 1.063  | 0.531  | 0.3144  | 1.69  | 0.105 |
| S        | -1.562 | -0.781 | 0.3144  | -2.48 | 0.021 |
| I        | -2.812 | -1.406 | 0.3144  | -4.47 | 0.000 |
| C        | 1.063  | 0.531  | 0.3144  | 1.69  | 0.105 |
| M        | -2.188 | -1.094 | 0.3144  | -3.48 | 0.002 |
| N        | -0.437 | -0.219 | 0.3144  | -0.70 | 0.494 |
| P*S      | -0.313 | -0.156 | 0.3144  | -0.50 | 0.624 |
| P*I      | -0.313 | -0.156 | 0.3144  | -0.50 | 0.624 |
| P*C      | -0.437 | -0.219 | 0.3144  | -0.70 | 0.494 |
| P*M      | -0.438 | -0.219 | 0.3144  | -0.70 | 0.494 |
| P*N      | -0.188 | -0.094 | 0.3144  | -0.30 | 0.768 |
| S*C      | 0.688  | 0.344  | 0.3144  | 1.09  | 0.286 |
| S*N      | -1.063 | -0.531 | 0.3144  | -1.69 | 0.105 |
| P*S*C    | -0.562 | -0.281 | 0.3144  | -0.89 | 0.381 |
| P*I*C    | -0.563 | -0.281 | 0.3144  | -0.89 | 0.381 |

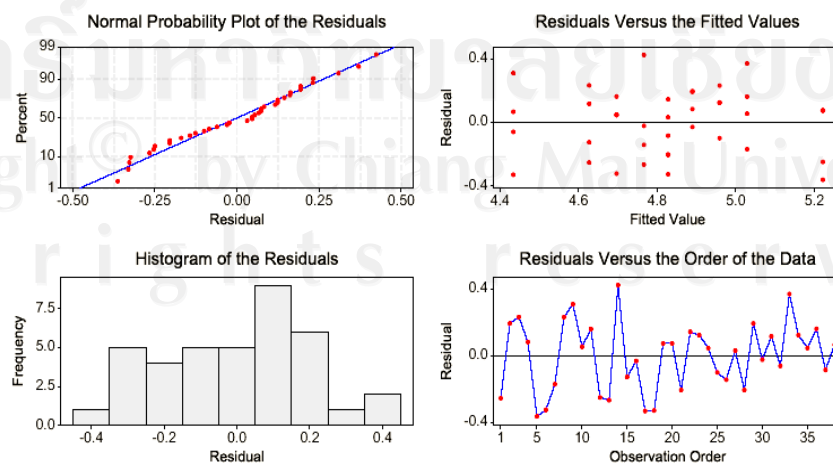
ตาราง 4.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อไม่แปลงค่าข้อมูล

| แหล่งความแปรปรวน                         | DF | SS      | MS     | F    | p     |
|------------------------------------------|----|---------|--------|------|-------|
| ผลจากปัจจัยหลัก                          | 6  | 140.687 | 23.448 | 7.41 | 0.000 |
| ผลจากอันตรกิริยาร่วม 2 ปัจจัย            | 7  | 17.719  | 2.531  | 0.80 | 0.596 |
| ผลจากอันตรกิริยาร่วม 3 ปัจจัย            | 2  | 5.052   | 2.531  | 0.80 | 0.462 |
| ค่าผิดพลาดของส่วนตกค้าง (Residual Error) | 22 | 69.584  | 3.163  |      |       |
| เส้นความโค้ง (Curvature)                 | 1  | 7.251   | 7.251  | 2.44 | 0.133 |
| Pure Error                               | 21 | 62.333  | 2.968  |      |       |
| ผลรวม                                    | 37 | 233.050 |        |      |       |

งานวิจัยของ Bisgard and Fuller (1992) กล่าวว่า การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงแฟกทอเรียล กับจำนวนรอยตำหนิหรือของเสียที่เป็นผลตอบ ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตวัดจากจำนวน รอยตำหนิหรือจำนวนของเสีย การลดจำนวนรอยตำหนิของเสียเป็นสิ่งสำคัญในการปรับปรุง คุณภาพของกระบวนการ หากผลตอบของข้อมูลคือการนับจำนวนรอยตำหนิ การวัดรอยขีดข่วน บริเวณผิวชิ้นงานแต่ละชิ้นจำนวนที่นับได้ถูกเรียกว่าจำนวนรอยตำหนิ ค่า รอยตำหนิที่นับได้อาจมี ค่าตั้งแต่ 0,1,2,... การแปลงค่าข้อมูลก่อนนำมาวิเคราะห์ผลช่วยให้ผลการทดลองเกิดความแม่นยำ มากขึ้น การนับจำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นนำค่าที่ได้แปลงค่าข้อมูลรอยตำหนิด้วยวิธีของ Freeman and Tukey โดยใช้สมการที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงดังรูปที่ 4.3 และตารางการทดลองที่ 4.4

$$y_t = \frac{(\sqrt{y} + \sqrt{y+1})}{2} ; \text{เมื่อ } y_t = \text{ค่าแปลงรอยตำหนิ} \quad (4.1)$$

Residual Plots for Tran



รูปที่ 4.3 กราฟผลการทดลองเมื่อมีการแปลงค่าข้อมูล

ตารางที่ 4.6 ผลการประมาณผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วมเมื่อแปลงค่าข้อมูล

| Term     | Effect         | Coef           | SE Coef        | t            | p            |
|----------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|
| Constant |                | 4.8277         | 0.03402        | 141.89       | 0.000        |
| P        | 0.1119         | 0.0559         | 0.03708        | 1.51         | 0.146        |
| S        | <b>-0.1929</b> | <b>-0.0964</b> | <b>0.03708</b> | <b>-2.60</b> | <b>0.016</b> |
| I        | <b>-0.3322</b> | <b>-0.1661</b> | <b>0.03708</b> | <b>-4.48</b> | <b>0.000</b> |
| C        | 0.1108         | 0.0554         | 0.03708        | 1.49         | 0.150        |
| M        | <b>-0.2628</b> | <b>-0.1314</b> | <b>0.03708</b> | <b>-3.54</b> | <b>0.002</b> |
| N        | -0.0586        | -0.0293        | 0.03708        | -0.79        | 0.438        |
| P*S      | -0.0524        | -0.0262        | 0.03708        | -0.71        | 0.487        |
| P*I      | -0.0465        | -0.0233        | 0.03708        | -0.63        | 0.537        |
| P*C      | -0.0668        | -0.0334        | 0.03708        | -0.90        | 0.378        |
| P*M      | -0.0615        | -0.0308        | 0.03708        | -0.83        | 0.416        |
| P*N      | -0.0309        | -0.0154        | 0.03708        | -0.42        | 0.681        |
| S*C      | 0.0680         | 0.0340         | 0.03708        | 0.92         | 0.369        |
| S*N      | -0.1089        | -0.0634        | 0.03708        | -1.61        | 0.137        |
| P*S*C    | -0.0785        | -0.0392        | 0.03708        | -0.06        | 0.301        |
| P*I*C    | -0.0736        | -0.0368        | 0.03708        | -0.99        | 0.332        |

ผลการทดลองเมื่อแปลงค่าข้อมูลรอยดำห็นพบว่ากราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างมีแนวโน้มการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Probability Plot of the Residuals) และรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลกราฟฮิสโตแกรมมีแนวโน้มที่เข้าใกล้ศูนย์ (Histogram of the Residuals) แสดงว่าข้อมูลมีความเหมาะสมนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองได้

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อแปลงค่าข้อมูล

| แหล่งความแปรปรวน                         | DF | SS      | MS      | F    | p     |
|------------------------------------------|----|---------|---------|------|-------|
| ผลจากปัจจัยหลัก                          | 6  | 1.95877 | 0.32646 | 7.42 | 0.000 |
| ผลจากอันตรกิริยาร่วม 2 ปัจจัย            | 7  | 0.27854 | 0.03979 | 0.90 | 0.521 |
| ผลจากอันตรกิริยาร่วม 3 ปัจจัย            | 2  | 0.09266 | 0.04633 | 1.05 | 0.366 |
| ค่าผิดพลาดของส่วนตกค้าง (Residual Error) | 22 | 0.96776 | 0.04399 |      |       |
| เส้นความโค้ง (Curvature)                 | 1  | 0.08270 | 0.08270 | 1.96 | 0.176 |
| Pure Error                               | 21 | 0.88506 | 0.04215 |      |       |
| ผลรวม                                    | 37 | 3.29774 |         |      |       |

นำข้อมูลการแปลงค่ารอยตำหนิมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในแต่ละเทอมของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการฉีดพลาสติกขึ้นส่วนไดนาโม ในการวิเคราะห์ข้อมูล เริ่มจากการประมาณผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วม (Estimate Factor Effects) ทำให้ทราบเบื้องต้นว่าปัจจัยและอันตรกิริยาใดมีความสำคัญ โดยการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สรุปได้ว่าปัจจัยหลักได้แก่ 1) ความเร็วในการฉีด (S), 2) ระยะเวลาการฉีด (I) และ 3) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (M) มีผลต่อจำนวนรอยตำหนิของขึ้นส่วนไดนาโมอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.2.2 ผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

การวิเคราะห์ผลการทดสอบทราบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อจำนวนรอยตำหนิขึ้นส่วนไดนาโมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ 1) ความเร็วในการฉีด 2) ระยะเวลาการฉีด 3) อุณหภูมิแม่พิมพ์ ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทดสอบโดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน  $2^3$  การทดลอง ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้งและวิเคราะห์ค่ากลาง (Center Point) จำนวน 2 จุด ทดลองทั้งหมด 18 การทดลอง รายละเอียดดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

| ลำดับ<br>มาตรฐาน | ลำดับ<br>การ<br>ทดลอง | ปัจจัยที่ศึกษา |    |    |    |    |    | ค่าระดับของปัจจัย |     |    |     |     |     | การทดลองครั้งที่ 1  |                                  | การทดลองครั้งที่ 2  |                                  |
|------------------|-----------------------|----------------|----|----|----|----|----|-------------------|-----|----|-----|-----|-----|---------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------------------|
|                  |                       | S              | I  | M  | P  | C  | N  | S                 | I   | M  | P   | C   | N   | รอย<br>ตำหนิ<br>(y) | ค่า<br>แปลง<br>(y <sub>r</sub> ) | รอย<br>ตำหนิ<br>(y) | ค่า<br>แปลง<br>(y <sub>r</sub> ) |
| 1, 10            | 8, 12                 | 1              | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 120               | 8   | 30 | 600 | 5   | 220 | 12                  | 3.964                            | 14                  | 4.242                            |
| 2, 11            | 2, 10                 | -1             | 1  | -1 | -1 | -1 | -1 | 75                | 3   | 30 | 600 | 5   | 220 | 17                  | 4.623                            | 16                  | 4.500                            |
| 3, 12            | 3, 18                 | 0              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 97.5              | 5.5 | 45 | 675 | 7.5 | 240 | 16                  | 4.500                            | 14                  | 3.964                            |
| 4, 13            | 17, 19                | -1             | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | 75                | 8   | 60 | 600 | 5   | 220 | 13                  | 4.106                            | 14                  | 3.964                            |
| 5, 14            | 1, 11                 | -1             | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 75                | 3   | 30 | 600 | 5   | 220 | 20                  | 4.972                            | 17                  | 4.623                            |
| 6, 15            | 9, 14                 | 1              | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 120               | 3   | 30 | 600 | 5   | 220 | 12                  | 3.964                            | 12                  | 3.964                            |
| 7, 16            | 4, 7                  | -1             | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | 75                | 3   | 60 | 600 | 5   | 220 | 17                  | 4.972                            | 16                  | 4.500                            |
| 8, 17            | 16, 15                | 1              | -1 | 1  | -1 | -1 | -1 | 120               | 3   | 60 | 600 | 5   | 220 | 12                  | 3.964                            | 11                  | 3.817                            |
| 9, 18            | 5, 6                  | 1              | 1  | 1  | -1 | -1 | -1 | 120               | 8   | 60 | 600 | 5   | 220 | 9                   | 3.500                            | 10                  | 3.662                            |

นำข้อมูลค่าแปลงรอยตำหนิมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ในแต่ละเทอมของปัจจัยที่มีผลต่อการฉีดพลาสติกขึ้นส่วนไดนาโม การวิเคราะห์ข้อมูลปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) การประมาณผลกระทบปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วม(Estimate Factor Effects)
- 2) สร้างแบบจำลองเริ่มต้น (Form Initial Model)
- 3) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล
- 4) การแก้ไขแบบจำลอง (Refine Model)
- 5) วิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residuals Analysis)

#### 1) การประมาณผลกระทบจากปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วม(Estimate Factor Effects)

การประมาณผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วม ทำให้ทราบเบื้องต้นว่าปัจจัยและอันตรกิริยาใดมีความสำคัญ ผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.9 โดยการทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

ตารางที่ 4.9 การประมาณผลกระทบจากปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วม

| Term     | Effect  | Coef    | SE Coef | t      | p     |
|----------|---------|---------|---------|--------|-------|
| Constant |         | 4.1682  | 0.03784 | 110.16 | 0.000 |
| S        | -0.7070 | -0.3535 | 0.04123 | -8.57  | 0.000 |
| I        | -0.2985 | -0.1492 | 0.04123 | -3.62  | 0.004 |
| M        | -0.3135 | -0.1568 | 0.04123 | -3.80  | 0.003 |
| S*I      | 0.0127  | 0.0064  | 0.04123 | 0.15   | 0.880 |
| S*M      | -0.0293 | -0.0146 | 0.04123 | -0.35  | 0.730 |
| I*M      | -0.0144 | -0.0072 | 0.04123 | -0.17  | 0.898 |
| S*I*M    | -0.0795 | -0.0398 | 0.04123 | -0.96  | 0.356 |

พิจารณาตารางการแจกแจงแบบ t ของการทดลอง 8 การทดลอง ( $m = 2^3$ ) และค่าสัมประสิทธิ์สำหรับการทดลองที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คือ  $t_{m(n-1), \alpha/2} = t_{8, 0.05} = 1.860$  เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมบูรณ์ t ของ  $E_S$ ,  $E_I$ ,  $E_M$  มีค่ามากกว่า 1.860 ดังนั้นปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่า  $\mu_{effect} = 0$  หรือกล่าวได้ว่า  $\mu_{effect}$  ของผลกระทบของปัจจัยข้างต้นมีค่าไม่เท่ากับ 0

สรุปว่าปัจจัยหลักได้แก่ 1) ความเร็วในการฉีด (S), 2) ระยะเวลาการฉีด (I) และ 3) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (M) มีค่า p เท่ากับ 0.000, 0.004 และ 0.003 ตามลำดับ มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลกระทบต่อการเกิดรอยตำหนิในกระบวนการฉีดพลาสติกขึ้นส่วนใดนาโมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยเทอมของอันตรกิริยาร่วมไม่มีผลกระทบต่อการเกิดรอยตำหนิในการฉีดพลาสติกขึ้นส่วนใดนาโมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

## 2) สร้างแบบจำลองเริ่มต้น (Form Initial Model)

แบบจำลองเบื้องต้นประกอบด้วยปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วมทุกปัจจัย โดยค่าสัมประสิทธิ์ในแต่ละเทอมของปัจจัย หาได้จากค่าผลกระทบของแต่ละปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วมหารด้วยสอง สร้างแบบจำลองเต็มรูปแบบได้ดังสมการที่ 4.2

จากสมการ  $\hat{y}_t$  คือ ค่าแปลงของจำนวนรอยตำหนิของชิ้นส่วนไดนาโม และค่าปัจจัยทั้งสามในสมการแทนด้วย ตัวแปร +1 และ -1

$$\hat{y}_t = 4.1682 - 0.3535*S - 0.1492*I - 0.1568*M + 0.0064*S*I - 0.0146*S*M - 0.0761*I*M - 0.398*S*I*M \quad (4.2)$$

## 3) วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล

การทดสอบทางด้านสถิติใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของผลหลักและอันตรกิริยาร่วม พิจารณาจากความน่าจะเป็นของค่า F ถ้าสมมติฐานไร้นัยสำคัญเป็นจริง (P-Value) รายละเอียดดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

| แหล่งความแปรปรวน                         | DF | SS      | MS      | F     | p     |
|------------------------------------------|----|---------|---------|-------|-------|
| ผลจากปัจจัยหลัก                          | 3  | 2.74893 | 0.91631 | 33.69 | 0.000 |
| ผลจากอันตรกิริยาร่วม 2 ปัจจัย            | 3  | 0.09679 | 0.03226 | 1.19  | 0.360 |
| ผลจากอันตรกิริยาร่วม 3 ปัจจัย            | 1  | 0.02528 | 0.02528 | 0.93  | 0.356 |
| ค่าผิดพลาดของส่วนตกค้าง (Residual Error) | 11 | 0.29922 | 0.02720 |       |       |
| เส้นความโค้ง (Lack of fit)               | 1  | 0.01856 | 0.01856 | 0.66  | 0.435 |
| Pure Error                               | 10 | 0.28067 | 0.02870 |       |       |
| ผลรวม                                    | 18 | 3.17023 |         |       |       |

จากตารางที่ 4.10 ค่า p ของผลจากปัจจัยหลักมีค่าเท่ากับ 0.000 โดยมีค่าน้อยกว่า 0.05 นั่นคือ ผลจากปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยคือ 1) ความเร็วในการฉีด (S), 2) ระยะเวลาการฉีด (I) และ 3) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (M) มีผลกระทบต่อรอยตำหนิของชิ้นส่วนไดนาโมจักรยานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95

#### 4) การแก้ไขแบบจำลอง (Refine Model)

เป็นการดึงตัวแปรที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญออกจากแบบจำลองเต็มรูปแบบ (Full Model) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเบื้องต้นทราบว่าปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัยคือ 1) ความเร็วในการฉีด (S), 2) ระยะเวลาการฉีด (I) และ 3) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (M) มีผลกระทบต่อการเกิดจำนวนรอยตำหนิชิ้นส่วนไดนาโมอย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การประมาณผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยหลักและอันตรกิริยาร่วม

| Term     | Effect  | Coef    | SE Coef |
|----------|---------|---------|---------|
| Constant |         | 4.1682  | 0.03784 |
| S        | -0.7070 | -0.3535 | 0.04123 |
| I        | -0.2985 | -0.1429 | 0.04123 |
| M        | -0.3135 | -0.1568 | 0.04123 |

จากข้อมูลตารางข้อสรุปข้างต้นแก้ไขแบบจำลองใหม่ โดยใช้เพียงปัจจัยหลักที่มีผลต่อจำนวนรอยตำหนิของการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม ซึ่งแบบจำลองใหม่แทนค่าปัจจัยด้วยตัวแปร - 1 และ + 1 แสดงดังสมการที่ 4.3

$$\hat{y}_t = 4.1682 - 0.3535 * S - 0.1429 * I - 0.1568 * M \quad (4.3)$$

ตารางที่ 4.12 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง

| Term           | DF | SS     | MS     | F     | p     |
|----------------|----|--------|--------|-------|-------|
| Model          | 3  | 2.7489 | 0.9163 | 33.69 | 0.000 |
| Residual Error | 11 | 0.2992 | 0.0272 |       |       |
| Lack of fit    | 1  | 0.0186 | 0.0186 | 0.66  | 0.435 |
| Pure Error     | 10 | 0.2807 | 0.0287 |       |       |
| Total          | 18 | 3.1702 |        |       |       |

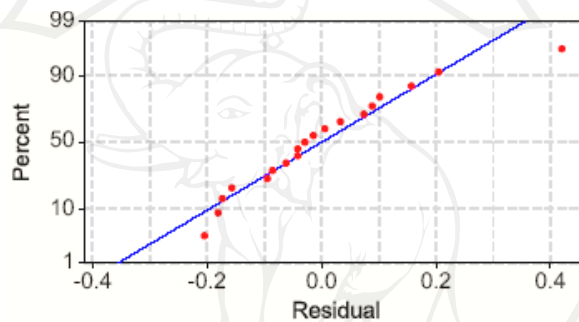
จากตารางที่ 4.12 ตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง โดยค่า p มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 และการพิจารณาค่าสัดส่วนความพอเพียงของสมการ (Lack of Fit) พบว่าการทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์มีความเหมาะสมกับข้อมูลดังนั้นสรุปว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นเหมาะที่จะทำนายจำนวนรอยตำหนิของกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมและประสิทธิภาพของแบบจำลองในการทำนายจำนวนรอยตำหนิ คำนวณได้ดังสมการที่ 4.4

$$R^2 = \frac{SS_{Model}}{SS_{Total}} \quad (4.4)$$

$$R^2 = \frac{2.7489}{3.1702} = 0.8671 \text{ หรือเท่ากับร้อยละ } 86.71$$

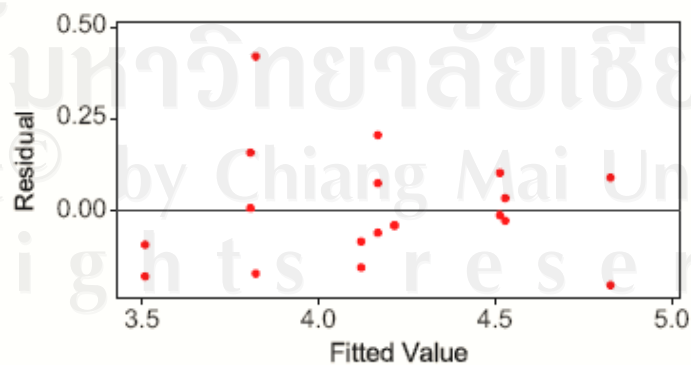
##### 5) วิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residuals Analysis)

การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติโดยการนำส่วนตกค้างของข้อมูลมาสร้างกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of the Residuals) ดังรูปที่ 4.4 จากลักษณะของกราฟข้อมูลส่วนตกค้างของจำนวนรอยตำหนิมีลักษณะการแจกแจงแบบปกติ

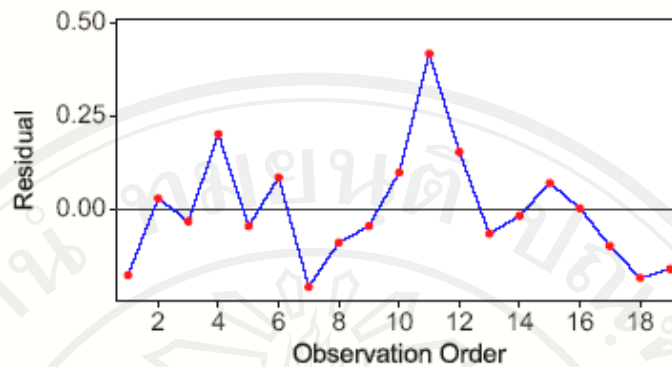


รูป 4.4 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง

รูปที่ 4.5 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน โดยใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละระดับของปัจจัยพบว่า การกระจายตัวของส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบ

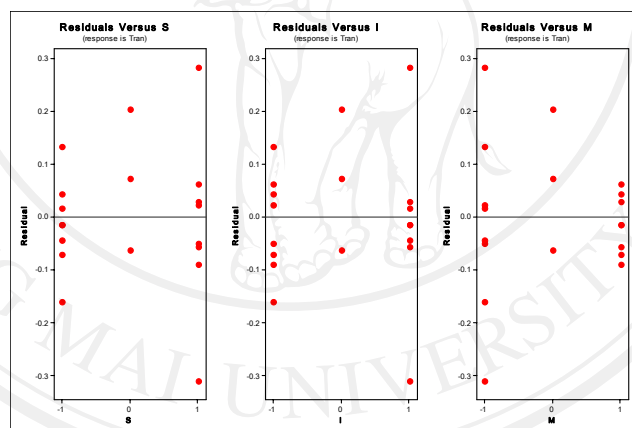


รูป 4.5 กราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าทำนาย



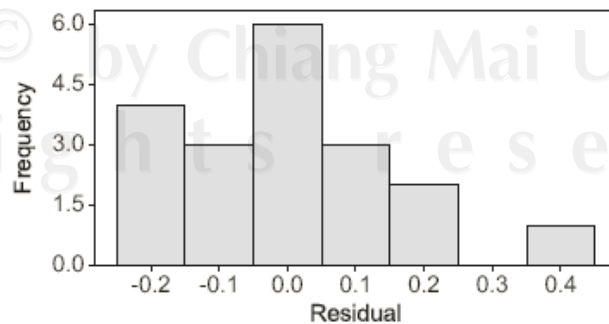
รูป 4.6 กราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง

รูปที่ 4.6 การตรวจสอบความเป็นอิสระโดยกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plots of Residuals Versus the Observation Order of the Data) พบว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอแสดงว่าข้อมูลเป็นอิสระไม่ขึ้นอยู่กับลำดับการทดลอง



รูป 4.7 กราฟการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้างกับจำนวนรอบดำหนิ

รูปที่ 4.7 แสดงส่วนตกค้างกับปัจจัยในการทดลองพบว่ากราฟมีรูปแบบการกระจายตัวแบบปกติ แสดงว่าตัวแปรทั้งสามตัวแปรไม่มีความแตกต่างในความแปรปรวน



รูป 4.8 แสดงรูปแบบการกระจายของข้อมูล

รูปที่ 4.8 ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลจากกราฟฮิสโตแกรมมีแนวโน้มที่เข้าใกล้ศูนย์ (Histogram of the Residuals)

สรุปว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสอดคล้องเหมาะที่ใช้ในการทำนายจำนวนรอยตำหนิของชิ้นส่วนไดนาโมและสมมติฐาน ได้แก่ 1) ความเร็วในการฉีด(S) 2) ระยะเวลาการฉีด (I) และ 3) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (M) มีผลกระทบต่อรอยตำหนิของชิ้นส่วนไดนาโมอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 มีความถูกต้อง

#### 4.2.3 การทดสอบยืนยันผลของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ผู้วิจัยทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลของการทดลอง โดยปัจจัยที่ไม่มีผลต่อรอยตำหนิ ได้แก่ 1) กำลังในการฉีด 2) ระยะเวลาหล่อเย็น 3) อุณหภูมิในการฉีด ถูกกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้อยู่ในระดับต่ำ ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรอยตำหนิ 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) ความเร็วในการฉีด, 2) ระยะเวลาในการฉีด และ 3) อุณหภูมิแม่พิมพ์ถูก กำหนดค่าพารามิเตอร์ให้อยู่ในระดับสูง รายละเอียดการทดลองดังตาราง การทดลองที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 แสดงระดับค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมสำหรับการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม

| พารามิเตอร์                                 | ระดับต่ำ (-) | ระดับสูง (+) | สัญลักษณ์ |
|---------------------------------------------|--------------|--------------|-----------|
| 1. ความเร็วในการฉีด (mm/sec)                | -            | 120          | S         |
| 2. ระยะเวลาการฉีด (วินาที)                  | -            | 8            | I         |
| 3. อุณหภูมิแม่พิมพ์ ( $^{\circ}\text{C}$ )  | -            | 60           | M         |
| 4. ระยะเวลาหล่อเย็น (วินาที)                | 5            | -            | C         |
| 5. อุณหภูมิในการฉีด ( $^{\circ}\text{C}$ )  | 220          | -            | N         |
| 6. กำลังในการฉีด( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) | 600          | -            | P         |

ผลการทดลองในตารางที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยจำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นต่อชิ้นส่วนไดนาโม (1 ชิ้นงาน) เท่ากับ 9.83 รอยตำหนิ จำนวนนี้เป็นรอยตำหนิแบบรอยค่างที่ชิ้นงาน (d1) จำนวนร้อยละ 20 การเกิดลายเส้น (d2) จำนวนร้อยละ 30 การเกิดรอยไหม้ที่ชิ้นงาน (d3) จำนวนร้อยละ 40 และการเกิดรอยยุบหรือฉีดไม่เต็ม (d4) จำนวนร้อยละ 10

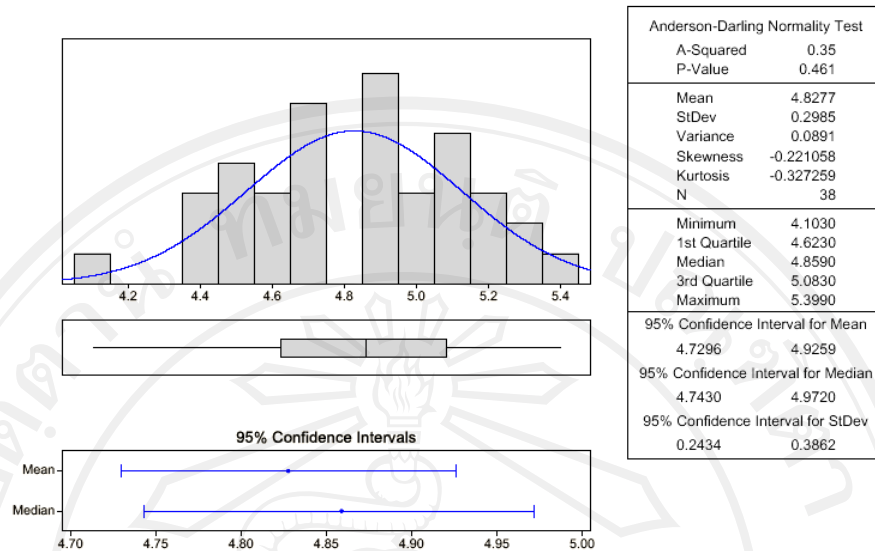
ตารางที่ 4.14 จำนวนรอยตำหนิในการทดสอบยืนยันผล

| ลำดับทดลอง     | แม่พิมพ์ |    |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    | ผลรวมรอยตำหนิ |        |        |        | ค่าเฉลี่ย |
|----------------|----------|----|----|----|--------|----|----|----|--------|----|----|----|--------|----|----|----|---------------|--------|--------|--------|-----------|
|                | โพรง 1   |    |    |    | โพรง 2 |    |    |    | โพรง 3 |    |    |    | โพรง 4 |    |    |    | โพรง 1        | โพรง 2 | โพรง 3 | โพรง 4 |           |
|                | d1       | d2 | d3 | d4 | d1     | d2 | d3 | d4 | d1     | d2 | d3 | d4 | d1     | d2 | d3 | d4 |               |        |        |        |           |
| 1              | 3        | 3  | 4  | 1  | 2      | 3  | 3  | 1  | 2      | 4  | 4  | 1  | 3      | 3  | 3  | 1  | 11            | 9      | 11     | 9      | 10.00     |
| 2              | 3        | 4  | 4  | 1  | 3      | 3  | 3  | 1  | 2      | 2  | 4  | 0  | 2      | 3  | 3  | 1  | 12            | 10     | 8      | 9      | 9.75      |
| 3              | 3        | 3  | 4  | 0  | 2      | 3  | 4  | 0  | 3      | 4  | 4  | 1  | 3      | 3  | 3  | 0  | 10            | 9      | 12     | 9      | 10.00     |
| 4              | 3        | 2  | 3  | 1  | 4      | 4  | 3  | 1  | 2      | 3  | 3  | 1  | 4      | 3  | 4  | 1  | 9             | 12     | 9      | 12     | 10.50     |
| 5              | 3        | 3  | 4  | 1  | 2      | 2  | 3  | 1  | 2      | 2  | 4  | 1  | 2      | 3  | 4  | 1  | 11            | 8      | 9      | 10     | 9.50      |
| 6              | 3        | 2  | 4  | 1  | 2      | 4  | 4  | 1  | 3      | 3  | 3  | 1  | 3      | 3  | 3  | 1  | 10            | 11     | 10     | 10     | 10.25     |
| 7              | 3        | 2  | 4  | 0  | 3      | 3  | 2  | 1  | 3      | 3  | 4  | 0  | 3      | 4  | 2  | 0  | 9             | 9      | 10     | 9      | 9.25      |
| 8              | 2        | 4  | 3  | 0  | 3      | 3  | 4  | 1  | 2      | 3  | 4  | 0  | 2      | 2  | 3  | 1  | 9             | 11     | 9      | 8      | 9.25      |
| 9              | 2        | 3  | 3  | 0  | 2      | 3  | 4  | 1  | 3      | 3  | 4  | 0  | 2      | 3  | 3  | 1  | 8             | 10     | 10     | 9      | 9.25      |
| 10             | 3        | 3  | 4  | 2  | 3      | 2  | 4  | 1  | 2      | 4  | 3  | 0  | 3      | 3  | 4  | 1  | 12            | 10     | 9      | 11     | 10.50     |
| ผลรวมค่าเฉลี่ย |          |    |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |               |        |        | 9.83   |           |

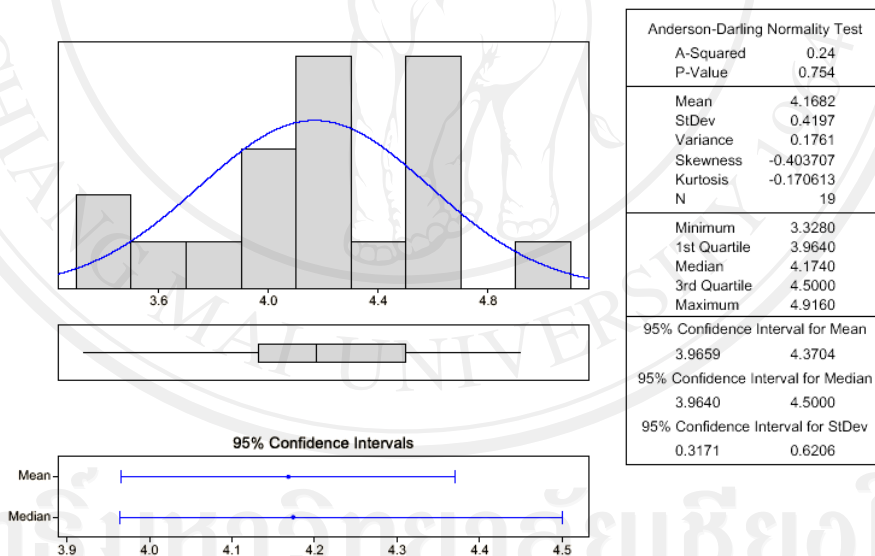
หมายเหตุ d1 = รอยตำหนิประเภทรอยด่าง, d2 = รอยตำหนิประเภทลายเส้น  
d3 = รอยตำหนิประเภทรอยไหม้, d4 = รอยตำหนิประเภทรอยยุบ

จากสมการที่ 4.3 แบบจำลองใหม่ของการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมเมื่อแทนค่าปัจจัยด้วยตัวแปร -1 และ +1 ทำให้ได้ค่าแปลงการทำนายจำนวนรอยตำหนิเท่ากับ 3.480 และจำนวนรอยตำหนิทำนายเท่ากับ 9 รอยตำหนิ การเก็บข้อมูลเพื่อประเมินผลการทดลองโดยเปรียบเทียบระยะเวลาการเกิดรอยตำหนิก่อนการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมและหลังการทดสอบยืนยันผลจากรูป 4.9 พบว่าค่าแปลงระยะเวลาการเกิดรอยตำหนิอยู่ในช่วงระหว่าง 4.729-4.925 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในการทดสอบยืนยันผลในรูปที่ 4.10 พบว่าค่าแปลงระยะเวลาการเกิดรอยตำหนิอยู่ในช่วง ระหว่าง 3.965-4.370 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดลองยืนยันผลของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมพบว่าค่าเฉลี่ยของรอยตำหนิเท่ากับ 9.83 สรุปได้ว่าผลการทดลองเปรียบเทียบกับค่าทำนายจำนวนรอยตำหนิจากสมการแบบจำลองใหม่ของการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมมีความถูกต้องสามารถนำไปใช้ทำนายจำนวนรอยตำหนิในการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมได้



รูป 4.9 กราฟแสดงระยะการเกิดรอยตำหนีก่อนการปรับปรุงกระบวนการฉีดพลาสติก



รูป 4.10 กราฟแสดงระยะการเกิดรอยตำหนิจากการทดสอบชิ้นงาน

#### 4.3 การแก้ไขแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

เมื่อปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมสามารถแก้ไข ปัญหาชิ้นส่วนไดนาโมเกิดรอยตำหนิลดลง แต่จากการวิเคราะห์หาสาเหตุสำคัญอีกประการที่มีผล ทำให้เกิดรอยตำหนิขึ้นบนชิ้นส่วนไดนาโม คือ ความบกพร่องของแม่พิมพ์ โดยผู้วิจัยได้เสนอ สาเหตุปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้บริหารทราบและอนุมัติให้ปรับแก้ไขแม่พิมพ์ใหม่ (ในเดือนพฤษภาคม)

เสียค่าใช้จ่ายในการแก้ไขแม่พิมพ์จำนวน 35,000 บาท สาเหตุเกิดจากปัญหาของการออกแบบช่องระบายแก๊สภายในแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม เมื่อมีการใช้งานต่อเนื่องมีเศษพลาสติกชิ้นเล็กเกิดการอุดตันบริเวณใกล้เคียงกับช่องระบายแก๊ส การแก้ไขโดยการเพิ่มจำนวนช่องระบายแก๊สและปรับขนาดของช่องให้ใหญ่ขึ้น ส่งผลให้ปัญหารอยดำหนึ่ที่เกิดจากรอยไหม้และเป็นรอยดำมีจำนวนลดลง และแม่พิมพ์ใช้งานได้นานขึ้นโดยไม่ต้องทำความสะอาดบ่อยครั้ง การแก้ไขการสวมประกบแม่พิมพ์ให้มีขนาดพอดีส่งผลให้ปัญหารอยดำหนึ่หลายเส้นและรอยดำลดลงเนื่องจากขณะพลาสติกเหลวถูกฉีดเข้าสู่ภายในพิมพ์การระบายอากาศที่อยู่ภายในแม่พิมพ์จะถูกบังคับให้ระบายออกสู่ภายนอกโดยช่องระบายอากาศแต่เมื่อการสวมประกบแม่พิมพ์ไม่พอดีทำให้ทิศทางการระบายอากาศออกสู่ภายนอกพิมพ์เกิดการไหลย้อนเป็นสาเหตุให้ชิ้นงานเกิดรอยดำและลายเส้น

ตารางที่ 4.15 รายละเอียดการแก้ไขแม่พิมพ์

| ลำดับ | รูปภาพ                                                                              | ข้อบกพร่อง                                                                                                            | การแก้ไข                                                         |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1     |   | ช่องระบายแก๊สภายในแม่พิมพ์มีขนาดเล็กทำให้ขณะฉีดพลาสติกการระบายแก๊สออกจากแม่พิมพ์ไม่ดี เป็นสาเหตุให้ชิ้นงานเกิดรอยไหม้ | ขยายและปรับช่องระบายแก๊สให้ใหญ่ขึ้น เพิ่มจำนวนช่องระบายอากาศ     |
| 2     |  | การสวมประกบแม่พิมพ์เกิดช่องว่างทำให้การระบายแก๊สเกิดการไหลย้อน เป็นสาเหตุให้เกิดรอยดำบริเวณผิวชิ้นงาน                 | แก้ไขชุดสวมประกบให้มีขนาดพอดี ตกแต่งผิวสัมผัสของแม่พิมพ์ให้เรียบ |

เมื่อแก้ไขแม่พิมพ์เรียบร้อยแล้ว ทดลองฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมโดยปรับค่าพารามิเตอร์ตามการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ดำเนินการทดลองฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมจำนวน 10 ครั้ง จะได้ชิ้นส่วนไดนาโมทั้งหมด 40 ชิ้น ผลการตรวจนับรอยดำหนึ่จากการทดสอบยืนยันผล ตามตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 จำนวนรอยตำหนิในการทดสอบเมื่อมีการปรับแก้ไขแม่พิมพ์

| ลำดับทดลอง     | แม่พิมพ์ |    |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |        |    |    |   | ผลรวมรอยตำหนิ |        |        |        | ค่าเฉลี่ย |
|----------------|----------|----|----|----|--------|----|----|----|--------|----|----|----|--------|----|----|---|---------------|--------|--------|--------|-----------|
|                | โพรง 1   |    |    |    | โพรง 2 |    |    |    | โพรง 3 |    |    |    | โพรง 4 |    |    |   | โพรง 1        | โพรง 2 | โพรง 3 | โพรง 4 |           |
|                |          |    |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |        |    |    |   |               |        |        |        |           |
| d1             | d2       | d3 | d4 | d1 | d2     | d3 | d4 | d1 | d2     | d3 | d4 | d1 | d2     | d3 | d4 |   |               |        |        |        |           |
| 1              | 1        | 1  | 0  | 0  | 1      | 1  | 0  | 0  | 1      | 2  | 0  | 0  | 1      | 2  | 0  | 0 | 2             | 2      | 3      | 3      | 2.50      |
| 2              | 1        | 2  | 0  | 0  | 0      | 1  | 1  | 1  | 0      | 1  | 0  | 0  | 0      | 1  | 1  | 0 | 3             | 3      | 1      | 2      | 2.25      |
| 3              | 0        | 1  | 0  | 0  | 1      | 2  | 0  | 0  | 0      | 1  | 1  | 1  | 0      | 1  | 0  | 0 | 1             | 3      | 3      | 1      | 2.00      |
| 4              | 0        | 2  | 1  | 0  | 0      | 2  | 0  | 0  | 0      | 2  | 0  | 0  | 1      | 1  | 0  | 0 | 3             | 2      | 2      | 2      | 2.25      |
| 5              | 0        | 1  | 0  | 1  | 1      | 1  | 0  | 0  | 1      | 1  | 0  | 0  | 0      | 1  | 0  | 1 | 2             | 3      | 2      | 2      | 2.25      |
| 6              | 1        | 1  | 0  | 0  | 1      | 1  | 0  | 0  | 1      | 2  | 0  | 0  | 1      | 1  | 1  | 0 | 2             | 2      | 3      | 3      | 2.50      |
| 7              | 1        | 2  | 0  | 0  | 0      | 1  | 1  | 1  | 0      | 1  | 0  | 1  | 1      | 2  | 0  | 0 | 3             | 3      | 2      | 3      | 2.75      |
| 8              | 0        | 1  | 0  | 0  | 1      | 2  | 0  | 0  | 0      | 1  | 1  | 0  | 0      | 1  | 0  | 0 | 1             | 3      | 2      | 1      | 1.75      |
| 9              | 0        | 2  | 1  | 0  | 0      | 2  | 0  | 0  | 0      | 1  | 0  | 0  | 1      | 1  | 0  | 0 | 3             | 2      | 1      | 2      | 2.00      |
| 10             | 0        | 1  | 0  | 1  | 1      | 1  | 1  | 0  | 1      | 1  | 0  | 0  | 1      | 1  | 0  | 1 | 2             | 3      | 2      | 3      | 2.50      |
| ผลรวมค่าเฉลี่ย |          |    |    |    |        |    |    |    |        |    |    |    |        |    |    |   |               |        |        | 2.28   |           |

หมายเหตุ d1 = รอยตำหนิประเภทรอยด่าง, d2 = รอยตำหนิประเภทลายเส้น  
d3 = รอยตำหนิประเภทรอยไหม้, d4 = รอยตำหนิประเภทรอยขุบ

#### 4.4 สรุปผลการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโม

จากข้อมูลการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมมีจำนวนรอยตำหนิเกิดขึ้นที่ชิ้นส่วนไดนาโมเฉลี่ยประมาณ 30 รอยตำหนิ หลังจากหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล สรุปได้ว่า กระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมที่ใช้เงื่อนไขการทดลองที่กำลังในการฉีด เท่ากับ 600 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความเร็วในการฉีด เท่ากับ 120 มิลลิเมตรต่อวินาที ระยะเวลาในการฉีด 8 วินาที ระยะเวลาหล่อเย็น 5 วินาที อุณหภูมิในการฉีดเท่ากับ 220 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแม่พิมพ์ เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส เกิดจำนวนรอยตำหนิขึ้นที่ชิ้นส่วนไดนาโมจักรยาน เฉลี่ยจำนวน 10 รอยตำหนิ ซึ่งจำนวนรอยตำหนิลดลง คิดเป็นร้อยละ 66.67 จึงนำเงื่อนไขดังกล่าวไปใช้ในการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการฉีดพลาสติกชิ้นส่วนไดนาโมได้ พิจารณาจากตารางที่ 4.17 จำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นในแต่ละโพรงของ

แม่พิมพ์มีจำนวนอัตราการเกิดรอยตำหนิใกล้เคียงกัน สรุปได้ว่าอัตราการเกิดจำนวนรอยตำหนิไม่ได้ขึ้นกับตำแหน่งของโพรงแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก

ตารางที่ 4.17 ตารางวิเคราะห์ผลรอยตำหนิที่เกิดขึ้นแต่โพรงของแม่พิมพ์

| Source | DF  | SS     | MS   | F    | p     |
|--------|-----|--------|------|------|-------|
| Cavity | 3   | 0.07   | 0.02 | 0.01 | 0.998 |
| Error  | 146 | 226.89 | 1.55 |      |       |
| Total  | 146 | 226.96 |      |      |       |

S = 1.247      R-Sq = 0.03 %      R-Sq (adj) = 0.00 %

ข้อมูลในตารางที่ 4.18 ข้อมูลเปรียบเทียบจำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนไดนาโม พบว่าจำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นหลังการวิจัยมีจำนวนลดลงจาก 30 รอยตำหนิเหลือเพียง 2 รอยตำหนิ หรือลดลงร้อยละ 93.33 และในตารางที่ 4.19 ข้อมูลเปรียบเทียบจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนไดนาโม โดยเก็บข้อมูลก่อนการดำเนินการวิจัยเปรียบเทียบกับผลหลังการวิจัยพบว่าจำนวนชิ้นงานเสียลดลงจากก่อนการวิจัยคือจำนวน 3,160 ชิ้นเหลือจำนวนงานเสียเพียง 486 ชิ้น หรือ ลดลงร้อยละ 84.62

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลเปรียบเทียบจำนวนรอยตำหนิที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนไดนาโม

| สภาพปัญหา           | จำนวนรอยตำหนิ (รอย) |              | จำนวนรอยตำหนิ | ร้อยละจำนวน  |
|---------------------|---------------------|--------------|---------------|--------------|
|                     | ก่อนการวิจัย        | หลังการวิจัย | ลดลง (รอย)    | รอยตำหนิลดลง |
| 1. ชิ้นงานมีรอยไหม้ | 4                   | 0            | 4             | 100.00       |
| 2. ชิ้นงานมีลายเส้น | 9                   | 1            | 8             | 88.89        |
| 3. ชิ้นงานมีรอยขูด  | 4                   | 0            | 4             | 100.00       |
| 4. ชิ้นงานมีรอยค่าง | 13                  | 1            | 12            | 92.31        |
| รวม                 | 30                  | 2            | 28            | 93.33        |

หมายเหตุ ข้อมูลหลังการวิจัยเก็บข้อมูลจากการทดสอบเมื่อมีการปรับแก้ไขแม่พิมพ์

ตารางที่ 4.19 ข้อมูลเปรียบเทียบจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นของชิ้นส่วนไดนาโม

| สภาพปัญหา            | จำนวนของเสีย (ชิ้น) |              | จำนวนของเสีย<br>ลดลง (ชิ้น) | ร้อยละจำนวน<br>ของเสียลดลง |
|----------------------|---------------------|--------------|-----------------------------|----------------------------|
|                      | ก่อนการวิจัย        | หลังการวิจัย |                             |                            |
| 1. ชิ้นงานมีรอยไหม้  | 1,736               | 74           | 1,662                       | 95.74                      |
| 2.. ชิ้นงานมีลายเส้น | 817                 | 196          | 621                         | 76.01                      |
| 3. ชิ้นงานมีรอยยุบ   | 392                 | 89           | 303                         | 77.30                      |
| 4. ชิ้นงานมีรอยค่าง  | 215                 | 127          | 88                          | 40.93                      |
| รวม                  | 3,160               | 486          | 2,674                       | 84.62                      |

หมายเหตุ เก็บข้อมูลจากการผลิตจำนวน 25,000 ชิ้น