

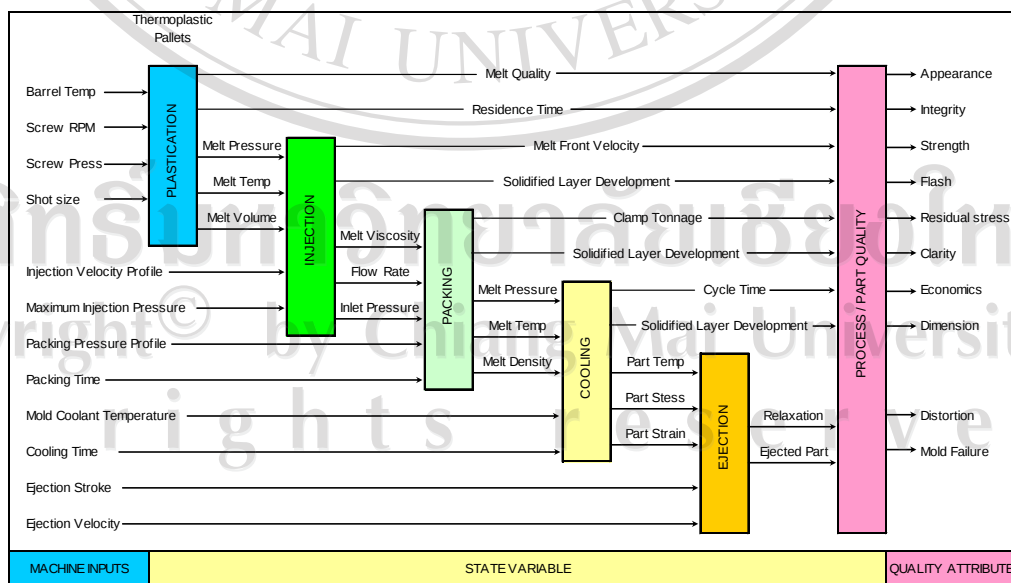
### บทที่ 3

#### วิธีการวิจัย

##### 3.1 ขั้นตอนในการวิจัย

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้องกับการฉีดพลาสติกและการออกแบบการทดลอง โดยศึกษาจากหนังสือ บทความ สื่ออิเล็กทรอนิกส์ ด้านเทคโนโลยีการฉีดพลาสติกและการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเช่น จากวารสาร Polymer Engineering and Science หรือ Quality Engineering หรือ หนังสือ Design and Analysis of Experiments เป็นต้น รวมทั้งการทบทวนงานวิจัยที่ใช้การออกแบบการทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการฉีดพลาสติกจากเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัยหรือองค์กรที่เผยแพร่งานวิจัยด้านนี้

3.1.2 ระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องจากการทบทวนงานวิจัยที่ใช้การออกแบบการทดลอง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการฉีดพลาสติก จากงานวิจัยของ David Kazmer, Kourosh Danai (1999) ได้ศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการฉีดพลาสติก พบว่าปัจจัยทั้งหมดมีถึง 34 ปัจจัย ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการฉีดพลาสติก

จึงมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาหาปัจจัยวิกฤตที่มีผลต่อคุณภาพ (Critical to Quality) ดังในงานวิจัยของ Shaik Mohamed et al (2004), Tony Lin (2003), Mark J. Anderson (2007), Peter Thyregod (2001) ที่พบว่า ปัจจัยวิกฤตที่มีผลต่อคุณภาพของการฉีดพลาสติกได้แก่ อุณหภูมิในการฉีด (Melt Plastic Temperature) แรงดันอัดแม่พิมพ์ (Packing Pressure Profile) ความเร็วในการฉีด (Injection Velocity Profile) และเวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time)

สำหรับแม่พิมพ์ที่มีหลายช่องแบบ David Kazmer, Philip Barkan (1997) ได้ระบุเพิ่มเติมว่าการควบคุมแรงดันในการฉีด (Injection Pressure) มีผลต่อคุณภาพการฉีดพลาสติกด้วย ซึ่ง P.Postawa, D. Kwiatkowski et al (2006), S. J. Liao et al (2004) ได้ศึกษาด้านเทคโนโลยีแม่พิมพ์เพิ่มเติมพบว่า อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Mold Coolant Temperature) และ เวลาที่ใช้ในการประกบแม่พิมพ์ (Packing Time) เป็นปัจจัยวิกฤตที่มีผลต่อคุณภาพ โดยเฉพาะความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้ ใช้วัตถุดิบเม็ดพลาสติกและเครื่องฉีดพลาสติกที่หลากหลาย จึงไม่สามารถใช้เป็นมาตรฐานในการผลิตสำหรับบริษัทที่ทำการศึกษาค้นคว้าอิสระในครั้งนี้ แต่สามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติมได้ ผู้วิจัยจึงได้คัดเลือกปัจจัยเพื่อนำมาศึกษาทั้งสิ้น 7 ปัจจัย ดังนี้

- (1) A : อุณหภูมิพลาสติกหลวก่อนฉีด (Melt Plastic Temperature)
- (2) B : อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Mold Coolant Temperature)
- (3) C : แรงดันอัดแม่พิมพ์ (Packing Pressure Profile)
- (4) D : เวลาในการหล่อเย็น (Cooling Time)
- (5) E : แรงดันในการฉีด (Injection Pressure)
- (6) F : เวลาที่ใช้ในการประกบแม่พิมพ์ (Packing Time)
- (7) G : ความเร็วในการฉีด (Injection Velocity Profile)

ส่วนการกำหนดระดับของปัจจัยในการฉีดพลาสติก จะกำหนดตามเอกสารแนะนำของผู้ส่งมอบ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ช่วงการใช้งานเม็ดพลาสติก TPU จากเอกสารแนะนำของผู้ส่งมอบ

| ปัจจัย                         | ช่วงการใช้งานที่แนะนำ |
|--------------------------------|-----------------------|
| ความเร็วในการฉีด (g/min)       | 20 to 61              |
| แรงดันในการฉีด (MPa)           | 9.89 to 80.5          |
| อุณหภูมิพลาสติกหลวก่อนฉีด (°C) | 180 to 225            |
| อุณหภูมิแม่พิมพ์ (°C)          | 19.7 to 40.1          |

ปัจจัย A : อุณหภูมิพลาสติกเหลวก่อนฉีด แนะนำที่ 180 ถึง 225 องศาเซลเซียส แต่ผู้ศึกษาคัดเลือกระดับที่ 180 ถึง 220 องศาเซลเซียส เพื่อให้ง่ายต่อการแบ่งช่วง

ปัจจัย B : อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ แนะนำที่ 19.7 ถึง 40.1 องศาเซลเซียส ผู้ศึกษาคัดเลือกระดับที่ 20 ถึง 40 องศาเซลเซียส เพื่อให้ง่ายต่อการแบ่งช่วง

ปัจจัย E : แรงดันในการฉีด แนะนำที่ 9.89 ถึง 80.5 เมกะปาสกาล ผู้ศึกษาคัดเลือกระดับที่ 10 ถึง 80 เมกะปาสกาล เพื่อให้ง่ายต่อการแบ่งช่วง

ปัจจัย G : ความเร็วในการฉีด (Injection Velocity Profile) แนะนำที่ 20 ถึง 61 กรัมต่อนาที ผู้ศึกษาคัดเลือกระดับที่ 20 ถึง 60 กรัมต่อนาที เพื่อให้ง่ายต่อการแบ่งช่วง

จากคำแนะนำของวิศวกรฝ่ายผลิตที่มีประสบการณ์ ในการผลิตงานฉีดพลาสติกมาแล้วไม่ต่ำกว่า 5 ปี ได้กำหนดระดับของปัจจัยเพิ่มเติมจากการคำนวณระดับของปัจจัยที่ผู้ส่งมอบแนะนำกับขนาดของแม่พิมพ์ และขนาดของเครื่องฉีดพลาสติกได้ผลดังนี้ คือ

ปัจจัย C : แรงดันอัดแม่พิมพ์ กำหนดระดับที่ 200 ถึง 500 เมกะปาสกาล

ปัจจัย D : เวลาในการหล่อเย็น กำหนดระดับที่ 20 ถึง 50 วินาที

ปัจจัย F : เวลาที่ใช้ในการประกบแม่พิมพ์ กำหนดระดับที่ 25 ถึง 65 วินาที  
ดังนั้นสรุปการระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และกำหนดระดับของปัจจัย ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สรุปการกำหนดระดับของปัจจัยในการวิจัยก่อนปรับปรุง

| ปัจจัย | คำอธิบาย                                                   | ระดับสูง<br>(+1) | จุดกึ่งกลาง<br>(0) | ระดับต่ำ<br>(-1) |
|--------|------------------------------------------------------------|------------------|--------------------|------------------|
| A      | อุณหภูมิพลาสติกเหลวก่อนฉีด (Melt plastic temperature) (°C) | 220              | 210                | 180              |
| B      | อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Mold coolant temperature) (°C)   | 40               | 30                 | 20               |
| C      | แรงดันอัดแม่พิมพ์ (Packing pressure profile) (Mpa)         | 500              | 350                | 200              |
| D      | เวลาในการหล่อเย็น (Cooling time) (sec)                     | 50               | 35                 | 20               |
| E      | แรงดันในการฉีด (Injection pressure) (Mpa)                  | 80               | 45                 | 10               |
| F      | เวลาที่ใช้ในการประกบแม่พิมพ์ (Packing time) (sec)          | 65               | 45                 | 25               |
| G      | ความเร็วในการฉีด (Injection velocity profile) (g/min)      | 60               | 40                 | 20               |

แตเมื่อนำระดับที่กำหนดนี้ไปทำการทดลองเบื้องต้นพบว่า ผลิตภัณฑ์เกิดของเสียประเภทฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ (Short Shot) ดังภาพที่ 3.2 ซึ่งปัญหานี้ตามข้อมูลที่ระบุในการจัดการองค์ความรู้ (Knowledge Management) ของบริษัท มีสาเหตุจากอุณหภูมิของพลาสติกเหลวก่อนฉีด (ปัจจัย A) มีค่าต่ำเกินไป ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองเบื้องต้น ที่พบของเสียนี้ที่ระดับต่ำของปัจจัยดังกล่าว



ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างของเสียประเภทฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์

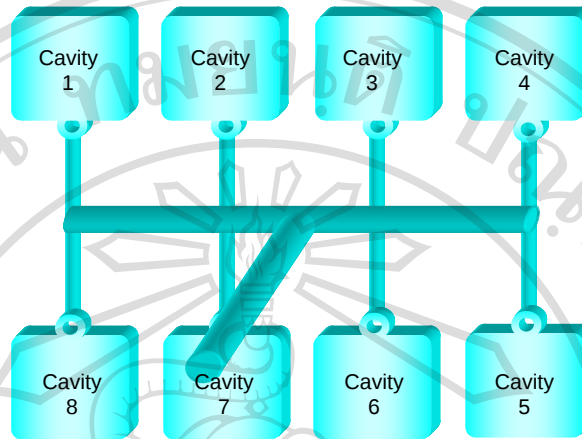
จึงปรับระดับของปัจจัยอุณหภูมิพลาสติกหลวก่อนฉีดใหม่ โดยเพิ่มอุณหภูมิของระดับต่ำและสูงขึ้นอีก 10 องศาเซลเซียส จากเดิมช่วง 180 ถึง 220 องศาเซลเซียสเป็น 190 ถึง 230 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สรุปการกำหนดระดับของปัจจัยในการวิจัยหลังปรับปรุง

| ปัจจัย | คำอธิบาย                                                  | ระดับสูง<br>(+1) | จุดกึ่งกลาง<br>(0) | ระดับต่ำ<br>(-1) |
|--------|-----------------------------------------------------------|------------------|--------------------|------------------|
| A      | อุณหภูมิพลาสติกหลวก่อนฉีด (Melt plastic temperature) (°C) | 230              | 220                | 190              |
| B      | อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Mold coolant temperature) (°C)  | 40               | 30                 | 20               |
| C      | แรงดันอัดแม่พิมพ์ (Packing pressure profile) (Mpa)        | 500              | 350                | 200              |
| D      | เวลาในการหล่อเย็น (Cooling time) (sec)                    | 50               | 35                 | 20               |
| E      | แรงดันในการฉีด (Injection pressure) (Mpa)                 | 80               | 45                 | 10               |
| F      | เวลาที่ใช้ในการประกบแม่พิมพ์ (Packing time) (sec)         | 65               | 45                 | 25               |
| G      | ความเร็วในการฉีด (Injection velocity profile) (g/min)     | 60               | 40                 | 20               |

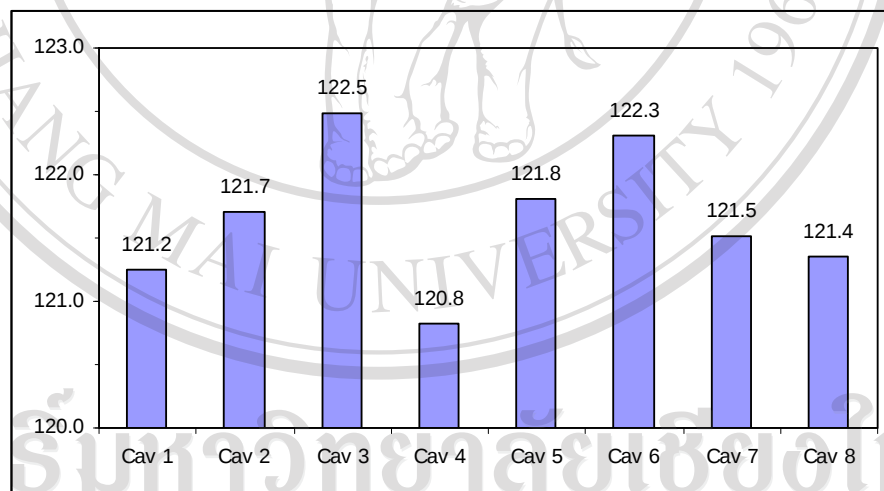
3.1.3 การลดความแตกต่างของค่าความต้านทานแรงดึงในชิ้นงาน จากงานวิจัยของ David Kazmer (1997) พบว่าในงานฉีดพลาสติกที่มีแม่พิมพ์หลายช่องแบบ (Multi-cavity Mold) จะมีความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน เนื่องจากการออกแบบแม่พิมพ์ที่มีช่องทางการไหลที่ไม่สมดุล ทำให้ความไม่สม่ำเสมอของพลาสติกหลวในแม่พิมพ์ จึงจำเป็นต้องทดลองและวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อแก้ไขปัญหาความแตกต่างของค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงาน จากงานวิจัยของ David Kazmer (1997) พบว่าในงานฉีดพลาสติกที่มีแม่พิมพ์หลายช่องแบบ (Multi-cavity Mold) จะมีความแตกต่างของคุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน เนื่องจากการออกแบบแม่พิมพ์ที่มีช่องทางการไหลที่ไม่สมดุล ทำให้ความไม่สม่ำเสมอของพลาสติกหลวในแม่พิมพ์ ผู้วิจัยจึงตรวจสอบหาความแตกต่างของค่าความต้านทาน

แรงดึงของชิ้นงาน ในแต่ละช่องแบบของแม่พิมพ์ที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งแม่พิมพ์ของผลิตภัณฑ์ป้ายปลอกคอสัตว์เลี้ยง (Pet's Collar Tag) ออกแบบให้ผลิตได้ 8 ชิ้น ต่อการฉีด 1 ครั้ง มีลักษณะดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ผลิตภัณฑ์ 1 ฉีด ตามแบบแม่พิมพ์

วิเคราะห์ข้อมูลความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานในแต่ละช่องแบบ ได้ผลดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 แผนภูมิแท่งแสดงค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยของแต่ละช่องแบบ

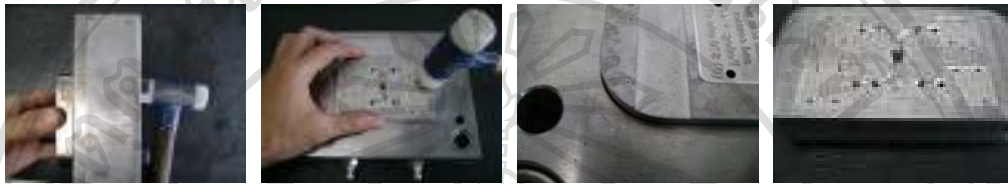
พบว่าตำแหน่งช่องแบบ (Cavity) ที่ 3 6 5 และ 2 มีค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยสูงที่สุดตามลำดับ และมากกว่าตำแหน่งที่ 7 8 1 และ 4 จึงนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาว่ามีอย่างน้อย 1 ช่องแบบที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือไม่

$H_0$  : ค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงจากทุกช่องแบบเท่ากัน

$H_1$  : มีค่าเฉลี่ยของความต้านแรงดึงอย่างน้อยหนึ่งช่องแบบต่างกัน

จำนวนช่องแบบที่ระยะคำนวณ  $x$  ขนาดควาล์วระบายความดัน

ช่องแบบที่มีค่าความต้านทานแรงดึงต่ำ (1 4 และ 8) จะปรับให้แคบลง 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนตำแหน่งที่มีค่าความต้านทานแรงดึงสูง (3 และ 6) จะปรับให้กว้างขึ้น 20 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 3.5 เพื่อปรับความดันของพลาสติกเหลวในช่องแบบแต่ละตำแหน่งมีความสม่ำเสมอมากขึ้น วิธีการปรับแต่งดังภาพที่ 3.6 ซึ่งหลังจากปรับแต่งแล้วจึงทดลองผลิตอีกครั้ง โดยฉีด 100 ซ็อต ก่อนเก็บข้อมูลความต้านทานแรงดึงจากผลิตภัณฑ์จำนวน 50 ซ็อต ได้ผลดังตารางที่ 3.5



ภาพที่ 3.6 การปรับแต่งแม่พิมพ์เพื่อลดความแตกต่างของค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงาน

ตารางที่ 3.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนในค่าความต้านทานแรงดึงแต่ละช่องแบบ หลังปรับปรุง

| Source     | DF  | SS      | MS    | F    | P     |
|------------|-----|---------|-------|------|-------|
| Subscripts | 7   | 2.819   | 0.403 | 0.51 | 0.828 |
| Error      | 392 | 310.333 | 0.792 |      |       |
| Total      | 399 | 313.152 |       |      |       |

S = 0.8898    R-Sq = 0.90%    R-Sq(adj) = 0.00%

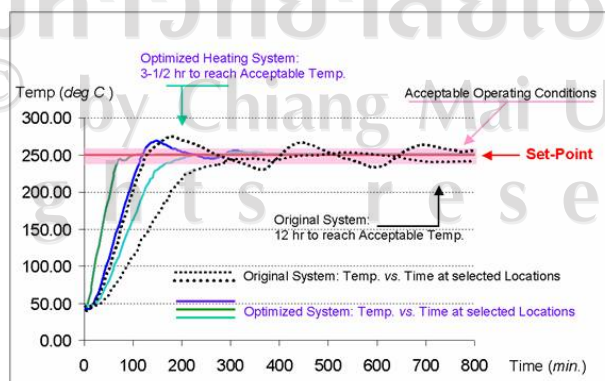
จะเห็นได้ว่า หลังจากปรับแต่งแม่พิมพ์ ค่าความต้านทานแรงดึงของช่องแบบทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (P-Value = 0.730 >  $\alpha$  = 0.05) จึงสามารถทำการทดลองและเก็บข้อมูลโดยขจัดปัจจัยรบกวน จากความแตกต่างของค่าความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานจากรูปแบบแม่พิมพ์ได้

3.1.4 ออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน (Fractional factorial)  $2^{7-3}_{IV}$  เพื่อคัดกรองเฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ กำหนดครีโหลชั้น (Resolution) เลือกเจเนอเรเตอร์ (Generator) และกำหนดการระบุความสัมพันธ์ (Defining Relation) โดยทำการทดลอง 16 ครั้ง และทดลองที่จุดกึ่งกลาง (Center point) 3 ครั้ง รวม 19 การทดลอง มีการทำซ้ำ (Replication) 2 ครั้ง รวมทั้งหมด 38 การทดลอง โดยแบ่งเป็น 2 บล็อก คือทำการทดลอง 2 วัน วันแรกทำการทดลองตามลำดับปฏิบัติการ (Run order) ที่ 1-19 วันที่สองทำการทดลองตามลำดับปฏิบัติการที่ 20 – 38 ดังตาราง 3.6

ตารางที่ 3.6 การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเชิงเศษส่วน (Fractional factorial)  $2^{7-2}_{IV}$

| ลำดับ<br>มาตรฐาน | ลำดับ<br>การทดลอง<br>ชุดที่ 1 | ลำดับ<br>การทดลอง<br>ชุดที่ 2 | จุด<br>กึ่งกลาง | อุณหภูมิ<br>พลาสติก<br>(A) | อุณหภูมิ<br>แม่พิมพ์<br>(B) | แรงดันยัด<br>(C) | เวลาหล่อ<br>เย็น<br>(D) | แรงดันฉีด<br>(E) | เวลายืด<br>แม่พิมพ์<br>(F) | ความเร็ว<br>การฉีด<br>(G) |
|------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------|------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1                | 19                            | 38                            | 1               | -                          | -                           | -                | -                       | -                | -                          | -                         |
| 2                | 9                             | 28                            | 1               | +                          | -                           | -                | -                       | +                | -                          | +                         |
| 3                | 18                            | 37                            | 1               | -                          | +                           | -                | -                       | +                | +                          | -                         |
| 4                | 7                             | 26                            | 1               | +                          | +                           | -                | -                       | -                | +                          | +                         |
| 5                | 12                            | 31                            | 1               | -                          | -                           | +                | -                       | +                | +                          | +                         |
| 6                | 1                             | 20                            | 1               | +                          | -                           | +                | -                       | -                | +                          | -                         |
| 7                | 6                             | 25                            | 1               | -                          | +                           | +                | -                       | -                | -                          | +                         |
| 8                | 13                            | 32                            | 1               | +                          | +                           | +                | -                       | +                | -                          | -                         |
| 9                | 16                            | 35                            | 1               | -                          | -                           | -                | +                       | -                | +                          | +                         |
| 10               | 15                            | 34                            | 1               | +                          | -                           | -                | +                       | +                | +                          | -                         |
| 11               | 3                             | 22                            | 1               | -                          | +                           | -                | +                       | +                | -                          | +                         |
| 12               | 2                             | 21                            | 1               | +                          | +                           | -                | +                       | -                | -                          | -                         |
| 13               | 5                             | 24                            | 1               | -                          | -                           | +                | +                       | +                | -                          | -                         |
| 14               | 11                            | 30                            | 1               | +                          | -                           | +                | +                       | -                | -                          | +                         |
| 15               | 10                            | 29                            | 1               | -                          | +                           | +                | +                       | -                | +                          | -                         |
| 16               | 14                            | 33                            | 1               | +                          | +                           | +                | +                       | +                | +                          | +                         |
| 17               | 4                             | 23                            | 0               | 0                          | 0                           | 0                | 0                       | 0                | 0                          | 0                         |
| 18               | 17                            | 36                            | 0               | 0                          | 0                           | 0                | 0                       | 0                | 0                          | 0                         |
| 19               | 8                             | 27                            | 0               | 0                          | 0                           | 0                | 0                       | 0                | 0                          | 0                         |

สาเหตุที่ต้องแบ่งการทดลองออกเป็น 2 บล็อก เพราะข้อจำกัดด้านเวลาเนื่องจากต้องรอให้  
การแกว่งตัวของค่าพารามิเตอร์ที่ตั้งค่าไว้ถึงจุดที่ยอมรับได้ ก่อนเก็บข้อมูลความต้านทานแรงดึงจะ  
ใช้เวลา 30 นาที ดังภาพที่ 3.7 โดยต้องเดินเครื่องฉีดเพื่อฉีดผลิตภัณฑ์ออกทั้ง 50 ซ็อต ซึ่งบล็อกจะ  
ป้องกันการรบกวนจากความแตกต่างของอุณหภูมิและความชื้นของแต่ละวันการทดลอง



ภาพที่ 3.7 กราฟแสดงการแกว่งของอุณหภูมิกับเวลา

ตารางที่ 3.7 ระยะเวลาในการรอเพื่อให้ถึงจุดที่ยอมรับได้ของแต่ละปัจจัย

| ปัจจัย                                     | รายละเอียด                                           |                   | ระดับสูง | จุดกึ่งกลาง | ระดับต่ำ |      |      |       |       |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------|----------|-------------|----------|------|------|-------|-------|
|                                            |                                                      |                   | (+1)     | (0)         | (-1)     |      |      |       |       |
| A                                          | อุณหภูมิพลาสติกหลวก่อนฉีด (Melt plastic temperature) | ( <sup>o</sup> C) | 230      | 210         | 190      |      |      |       |       |
| B                                          | อุณหภูมิหล่อเย็นแม่พิมพ์ (Mold coolant temperature)  | ( <sup>o</sup> C) | 40       | 30          | 20       |      |      |       |       |
| C                                          | แรงดันอัดแม่พิมพ์ (Packing pressure profile)         | (Mpa)             | 500      | 350         | 200      |      |      |       |       |
| D                                          | เวลาในการหล่อเย็น (Cooling time)                     | (sec)             | 50       | 35          | 20       |      |      |       |       |
| E                                          | แรงดันในการฉีด (Injection pressure)                  | (Mpa)             | 80       | 45          | 10       |      |      |       |       |
| F                                          | เวลาที่ใช้ในการประกบแม่พิมพ์ (Packing time)          | (sec)             | 65       | 45          | 25       |      |      |       |       |
| G                                          | ความเร็วในการฉีด (Injection velocity profile)        | (g/min)           | 60       | 40          | 20       |      |      |       |       |
| เวลาที่ในในการรอจนถึงจุดที่ยอมรับได้ (นาท) |                                                      |                   |          |             |          |      |      |       |       |
| ปัจจัย                                     | ± 10                                                 | ± 15              | ± 20     | ± 30        | ± 40     | ± 50 | ± 70 | ± 150 | ± 300 |
| A                                          | 5                                                    | 12                | 20       | 25          | 30       | 50   | -    | -     | -     |
| B                                          | 10                                                   | 15                | 20       | 30          | 40       | 50   | -    | -     | -     |
| C                                          | -                                                    | -                 | -        | -           | -        | 5    | 10   | 15    | 25    |
| D                                          | 2                                                    | 5                 | 7        | 10          | 12       | 15   | -    | -     | -     |
| E                                          | 2                                                    | 5                 | 6        | 10          | 12       | 16   | 20   | -     | -     |
| F                                          | 5                                                    | 8                 | 10       | 15          | 20       | 30   | -    | -     | -     |
| G                                          | 1                                                    | 3                 | 5        | 7           | 10       | 13   | -    | -     | -     |

3.1.5 ทดลองตามแผนการทดลองที่ออกแบบไว้ และเก็บข้อมูลจากผลการทดลอง

3.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญ และหารูปแบบความสัมพันธ์

- (1) การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยการพิจารณาค่าพี (P-Value) จากผลการประมวลผลข้อมูล และพิจารณาจากกราฟความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot Analysis)
- (2) การวิเคราะห์นัยสำคัญอิทธิพลของปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัย โดยวิเคราะห์ผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effect) เทียบกับอิทธิพลร่วมของปัจจัย (Interaction)
- (3) การวิเคราะห์อิทธิพลจากการจัดปัจจัยรบกวน (Blocks)

- (4) การกำหนดข้อสมมติฐานเกี่ยวกับรูปแบบความสัมพันธ์ (Hypothesized the Form) ซึ่งจะพิจารณาจาก ค่าความโค้ง (Curvature) และความมีนัยสำคัญของค่ากึ่งกลาง (Center Point) เพื่อพิจารณารูปแบบสมการต้นแบบหรือสมการถดถอยอยู่ในรูปสมการเส้นตรงหรือไม่ และจำเป็นที่จะต้องออกแบบการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ในรูปสมการลำดับสองต่อไปหรือไม่
- (5) ออกแบบการทดลองหรือทำการทดลองเพิ่ม หากผลการวิเคราะห์แสดงว่าจำเป็นที่จะต้องขยายการออกแบบหรือทำการทดลองเพิ่ม แล้วนำผลจากการทดลองเพิ่มเติมมาวิเคราะห์ ต่อไป
- (6) การสร้างสมการถดถอยของค่าความต้านทานแรงดึง ประกอบด้วย การกำหนดข้อสมมติฐานเกี่ยวกับรูปแบบความสัมพันธ์ (Hypothesized the Form) การวิเคราะห์ความถูกต้องของสมการต้นแบบ และ การตรวจสอบความเหมาะสมของสมการต้นแบบ (Model Adequacy Checking)
- (7) การหาสถานะที่เหมาะสมของปัจจัย ในการผลิตป้ายพลาสติกตัวเลี้ยง โดยการพิจารณาค่าพี (P-Value) ของแต่ละปัจจัย กราฟอิทธิพลหลัก (Main Effect Plot)
- (8) นำสมการไปพยากรณ์หาค่าที่ดีที่สุด โดยแทนค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลองลงในสมการถดถอย

3.1.7 นำผลที่ได้จากการทดลอง มาทดสอบในกระบวนการผลิตจริง และทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบ โดยทดสอบใน 1 ล็อตการผลิตจริง จำนวน 10,000 ชิ้น แล้ววัดค่าความต้านทานแรงดึง จำนวน 520 ชิ้น โดยวัดค่า 180 ชิ้นแรกทั้งหมด และสุ่มวัดค่า 8 ชิ้น จากทุก 200 ชิ้น

3.1.8 สรุปผลการศึกษา รวบรวมความรู้ที่ได้จากการศึกษาการใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมในการฉีดพลาสติก รวมทั้งระบุข้อจำกัด ปัญหา อุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการศึกษา พร้อมทั้งเสนอข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาวิจัยเรื่องนี้ต่อไปในอนาคต

### 3.2 วิธีการเก็บข้อมูล

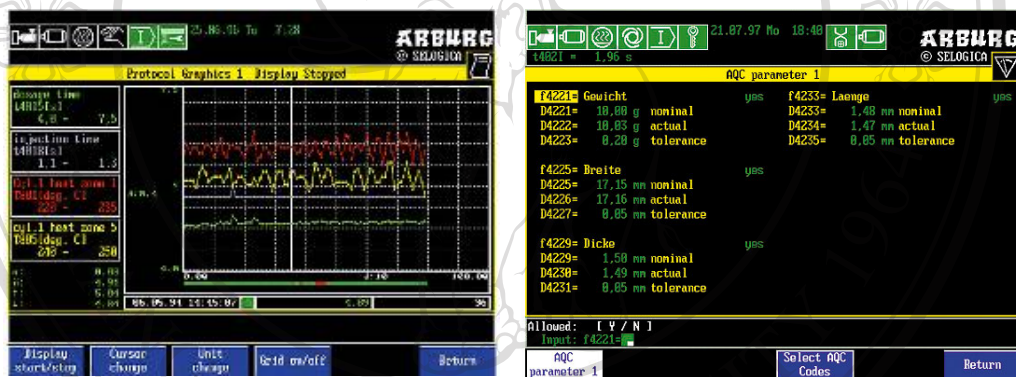
#### 3.2.1 การปรับตั้งและควบคุมเครื่องฉีดพลาสติก

ในการปรับตั้งสถานะเครื่องฉีดพลาสติกตามช่วงระดับที่กำหนดของแต่ละปัจจัย จะทำผ่านแผนควบคุมเครื่องแบบอัตโนมัติ ที่สามารถกำหนดระดับของปัจจัยได้ทุกปัจจัย ยกเว้นอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น แม่พิมพ์ ที่ต้องกำหนดผ่านเครื่องควบคุมอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น ดังภาพที่ 3.8 ในการปรับตั้งเครื่องจะใช้วิศวกรควบคุมการผลิตเพียงคนเดียวที่มีประสบการณ์ทำงานไม่ต่ำกว่า 3 ปี โดยผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษามีเคยมีการผลิตมาก่อน แต่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ลักษณะใกล้เคียงที่ใช้วัตถุดิบที่ต่างกัน



ภาพที่ 3.8 แผงควบคุมเครื่องฉีดพลาสติกแบบอัตโนมัติและเครื่องควบคุมอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น

ภาพที่ 3.9 เป็นการปรับตั้งสถานะของเครื่องเพื่อให้ค่าของแต่ละปัจจัยคงที่ โดยจำเป็นที่จะต้องฉีดผลิตภัณฑ์ออกทีละอย่างน้อย 30 ซีก จึงเก็บตัวอย่างเพื่อทำการวัดค่าความผันแปรทางแรงดึง



ภาพที่ 3.9 ตัวอย่างหน้าจอการปรับตั้งผ่านแผงควบคุมเครื่องฉีดพลาสติกแบบอัตโนมัติ สำหรับการปรับตั้งและการบำรุงรักษาแม่พิมพ์ จะใช้วิศวกรเครื่องมือเพียงคนเดียวที่มีประสบการณ์การทำงานไม่ต่ำกว่า 3 ปี ดังภาพที่ 3.10



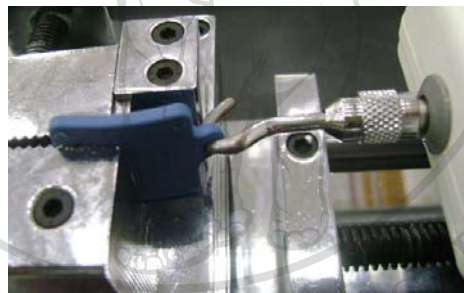
ภาพที่ 3.10 การปรับตั้งแม่พิมพ์และการบำรุงรักษาแม่พิมพ์

### 3.2.2 การวัดค่าความต้านทานแรงดึง

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความต้านทานแรงดึง เป็นเครื่องวัดค่าความต้านทานแรงดึง Sundoo รุ่น SH-500 ดังภาพที่ 3.11 ที่มีช่วงการวัดตั้งแต่ 0 ถึง 500 นิวตัน ผ่านการสอบเทียบโดยส่งไปยังห้องปฏิบัติการสอบเทียบของบริษัทรับสอบเทียบเครื่องมือปีละครั้ง การวัดค่าความต้านทานแรงดึงจะวัดตรงหัวของผลิตภัณฑ์ตามข้อกำหนดที่ตกลงกับลูกค้า ที่กำหนดให้ไม่ต่ำกว่า 120 นิวตัน ส่วนวิธีการวัดจะทำดังภาพที่ 3.12

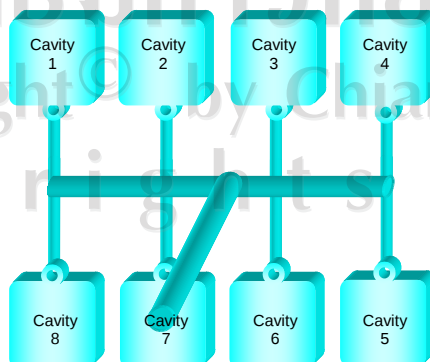


ภาพที่ 3.11 เครื่องวัดค่าความต้านทานแรงดึง Sundoo รุ่น SH-500



ภาพที่ 3.12 การวัดค่าความต้านทานแรงดึงของผลิตภัณฑ์

การวัดค่าความต้านทานแรงดึงจะวัดค่าจากทุกช่องแบบของแต่ละซี่ด โดยผลิตภัณฑ์ที่ศึกษามีทั้งหมด 8 ช่องแบบดังภาพที่ 3.13 โดยมีหมายเลขกำกับจากแม่พิมพ์ แล้วนำค่าที่วัดได้จากแต่ละช่องแบบ มาหาค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงของ 1 ซี่ดจากแต่ละสภาวะ



ภาพที่ 3.13 หมายเลขช่องแบบของผลิตภัณฑ์ 1 ซี่ด

สำหรับพนักงานที่ทำการวัดค่าความต้านทานแรงดึง ใช้พนักงานเพียงคนเดียว โดยผ่านการอบรมวิธีการทำงานที่ถูกต้องตามระเบียบวิธีการทำงาน และมีประสบการณ์การทำงานไม่น้อยกว่า 2 ปี รวมทั้งผ่านการประเมินผลตามการวิเคราะห์ระบบการวัดในหัวข้อความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) อีกด้วย

### 3.2.3 การควบคุมปัจจัยอื่นที่อาจส่งผลต่อการทดลอง มีดังต่อไปนี้

- (1) ใช้วัตถุดิบชนิดเดียว จากล็อตการผลิตเดียวกัน
- (2) อบวัตถุดิบเพื่อควบคุมความชื้น ใช้อุณหภูมิและเวลาเท่ากัน จากเครื่องเดียวกัน
- (3) ใช้วิศวกรควบคุมการผลิตคนเดียวกัน และช่างดูแลแม่พิมพ์คนเดียวกัน
- (4) ใช้เครื่องฉีดพลาสติกเครื่องเดียวกัน
- (5) ใช้ผู้วัดค่าความต้านทานแรงดึงคนเดียวกัน จากเครื่องวัดค่าเครื่องเดียวกัน
- (6) ควบคุมอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส
- (8) ควบคุมอัตราส่วนผสมวัตถุดิบนำกลับมาใช้ใหม่ (Regrind Material) เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์