บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของทฤษฎี วรรณกรรม และเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ทางผู้วิจัยนำทฤษฎีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับลักษณะของงานวิจัยเพื่อใช้สำหรับการหาส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยความร้อนของพลาสติกแผ่น ซึ่งมีทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องมีอยู่ด้วยกันหลายทฤษฎี และยังทบทวนวรรณกรรมรวมถึงเอกสารที่เกี่ยวข้อง อีกหลายเรื่อง ที่มีความใกล้เคียงหรือมีความสัมพันธ์กับงานวิจัยนี้ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง ในการดำเนินงานวิจัย

2.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

การออกแบบการทดลองเป็นการออกแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ซึ่งอาศัยแบบจำลองหรือสมการทางคณิตศาสตร์มาอธิบายความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สามารถศึกษาผลของหลาย ๆ ปัจจัยพร้อมกันในเวลาเดียวกันด้วยวิธีใช้จำนวนการทดลองน้อยกว่าการศึกษาทีละปัจจัย การออกแบบการทดลองจึงเป็นวิธีการเก็บข้อมูลที่มีประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนแปลงหรือปรับค่าของปัจจัย (factors) อย่างมีจุดมุ่งหมายที่จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลตอบ (response) ที่เกิดขึ้น

กระบวนการที่มีปัจจัย (factors) หรือผลตอบ (response : X_1, X_2, X_3, X_4) ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อค่า Y ซึ่งเป็นคุณลักษณะด้านคุณภาพ (quality characteristic) ของกระบวนการ ในการออกแบบการทดลองเราต้องทำการทดลองอย่างเป็นระบบเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์เชิงสถิติของ Y และ X อื่น ๆ โดยที่พยายามใช้ทรัพยากรในการทดลองให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ความสัมพันธ์เชิงสถิติที่ได้จะทำให้เรามีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ (process knowledge) เพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการต่อไป

2.1.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Experiment of Factorial Design) หมายถึงการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลมีประโยชน์หลายประการ ได้แก่ ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากอันตรกิริยาของปัจจัยที่จะก่อให้เกิดข้อสรุปที่ผิดพลาดได้ เนื่องจากเป็นการออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าการทดลองทีละปัจจัย และทำให้เราสามารถประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่างๆ ของปัจจัยอื่นได้ รวมทั้งทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมเหตุผลตลอดเงื่อนไขของการทดลองได้ซึ่งการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ได้แก่

2.1.1.1 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย เป็นการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลชนิดที่ง่ายที่สุด จะเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ปัจจัย เช่น ปัจจัย A และปัจจัย B โดยปัจจัย A จะประกอบด้วย a ระดับ ส่วนปัจจัย B จะประกอบด้วย b ระดับ ซึ่งในแต่ละเรพลิเคตของการทดลองจะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมดเท่ากับ a x b การทดลองและโดยปกติจะมีจำนวนเรพลิเคตทั้งหมด n ครั้ง

2.1.1.2 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เป็นการออกแบบการทดลองในกรณีมีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร คนงานและใน 2 ระดับที่กล่าวนี้จะแทนด้วยระดับสูงและต่ำของปัจจัยหนึ่ง ๆ ใน 1 เรพลิเคตที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้ จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น 2^k ข้อมูล การออกแบบการทดลองแบบนี้มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงเริ่มแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถจะทำได้

2.1.1.3 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ หรือการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 3^k หมายถึง การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ ระดับกลางและระดับสูง ซึ่งสัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามอาจจะใช้ตัวเลข -1, 0 และ 1 ตามลำดับ สังเกตว่าการทดลองแบบนี้จะมีระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในแบบจำลอง ซึ่งทำให้เราสามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบ และปัจจัยที่สนใจในลักษณะลักษณะที่เป็นสมการแบบควอดราติกได้

2.1.2 การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture Design)

เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของปัจจัยเชิงปริมาณตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยยึดหลักว่าผลรวมปริมาณของปัจจัยทั้งหมดจะต้องเป็น 1.0 (หรือ 100%) เสมอ กล่าวคือ เมื่อปัจจัยหนึ่งมีปริมาณที่เพิ่มขึ้น ย่อมทำให้ปัจจัยอื่นๆ มีสัดส่วนลดลง ซึ่งแตกต่างจากการทดลองที่ไม่ใช่แบบผสม (Mixture) ที่ตัวแปรแต่ละตัวเป็นอิสระจากกัน การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมมีแบบแผนการออกแบบย่อยแบ่งได้เป็น 4 แบบ ดังนี้

2.1.2.1 การออกแบบ แบบเชฟเฟ่ซิมเพล็กซ์แล็คทิส (Scheffe' Simplex-Lattice) พิกัด (Coordinate) ซึ่งเป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของการทดลอง โดยแต่ละตัวแปรสามารถคำนวณระดับได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$x_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, ..., 1$$

โดยที่ i = 1, 2, 3, …, q

m = เป็นสัดส่วนของแต่ละปัจจัยจาก 0 – 1 (0 – 100 เปอร์เซ็นต์)

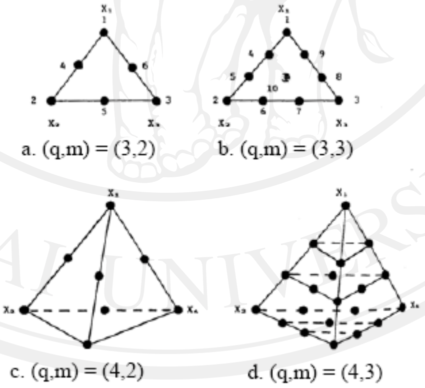
สำหรับในกรณีที่มีจำนวนส่วนผสม (q) เท่ากับ 3 หรือมี 3 ปัจจัย เป็นตัวอย่างที่นิยมใช้แสดงให้เห็นถึงการออกแบบดังกล่าว หาก m = 3 พิกัดที่ได้เป็นส่วนประกอบของ x_1, x_2 และ x_3 จะเป็น 0, 1/3 และ 2/3 ตามลำดับจำนวนของจุดในการทดลองทั้งหมดคำนวณจาก

M = (m+q-1)!/m!(q-1)!

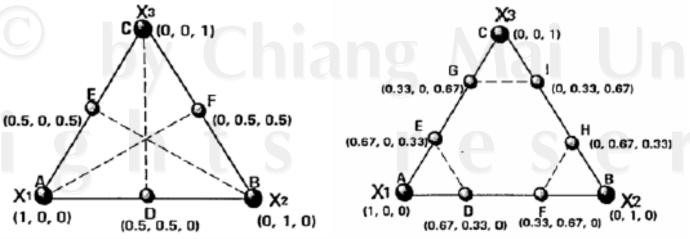
= q(q+1)..(q+m-1) / (1)(2)…(m)

$$M = \frac{3 \times 4 \times 5}{1 \times 2 \times 3} = 10$$

ซึ่งตัวอย่างของสิ่งทดลองที่มีจำนวน q และ m ต่าง ๆ ดังรภาพที่ 2-1 และ 2-2



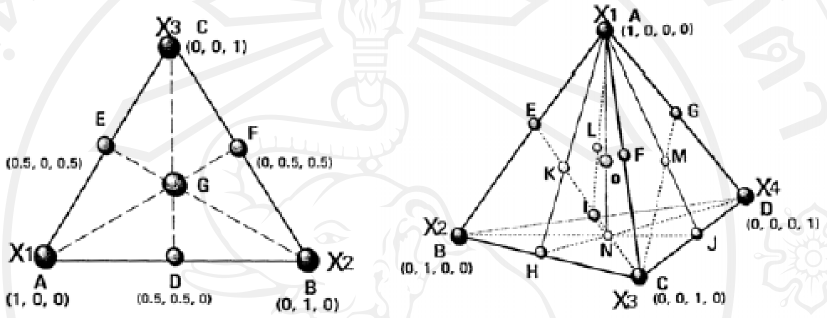
ภาพที่ 2-1 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเชฟเฟ่ซิมเพล็กซ์แล็คทิส (อิศรพงษ์, 2544)



ภาพที่ 2-2 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเชฟเฟ่ซิมเพล็กซ์แล็คทิส ที่มี 3 ตัวแปร แต่ละตัวแปรมี 2 ระดับ และ 3 ระดับ (ไม่รวม 0) (อิศรพงษ์ , 2544)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

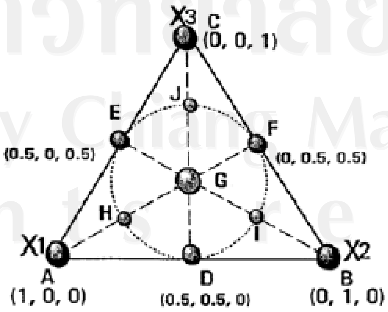
2.1.2.2 การออกแบบแบบเชฟเฟ่ซิมเพล็กซ์เซนทรอยด์ (Scheffe' Simplex-Centroid) เป็นการออกแบบการทดลองที่มีสิ่งทดลองเท่ากับ $2^q - 1$ แต่ละปัจจัยมีสัดส่วนที่เท่ากันทุกปัจจัย สิ่งทดลองประกอบด้วยจุดที่เป็นส่วนผสมเดี่ยว (Pure Component) ต่าง ๆ หมายถึง สิ่งทดลองที่มีปัจจัยนั้น 100 เปอร์เซ็นต์ หรือเท่ากับ 1.0 และ 0.5, 0.5, 0, …, 0 เป็นส่วนผสมคู่ (Binary mixtures) และ 1/3, 1/3, 1/3, 0, …,0 สำหรับส่วนผสม 3 ชนิด และ 1/q,1/q, 0, …,0 สำหรับส่วนผสมแบบคิวนารี่ (q-nary mixtures; centroid) และจุดกึ่งกลาง (1/q, 1/q, …, 1/q) ตัวอย่างของสิ่งทดลองต่าง ๆ สำหรับ 3 และ 4 ปัจจัย ดังแสดงดังภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบเชฟเฟ่ซิมเพล็กซ์เซนทรอยด์ (Scheffe' Simplex-Centroid) (อิศรพงษ์ , 2544)

2.1.2.3 การออกแบบ แบบซิมเพล็กซ์แอคเซียล (Simplex-Axial) เป็นการออกแบบการทดลองโดยเน้นจุดที่เป็นส่วนประกอบต่าง ๆ ของทุกปัจจัย สังเกตจากจุดเอช (H) ไอ (I) และเจ (J) โดยจุดทั้ง 3 ดังกล่าว มาจากจุดกึ่งกลางของแต่ละส่วนย่อย จากภาพที่ 2-4 หากพิจารณาจุดเอ (A) ดี (D) และอี (E) จะมีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมย่อย โดยมีจุดเอช (H) เป็นจุดกึ่งกลางสามเหลี่ยมดังกล่าว ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับจุดไอ (I) และเจ (J)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2-4 สิ่งทดลองสำหรับแผนการทดลองแบบซิมเพล็กซ์แอคเซียล (Simplex-Axial) (อิศรพงษ์ , 2544)

2.1.2.4 การออกแบบ แบบเอ็กซ์ทรีมเวอร์ทิส (Extreme Vertices) เป็นการออกแบบการทดลองแบบที่มีข้อจำกัดสัดส่วน (Design with constraints on proportion) หรือแบบที่มีข้อจำกัด (Constrained Mixture Design) กล่าวคือ แผนการทดลองนี้ ระดับในแต่ละปัจจัยไม่จำเป็นต้องเป็น 0-100% โดยอาจเป็น 30-40% (0.30-0.40) หรือ 15-25% (0.15-0.25) เป็นต้น สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากความจำเป็นโดยพื้นฐานในการทดสอบบางอย่าง เช่น ในการผลิตอาหารบางชนิดที่มีส่วนผสมของกลูเตน (Gluten) โปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง (Soy Protein Isolated) และน้ำ พบว่า ต้องมีส่วนผสมของกลูเตนและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลือง รวมกันอย่างน้อย 50% (ใช้ในปริมาณเท่ากันชนิดละ 25%) จึงสามารถจับเป็นก้อนเพื่อทำการรีดเป็นแผ่นได้ ดังนั้นส่วนผสมของกลูเตนและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองที่ต่ำกว่า 50% จึงไม่เป็นที่สนใจขณะเดียวกันพบว่าหากมีน้ำต่ำกว่า 30% จะไม่สามารถปั้นให้เป็นก้อนได้ ดังนั้นจึงอาจกำหนดเฉพาะปริมาณขั้นต่ำของส่วนผสมแต่ละชนิดเป็น 25% 25% และ 30% ตามลำดับ โดยให้สังเกตว่า ปริมาณขั้นต่ำของส่วนผสมทั้งสามรวมกันต้องไม่เกินหรือเท่ากับ 100% อย่างเด็ดขาด ไม่เช่นนั้นจะมีเพียงส่วนผสมเดียวที่เป็นไปได้ หรือไม่มีส่วนผสมใดที่เป็นไปได้เลย

นอกจากนี้แม้ว่าการวางแผนจำเป็นต้องให้ปัจจัยที่ทำการศึกษาในแต่ละสิ่งทดลองรวมกันเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่จำเป็นที่ต้องนำทุกปัจจัยมาศึกษาพร้อมกัน ในส่วนผสมของแต่ละสิ่งทดลองอาจมีปัจจัยจำนวนมาก แต่สนใจศึกษาเพียง 3 ปัจจัย สามารถใช้แผนการทดลองแบบผสมได้ เช่น มีส่วนในผลิตภัณฑ์จำนวน 10 ปัจจัย คือเอถึงเจ (A – J) แต่สนใจ เฉพาะปัจจัยบี (B) ซี (C) และดี (D) ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าว มีสัดส่วนคิดเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ ของส่วนผสมทั้งหมด สามารถนำปัจจัย B C และ D มากำหนดเป็นสิ่งทดลองต่าง ๆ ซึ่งมีส่วนผสมที่ต่าง ๆ กัน และในส่วนผสมแต่ละสิ่งทดลองที่ได้ให้คิดเป็น 18 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอีก 82 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือกำหนดให้ใช้ในปริมาณคงที่หรือเป็นปัจจัยคงที่ (Fixed variables) ในทุกสิ่งทดลอง

2.1.3 แผนการทดลองแบบรวมปัจจัยส่วนผสมและกระบวนการ (Combined Mixture Process Design)

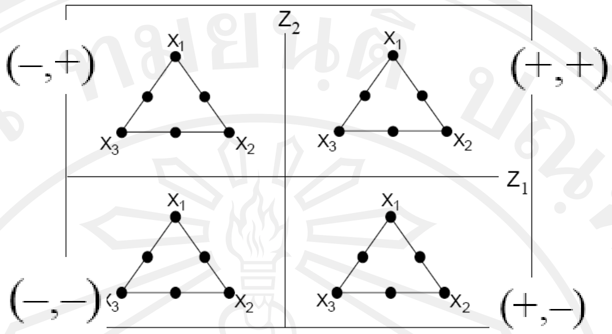
การออกแบบการทดลองแบบรวมปัจจัยส่วนผสมและกระบวนการนี้เปรียบเสมือนเป็นการรวมการทดลอง 2 การทดลองไว้ด้วยกันคือ

1) การหาความสอดคล้องกันของการกำหนดส่วนผสมโดยวิธีแผนการทดลองแบบส่วนผสม (Combined Design)

2) การให้ค่าที่เหมาะสมของกระบวนการด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลและวิธีพื้นผิวตอบสนอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การรวมกันของทั้ง 2 การทดลองเป็นเพียงหนึ่งการทดลองเราเรียกว่าการทดลองแบบส่วนผสม จากภาพ 2-5 เป็นรูปสามเหลี่ยมที่แสดงถึงส่วนผสมที่ถูกทำซ้ำใน 4 กลุ่มของปัจจัยกระบวนการ โดยมีตัวแปร 3 ส่วนผสม (x_1, x_2, x_3) และตัวแปรกระบวนการ 2 ตัวแปร (z_1, z_2)



ภาพที่ 2-5 แสดงรูปสามเหลี่ยมของส่วนผสม 3 ตัวแปรและตัวแปรกระบวนการ 2 ตัวแปร

ในรูปสามเหลี่ยมจะประกอบด้วยจุดมุม (Vertices) จะแสดงถึงส่วนประกอบของส่วนผสม (x_1, x_2, x_3) จุดกึ่งกลางระหว่างจุดมุม (Midpoints of Side on the Triangle) และอาจจะเพิ่มจุดกึ่งกลางสามเหลี่ยม (Centroid) เพื่อให้ได้ผลยิ่งขึ้น (Mark J. Anderson, 2000) โดยในการทดลองนี้จะแบ่งระดับของปัจจัยเป็น

1) สำหรับส่วนประกอบของส่วนผสมจาก 0 ถึง 1 สำหรับน้อยที่สุดถึงมากที่สุด
2) สำหรับปัจจัยกระบวนการจาก -1 ถึง +1 สำหรับระดับน้อยที่สุดถึงสูงที่สุด

วิธีนี้เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดของการกำหนดส่วนผสมและเงื่อนไขของกระบวนการไปพร้อมๆกัน การออกแบบวิธีการนี้สามารถใช้โปรแกรมสถิติในการตั้งค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal) ในการออกแบบเพื่อลดจำนวนการทดลองลงได้

2.2 การออกแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology, RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และมีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบ

$$y = f(x_1, x_2) + \varepsilon \qquad .....(1)$$

โดยกำหนดให้ปัจจัยนั้นแทนค่าด้วย x และ ε คือ ค่าความผิดพลาดของผลตอบ y ที่เป็นผลมาจากการทดลอง ถ้ากำหนดว่า $E(y) = f(x_1,x_2) = \eta$ ดังนั้น สามารถเขียนสมการของพื้นผิว ได้คือ

$$\eta = f(x_1,x_2) \qquad .....(2)$$

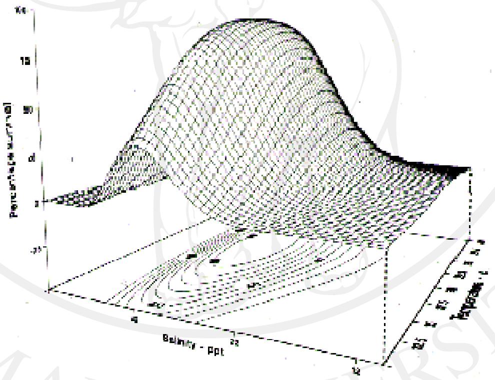
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งจะเรียกว่า “พื้นผิวผลตอบ (Response Surface)” โดยส่วนใหญ่จะแสดงพื้นผิวผลตอบในรูปของกราฟิก โดยที่ η จะถูกพล็อตกับระดับของ x_1 และ x_2 เพื่อที่จะช่วยให้มองรูปร่างของพื้นผิวผลตอบได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งอาจจะพล็อตเส้นโครงร่าง (Contour Plot) ของพื้นผิวผลตอบ โดยที่ปัญหาในส่วนใหญ่จะไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรอิสระ โดยในขั้นแรกจะต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่ใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และเซตของตัวแปรอิสระอาจจะเป็น แบบจำลองของผลตอบมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่ใช้เป็นแบบจำลองกำลังหนึ่ง ดังสมการที่ 2.2.3

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \ldots + \beta_k x_k + \varepsilon \qquad \ldots..(3)$$

แต่ถ้ามีส่วนโค้งเกี่ยวข้องในระบบ จะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่น พหุนามกำลังสอง ดังสมการที่ 2.2.4

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_1 x_1 + \sum_{i=1}^{k} \beta_2 x_2 + \sum\sum_{i<j} + \varepsilon \qquad \ldots..(4)$$



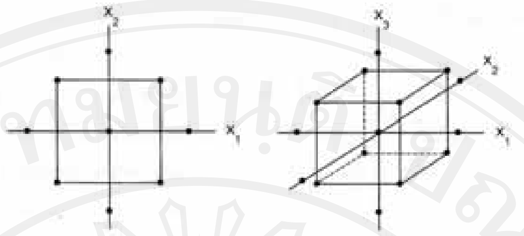
ภาพที่ 2-6 พื้นผิวตอบแบบสามมิติ

ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบส่วนมากจะใช้แบบจำลองกำลังหนึ่งหรือแบบจำลองกำลังสองในการหาผลตอบ แต่แบบจำลองทั้งสองชนิดไม่สามารถใช้ประมาณความสัมพันธ์ตลอดพื้นผิวทั้งหมดของตัวแปรอิสระ ถ้าพื้นผิวที่เราสนใจอยู่มีขนาดใหญ่ การออกแบบพื้นผิวผลตอบมีวิธีการที่นำมาใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบอยู่หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่ วิธีการกำลังสองน้อยสุด การปีนด้วยทางชัน การออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองอับดับที่หนึ่ง และการออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองอับดับที่สอง ซึ่งการออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองอับดับที่สองนี้เป็นการเน้นไปที่การสร้างแบบจำลองควอดราติกของผลตอบ มีวิธีการที่น่าสนใจอยู่ 2 วิธีด้วยกัน คือ

1) การออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design; CCD) เป็นหนึ่งในวิธีการหาพื้นผิวผลตอบที่นิยมใช้เพื่อหากระบวนการที่เหมาะสม โดยทั่วไปส่วนประสมกลางจะ

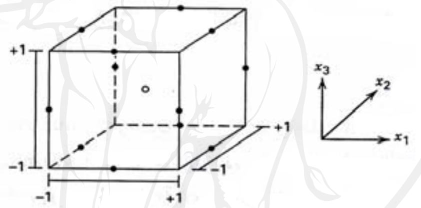
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประกอบด้วย 2k แฟกทอเรียลที่มี nf รัน ซึ่ง 2k รันในแนวแกนหรือแนวรูปดาว และ nc รันที่จุดศูนย์กลาง ดังภาพที่ 2-7 แสดงส่วนประสมกลางสำหรับ k=2 และ k=3 ปัจจัย



ภาพที่ 2-7 การออกแบบส่วนประสมกลาง (CCD) สำหรับ k=2 และ k=3

2) การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) เป็นการออกแบบสามระดับสำหรับฟิตพื้นผิวผลตอบ การออกแบบนี้ถูกสร้างขึ้นจากการรวมการออกแบบแฟกทอเรียล 2^k กับการออกแบบบล็อกไม่สมบูรณ์ ผลของการออกแบบมีประสิทธิภาพในด้านจำนวนของการรันที่ต้องการ และการออกแบบนี้ยังมีความสามารถในการหมุนหรือเกือบหมุนได้อีกด้วย



ภาพที่ 2-8 แสดงการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน สำหรับ k = 3

เนื่องจากการออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคนเป็นการออกแบบรูปทรงกลมที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี 2 และไม่ได้รวมเอาจุดใดๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ที่สร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรเอาไว้ ดังภาพที่ 2-8 ซึ่งการกระทำเช่นนี้มีประโยชน์มากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์เป็นการรวมเอาปัจจัยระดับ (Factor-Level Combination) ที่แพงมากหรือเป็นไปไม่ได้ที่จะทำการทดลองอันเนื่องมาจากข้อจำกัดทางด้านกายภาพของระบวนการ

2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA)

เป็นวิธีการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง ตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between-group variance) และความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within-group variance) ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม เป็นค่าที่เกิดจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่าง ๆ ถ้าค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่าง ๆ แตกต่างกันมาก ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มก็จะมากตามไปด้วย สำหรับความแปรปรวนภายในกลุ่มเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่า คะแนนแต่ละตัวที่รวบรวมมานั้นภายในแต่ละกลุ่มมีการกระจายมากหรือน้อย ค่าที่คำนวณได้เรียกว่าความคลาดเคลื่อน (ยุทธ, 2546)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4 แบบจำลองการถดถอย (Regression Model)

แบบจำลองการถดถอย (Regression Model) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย เพื่อนำไปสร้างสมการทำนายค่าของผลตอบ ซึ่งจะทำให้สามารถหาผลตอบที่จุดใดๆ ในแต่ละช่วงของปัจจัยได้ โดยวิธีการที่ใช้ในการประมาณค่าตัวแปรต่าง ๆ ในแบบจำลองนี้ส่วนใหญ่คือ วิธีกำลังสองน้อยสุด (Least Square Method) ซึ่งเป็นการประมาณค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่า (β) เพื่อทำให้ผลรวมของกำลังสองของความผิดพลาด (2ε) มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งบางครั้งเราเรียก β เหล่านี้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย โดยมีขั้นตอนในการประมาณค่าดังนี้

1) สร้างผลรวมของกำลังสองของค่าความผิดพลาด โดยการฟิตผลตอบ

2) ประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของปัจจัยในเทอมต่าง ๆ ที่ทำให้ผลรวมของกำลังสองของค่าความผิดพลาดมีค่าน้อยที่สุด

3) นำค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้ไปเขียนสมการทำนายค่าของผลตอบ

2.4.1 แบบจำลองการถดถอยสำหรับการทดลองส่วนผสม (Mixture Design)

เนื่องจากตัวแปรทุกตัวรวมกันได้ 1 หรือ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นแบบจำลองการถดถอยสำหรับการทาดลองส่วนผสม (Mixture Design) จึงไม่มีค่าคงที่ หรือเทอม β_0 และ $\beta_{ij}X_1^2$ โดยแบบจำลองที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีดังนี้

1) รูปแบบสมการเชิงเส้น (Linear Model) …..(5)

$$E(y)=\sum_{i=1}^{p}\beta_i X_i$$

2) รูปแบบสมการกำลังสอง (Quadratic Model) …..(6)

$$E(y)=\sum_{i=1}^{p}\beta_i X_i+\sum\sum_{i<j}^{p}\beta_{ij}X_iX_j$$

3) รูปแบบสมการกำลังสามแบบพิเศษ (Special Cubic Model) …..(7)

$$E(y)=\sum_{i=1}^{p}\beta_i X_i+\sum\sum_{i<j}^{p}\beta_{ij}X_iX_j+\sum\sum_{i<j<k}^{p}\sum\ \beta_{ijk}X_jX_jX_k$$

4) รูปแบบสมการกำลังสามทั้งหมด (Full Cubic Model) …..(8)

$$E(y)=\sum_{i=1}^{p}\beta_i X_i+\sum\sum_{i<j}^{p}\beta_{ij}X_iX_j$$

$$+\sum\sum_{i<j}^{p}\delta_{ij}X_iX_j(X_i-X_j)+\sum\sum_{i<j<k}^{p}\sum\ \beta_{ijk}X_jX_jX_k$$

ที่มา : Raymond H. Myers and Douglas C. Montgomery (1995)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.4.2 แบบจำลองการถดถอยสำหรับการออกแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design)

เนื่องจากการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการออกแบบว่วนผสมกลาง (Central Composite Design) มีการทำการทดลองไม่พอเพียงที่จะทำให้เกิดรูปแบบสมการกำลังสาม (Cubic Model) ได้ (ปารเมศ ชุติมา, 2545) ดังนั้นแบบจำลองการถดถอยจึงมีทั้งหมด 3 แบบ ดังนี้

1) รูปแบบสมการเชิงเส้น (Linear Model) …..(9)

$$E(y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{p} \beta_i X_i$$

2) รูปแบบสมการที่มี 2 ปัจจัยร่วมกัน (2FI (two-factor interaction) Model) …..(10)

$$E(y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{p} \beta_i X_i + \sum_{i<j} \sum^{p} \beta_{ij} X_i X_j$$

3) รูปแบบสมการกำลังสอง (Quadratic Model) …..(11)

$$E(y) = \beta_0 + \sum_{i=1}^{p} \beta_i X_i + \sum_{i<j} \sum^{p} \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^{p} \beta_{ii} X_i^2$$

ที่มา : L.M.M. Tijskens, M.L.A.T.M. Hertog and B. Nicolai (2001)

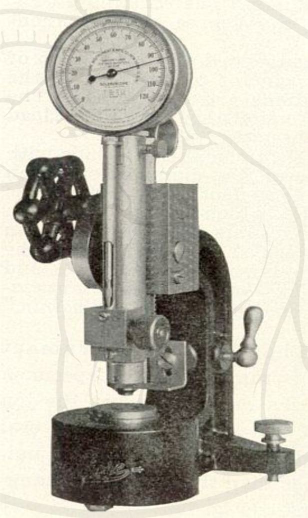
2.5 ความแข็ง (Hardness)

ความแข็ง คือ คุณสมบัติของวัสดุที่สามารถต้านทานหรือทนต่อการสูญเสียรูปแบบพลาสติก โดยปกติเกิดจากการทำเป็นรอยจากการกด อย่างไรก็ตามความแข็งอาจรวมถึง ความต้านทานต่อการดัด การขีด การขัด และการตัด

การทดสอบความแข็งโดยการเปรียบเทียบมีข้อจำกัดในการใช้งานและไม่สามารถให้ข้อมูลตัวเลขที่แม่นยำหรือกำหนดเสกลเฉพาะสำหรับวัสดุและเทคโนโลยีสมัยใหม่ วิธีโดยปกติเพื่อหาค่าความแข็งคือ การวัดจากความลึกหรือพื้นที่ของรอยกดที่เหลือทิ้งไว้จากหัวกดที่มีรูปร่าง ภาระ (Load) และเวลาที่เจาะจง วิธีมาตรฐานหลัก 3 มาตรฐาน สำหรับการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและขนาดของรอยกด คือ ร็อคเวลล์ บริเนลล์ และวิกเกอร์ แต่ละวิธีของมาตรฐานได้ถูกแบ่งเป็นสเกลกำหนดโดยภาระที่ใช้ และลักษณะของหัวกด ด้วยเหตุผลของการใช้งานและการสอบเทียบ นอกจากนั้นยังมีการทดสอบความแข็งแบบชอร์ (Shore) สเกลความแข็งแบบมอท (Mohs) และ การทดสอบความแข็งแบบบาร์คอล (Barcol) ซึ่งในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะการทดสอบความแข็งแบบชอร์ (Shore) เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยโดยตรง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การทดสอบความแข็งแบบชอร์ (Shore : Shore Hardness Test) วิธีทดสอบความแข็งแบบชอร์สเกลโรสโคบ (Shore Sclerocscope) ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 2-9 วัดความแข็งในเทอมของความยืดหยุ□นวัสดุ ทดสอบโดยปล่อยหัวค้อนปลายเพชร (ขนาด 40 เกรน; 2.5 กรัม; 0.0914 ออนซ์) ตกด้วยน้ำหนักของตัวเองและจากความสูงที่ทราบค่า (10 นิ้ว; 254 มิลลิเมตร) ในท่อแก□ว ความสูง ที่กระดอนกลับวัดได□จากสเกลที่ได□แบ่งเป็น 100 ส□วน ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยจากการกระดอนของ เหล็กกล□าคาร์บอนชุบแข็งที่สมบูรณ□ สเกลมากกว่า 100 ส่วนจะเป็นโลหะที่มีความแข็งมากเกิน ค่าความแข็งขึ้นอยู่กับความสูงที่กระดอนกลับของหัวค้อน วัสดุที่แข็ง ความสูงกระดอนจะมาก ความแข็งก็จะมาก วัสดุที่อ่อน ความสูงกระดอนจะน้อย ความแข็งก็จะน้อย



ภาพที่ 2-9 เครื่องทดสอบความแข็งแบบชอร์สเกลโรสโคบ (Shore Sclerocscope)

การทดสอบแบบชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore Durometer) ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 2-10 ใช้หัวกดชุบแข็ง สปริงที่ได□ปรับค่าอย่างถูกต้อง ความลึกของหัวกด และแผ่นกด หัวกดจะถูกติดตั้งตรงกลางของฐานกดและมีระยะยืดตัว 2.5 มิลลิเมตร จากผิวของงาน ตำแหน่งระยะยืดตัวเต็มที่เข็มชี้แสดง ค่าศูนย์ เมื่อหัวกดถูกกดจนกระทั่งแนบติดผิวหน้าฐานกด ตัวบ่งชี้แสดงค่า 100 ดังนั้นทุกๆ จุดของ Shore มีค่าเท่ากับ ระยะกด 0.0025 มิลลิเมตร (สเกล M เท่ากับ 0.00125 มิลลิเมตร)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 2-10 เครื่องทดสอบความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore Durometer)

ตารางที่ 2-1 แสดงประเภทเครื่องทดสอบความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์ชนิด A และ D (Shore Durometer Type A and D)

เครื่องทดสอบความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์ชนิด A และ D (Shore Durometer Type A and D)		
ดูโรมิเตอร์	แผ่นกด (Indenting foot)	ภาระที่ใช้ (กรัม)
ชนิด A	แท่งเหล็กชุบแข็ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1-1.4 มิลลิเมตร ปลายรูปกรวยมุม 35 องศา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.79 มิลลิเมตร	822
ชนิด D	แท่งเหล็กชุบแข็ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1-1.4 มิลลิเมตร ปลายรูปกรวยมุม 30 องศา ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร	4550

การทดสอบความแข็งแบบชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore Durometer) (ดังตารางที่ 2-1) ทั้งสองวิธีวัดความต้านทานของพลาสติกต่อรอยกด ทั้งสองสเกลให้ค่าความแข็งตามหลักการ ไม่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติและคุณลักษณะพื้นฐานความแข็งของชอร์เอหรือดี (shore A and D) เป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับยาง อิลาสโตเมอร□ และปกติใช้กับพลาสติกอ่อน เช่น พอลิโอลิฟินฟลูออโรพอลิเมร์ และไวนิล ชอร์เอ (Shore A) ใช้สำหรับยางอ่อน ในขณะที่ชอร์ดี (Shore D) ใช้สำหรับยางที่แข็งกว่า โดยความแข็งชอร์ (Shore) คือค่าความแข็งสัมพัทธ์ของวัสดุยืดหยุ□น เช่น ยางหรือพลาสติกอ่อนสามารถที่จะหาได้□ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่าชอร์เอดูโรมิเตอร์ (Shore A Durometer) เนื่องจากความ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ยืดหยุ่นของยางและพลาสติก การอ่านค่าจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นเวลาการกดบางครั้งจะถูกรายงานร่วมกับค่าความแข็ง

2.6 โพลีเอสเทอร์เรซิน (Polyester Resin)

เรารู้จักโพลีเอสเทอร์เรซินในรูปของผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กล๊าส เพราะกว่า 90% ของผลิตภัณฑ์ชนิดนี้ทำจากโพลีเอสเทอร์ ซึ่งโพลีเอสเทอร์ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1942 ในสมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยนำมาทำเป็นเครื่องใช้ทางการทหาร ต่อมาจึงนิยมนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นอย่างแพร่หลาย ซึ่งในปี ค.ศ. 1967 มีปริมาณการใช้ถึง 495 ล้านปอนด์

คุณสมบัติของโพลีเอสเทอร์เรซินมีค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.1-1.5 หากเป็นผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กล๊าสจะมีค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.5-2.8 ในรูปผลิตภัณฑ์ไฟเบอร์กล๊าสรับแรงดึง แรงอัด และแรงบิดงอได้ดี ผิวหน้ามีความแข็งพอสมควร ถูกแดดจะซีด ทนสภาพอากาศภายนอกได้ดี มีสีต่าง ๆ มากมาย มีความหดตัวเล็กน้อย แต่มากกว่าอีพอกซี่

โพลีเอสเทอร์เรซิน เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี ทนกรดด่างชนิดอ่อนได้ ไม่ทนสารละลายชนิดคลอริเนท โซเวนต์ (Chlorinated Solvent) เช่น คาร์บอนเตทตา คลอไรด์ อะซีโทน ซึ่งในรูปของไฟเบอร์กล๊าสทนความร้อนได้ระหว่าง 250-350 องศาฟาเรนไฮต์ และเมื่อนำไปหล่อเป็นผลิตภัณฑ์แล้วติดไฟได้ช้าและดับเอง ส่วนมากโพลีเอสเทอร์เรซินนิยมใช้ทำไฟเบอร์กล๊าสมากที่สุด เช่น เรือ รถยนต์ ชิ้นส่วนในเครื่องบิน ถังบรรจุของเหลว ลังบรรจุของ ท่อของเหลว เฟอร์นิเจอร์ ฯลฯ

2.7 เรซิน (resin)

ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากการนำเอาเทอร์โมเซ็ทพลาสติกชนิดโพลีเอสเทอร์เรซินไม่อิ่มตัว ซึ่งจะเป็นของเหลวหนืดเหมือนน้ำเชื่อมเมื่อผสมตัวทำแข็ง(Hardener) แล้วแข็งตัวจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือหลอมเหลวอีกถึงแม้จะโดนความร้อนก็ตาม สามารถทนความร้อนได้ถึง 120 องศาเซลเซียสโดยที่วัสดุไม่มีการเสียหาย พลาสติกชนิดนี้เรียกสั้นๆว่า "เรซิน"

เรซินเป็นสารอินทรีย์พื้นฐานที่ทำให้เกิดพลาสติกขึ้น เรซินมีหลายชนิด ดังนั้น ในการเลือกใช้จะต้องพิจารณาคุณสมบัติบางประการของเรซิน เช่น ความร้อน ความยืดหยุ่น การดูดซึมน้ำและน้ำมัน ทนต่อสารเคมี ดินฟ้าอากาศ และอายุของเรซิน เรซินจะแข็งตัวเมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาผสมลงไปในสัดส่วนที่เหมาะสมตามกำหนดและเติมสารเสริมตัวเร่งปฏิริยาลงไปด้วย สารที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้แก่ เมทิลเอทิลคีโตนเพอร์ออกไซด์ เบนโซอินเพอร์ออกไซด์ คิวมีนไฮโดรเพอร์ออกไซด์ สารที่เสริมตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาทำงานได้ดีรวดเร็วยิ่งขึ้น ได้แก่ โคบอลต์แนพธีเนต ไดเอทิลอนิลีน ไดเมทิลอนิลีน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.8 อลูมิเนียม (Aluminum)

อลูมิเนียมผสมมีคุณลักษณะทั่วไปทางโลหะวิทยาเป็นการรวมตัวในระบบยูเท็คติก (Eutectics) ประกอบด้วยสารประกอบโลหะ(Tntermetallic Compound) หรือธาตุที่มีหลายสภาพ (Phase) เนื่องจากอลูมิเนียมสามารถละลายธาตุผสมได้ในอัตราต่ำจึงทำให้เกิดธาตุผสมเชิงซ้อนขึ้นมาก อลูมิเนียมผสมบางชนิดอาจมีสภาพทางโลหะ (Metallic Phases) หลายชนิดปนกัน ซึ่งมีส่วนผสมที่ซับซ้อนด้วยตามปกติสภาพเหล่านี้ (Phases) มักจะละลายได้ดีที่อุณหภูมิใกล้ๆ อุณหภูมิยูเท็คติค (Eutectic Temperature)มากกว่าอุณหภูมิห้อง อลูมิเนียมผสมบางตัวจึงทำการอบชุบให้แข็งได้ (Solution and aging heat-treatment) ตามปกติคุณสมบัติต่างๆ ของอลูมิเนียมผสมมีอิทธิพลมาจากผลของธาตุต่างๆ ที่ผสมในอลูมิเนียมนั้น ธาตุหลักที่ใช้ผสมในอลูมิเนียมผสมมีอยู่หลายตัว เช่น ทองแดง ซิลิคอน แมกนีเซียม สังกะสี โครเมี่ยมมังกานีส ดีบุก และ ไทเตเนี่ยม สำหรับเหล็กที่มีผสมอยู่ด้วยนั้น ส่วนมากเราถือว่าเป็นธาตุมลทิล (Impurity)

อลูมิเนียม เป็นโลหะที่มีน้ำหนักเบาเป็นอันดับสี่ โลหะผสมของอลูมิเนียมใช้กันมากในการสร้างเครื่องบิน อลูมิเนียมหนักเพียงหนึ่งในสามของเหล็ก และสามารถนำไฟฟ้าได้ดี ในผิวโลกมีอลูมิเนียมมากกว่าโลหะอื่น ๆ ในดินเหนียวมีอลูมิเนียมเกือบหนึ่งในสี่โดยน้ำหนัก แต่การแยกอลูมิเนียมบริสุทธิ์จากดินทำได้ไม่ง่ายนัก เขามักแยกอลูมิเนียมจากแร่ชื่อ บอกไซต์ (Bauxite) ซึ่งมีอลูมิเนียมมากกว่าดิน แร่นี้มีมากในทวีปอเมริกา (ประเทศแคนนาดามีมากที่สุด) และในออสเตรเลีย ในประเทศอื่นก็มีบ้างเหมือนกัน อลูมิเนียมมีอยู่ในรัตนชาติบางชนิด เช่น พลอยและทับทิม เป็นต้น แร่กากกะรุน (Emery) คือออกไซด์ของอลูมิเนียม เรารู้จักอลูมิเนียมนานกว่า 140 ปี แต่เนื่องจากราคาแพงจึงมิได้มีผู้ใช้กันแพร่หลาย ตราบจนกระทั่งถึงสมัยที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในราคาต่ำจากน้ำตก โลหะนี้จึงมีราคาถูกลง เพราะการแยกอลูมิเนียมจากแร่ทำโดยวิธีไฟฟ้าดีกว่าวิธีอย่างอื่น

อลูมิเนียมมีสีขาวเหมือนเงิน เนื้อเป็นมันวาวงดงามไม่หมองง่าย อาจดึงเป็นเส้นลวดขนาดเล็กยิ่งกว่าเส้นผม หรือตีเป็นแผ่นบาง ๆ ที่บางมากราวกับกระดาษได้ อลูมิเนียมไม่สึกกร่อนโดยง่าย และจะทำปฏิกิริยากับกรดและด่างบางชนิดเท่านั้น เมื่อผสมโลหะอื่นบางชนิดลงไปในเนื้ออลูมิเนียม จะได้โลหะผสมซึ่งแข็งแรง ทนทาน และเหนียวกว่าอลูมิเนียมบริสุทธิ์มาก ใช้ทำสิ่งของเครื่องใช้ได้อย่างดี คุณสมบัติของอลูมิเนียมมีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.7

เราใช้อลูมิเนียมทำเครื่องครัวเรือน เพราะอลูมิเนียมนำความร้อนได้ดี ทำความสะอาดได้ง่าย และเป็นเงางามอยู่เสมอ นอกจากนั้นยังใช้ทำส่วนประกอบในเครื่องใช้ไฟฟ้า เพราะ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อลูมิเนียมสามารถนำความร้อนได้ดี นอกจากนั้นยังใช้ทำส่วนประกอบของเครื่องบิน และยานพาหนะต่าง ๆ หลายชนิด เช่น รถไฟ รถยนต์ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา แข็งแรงทนทาน

2.9 ทัลคัม (Talcum)

ทัลคัมมีโครงสร้าง TOT เหมือนพวก Montmorillonite แต่ Al+3 ใน Octahedral sheet ถูกแทนที่ด้วย Mg+2 (Brucite sheet) แรงยึดกันระหว่างออกซิเจนของแร่ แต่ละชั้นไม่แข็งแรงจึงเป็นเหตุให้เกิดรอยแตกตามแนวตั้งฉากกับแกน C ได้ง่าย และเป็นเหตุทำให้แร่นี้มีเนื้อแร่อ่อนนิ่ม ส่วนประกอบทางเคมีตามทฤษฎี คือ 63.5% SiO2, 31.7% MgO และ4.8%H2O

ทัลคัม มีคุณสมบัติพิเศษหลายประการจึงใช้เป็นส่วนประกอบในอุตสาหกรรมเซรามิกส์หลายชนิด คือ

1) ใช้เป็นส่วนผสมส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมกระเบื้องกรุฝาผนัง เนื่องจากแร่นี้มีคุณสมบัติป้องกันการเกิดการรานตัว (crazing) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการขยายตัวเมื่อชื้น

2) ใช้เป็นส่วนผสมเนื้อดินปั้นภาชนะที่ใช้สำหรับการปรุงอาหาร เนื่องจากแร่นี้มีคุณสมบัติต้านทานการเกิดการช๊อค เนื่องจากความร้อน (thermal shock) นอกจากนี้คุณสมบัติที่เป็นประโยชน์อีกอันหนึ่งก็คือ เนื้อแร่นี้ไม่แข็งมากนักและเป็นมันลื่น แบบโลหะที่ใช้ในการขึ้นรูป โดยวิธีการอัดเนื้อดินปั้นที่มีทัลคัมเป็นส่วนผสม จะมีอายุการใช้งานได้นานกว่าปกติ

2.10 วัสดุผสม (Composite material)

วัสดุผสม คือวัสดุที่ถูกสร้างขึ้นมาจากวัสดุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป เพื่อใช้ประโยชน์เฉพาะงานโดยไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ การผสมกันของวัสดุเหล่านี้จะไม่เป็นเนื้อเดียวกันแต่จะแยกกันเป็นเฟสที่เห็นได้อย่างเด่นชัด เฟสแรกเรียกว่า เนื้อพื้น (matrix) ซึ่งจะอยู่ด้วยกันอย่างต่อเนื่องและล้อมรอบอีกเฟสซึ่งเรียกว่า เฟสที่กระจาย หรือ ตัวเสริมแรง (reinforcement) คุณสมบัติของวัสดุผสมที่ได้จะเป็นฟังชั่นหรือขึ้นกันกับคุณสมบัติและปริมาณของสารตั้งต้นเหล่านี้ และรูปทรงทางเรขาคณิตของเฟสที่กระจายตัว และประเภทของวัสดุผสมแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1) วัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยอนุภาค (particle-reinforced)

2) วัสดุผสมที่เสริมแรงด้วยเส้นใย (fiber-reinforced)

3) วัสดุผสมโครงสร้าง (structural)

วัสดุที่สามารถนำมาใช้งานได้โดยที่ไม่ต้องนำไปดัดแปลงมากมายโดยการพัฒนาการทางเคมีเราสามารถนำวัสดุมาใช้โดยการนำเคมีที่เราสามารถหาได้โดยทั่วไปมาเป็นส่วนประกอบเพื่อแยกส่วนประกอบต่างๆ ของวัสดุที่เราคิดเปลี่ยนสภาพได้เร็ว โดยใช้สารเคมีมาเป็นตัวแยกส่วนประกอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ออกมาให้ได้หลายแขนง ฉะนั้น การที่เราจะนำโลหะที่ไม่สามารถแยกตัวประกอบได้นั้นเราสามารถทำได้โดยการใช้สารเคมีมาเป็นส่วนประกอบ เพื่อแยกการแตกตัวของงานโลหะชิ้นนั้นโดยใช้หลักการการกัดกร่อนของสารเคมี หรือวัสดุผสมเป็นของผสมที่ได้จากวัสดุ 2 ชนิดหรือมากกว่า 2 ชนิดมาผสมกัน วัสดุผสมส่วนมากประกอบด้วยสารเติม (filler) หรือวัสดุเสริมแรงที่เหมาะสมกับตัวประสานพวกเรซิ่น จะได้เป็นวัสดุมีลักษณะเฉพาะและมีสมบัติตามที่ต้องการ โดยปกติสารที่เป็นองค์ประกอบเหล่านั้นจะไม่ละลายเข้าด้วยกันและสามารถสังเกตดูได้ที่รอยต่อระหว่างสารที่เป็นองค์ประกอบ วัสดุผสมสามารถจำแนกออกได้เป็นหลายประเภท บางประเภทมีเส้นใยเป็นองค์ประกอบหลัก(คือมีเส้นใยเสริมแรงในเนื้อของวัสดุ) ปนกับอนุภาคบางชนิด (คือมีอนุภาคกระจายอยู่ในวัสดุ) การผลิตวัสดุผสมจึงมีได้หลากหลายขึ้นอยู่กับวิธีการของการเสริมแรงกับตัวประสาน วัสดุผสมที่ทันสมัยที่วิศวกรใช้กันมาก 2 ชนิดคือ ใช้เส้นใยแก้วเสริมแรงในโพลิเอสเทอร์หรืออีพ็อกซี อีกชนิดหนึ่งใช้เส้นใยคาร์บอนเสริมแรงในเนื้ออีพ็อกซี อีกตัวอย่างหนึ่งที่ใช้วัสดุผสมของเส้นใยแก้วกับพอลิเฟนิลีน ซัลไฟด์(PPS) ทำข้อต่อท่อส่งน้ำมันในภาคสนาม ซึ่งสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนได้ยอดเยี่ยม

คุณสมบัติที่สำคัญ คือ มีน้ำหนักเบา ช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรง และมีความสามารถในการคงรูป (stiffness) ได้ดีขณะเดียวกันก็จะมีความเหนียวและไม่แตกหักง่าย

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงวัสดุผสม (Composites) แบบต่าง ๆ

วัสดุผสม			
ประเภท	โลหะ (Metal)	โพลิเมอร์ (Polymer)	เซรามิก (Ceramic)
	Al + Boron	Epoxy + Carbon	Ceramic + Sic
	Al + Silicon carbide	Epoxy + Alumina	-
	Al + Boron	Nylon + Glass	-

จากตารางที่ 2.2 จะเห็นว่าประเภทของวัสดุผสมมีอยู่ 3 ประเภทใหญ่ ๆ ซึ่งมีประเภท โลหะ โพลิเมอร์ และ เซรามิก ซึ่งสามารถนำวัสดุอื่นมาเป็นส่วนประกอบให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ในส่วนของลักษณะของวัสดุเสริมแรง ได้แก่ เส้นใยเสริมแรง ผงหรืออนุภาคเสริมแรง ได้แก่ อลูมิน่า (Alumina) โบรอน (Boron) คาร์บอน (Carbon) ซิลิอกอน (Silicon) คาร์บาย (Carbide) ซิลิกอนไนเตรด (Sicon Nitride) แก้ว (Glass) ทังสเตน (Tungsten)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.11 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปพลาสติกชนิดแผ่น

กรรมวิธีการผลิตประเภทอัดขึ้นรูปแผ่นพลาสติก (Thermoforming) เป็นกรรมวิธีที่นำมาใช้ในกิจการอุตสาหกรรมเมื่อปี ค.ศ 1950 เครื่องมืออุปกรณ์ เครื่องจักร รวมถึงแม่พิมพ์ ที่ใช้มีหลายชนิดแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดการใช้งาน แต่มีหลักใหญ่เหมือนกันคือ นำแผ่นเทอร์โมพลาสติกไปให้ความร้อน จนกระทั่งอ่อนตัวแล้วนำไปอัดขึ้นรูป และปล่อยให้เย็นให้เย็น แผ่นพลาสติก จะคงรูปตามแม่พิมพ์

กรรมวิธีการผลิตประเภทนี้ใช้กับการผลิตชิ้นงานในจำนวนไม่มากนัก บางครั้งจะใช้กับงานออกแบบผลิตภัณฑ์ทดสอบ (Prototype) ซึ่งสามารถทำแม่พิมพ์ได้รวดเร็วและใช้ผลิตชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ได้ ซึ่งหากจะผลิตด้วยกรรมวิธีการผลิตแบบฉีด (Injection Molding) จะต้องลงทุนทำแม่แบบแพง ใช้เวลาเตรียมการผลิตนาน และบางครั้งไม่มีเครื่องจักรที่ใหญ่พอกับขนาดของชิ้นงาน ตัวอย่างเช่น การทำผนังด้านในของตู้เย็น และผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ

กรรมวิธีการผลิตชนิดนี้แบ่งออกได้ 3 แบบ คือ

1) อัดด้วยแม่พิมพ์ (Mechanical Thermoforming)

กรรมวิธีการผลิต

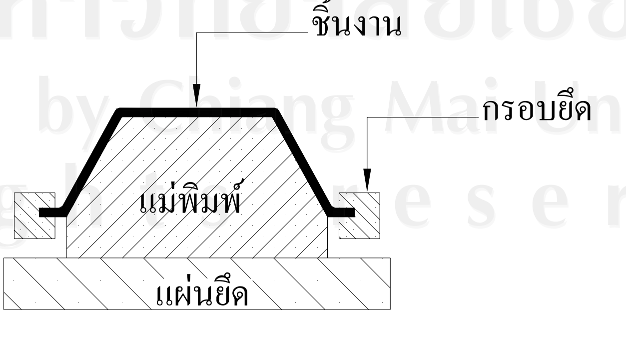
1) ยึดแผ่นเทอร์โมพลาสติกกับกรอบยึด (Frame หรือ Yoke)

2) ให้ความร้อนแผ่นพลาสติกอ่อนตัว ด้วยอุณหภูมิประมาณ 275-400 องศาฟาเรนไฮ

3) กดกรอบซึ่งมีแผ่นพลาสติกที่อ่อนตัวลงไปบนแม่พิมพ์ (โดยปกติกรรมวิธีแบบนี้ใช้แม่พิมพ์ตัวผู้ ดูในภาพที่ 2-11)

4) ทิ้งแผ่นพลาสติกไว้จนเย็นแข็งตัว จึงถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ตัวอย่างของกรรมวิธีการผลิตแบบนี้ที่เห็นกันอยู่ทั่วไป คือ การทำกรอบพระห้อยคอพลาสติก ตัวหนังสือป้ายยี่ห้อ

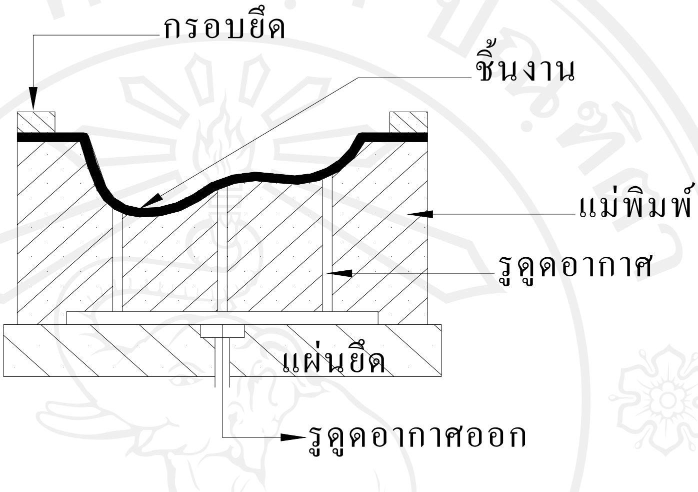
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2-11 แบบอัดด้วยแม่พิมพ์

2) แม่พิมพ์สุญญากาศ (Vacuum Thermoforming)

กรรมวิธีการผลิตนี้ เป็นกรรมวิธีการผลิตที่นำไปใช้มากที่สุด ระยะแรกนำไปใช้ผลิตแผนที่ทางการทหาร ซึ่งมีลักษณะเป็นภาพนูน ต่อมาจึงใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทอื่นๆเช่น ภาชนะบรรจุอย่างแพร่หลาย ดังแสดงในภาพที่ 2-12



ภาพที่ 2-12 แม่พิมพ์สุญญากาศ

กรรมวิธีการผลิต

1) แผ่นเทอร์โมพลาสติกกับกรอบ

2) ให้ความร้อนพลาสติกจนอ่อนตัว

3) กดกรอบลงแนบกับแม่พิมพ์

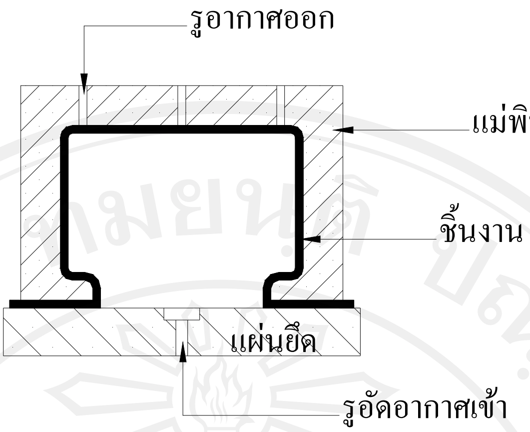
4) อากาศออกจากช่องว่างระหว่างแผ่นพลาสติกกับแม่พิมพ์ แผ่นพลาสติกที่อ่อนตัวจะแนบสนิทกับแม่พิมพ์ ปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งแผ่นพลาสติกเย็น และแข็งตัว

5) ถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

3) แม่พิมพ์อัดลม (Blow Thermoforming)

เป็นกรรมวิธีการผลิตตรงกันข้ามกับแบบสุญญากาศ คือแทนที่จะดูดอากาศออกจากแม่พิมพ์ กลับอัดอากาศเข้าไปในแม่พิมพ์แทน ดังแสดงในภาพที่ 2-13

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2-13 ภาพแม่พิมพ์อัดลม

กรรมวิธีการผลิต

1) ยึดแผ่นเทอร์โมพลาสติกติดกับกรอบ

2) ให้ความร้อนแผ่นพลาสติกจนอ่อนตัว

3) กดกรอบแนบเข้ากับแม่พิมพ์ (ชนิดตัวเมีย)

4) อัดอากาศเข้าแม่พิมพ์ แผ่นพลาสติกซึ่งอ่อนตัวจะแนบสนิทกับแม่พิมพ์ อัดอากาศต่อไปจนชิ้นงานเย็น และแข็งตัว

5) ถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

ชนิดของพลาสติกที่ใช้กับกรรมวิธีอัดแผ่นขึ้นรูป ในส่วนของเทอร์โมพลาสติกแผ่นทุกชนิดใช้ได้กับกรรมวิธีประเภทนี้ ที่นิยมใช้มากคือ พีวีซี โพลิสไตรีน เซลลูโลซิก และอะคิลิก พลาสติกแผ่นที่ใช้มักจะเป็นพลาสติกแผ่นที่ผ่านกรรมวิธีการผลิตแบบรีด (Extrusion) มากกว่าแบบอื่นทั้งนี้เพราะราคาถูก และยืดตัวได้มากกว่า ยกตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากเทอร์โมพลาสติก เช่น ภาชนะบรรจุ ชนิดต่าง ๆ ป้ายชื่อร้าน ป้ายโฆษณา ผนังชั้นในตู้เย็น ของเด็กเล่น และผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อีกมากมาย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.12 การออกแบบและการสร้างแม่พิมพ์

1. ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ ใดๆ ก็ตามที่มีจำนวนมาก จำเป็นต้องอาศัยแม่พิมพ์ที่สามารถครอบคลุมถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ให้ได้ทั้ง รูปทรง ขนาด น้ำหนัก ตามที่ผู้ออกแบบกำหนดไว้ ซึ่งลักษณะของกรรมวิธีการผลิตที่แตกต่างกันจะส่งผลโดยตรงมาจากแม่พิมพ์ที่นำมาใช้งาน ดังนั้น การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งต้องยึดหลักการที่ว่า

1. แม่พิมพ์คุณภาพดี ผลผลิตที่ดีย่อมเกิดขึ้น

2. แม่พิมพ์ผลิตชิ้นงานออกมาได้เร็ว ผลตอบแทนจากการลงทุนจะคืนกลับมาโดยเร็ว

3. แม่พิมพ์มีราคาที่เหมาะสม ย่อมส่งผลให้ได้เปรียบทางธุรกิจ

ดังนั้น พอสรุปได้ว่า การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ต้องคำนึงถึง คุณภาพ การส่งมอบ และราคาที่เหมาะสม ซึ่งเป็นปัจจัยหลักของอุตสาหกรรมนี้ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายทั้ง 3 ประการข้างต้น การออกแบบแม่พิมพ์ที่ดีจึงควรพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. มาตรฐานการออกแบบ ซึ่งในการออกแบบแต่ละครั้ง จำเป็นต้องมีมาตรฐานที่ดีโดยการกำหนดกฎเกณฑ์ต่างๆ นั้น สามารถกระทำได้ โดยผู้ผลิตแม่พิมพ์เอง หรือเป็นมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนดให้

2. เลือกใช้ชิ้นส่วนมาตรฐานที่เหมาะสม เพื่อช่วยลดเวลาในการออกแบบ

3. สามารถนำแม่พิมพ์ไปใช้ในการผลิตได้โดย ไม่มีอุปสรรค ใดๆ เกิดขึ้น

4. เลือกว่าวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ได้อย่างเหมาะสมกับปริมาณการผลิต เพื่อลดต้นทุนในการทำแม่พิมพ์

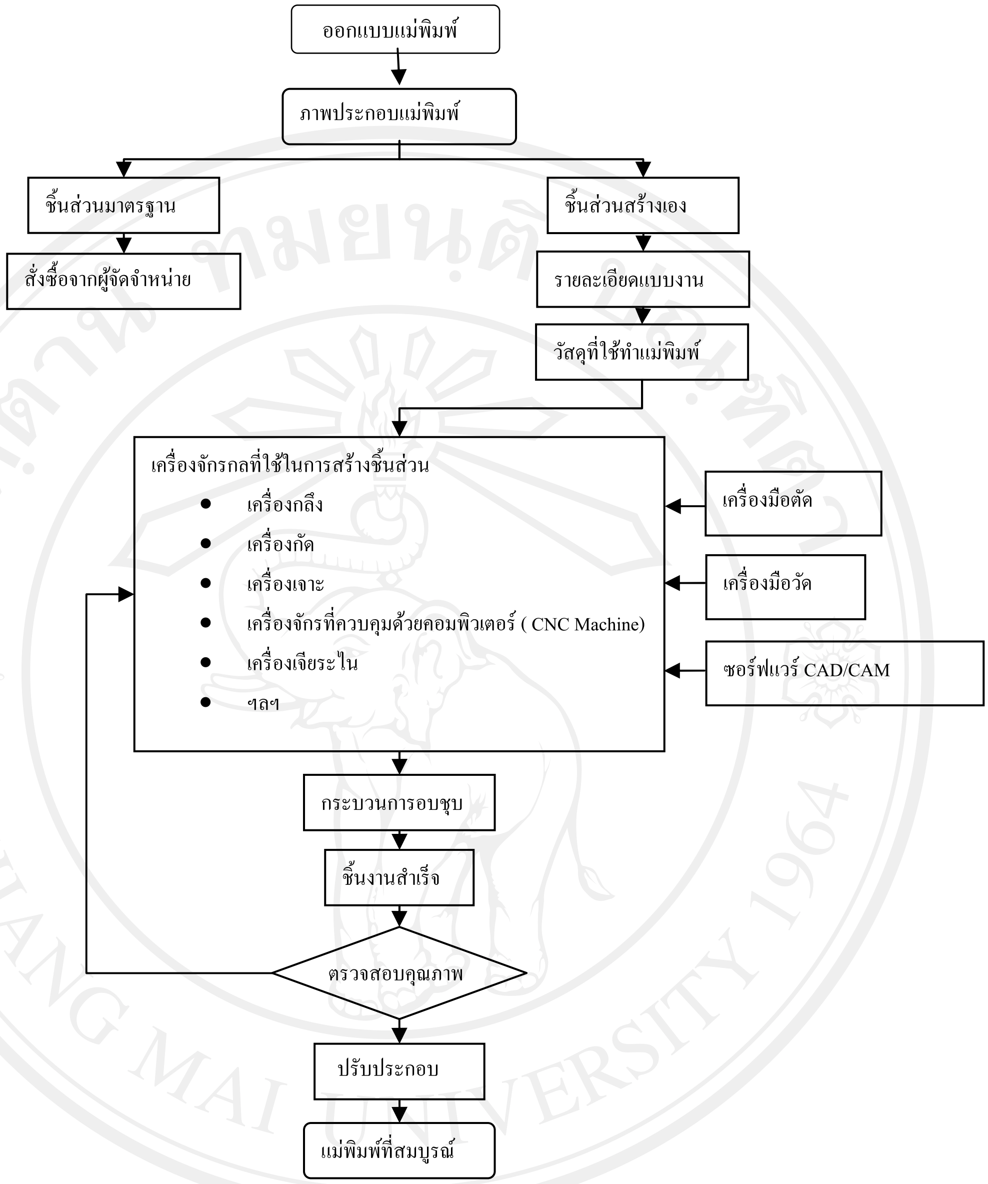
5. ลดความสลับซับซ้อน ในการทำงานของแม่พิมพ์ เพื่อให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการซ่อมบำรุง เมื่อเกิดความเสียหายระหว่างกระบวนการผลิต

ในปัจจุบันการออกแบบแม่พิมพ์ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยมีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยให้การออกแบบมีความแม่นยำและถูกต้องมากยิ่งขึ้น เนื่องจากในหน่วยความจำของระบบคอมพิวเตอร์ได้เก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและการวิเคราะห์ความถูกต้องของการออกแบบไว้อย่างมากมาย ทำให้ลดระยะเวลาการทำงานขั้นตอนนี้เป็นอย่างมาก แต่การออกแบบจะให้สมบูรณ์ได้นั้น บุคลากรที่ทำงานด้านนี้ต้องมีประสบการณ์ในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการสร้างแม่พิมพ์มาก่อน เพื่อนำประสบการณ์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในระหว่างการออกแบบต่อไป

2. การสร้างแม่พิมพ์

การสร้างแม่พิมพ์มีลำดับขั้นตอนของการดำเนินงานตามภาพที่ 2-14 ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2-14 ขั้นตอนการสร้างแม่พิมพ์

2.13 วรรณกรรม และเอกสารที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่องของส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยความร้อน ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการดำเนินงานวิจัย โดยสามารถสรุปสาระสำคัญได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

2.13.1 การทบทวน บทความ เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบค่าความแข็ง

จากงานวิจัยในเรื่องของการทดสอบค่าความแข็งแรงทำให้ทราบว่าเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการตัดสินใจ ในการเลือกวัสดุผสมมาใช้งานให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานนั้น ๆ เพราะเมื่อเลือกวัสดุผสมมาใช้งานได้เหมาะสมจะช่วยทำให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงไม่สูงเกินความจำเป็นหรือมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าปกติ ทางผู้ดำเนินการวิจัยได้ทำการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบ ค่าความแข็งแรงได้แก่ อนุสิทธ์ อ่ำไพบูลย์ และวัชระ ทองงอก (2547) ทำการทดสอบแรงดึง (Tensile test) ของรอยเชื่อม พบว่ามีตัวแปรหลายตัวแปรในขบวนการเชื่อมแบบแกนฟลักซ์ (Flux- Core Arc Welding) คือ กระแสไฟฟ้าเชื่อม ความเร็วในการเดินลวดเชื่อม มุมของลวดเชื่อม แรงดันไฟฟ้าในการเชื่อม ระยะความยาวของลวดเชื่อมที่ยื่นออกมาจากหัวเชื่อมการศึกษานี้ทำให้ทราบถึงค่าของตัวแปรที่ทำให้แนวเชื่อมรับค่าแรงดึงได้ดีที่สุด โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองซึ่งมีปัจจัยหลายอย่าง แต่ละปัจจัยมีหลายระดับ และในช่วงเวลาเดียวกัน ศุภชัย สุรพันธ์ (2547) ทำการทดสอบโลหะผงเหล็กอัดขึ้นรูป ที่มีองค์ประกอบต่างกัน ที่ปริมาณคาร์บอนในผงเหล็ก ณ ระดับการอบที่อุณหภูมิต่างกัน ผลการทดลองปรากฏว่า ค่าความแข็งแรงและความเหนียวคงที่ที่อุณหภูมิในการอบสูงกว่า 1,100 องศาเซลเซียส และได้มีการทดสอบค่าความล้าทดสอบค่าความแตกหัก ของผงโลหะอัดขึ้นรูปที่นำมาทดสอบอีกด้วย และบุญส่ง ฤทธิ์ตา (2547) ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุด้วยการดึง เพื่อดูพฤติกรรม ความสามารถในการลากขึ้นรูปของโลหะแผ่น ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม เหล็กกล้าโครงสร้างรีดเย็นอลูมิเนียมและสังกะสี โดยตัดโลหะแผ่นตามขนาดมาตรฐานการทดสอบในแนวนอน (0 องศา) แนว 45 องศา และแนวตั้ง (90 องศา) กับทิศทางการรีด (ตามทิศทางของกระบวนการผลิต) ผลการทดลองพบว่าวัสดุที่ดีอันดับแรกคือเหล็กกล้าไร้สนิม และแนวตัดที่ แนวนอน0 องศา แนว 45 องศา และแนวตั้ง 90 องศา ตามลำดับ

จากการศึกษางานวิจัยทำให้เห็นว่าได้มีการทดสอบค่าความแข็งแรงเพื่อนำมาเป็นส่วนหนึ่งของการตัดสินใจในการดำเนินงาน และสามารถนำผลการทดสอบไปประยุกต์ใช้กับงานด้านวิศวกรรมได้อย่างกว้างขวาง และปลอดภัย ถ้าชิ้นทดสอบและวิธีการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ดังนั้น ทางผู้ดำเนินการวิจัยจึงได้มองเห็นความสำคัญของการทดสอบค่าความแข็งแรงโดยได้มีการนำแนวความคิดของทุก ๆ คนที่ได้กล่าวถึงมาใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.13.2 การทบทวน บทความ เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองทางวิศวกรรม

จากงานวิจัยในเรื่องของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองทางวิศวกรรมทำให้ทราบว่าเป็นเครื่องมือสำคัญที่ทำให้ทางผู้วิจัยสามารถทราบถึงตัวแปรที่มีผลต่อการทดลอง ซึ่งในการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมนั้น ช่วยทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลอง ระยะเวลาในการทดลอง ทางผู้ดำเนินการวิจัยได้ทำการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองทางวิศวกรรมในประเทศไทย จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์ และประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา (2547) ได้ทำการทดลองการหาจุดเหมาะสมโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบซีซีอาร์ดี สำหรับการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิต หรือคุณภาพของการหล่อตัวเรือนเครื่องประดับ โดยใช้อัลลอยด์ของเงิน 3 ชนิด มีอยู่ 3 ปัจจัย คือ มุมของการขึ้นช่อ (Ingrate Angle) อุณหภูมิเบ้า (Mold Temperature) และอุณหภูมิเทน้ำโลหะ (Pouring Temperature) ซึ่งอัลลอยด์ชนิดที่ 1, 2 และ 3 ควรใช้มุมของการขึ้นช่อ 55, 35 และ 35 องศา อุณหภูมิเบ้า 463, 527 และ 513 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเทน้ำโลหะ 942, 973 และ 1,066 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดุษฎี มณีสุวรรณรัตน์ (2547) ได้ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวน ด้วยแผนการทดลองแบบส่วนผสม (Mixture design) โดยใช้กลีเซอรอลร่วมกับไซลิทอลเป็นส่วนผสม เพื่อป้องกันหรือลดสาเหตุที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของผลิตภัณฑ์ทุเรียนกวน ให้มีอายุการเก็บรักษานานขึ้น มีความหวานแต่แคลอรี่ต่ำและป้องกันหรือลดการเกิดสีคล้ำของผลิตภัณฑ์ โดยเก็บตัวอย่างจากแต่ละสูตรมาทำการตรวจสอบคุณสมบัติ ทั้งนี้ทุเรียนกวนสูตรดังกล่าวมีองค์ประกอบ คือทุเรียนสด 1,000 กรัม น้ำตาลทราย 10 กรัม กลีเซอรอล 10 กรัม และไซลิทอล 80 กรัม สำ หรับทุเรียนกวนสูตรที่ 6 มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด 1.5 x 103 CFU/g และไม่มีเชื้อราปรากฏให้เห็นซึ่งอยู่ในระดับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนผลไม้กวน ส่วนปริมาณแคลอรี่ของทุเรียนกวนสูตรที่ 6 ลดลงจากเดิมประมาณ 6% ต่อมา อนุสิทธิ์ อำไพบูลย์ (2550) ได้ทำการหาปัจจัยที่เหมาะสมของการเชื่อมแบบอาร์คโลหะก๊าซคลุม พบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยต่างๆ คือ กระแสไฟฟ้า เท่ากับ 220 แอมป์ แรงดันไฟฟ้าเชื่อม เท่ากับ 30 โวลต์ ความเร็วในการเชื่อม เท่ากับ 10 นิ้วต่อนาที มุมหัวเชื่อม เท่ากับ 75 องศาและแก๊ส CO2 คลุมแนวเชื่อม เท่ากับ 10 ลิตรต่อนาที ซึ่งได้ค่าแรงดึงสูงสุด คือ 8192 kgf.

และในปี 2547 และ 2550 พบว่า สมเกียรติ จงประสิทธิ์พร ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบการทดลองร่วมกับบุคคลท่านอื่น ๆ อีกหลาย ๆ ท่าน ดังต่อไปนี้ สมเกียรติ จงประสิทธิพร และปริญญา ศรีสัตยกุล (2547) ได้ทำการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการพิมพ์ตะกั่วบัดกรีพร้อมหลอมละลายเคลือบแผ่นวงจร จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทดลองประกอบไปด้วย อุณหภูมิที่ 150 °C, 165 °C, 330 °C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และความเร็วรอบของสายพานที่ 80 cm/min และสมเกียรติ จงประสิทธิพร วัชรชัย ภุมรินทร์ และเอกพงศ์ สุขมี (2547) ยังได้ทำการทดลองการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบัดกรีแผ่นวงจรอิเล็คทรอนิคส์ด้วยกระบวนการใช้คลื่นน้ำโลหะเหลวโดยวิธีการออกแบบการทดลอง จากการวิจัยพบว่าสภาวะเหมาะสมที่ทำให้เกิดจุดบกพร่องบนชิ้นงานน้อยที่สุดคือ แรงดันไฟฟ้าคลื่นชิปที่ 35.5 Volt. มุมเอียงของรางเลื่อนที่ 6.5 องศา และแรงดันไฟฟ้าสร้างคลื่นแลมด้าที่ 40 Volt. ปาณิกา เสนาะดนตรี และสมเกียรติ จงประสิทธิ์พร (2550) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการพัฒนาประสิทธิภาพงานหล่อเครื่องประดับด้วยการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง กรณีตัวอย่าง: โรงงานเครื่องประดับ พบว่าปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการเกิดผื่น โดยวิธีทากูชิซึ่งใช้อุณหภูมิการหล่อ 450-700°C เวลาอบเบ้า 16-41ชั่วโมง อุณหภูมิน้ำโลหะ 965-1020°C มุมเอียงชิ้นงาน 30-60 องศา ขนาดทางเดินน้ำโลหะ1-2 เท่า และเมื่อทำการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^2 เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยวิธีพื้นผิวตอบสนองพบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิการหล่อคือ 545 °C และปัจจัยที่เหมาะสมของอุณหภูมิน้ำโลหะคือ 900 °C

ในส่วนของงานวิจัยต่างประเทศที่ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองทางวิศวกรรม พบว่า Larrea M.A. *et. al.* (2004) ทำการออกแบบการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่องเอกซ์ทรูเดอร์ที่มีต่อการผลิตเนื้อส้มโดยใช้วิธีพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology; RSM) ด้วยการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design; CCD) ซึ่งกำหนดค่าของตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร ได้แก่ อุณหภูมิของบาร์เรล (^{o}c) ปริมาณความชื้นของวัตถุดิบ (%) และความเร็วรอบสกรู (rpm) และพิจารณาค่าผลตอบทั้งหมด 5 ตัวแปร ได้แก่ ปริมาณใยอาหารที่ละลายไม่ได้ (%) ปริมาณใยอาหารที่ละลายได้ (%) ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (%) ปริมาณเพกตินทั้งหมด (%) และปริมาณเพกตินที่ละลายได้ (%) ในช่วงเวลาถัดมา Hsu-Hwa Chang (2008) ได้ทำการศึกษาการออกแบบระบบการจัดการฐานข้อมูลเพื่อตอบสนองความต้องการในหลาย ๆ ปัจจัย ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองของทากูชิ (Taguchi) ในการออกแบบพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ให้เหมาะสม เพื่อตอบสนองความต้องการของผลิตภัณฑ์เป็นเรื่องยาก เพราะต้องพิจารณาในเรื่องของระยะเวลา ต้นทุน และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้ต้องหาวิธีการมาควบคุมปัจจัยต่าง ๆ โดยการออกแบบระบบการจัดการฐานข้อมูลด้วยวิธีการโครงข่ายประสาทเทียมเพื่อทำการจัดลำดับขั้นตอนที่แน่นอนในการดำเนินงาน ด้วยการจำลองสถานการณ์ให้เสมือนจริงแล้วกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการประเมินผล พบว่าการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ด้วยค่าสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละปัจจัยทำให้ได้ข้อกำหนดที่สามารถยอมรับได้ และในช่วงเวลาเดียวกัน B. Wahdame และคณะ (2008) ได้ทำการวิเคราะห์การเติมเยื่อหุ้มเซลล์ในสารประกอบโพลิเมอร์สำหรับทดสอบความทนทานภายใต้สภาวะความชื้นขั้นต่ำด้วยการจำลองขั้นตอนพฤติกรรม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง จากการศึกษาพบว่าการเติมเยื้อหุ้มเซลล์ของสารโพลิเมอร์ภายใต้สภาวะความชื้นขั้นต่ำระหว่าง 1,000 ชั่วโมงมีผลกับระยะเวลาในการเซตตัวและความหนาของชิ้นส่วนประกอบเครื่องจักร เมื่อมีการใช้งานไปเป็นเวลานาน

จากการศึกษางานวิจัยทำให้ทราบว่าการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองทางวิศวกรรมสามารถช่วยให้การดำเนินงานของผู้ทำการวิจัยลดลง ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของระยะเวลา หรือค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น ทางผู้ดำเนินการวิจัยจึงได้มองเห็นความสำคัญของการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองทางวิศวกรรม โดยได้มีการนำแนวความคิดของทุก ๆ คนที่ได้กล่าวถึงมาใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยนี้

2.13.3 การทบทวน บทความ เอกสารและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุผสม

จากงานวิจัยในเรื่องของวัสดุผสมทำให้ทราบว่าในปัจจุบันได้มีการพัฒนาคุณสมบัติ ต่าง ๆ ของวัสดุให้สามารถนำมาผสมกัน เพื่อใช้ประโยชน์ในการทดแทนวัสดุเดิมซึ่งอาจเกิดจากวัสดุเดิมมีราคาแพง หรือไม่สามารถหามาใช้งานได้ ทางผู้ดำเนินการวิจัยได้ทำการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุผสม พบว่า ศรีพงษ์ พรรณ์แผ้ว และคณะ (2548) ได้ทำการทดลองหาสมบัติของวัสดุผสมระหว่างบอลดีบุกกับทัลคัมจากการเตรียมโดยกระบวนการผลิตโลหะผสมเชิงกล ทำให้ทราบว่า ผลที่ได□หลังจากผ่านการอัดขึ้นรูปและอบผนึกที่อุณหภูมิ 900 °C เวลา 60นาที ค่าความแข็งของชิ้นงานก่อนและหลังการอบผนึกจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการบดผสมนานขึ้น แต่จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณทัลคัมและชิ้นงานหลังการอบผนึกมีค่าความแข็งสูงกว่าก่อนอบผนึกเล็กน้อย จากการทดสอบการสึกหรอพบว่□า การสึกหรอจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณผงทัลคัมสูงขึ้นจาก5-15%เพราะว่าเมื่อผสมผงทัลคัมมากขึ้น การกระจายตัวของผงทัลคัมในเนื้อบรอนซ์ไม□ดีทำให้อบผนึกยาก ชิ้นงานจึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าเมื่อผสมทัลคัมน้อยกว่า หลังจากนั้น M. Hasson, B. Batainned และ M. Abed (2008) ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของเวลาและอุณหภูมิที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและความแข็งแรงของวัสดุผสมอลูมิเนียมที่ลดลง 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกับทองแดงโดยวิธีการออกแบบการทดลองจากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิคงที่จะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น 29.3% และเมื่อเวลาคงที่จะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นระหว่าง 3.6% - 29.3% และเมื่อทั้งอุณหภูมิและเวลามีการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นสูงสุดคือ 36.0%

จากการศึกษางานวิจัยทำให้ทราบว่าในการพัฒนาคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุผสมนั้น ได้มีการทดสอบเพื่อหาค่าความเหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ต้องการเพื่อใช้ประโยชน์ในการทดแทนวัสดุเดิม ซึ่งอาจเกิดจากวัสดุเดิมมีราคาแพง หรือไม่สามารถหามาใช้งานได้ ดังนั้น ทางผู้ดำเนินการวิจัยจึงได้มองเห็นความสำคัญของการวัสดุผสม โดยได้มีการนำแนวความคิดของทุก ๆ คนที่ได้กล่าวถึงมาใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved