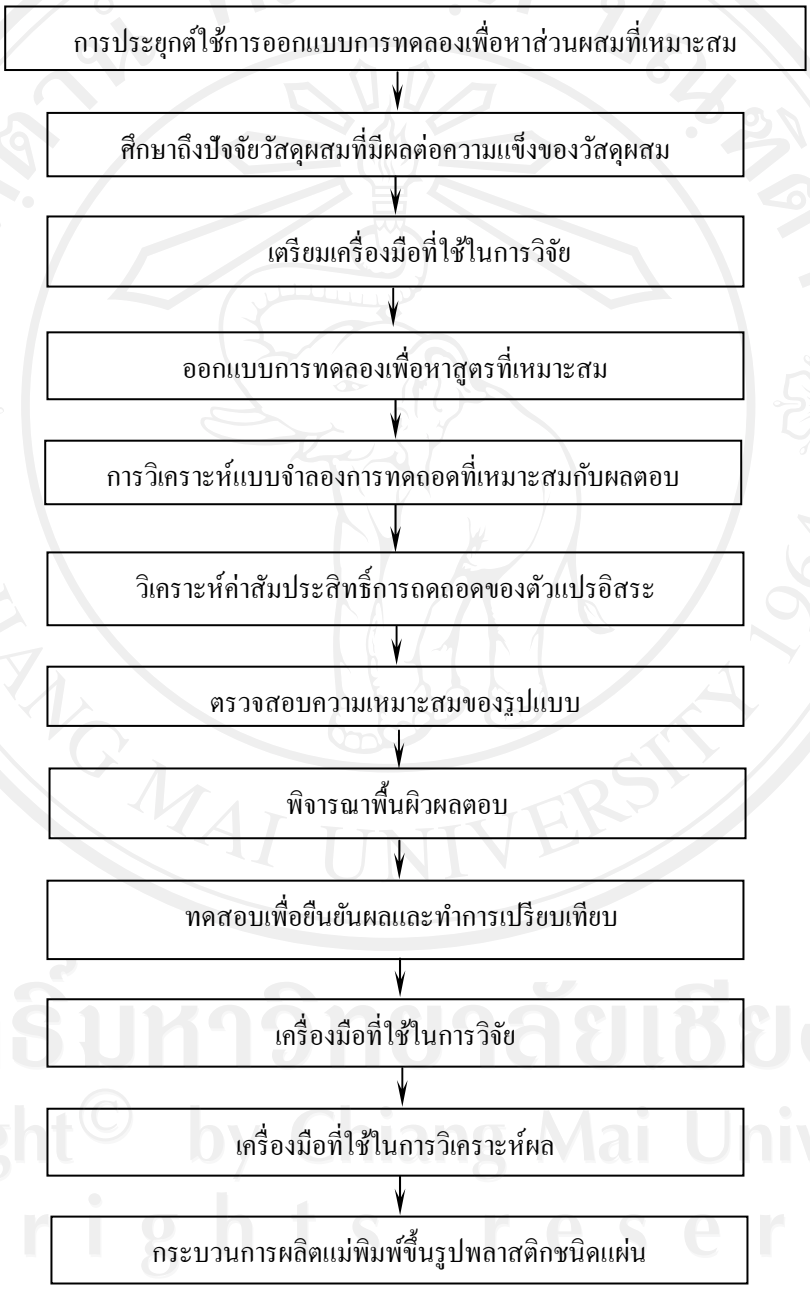
บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

ในวิธีดำเนินงานวิจัย จะแสดงขั้นตอนดำเนินการวิจัยแสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3-1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โครงงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการออกแบบแบบรวมส่วนผสมกระบวนการ (Combined Mixture-Process Design) มาใช้เป็นเครื่องมือในการพัฒนาหาส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยความร้อนของพลาสติกแผ่น ซึ่งผู้วิจัยทำการวางแผนวิธีดำเนินการวิจัยอย่างเป็นลำดับขั้นตอน ดังนี้

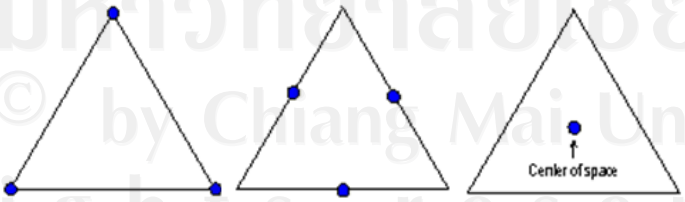
3.1 การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยความร้อนของพลาสติกแผ่น

3.1.1 ศึกษาถึงปัจจัยวัสดุผสมที่มีผลต่อค่าความแข็งของวัสดุผสม

ในการวิเคราะห์เบื้องต้นของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าความแข็งของวัสดุผสมได้พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบกับค่าความแข็ง ได้แก่ เรซินซึ่งมีผลทำให้การเกาะยึดของโครงสร้างมีความแข็ง สามารถแปรรูปด้วยเครื่องจักรกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ อลูมิเนียมมีคุณสมบัติในการยึดเหนี่ยวโครงสร้างให้มีความแข็ง ทัลคัมมีคุณสมบัติที่ทนความร้อนทำให้เรื่องของการหดตัวของวัสดุมีเปอร์เซ็นต์ที่ไม่มากนัก อุณหภูมิในการอบวัสดุผสมมีผลต่อค่าความแข็งเช่นกัน เพราะอุณหภูมิที่ต่างกันย่อมทำให้ค่าความแข็งไม่เท่ากัน และในเรื่องของระยะเวลาในการเซตตัวนั้นก็มีผลต่อค่าความแข็งเช่นกัน

3.1.2 ออกแบบการทดลองเพื่อหาสูตรที่เหมาะสมในการหาส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยความร้อนของพลาสติกแผ่นให้มีค่าความแข็งมากที่สุด

จากการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็ง คือ เรซิน อลูมิเนียม ทัลคัม อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเซ็ตตัว จากนั้นผู้วิจัยนำปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยมาออกแบบการทดลองด้วยวิธีการออกแบบ แบบรวมส่วนผสมและกระบวนการ โดยส่วนผสม สูตรที่ได้เกิดจากการกำหนดตำแหน่งของจุดที่ใช้ทำการทดลอง ได้แก่ ตำแหน่งที่จุดสูงสุด (Vertex) ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของขอบ (Center of Edge) และตำแหน่งจุดศูนย์กลางรวม (Overall centroid)



รูปที่ 3-2 แสดงจุดที่ทำการคัดเลือก (Candidate Point) สำหรับวิธีการออกแบบแบบรวมส่วนผสมและกระบวนการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยทำการผสมวัสดุส่วนผสม และทิ้งระยะเวลาให้เกิดความแข็งแรง เพื่อทำการทดสอบหาค่าความแข็งที่เหมาะสม

3.1.3 วิเคราะห์แบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสมกับผลตอบ

1) ทดสอบความมีนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและเซตของตัวแปรถดถอยที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยพิจารณาสมมติฐานที่เหมาะสมของแต่และแบบ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงแบบจำลองการถดถอยและสมมติฐานที่ใช้สำหรับวิธีการออกแบบแบบรวมส่วนผสมและกระบวนการ

แบบจำลองการถดถอย	**สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ**
Linear	H_o: $ß_1 = ß_2 = ß_3 = ß$ H_1: At least one equality is false
2FI (two-factor interaction terms)	H_o: $ß_0 = ß_1 = ß_2 = ß_3 = ß_{12} = ß_{13} = ß_{23} = 0$ H_1: At least one equality is false
Quadratic	H_o: $ß_1 = ß_2 = ß_3 = ß$, $ß_{12} = ß_{13} = ß_{23} = 0$ H_1: At least one equality is false
Special Cubic	H_o: $ß_1 = ß_2 = ß_3 = ß$, $ß_{12} = ß_{13} = ß_{23} = ß_{123} = 0$ H_1: At least one equality is false
Cubic	H_o: $ß_1 = ß_2 = ß_3 = ß$, $ß_{12} = ß_{13} = ß_{23} = ß_{123} = ß_{12(1-2)} = ß_{13(1-3)} = ß_{23(2-3)} = 0$ H_1: At least one equality is false

พิจารณาจากค่า P-value

ถ้า $P \geq 0.05$: ยอมรับ H_0 หมายความว่า ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรถดถอยกับผลตอบ

ถ้า $P < 0.05$: ปฏิเสธ H_0 หมายความว่า มีตัวแปรถดถอยอย่างน้อยหนึ่งตัว มีความสัมพันธ์กับผลตอบ แสดงว่าสมการถดถอยที่ประมาณได้มีประโยชน์ต่อการทำนายค่าผลตอบ

2) ทดสอบ Lack of Fit

การทดสอบ Lack of Fit เป็นการทดสอบว่าฟังก์ชันถดถอยหรือแบบจำลองการถดถอยที่ใช้มีความเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 95% โดยสมมติฐานการทดสอบคือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

H_0: แบบจำลองการถดถอยเหมาะสมกับข้อมูล

H_1: แบบจำลองการถดถอยไม่เหมาะสมกับข้อมูล

พิจารณาจากค่า P-value

ถ้า $P \geq 0.05$: ยอมรับ H_0 หมายความว่า แบบจำลองการถดถอยมีความเหมาะสมกับข้อมูล

ถ้า $P < 0.05$: ปฏิเสธ H_0 หมายความว่า แบบจำลองการถดถอยไม่มีความเหมาะสมกับข้อมูล

3) วิเคราะห์ผลทางสถิติของแต่ละแบบจำลองพิจารณาค่าดังต่อไปนี้

3.1) ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของการประมาณค่าหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า Y รอบเส้นถดถอย คำนวณได้จาก

$$\text{Std. Dev.} = \sqrt{MSE} \qquad \text{(MSE; Residual Mean Square)} \qquad \text{.....(1)}$$

ดังนั้น ควรพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานที่มีค่าต่ำ

3.2) ค่าที่แสดงสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของความแปรผันทั้งหมด (R-Squared : R^2) ใน Y อธิบายโดยความแปรผันใน X หรืออธิบายโดยความสัมพันธ์ระหว่าง X กับ Y ดังนั้นจึงเป็นค่าที่ใช้วัดว่าสมการที่ประมาณเหมะสมกับข้อมูลเพียงไร ถ้า R^2 มีค่ามากขึ้น แสดงว่าสมการถดถอยที่ประมาณเหมาะสมกับข้อมูลมากขึ้น คำนวณได้จากสมการ

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}, \; 0 \leq R^2 \leq 1 \qquad \text{..... (2)}$$

3.3) ค่าที่แสดงสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ที่นำองศาอิสระมาพิจารณา (Adjusted R-Squared : Adj-R^2) คือ ที่ตัวแปรอิสระ X มีส่วนในการอธิบายความผันแปรทั้งหมดของ Y ซึ่งเป็นค่าวัดว่ารูปแบบเหมาะสมกับข้อมูลอย่างไร โดยการนำความเป็นองศาอิสระ (Degree of freedom) มาพิจารณาด้วย คำนวณได้จากสมการ

$$Adj - R^2 = 1 - \frac{SSE/(n-k-1)}{SST/(n-1)}, \; 0 \leq \text{Adj-}R^2 \leq 1 \qquad \text{.....(3)}$$

โดยทั่วไปค่า R^2 จะสูงขึ้น เมื่อตัวแปรอิสระเพิ่มเข้ามาในสมการถดถอย ค่า SST ไม่เปลี่ยนแปลง แต่โดยทั่วไป SSR จะสูง และ SSE จะต่ำลง ดังนั้น R^2 จึงมีค่าสูงขึ้น การเพิ่มตัวแปรอิสระในสมการถดถอย มักมีผลทำให้มีตัวแปรอิสระมากเกินไปในสมการถดถอย และอาจทำให้สมการถดถอยมีรูปแบบที่เลวลงแทนที่จะดีขึ้น ดังนั้นจึงนิยมเลือก Adj-R^2 มาใช้ในการวิเคราะห์มากกว่า ซึ่งค่า Adj-R^2 จะมีค่าที่ต่ำกว่า R^2 เล็กน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4) ค่าที่แสดงสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ที่ได้จากการทำนาย (Predicted R-Squared : Pred-R^2) คือ ที่ตัวแปรอิสระ X มีส่วนในการอธิบายความผันแปรทั้งหมดของ Y ที่ได้จากการทำนาย คำนวณได้จากสมการ

$$Pred - R^2 = 1 - \frac{PRESS}{SS_{total}} \quad .....(4)$$

สำหรับค่า Adjusted R-Squared และ Predicted R-Squared ควรมีค่าไม่เกิน 0.20 ถ้าเกิน 0.20 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลอาจมีปัญหา ให้สังเกตจากส่วนตกค้างที่มีค่ามากกว่าค่าอื่นมาก (Outlier) ควรพิจารณาว่าควรแปลงรูปข้อมูล หรือพิจารณาจากลำดับพหุนาม (Polynomial)

3.5) ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนตัดออก (Predicted Residual Error Sum of Square : PRESS) คือ เป็นการวัดว่าแบบจำลองมีความเหมาะสมกับจุดที่ทำการออกแบบไว้หรือไม่แบบจำลองการถดถอยที่เหมาะสมจะเป็นแบบจำลองที่มีค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนต่ำ คำนวณได้จากสมการ

$$PRESS = \sum (\frac{e_i}{1 - h_{ii}})^2 \quad .....(5)$$

3.1.4 วิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระแต่ละตัวในแบบจำลองที่เลือก

เป็นการทดสอบที่ช่วยตรวจสอบคุณค่าของตัวแปรอิสระแต่ละตัวที่อยู่ในรูปแบบถดถอยที่เลือกไว้ โดยการทดสอบว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม Y โดยสมมติฐานการทดสอบคือ

$H_o: ß_j = 0$

$H_1: ß_j \neq 0$

พิจารณาค่า P-value

ถ้า $P \geq 0.05$: ยอมรับ H_0 หมายความว่า ตัวแปรอิสระ X_j ไม่มีความสัมพันธ์กับผลตอบ

ถ้า $P < 0.05$: ปฏิเสธ H_0 หมายความว่า ตัวแปรอิสระ X_j มีความสัมพันธ์กับผลตอบ

กรณีที่ตัวแปรอิสระ X_j ไม่มีความสัมพันธ์กับผลตอบ ให้ตัดตัวแปรนั้นออกจากแบบจำลองการถดถอยแล้วทำการวิเคราะห์หาแบบจำลองการถดถอยใหม่ที่มีความเหมาะสมต่อการสร้างสมการถดถอยของผลตอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1.5 การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบ (Diagnostics)

การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

1) การตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual Analysis)

วิธีแบบง่ายและได้ผลสำหรับการตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบการถดถอย คือ การตรวจสอบโดยค่าความคลาดเคลื่อน (Residuals)

การตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อน (Residual e_i) คือค่าความแตกต่างระหว่างค่าสังเกต Y_i และค่าประมาณ Y_i บนเส้นถดถอย (Fitted or Predicted value)

$$e_i = Y_i - \hat{Y}_i \quad ,i = 1,2,\ldots,n \qquad \ldots..(6)$$

การตรวจสอบคุณสมบัติของรูปแบบการถดถอยจะใช้วิธีวิเคราะห์กราฟของส่วนตกค้าง 2 วิธี ได้แก่ การพล็อตค่าความคลาดเคลื่อน (Residual Plots) เป็นการพล็อตของค่าความคลาดเคลื่อน (Residuals) เป็นแผนภาพกระจายคู่กับค่าประมาณบนเส้นถดถอย (fitted value) Y_i และเวลาที่เกิดค่าสังเกต ควรมีลักษณะกระจายแบบสุ่ม อีกวิธีคือการพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plots) ของค่าความคลาดเคลื่อนคู่กับค่าคาดหวัง (expected values) ของมัน โดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก ถ้าพล็อตได้รูปร่างใกล้เคียงเส้นตรง แสดงว่าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติ

2) การตรวจสอบค่าผิดปกติเนื่องจากค่าของตัวแปรอิสระ

เป็นการสังเกตค่าที่มีอิทธิพลที่มีผลกระทบต่อการประมาณสมการถดถอย ค่าสังเกตที่เป็นค่าสุดขีด (Extreme value) สำหรับตัวแปรอิสระ เรียกว่า จุดที่เพิ่มขึ้นสูงสุด (high leverage) พิจารณาจากค่า h_{ii} โดยค่า h_{ii} หรือค่าที่เพิ่มขึ้น (leverage) ของค่าสังเกตที่ i คำนวณได้จากสมการ

$$h_{ii} = \frac{1}{n} + \frac{(X_i - \bar{X})^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \qquad \ldots..(7)$$

จากสมการ (3.7) ถ้า X_i มีค่าต่างจากค่าเฉลี่ยมาก ($\bar{X}$) มาก ค่า h_{ii} จะมีค่ามากขึ้นด้วย ดังนั้นถ้าค่า $h_{ii} \geq \frac{2p}{n}$, p คือจำนวนพารามิเตอร์ในสมการถดถอย (p = k + 1 เมื่อ k คือจำนวนตัวแปรอิสระในสมการถดถอย) และ n คือ จำนวนการทดลอง พิจารณาได้ว่าค่าไม่ปกติสำหรับตัวแปรอิสระ และระบุได้ว่าเป็นจุดที่เพิ่มขึ้นสูงสุด

3) การตรวจสอบค่าผิดปกติเนื่องจากค่าของตัวแปรตาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นการวัดว่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าที่ได้จริงเบี่ยงเบนจากค่าทำนายเท่าไหร่ เพื่อหาส่วนตกค้างที่มีค่ามากกว่าค่าอื่น (Outlier) จะพิจารณาค่าผิดปกติเนื่องจากค่าของตัวแปรตามได้จากค่าสถิติ ได้แก่ ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานที่ i (Standardized residual),d_i หรือเรียกว่า ออทิเออร์ (Outlier) และความคลาดเคลื่อนปรับแล้วที่ i (Studentized residual), r_i

- *ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานที่ i (Standardized residual),d_i หรือออทิเออร์ (Outlier)*

$$d_i = \frac{e_i}{\sqrt{MSE}} \qquad \text{.....(8)}$$

- *-ค่าความคลาดเคลื่อนปรับแล้วที่ i (Studentized Residuals), r_i*

$$r_i = \frac{e_i}{\sqrt{\hat{\sigma}^2 (1-h_{ii})}}, \text{ i = 1,2,…,n} \qquad \text{.....(9)}$$

ค่าสถิติ d_i และ r_i ต่างมีการแจกแจงแบบ t ที่องศาแห่งความอิสระ n-k-1 ดังนั้นเกณฑ์การพิจารณาว่าค่าสังเกตที่สงสัยเป็นค่าที่ผิดปกติเนื่องจากค่าของตัวแปรตามหรือไม่ได้จากการพิจารณาช่วงวิกฤต $|d_i| \geq t_{\alpha/2,n-k-1}$ หรือ $|r_i| \geq t_{\alpha/2,n-k-1}$(ตารางที่ 1ข. ภาคผนวก ข) หรือกำหนดค่าควบคุมจำกัด (Control Limits) โดยในโปรแกรม Design-Expert กำหนดค่าควบคุมจำกัดเท่ากับ ± 3.5 หากค่า d_i มากกว่าช่วงกำหนดควบคุม ข้อมูลนั้นเป็นค่าผิดปกติเนื่องจากตัวแปรตาม

4) การตรวจสอบค่าที่มีอิทธิพล

ค่าที่มีอิทธิพลเป็นค่าผิดปกติที่มีผลทำให้เส้นการถดถอยเบี่ยงเบนไปจากกรณีปกติหรือกรณีที่ไม่มีค่าที่มีอิทธิพล ค่าที่มีอิทธิพลที่เกิดขึ้นมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่คำนวณได้เปลี่ยนไป ดังนั้นหากทราบว่ามีค่าผิดปกติเนื่องจากค่าของตัวแปรอิสระหรือค่าของตัวแปรตามควรพิจาณาต่อไปว่าค่าผิดปกตินั้นเป็นค่าที่มีอิทธิพลหรือไม่ อย่างไรก็ตามค่าผิดปกติอาจจะเป็นค่าที่มีอิทธิพลหรือไม่ก็ได้ เพื่อให้การตรวจสอบค่าสังเกตที่มีอิทธิพลถูกต้องยิ่งขึ้น พิจารณาจากค่าคุกดิสแทนต์ (Cook's Distance) D_i คำนวณได้จาก

$$D_i = \frac{e_i^2}{(k+1)MSE}\left(\frac{h_{ii}}{(1-h_{ii})^2}\right) \qquad \text{.....(10)}$$

เมื่อ

k คือ จำนวนตัวแปรอิสระ

MSE คือ ความแปรปรวนของการประมาณค่า (คำนวณจากข้อมูล n ค่า)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

h_{ii} คือ ค่า leverage ของค่าสังเกตที่ i (คำนวณจากข้อมูล n ค่า)

คุกดิสแทนต์ (Cook's Distance : D_i)เป็นค่าที่ใช้วัดความแตกต่างระหว่างสัมประสิทธิ์การถดถอย ที่ประมาณจากข้อมูลทุกตัวในตัวอย่าง และสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ประมาณจากข้อมูลทุกตัวยกเว้นค่าสังเกตที่ i ดังนั้นถ้า $D_i > F_{0.5,p,n-p}$ เมื่อ p คือจำนวนพารามิเตอร์ในสมการถดถอย (ตารางที่ 2ข. ภาคผนวก ข) พิจารณาได้ว่าค่าสังเกตนั้นมีอิทธิพล แต่เนื่องจากค่าของตารางโดยทั่วไปมีค่าใกล้ 1 อาจพิจารณาได้ว่าถ้า $D_i > 1$ เป็นค่าสังเกตนั้นมีอิทธิพล ถ้าข้อมูลมีค่าสังเกตเป็นค่าผิดปกติเนื่องจากตัวแปรอิสระหรือตัวแปรตาม แต่ไม่เป็นค่าสังเกตที่มีอิทธิพล แสดงว่าค่าผิดปกตินั้นเป็นค่าจริงตามธรรมชาติของข้อมูล ให้นำมาวิเคราะห์ด้วย

หลังจากตรวจสอบค่าสังเกตที่มีอิทธิพล เมื่อข้อมูลมีค่าสังเกตที่มีอิทธิพล จะต้องค้นหาคำอธิบายที่เป็นไปได้ เช่น ถ้าค่านั้นอาจเกิดจากการวัดผิด หรือจดบันทึกผิด ให้แก้ไขโดยการตัดข้อมูลนั้นทิ้ง แต่ถ้าค่าสังเกตนั้นเป็นค่าถูกต้อง ชี้ให้เห็นว่าอาจเกิดจากกรณีที่รูปแบบการถดถอยเชิงเส้นไม่เหมาะสมกับข้อมูลทั้งหมด อาจต้องปรับเป็นฟังก์ชันกำลังสองหรือแบบอื่น ผู้ตรวจสอบต้องตัดสินใจ โดยใช้ข้อมูลที่หาได้และมีคำอธิบายที่พิจารณาว่าเป็นไปได้ว่าจะดำเนินการอย่างไรกับค่าสังเกตที่มีอิทธิพล ในกรณีที่ค่าสังเกตที่มีอิทธิพลเป็นค่าที่ถูกต้อง แต่ไม่สามารถหาคำอธิบายได้ วิธีการแก้ไขอีกวิธีคือการแปลงข้อมูล (Transformation)

3.1.6 พิจารณาพื้นผิวผลตอบ

เมื่อนำสมการถดถอยมาหาค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) โดยการสร้างแบบจำลองพื้นผิวผลตอบที่เหมาะสมจากสมการถดถอยที่ใช้ทำนายค่าผลตอบภายใต้เงื่อนไขของผลตอบให้อยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ ทำให้เกิดค่าผลตอบตามที่ต้องการ

3.1.7 ทดสอบเพื่อยืนยันผลและทำการเปรียบเทียบ

นำผลการทดลองที่ได้มาทำการผลิตพลาสติกชนิดแผ่น และจึงทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อหาค่าความแตกต่างของค่าผลตอบที่ได้จากการทดสอบจริงและค่าผลตอบที่ได้จากการทำนายที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยจะทำการทดสอบจริงเป็นจำนวน 1 ครั้ง จากนั้นทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าความแข็งจากสูตรเดียวกันจำนวน 10 ชิ้น และทำการวัดค่าความแข็งที่เกิดขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

1) เรซิน
2) ผงอลูมิเนียม
3) ผงทัลคัม

3.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต

1) เครื่องชั่งแบบดิจิตอล 3 ตำแหน่ง
2) ภาชนะใส่ส่วนผสมวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิด
3) ภาชนะตวงวัตถุดิบ
4) เครื่องกวนแบบข้อเหวี่ยง
5) แม่แบบกรอบสี่เหลี่ยม
6) อุปกรณ์เท ปาดส่วนผสม
7) กระดาษทรายละเอียด
8) เครื่องกัด (Milling Machine)
9) เครื่องกลึง (Lathe Machine)

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพ

1) เครื่องทดสอบความแข็งแบบกดมาตรฐานชอร์ดี (Shore D)
2) ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ
3) เวอร์เนียคาลิปเปอร์
4) ฟุตเหล็ก

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติ

3.3.1 โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านสถิติดีไซด์เอ็กเปิดส์เวอร์ชั่น 6.02 (Design-Expert 6.02) สำหรับการออกแบบการทดลองและการคำนวณเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของการทดลอง (Optimization)

3.3.2 โปรแกรมสำเร็จรูปเอสพีเอสเอส (SPSS) ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลผลตอบเพื่อยืนยันผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4 กระบวนการผลิตแม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกชนิดแผ่น

หลังจากถอดส่วนผสมที่แข็งตัวแล้วออกจากแม่แบบ มีขั้นตอนในการผลิตดังต่อไปนี้

3.4.1 ปาดหน้าก้อนส่วนผสมทั้ง 6 หน้า ให้ได้ขนาด 250 x 300 x 50 มิลลิเมตร โดยเครื่องกัด

3.4.2 กลึงรูปแบบของแม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกชนิดแผ่นให้ได้ตามแบบชิ้นงานที่กำหนดไว้ โดยใช้ความเร็วรอบของเครื่องกลึงที่ 600 รอบต่อนาที

3.4.3 ตรวจสอบขนาดและรูปร่างของแม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกชนิดแผ่น

3.4.4 ถอดแม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกชนิดแผ่นออกจากเครื่องกลึง

3.4.5 เจาะรูแม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกชนิดแผ่นขนาด 1 มิลลิเมตร จำนวน 20 รูบริเวณมุมโดยรอบ เพื่อทำรูทางออกของอากาศ

3.4.6 ตกแต่งผิวแม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกชนิดแผ่นด้วยกระดาษทรายละเอียด

3.4.7 ทำความสะอาดแม่พิมพ์ขึ้นรูปพลาสติกชนิดแผ่นโดยหัวฉีดเป่าลม จากปั๊มลม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved