บทที่ 3

การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

<u>สมมุติฐานของการออกแบบการทดลอง</u>

ในการเคลือบแลกเกอร์บนแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก โดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติของผิวเคลือบแลกเกอร์จะขึ้นอยู่กับชนิดของแลกเกอร์ และกระบวนการบ่มของแลกเกอร์ในการเซ็ตตัวของแลกเกอร์แห้งยึดติดแผ่นเหล็ก ซึ่งแลกเกอร์ชนิดอีพ็อกซีเป็นสารโพลีเมอร์ในลักษณะของเหลว หรือเรซิน โดยอยู่ในสภาวะของเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) โดย เมื่อนำไปเคลือบจะเกิดการเซ็ตตัวเป็นสภาวะของแข็งในลักษณะของเทอร์โมเซ็ตติ้ง (Thermosetting) โดยการระเหยไปของตัวทำละลาย(Solvent) และสร้างพันธะโควาเลนซ์ที่แข็งแรงของโพลิเมอร์ ซึ่งต้องอาศัยอุณหภูมิบ่ม(Curing Temperature)ที่เหมาะสม และระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มที่เหมาะสม ซึ่งกระบวนการเคลือบที่เหมาะสมจะทำให้ผิวเคลือบแลกเกอร์ที่ได้มีคุณสมบัติที่ดี และเมื่อแลกเกอร์เกิดการบ่มที่ดีแล้วก็จะแห้งยึดเกาะแผ่นเหล็ก โดยมีแรงยึดติดกับแผ่นเหล็กที่สำคัญ คือ แรงยึดเกาะ(Adhesion force)

ดังนั้นลักษณะของผิวเคลือบแลกเกอร์ที่ดี จึงขึ้นกับปัจจัยที่สำคัญคือ คุณสมบัติของแลกเกอร์ และสภาวะที่ใช้ในการบ่มของแลกเกอร์ นอกจากนี้ในกระบวนการเคลือบยังมีปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่ง คือ ปริมาณแลกเกอร์ที่ใช้ต่อพื้นที่ หรือน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ ซึ่งหากใช้ในปริมาณที่เหมาะสมจะช่วย เพิ่มความสามารถในด้านต่าง ๆของผิวเคลือบแลกเกอร์ให้ดีขึ้น

ในการวิจัยครั้งนี้จะศึกษาถึงคุณสมบัติของผิวเคลือบแลกเกอร์ในด้าน ความยืดหยุ่น การทนต่อการขีดข่วน การทนต่อการขัดถู และการทนต่อแทรกซึมของไอน้ำของผิวแลกเกอร์ โดยดำเนินการทดสอบที่สำคัญ 4 การทดสอบ

1. การทดสอบความยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ (Flexibility Test)
2. การทดสอบการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์(Scratch Resistance Test)
3. การทดสอบการทนต่อการขัดถูของผิวเคลือบแลกเกอร์(Rub Test)
4. การทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำของผิวเคลือบแลกเกอร์ (Blushing Resistance Test)

และทำการทดสอบความแข็งแรงในการยึดเกาะระหว่างแลกเกอร์กับเนื้อเหล็ก

(Adhesion Test) และการทดสอบการหลุดลอกของแลกเกอร์จากการต้มฆ่าเชื้อ (Cooking Resistance Test) เพื่อประกอบการพิจารณาคุณสมบัติของผิวเคลือบแลกเกอร์

ฉะนั้นจะเห็นได้ว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านต่าง ๆ ของผิวเคลือบแลกเกอร์ที่ทำการทดสอบ คือ ชนิดของแลกเกอร์ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการบ่มซึ่งจะมีผลต่อการเซ็ตตัวของแลกเกอร์ และน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ โดยที่

1. ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความสามารถในการยืดหยุ่น

- ชนิดของแลกเกอร์

ความสามารถในการยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ จะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแลกเกอร์แต่ละชนิด หรือชนิดของแลกเกอร์และยังขึ้นอยู่กับสภาวะในการบ่มอีกด้วย

- อุณหภูมิบ่ม

อุณหภูมิบ่มมีผลต่อการเคลือบแลกเกอร์ หรือการบ่มแลกเกอร์ให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ ซึ่งหากใช้อุณหภูมิในการบ่มที่สูงไปอาจทำให้ผิวเคลือบแลกเกอร์กรอบ และเปราะทำให้ความสามารถในการยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์ต่ำลง

- เวลาที่ใช้ในการบ่ม

เวลาที่ใช้ในการบ่มมีผลต่อการเคลือบแลกเกอร์ หรือการบ่มแลกเกอร์ให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ โดยที่เวลาที่ใช้ในการบ่มน้อยเกินไปจะทำให้แลกเกอร์บ่มตัวไม่สมบูรณ์ หรือหากใช้เวลาในการบ่มมากเกินไปจะทำให้ผิวเคลือบแลกเกอร์แห้งกรอบได้ ซึ่งทำให้ความสามารถในการยืดหยุ่นต่ำลง

- น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่

น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ คือ ปริมาณของแลกเกอร์ที่ใช้ต่อพื้นที่ โดยเมื่อใช้แลกเกอร์ต่อพื้นที่มากขึ้น จะทำให้ความหนาของฟิล์มแลกเกอร์หนาขึ้นซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถในการยืดหยุ่นของผิวเคลือบแลกเกอร์

2. ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการทนต่อการขีดข่วน

- ชนิดของแลกเกอร์

ความสามารถในการทนต่อการขีดข่วนจะขึ้นกับชนิดของแลกเกอร์ หรือคุณสมบัติของแลกเกอร์ โดยขึ้นกับองค์ประกอบและส่วนผสม

- อุณหภูมิบ่ม

อุณหภูมิบ่มมีผลต่อการเคลือบแลกเกอร์ หรือการบ่มแลกเกอร์ให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ ซึ่งอุณหภูมิบ่มที่สูงเกินไปจะมีผลกระทบน้อยต่อความสามารถในการทนการขีดข่วน แต่ถ้าอุณหภูมิบ่มต่ำเกินไป จะทำให้แลกเกอร์เซ็ตตัวไม่สม่ำเสมอจะทำให้ความสามารถในการขีดข่วนลดต่ำลง

- เวลาที่ใช้ในการบ่ม

เวลาที่ใช้ในการบ่มมีผลต่อการเคลือบแลกเกอร์ หรือการบ่มแลกเกอร์ให้ได้

คุณสมบัติตามต้องการ หากการบ่มเกิดขึ้นอย่างเหมาะสม จะทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์คุณภาพดี

- น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่

น้ำหนักแลกเกอร์ที่ใช้ต่อพื้นที่ จะเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการทนต่อการขีดข่วน โดยเมื่อใช้แลกเกอร์ต่อพื้นที่มากขึ้น หรือความหนาของฟิล์มแลกเกอร์หนาขึ้น ซึ่งจะเพิ่มความสามารถในการทนต่อการขีดข่วนของผิวเคลือบแลกเกอร์

3. ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการทนต่อการขัดถู

- ชนิดของแลกเกอร์

ชนิดของแลกเกอร์ จะเป็นปัจจัยสำคัญ เพราะชนิดแลกเกอร์แต่ละชนิดก็จะมีความสามารถในการต้านทานต่อการทำละลายต่างกัน แต่นอกจากชนิดแลกเกอร์จะมีผลแล้วยังขึ้นอยู่กับสภาวะในการเคลือบของแลกเกอร์อีกด้วย

- อุณหภูมิบ่ม

อุณหภูมิบ่มมีผลต่อการเคลือบแลกเกอร์ หรือการบ่มแลกเกอร์ให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ หากการบ่มเกิดขึ้นอย่างเหมาะสม จะทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์คุณภาพดี

- เวลาที่ใช้ในการบ่ม

เวลาที่ใช้ในการบ่มมีผลต่อการเคลือบแลกเกอร์ หรือการบ่มแลกเกอร์ให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ หากการบ่มเกิดขึ้นอย่างเหมาะสม จะทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์คุณภาพดี

- น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่

น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ จะเป็นปัจจัยที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการทนต่อการขัดถู

4. ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำ

- ชนิดของแลกเกอร์

ชนิดของแลกเกอร์ จะเป็นปัจจัยสำคัญ เพราะชนิดแลกเกอร์แต่ละชนิดก็จะมีความสามารถในการต้านทานต่อการแทรกซึมของไอน้ำต่างกัน และคุณสมบัติของแลกเกอร์จะแตกต่างกันตามสภาวะของการทดสอบการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำอีกด้วย

- อุณหภูมิบ่ม

อุณหภูมิบ่มมีผลต่อการเคลือบแลกเกอร์ หรือการบ่มแลกเกอร์ให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ ซึ่งหากอุณหภูมิบ่มต่ำเกินไป จะทำให้แลกเกอร์เซ็ตตัวไม่สม่ำเสมอจะทำให้ความสามารถในการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำต่ำลง

- เวลาที่ใช้ในการบ่ม

เวลาที่ใช้ในการบ่มมีผลต่อการเคลือบแลกเกอร์ หรือการบ่มแลกเกอร์ให้ได้

คุณสมบัติตามต้องการ หากการบ่มเกิดขึ้นอย่างเหมาะสม จะทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์ที่มีคุณภาพดี

- น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่

น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ จะเป็นปัจจัยที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการทนต่อการทนต่อการแทรกซึมของไอน้ำ

ดังนั้น ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ปัจจัยชนิดของแลกเกอร์ ปัจจัยน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ ปัจจัยอุณหภูมิบ่ม และปัจจัยเวลาที่ใช้ในการบ่ม มีอิทธิพลต่อผลการทดสอบ ทั้ง 4 การทดสอบหรือตัวแปรตอบสนอง(Response Variables) แสดงได้ดังสมการตัวแบบของแหล่งความผันแปรทั้งหลายต่อค่าตัวแปรตอบสนอง ได้ดังนี้

$$y_{ijklm} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \gamma_k + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \delta_l + (\tau\delta)_{il} + (\beta\delta)_{jl} + (\tau\beta\delta)_{ijl} + (\gamma\delta)_{kl} + (\tau\gamma\delta)_{ikl} + (\beta\gamma\delta)_{jkl} + (\tau\beta\gamma\delta)_{ijkl} + \varepsilon_{ijklm}$$

$i = 1,2,...,a$ (ระดับของปัจจัยชนิดของแลกเกอร์)

$j = 1,2,...,b$ (ระดับของปัจจัยน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่)

$k = 1,2,...,c$ (ระดับของปัจจัยอุณหภูมิบ่ม)

$l = 1,2,...,d$ (ระดับของปัจจัยเวลาที่ใช้ในการบ่ม)

$m = 1,2,...,n$ (จำนวนซ้ำ)

โดยที่

y	คือ ค่าตัวแปรตอบสนองของการทดลอง
μ	คือ ค่าเฉลี่ย
τ	คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัยชนิดของแลกเกอร์
β	คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัยน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่
γ	คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัยอุณหภูมิบ่ม
δ	คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัยเวลาที่ใช้ในการบ่ม
$\tau\beta$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ของ τ กับ β
$\tau\gamma$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของ τ กับ γ
$\tau\delta$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของ τ กับ δ
$\beta\gamma$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของ β กับ γ
$\beta\delta$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของ β กับ δ
$\gamma\delta$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของ γ กับ δ
$\tau\beta\gamma$	คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของ τ กับ β กับ γ

$\tau\beta\delta$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของ τ กับ β กับ δ

$\tau\gamma\delta$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของ τ กับ γ กับ δ

$\beta\gamma\delta$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของ β กับ γ กับ δ

$\tau\beta\gamma\delta$ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปฏิสัมพันธ์ของ τ กับ β กับ γ กับ δ

ε คือ ความคลาดเคลื่อน

เนื่องจากในการศึกษากระบวนการเคลือบแลกเกอร์ครั้งนี้ จะทำการมุ่งเน้นศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) และข้อจำกัดในการทดลองจึงสามารถทำการทดลองซ้ำได้เพียง 2 ครั้ง ทำให้อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ในระดับสูงไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้ รวมทั้งอิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ในระดับสูงไม่สามารถตีความหมายและไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตได้ ฉะนั้นเพื่อให้การทดสอบมีความถูกต้องมากขึ้น จึงกำหนดสมมุติฐานของการทดสอบ โดยให้อิทธิพลของปฏิสัมพันธ์ของ 3 ปัจจัย และปฏิสัมพันธ์ของ 4 ปัจจัย สามารถละเลยได้ หรือ $\tau\beta\gamma = \tau\beta\delta = \tau\gamma\delta = \beta\gamma\delta = \tau\beta\gamma\delta = 0$

ดังนั้นสมการตัวแบบของแหล่งความผันแปรต่อค่าตัวแปรตอบสนองในการออกแบบการทดลองครั้งนี้ จึงมีสมมุติฐานคือ

$$y_{ijklm} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \gamma_k + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + \delta_l + (\tau\delta)_{il} + (\beta\delta)_{jl} + (\gamma\delta)_{kl} + \varepsilon_{ijklm}$$

ฉะนั้นจึงใช้ MS_{ABCD} MS_{ABC} MS_{ABD} $MS_{ABC}MS_{BCD}$ และMS_E ประมาณความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อน (σ^2) โดยที่

$$E(MS_E') = \sigma^2$$

$$MS_E' = [abcd(n-1)MS_E+(a-1)(b-1)(c-1)MS_{ABC}+(a-1)(b-1)(d-1)MS_{ABD}+(a-1)(c-1)(d-1)MS_{ACD}+(b-1)(c-1)(d-1)MS_{BCD}+(a-1)(b-1)(c-1)(d-1)MS_{ABCD}] / [abcd(n-1)+(a-1)(b-1)(c-1)+(a-1)(b-1)(d-1)+(a-1)(c-1)(d-1))+(b-1)(c-1)(d-1)+(a-1)(b-1)(c-1)(d-1)]$$

โดยที่

$E(MS_E')$ คือ ค่าคาดหมายของค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน

MS_E' คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อนใหม่

MS_{ABCD} MS_{ABC} MS_{ABD} MS_{ACD} MS_{BCD} คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของทรีต์เมนต์ ABCD, ABC, ABD, ACD และ BCD ตามลำดับ

MS_E คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของความคลาดเคลื่อน

แผนการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบการทดสอบกระบวนการทดสอบ โดยกำหนดค่าตัวแปรของระบบ หรือกระบวนการซึ่งทำให้สามารถทราบผลลัพธ์ของระบบ หรือกระบวนการที่แปรเปลี่ยนไป และเป็นวิธีการหนึ่งที่ทำให้เกิดการปรับปรุงและพัฒนารูปแบบของของวิธีการผลิต หรือกระบวนการผลิตต่างๆ โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะยืนยันข้อเท็จจริง หรือทำการพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริงและทำการค้นหาข้อเท็จจริง หรือศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อข้อเท็จจริง นอกจากนั้นการวิเคราะห์การทดลองเป็นวิธีการเชิงสถิติในการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลอง ซึ่งเป็นการสรุปผลของปัจจัยและอิทธิพลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองหรือที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรตอบสนองหรือที่เกี่ยวข้องกับผลลัพธ์ของระบบที่ศึกษาที่ระดับความเชื่อมั่นหนึ่งๆ หรือที่ระดับนัยสำคัญ

1. ปัจจัยที่ทำการศึกษา

หลังจากที่ได้ทำการประมวลข้อมูลที่ได้จากการค้นคว้า ได้ทำการเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเคลือบแลกเกอร์ ตลอดจนพิจารณาถึงการควบคุมค่าและวัดค่าที่เป็นไปได้ ทำให้ได้ปัจจัยที่ศึกษาซึ่งคาดว่ามีผลต่อความสามารถของผิวเคลือบแลกเกอร์ในด้านต่างๆ หรือคุณภาพในการยึดติดของแลกเกอร์ ดังนี้

1.1 ชนิดของแลกเกอร์

1.2 น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่

1.3 อุณหภูมิบ่ม

1.4 เวลาที่ใช้ในการบ่ม

และกำหนดปัจจัยที่ควบคุม คือ แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก(Tin Plate) และชนิดของแลกเกอร์ที่ใช้เคลือบ คือ แลกเกอร์ชนิดอีพ็อกซี ส่วนปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ เช่น ความชื้น อุณหภูมิของอากาศ เป็นต้น ให้ถือว่าปัจจัยเหล่านั้นมีผลต่อกระบวนการน้อยมาก จนไม่สามารถนำมาพิจารณาได้

2. การกำหนดระดับของปัจจัยที่ศึกษา

จากสมมุติฐานในการออกแบบการทดลอง และข้อมูลจากการผลิต ซึ่งสภาวะการดำเนินการเคลือบแลกเกอร์ในปัจจุบัน กำหนด

น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ 6.0-6.5 g./m.^{2}

อุณหภูมิบ่ม 205 $^{\circ}$C

เวลาที่ใช้ในการผลิต 10 นาที

โดยกำหนดระดับการทดลองออกเป็น 3 ระดับ เนื่องจากไม่ทราบลักษณะอิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองว่ามี และใช้สภาวะการผลิตในปัจจุบัน ไว้ที่ระดับกลางและกำหนดค่าที่เพิ่มขึ้นและลดลงของแต่ละปัจจัย ในระดับที่สูงกว่าและต่ำกว่าเพื่อศึกษาผลกระทบ

ที่เกิดขึ้นและเปรียบเทียบกับสภาวะการผลิตในปัจจุบัน ซึ่งช่วงที่ศึกษาของตัวแปรแต่ละตัวจะเป็นจุดที่สนใจในการผลิต ระดับของปัจจัยแบ่งได้ดังนี้

2.1 ชนิดของแลกเกอร์

ซึ่งเป็นแลกเกอร์ชนิดสีใส (Clear Lacquer) หรือแลกเกอร์ชนิดอีพ็อกซีที่ใช้อยู่ในการผลิต เพราะชนิดของแลกเกอร์แต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติต่างกัน คือ

ระดับ 1 แลกเกอร์ชนิด X

ระดับ 2 แลกเกอร์ชนิด Y

ระดับ 3 แลกเกอร์ชนิด Z

2.2 น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่

น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ที่ใช้เคลือบ ซึ่งสภาวะการผลิตในปัจจุบันกำหนดน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ที่ 6.0-6.5 g./m.^{2} ฉะนั้นจึงแบ่งออกเป็น 3 ระดับ เพื่อศึกษาถึงแนวโน้ม และอิทธิพลของปัจจัยตัวนี้ โดยคาดว่าช่วงน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ที่ศึกษาจะมีผลต่อคุณสมบัติของผิวเคลือบแลกเกอร์ โดยที่น้ำหนักแลกเกอร์ที่ใช้เพิ่มขึ้นจะทำให้ผลการทดสอบความสามารถของผิวเคลือบแลกเกอร์ในด้านต่าง ๆดีขึ้น สามารถแบ่งระดับของปัจจัยได้ดังนี้

ระดับ 1 น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ 4.5 $\pm$ 0.5 g./m.^{2}

ระดับ 2 น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ 6.5 $\pm$ 0.5 g./m.^{2}

ระดับ 3 น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่ 8.5 $\pm$ 0.5 g./m.^{2}

2.3 อุณหภูมิบ่ม

อุณหภูมิบ่ม คืออุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มแลกเกอร์ เป็นอุณหภูมิที่ทำให้แลกเกอร์เซ็ตตัวและแห้งยึดเกาะแผ่นเหล็กเคลือบดีบุกได้ดี ซึ่งสภาวะการผลิตในปัจจุบันกำหนดไว้ที่ 205 °C จึงกำหนดระดับของอุณหภูมิบ่มเพิ่มขึ้น และลดลง 10 องศาเนื่องหากใช้อุณหภูมิต่ำไปการบ่มจะเกิดขึ้นอย่างไม่มีประสิทธิภาพ และถ้าอุณหภูมิบ่มสูงจะทำให้ผิวเคลือบแลกเกอร์แห้งกรอบซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติของผิวเคลือบแลกเกอร์ในด้านต่าง ๆที่ทดสอบ ดังนั้นจึงแบ่งอุณหภูมิบ่มออกเป็น 3 ระดับ คือ

ระดับ 1 อุณหภูมิ 195 °C

ระดับ 2 อุณหภูมิ 205 °C

ระดับ 3 อุณหภูมิ 215 °C

2.4 เวลาที่ใช้ในการบ่ม

เวลาที่ใช้ในการบ่มมีผลต่อการเคลือบแลกเกอร์ หรือการบ่มแลกเกอร์ให้ได้คุณสมบัติตามต้องการ หากการบ่มเกิดขึ้นอย่างเหมาะสม จะทำให้ได้ผิวเคลือบแลกเกอร์คุณภาพดี โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ

ระดับ 1 เวลา 7 นาที

ระดับ 2 เวลา 10 นาที

ระดับ 3 เวลา 13 นาที

สามารถสรุปปัจจัยและระดับของปัจจัยได้ดังตาราง ที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การกำหนดระดับของปัจจัย

ปัจจัย	สัญลักษณ์	สภาวะ		
		-(ต่ำ)	0(กลาง)	+(สูง)
1. ชนิดของแลกเกอร์	A	X	Y	Z
2. น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่(g./m.^{2})	B	4.5 ± 0.5	6.5 ± 0.5	8.5 ± .5
3. อุณหภูมิบ่ม (°C)	C	195	205	215
4. เวลาที่ในใช้การบ่ม (นาที)	D	7	10	13

3. การใช้หลักการของการออกแบบการทดลอง ได้แก่

3.1 การทำแบบสุ่ม (Randomization) เป็นการให้โอกาสแก่ข้อมูลในการเฉลี่ยอิทธิพลของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ออกไป ในกระบวนการได้เลือกใช้การทำแบบสุ่มอย่างง่าย

3.2 การทดลองซ้ำ (Replication) หรือการกำหนดจำนวนครั้งในการทดลอง ซึ่งควรมีการทำซ้ำอย่างน้อย 2 ครั้งที่ระดับของปัจจัยต่างๆ เหมือนกัน

เนื่องจากเหตุผลทางด้านค่าใช้จ่าย และข้อจำกัดในการทำการทดลองจึงกำหนดจำนวนซ้ำในการทดลอง 2 ครั้ง และทำการทดสอบแบบสุ่มสมบูรณ์

4. การเลือกค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไปแล้ว คุณลักษณะของตัวแปรที่ถูกนำมาวัดผล และทำการวิเคราะห์ คือ ค่าเฉลี่ย หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือทั้งสองค่า เพื่อให้ได้ผลที่มีความถูกต้องมากที่สุด และกำจัดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นให้ลดน้อยลงเท่าที่จะทำได้

5. รูปแบบของการทดลอง

การทดลองนี้ใช้การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เพื่อเป็นการป้องกันเรื่องความไม่สม่ำเสมอ, ความล้าของทั้งเครื่องมือ และผู้ทำการทดลอง รวมทั้งอคติที่อาจเกิดขึ้นได้ในผู้ทำการทดลอง และการใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคโทเรียล ก็เพราะต้องการศึกษาถึงอิทธิพลร่วม (Interaction effect) ของบางปัจจัย และแก้ปัญหาข้อบกพร่องจากวิธีครั้งละหนึ่งปัจจัย (one-factor-at-a-time)

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้วิธีการเชิงสถิติวิศวกรรมในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลการทดลอง และข้อสรุปจากการทดลอง โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนตามหลักการของฟิชเชอร์ (Fisher)

ตามสมการตัวแบบในสมมุติฐานการออกแบบการทดลองซึ่งมีการทดสอบสมมุติฐานดังนี้

(1) $H_0 : \tau_i = 0$
$H_1 : \tau_i \neq 0$

(2) $H_0 : \beta_j = 0$
$H_1 : \beta_j \neq 0$

(3) $H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$
$H_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$

(4) $H_0 : \gamma_k = 0$
$H_1 : \gamma_k \neq 0$

(5) $H_0 : (\tau\gamma)_{ik} = 0$
$H_1 : (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$

(6) $H_0 : (\beta\gamma)_{jk} = 0$
$H_1 : (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$

(7) $H_0 : \delta_l = 0$
$H_1 : \delta_l \neq 0$

(8) $H_0 : (\tau\delta)_{il} = 0$
$H_1 : (\tau\delta)_{il} \neq 0$

(9) $H_0 : (\beta\delta)_{jl} = 0$
$H_1 : (\beta\delta)_{jl} \neq 0$

(10) $H_0 : (\gamma\delta)_{kl} = 0$
$H_1 : (\gamma\delta)_{kl} \neq 0$

และตรวจสอบความถูกต้อง(Model Adequacy Checking) ซึ่งหลังจากที่ได้มีการตรวจสอบรูปแบบ จะทำให้การวิเคราะห์มีความถูกต้อง และมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น และทำการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ด้วยกราฟของตัวแปรตอบสนอง (Response Plot)

ตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน

แหล่งของความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง(SS)	ขั้นของความอิสระ(DF)	ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (MS)	ตัวทดสอบ (F)	ค่า F วิกฤต
ทรีตเมนต์					
ความคลาดเคลื่อน					
ทั้งหมด					

7. ข้อสรุปและเสนอแนะ หลังจากที่มีการวิเคราะห์ข้อมูลผู้ทำการทดลองต้องทำการสรุปผล และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับผลที่ได้มาจากการทดลอง

สรุปแผนการออกแบบการทดลองดังตารางที่ 3.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3 แผนการออกแบบการทดลอง

แผนการออกแบบการทดลอง

1. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผิวเคลือบแลกเกอร์ และเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ทำให้การเคลือบแลกเกอร์ที่ได้มีคุณภาพเหมาะสมต่อการใช้งาน

2. ข้อมูลพื้นฐาน

คุณภาพของผิวเคลือบแลกเกอร์เป็นสิ่งสำคัญของอุตสาหกรรมผลิตกระป๋อง ซึ่งคุณภาพของการเคลือบแลกเกอร์จะขึ้นอยู่กับสภาวะต่างๆในการผลิต เช่น อุณหภูมิบ่ม เวลาที่ใช้ในการบ่ม แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก ชนิดของแลกเกอร์ ฯลฯ

3. ตัวแปรการทดลอง

3.1 ตัวแปรตอบสนอง.....	.....เทคนิคการวัด.....		
1. Flexibility Test	%ความยาวรอยแตก		
2. Scratch Resistance Test	น้ำหนักกด		
3. Rub Test	จำนวนคู่		
4. Blushing Resistance Test	คะแนนจิตพิสัย		
3.2 ปัจจัย.....	.....ระดับ.....		
1. ชนิดของแลกเกอร์	X	Y	Z
2. น้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่($g./m.^2$)	4.5±.5	6.5±.5	8.5±.5
3. อุณหภูมิบ่ม (°C)	195 °C	205 °C	215 °C
4. เวลาที่ใช้ในการบ่ม (นาที)	7	10	13
3.3 ปัจจัยที่ควบคุม.....	.....การควบคุม.....		
1. แผ่นเหล็กที่เคลือบ	แผ่นเหล็กเคลือบดีบุก		
2. ชนิดแลกเกอร์	แลกเกอร์อีพ็อกซี (epoxy resin)		

ตารางที่ 3.3 แผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

4. จำนวนซ้ำ

การทดลองทั้งหมดมี 3x3x3x3 = 81 สภาวะ ทำซ้ำ 2 ครั้ง ทั้งหมด 162 การทดลอง

5. วิธีการสุ่ม

การสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomization)ในการทดสอบ ตามตารางที่ 3.5 ลำดับการทดลอง

6. เมตริกการออกแบบ

แสดงดังตารางที่ 3.4

7. ตารางบันทึกผล

แสดงในภาคผนวก ก

8. การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)
กราฟตัวแปรตอบสนอง(Response plot)

9. อื่นๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 เมตริกการออกแบบ

C		-						0						+					
D		-		0		+		-		0		+		-		0		+	
A	B	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
-	-	1 *	82	2	83	3	84	4	85	5	86	6	87	7	88	8	89	9	90
	0	10	91	11	92	12	93	13	94	14	95	15	96	16	97	17	98	18	99
	+	19	100	20	101	21	102	22	103	23	104	24	105	25	106	26	107	27	108
0	-	28	109	29	110	30	111	31	112	32	113	33	114	34	115	35	116	36	117
	0	37	118	38	119	39	120	40	121	41	122	42	123	43	124	44	125	45	126
	+	46	127	47	128	48	129	49	130	50	131	51	132	52	133	53	134	54	135
+	-	55	136	56	137	57	138	58	139	59	140	60	141	61	142	62	143	63	144
	0	64	145	65	146	66	147	67	148	68	149	69	150	70	151	71	152	72	153
	+	73	154	74	155	75	156	76	157	77	158	78	159	79	160	80	161	81	162

ระดับต่ำ -

ระดับกลาง 0

ระดับสูง +

1* หมายเลขสภาวะการทดลอง

A ปัจจัยชนิดของแลกเกอร์

B ปัจจัยน้ำหนักแลกเกอร์ต่อพื้นที่

C ปัจจัยอุณหภูมิบ่ม

D ปัจจัยเวลาที่ใช้ในการบ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 ลำดับการทดลอง

No. *	หมายเลข *	No.	หมายเลข	No.	หมายเลข	No.	หมายเลข	No.	หมายเลข	No.	หมายเลข
1	121	28	88	55	143	82	65	109	151	136	148
2	4	29	140	56	152	83	83	110	157	137	69
3	56	30	15	57	39	84	11	111	52	138	91
4	3	31	66	58	78	85	126	112	5	139	97
5	129	32	53	59	118	86	106	113	38	140	108
6	32	33	71	60	1	87	59	114	6	141	2
7	2	34	116	61	115	88	20	115	147	142	142
8	135	35	154	62	19	89	27	116	96	143	43
9	103	36	72	63	161	90	57	117	16	144	141
10	131	37	51	64	55	91	81	118	92	145	124
11	80	38	44	65	34	92	77	119	155	146	42
12	47	39	50	66	22	93	146	120	61	147	63
13	33	40	70	67	104	94	114	121	94	148	35
14	48	41	110	68	87	95	112	122	99	149	21
15	82	42	105	69	85	96	127	123	12	150	36
16	79	43	117	70	139	97	125	124	160	151	158
17	64	44	119	71	40	98	23	125	10	152	28
18	18	45	123	72	29	99	8	126	90	153	41
19	75	46	7	73	153	100	68	127	49	154	136
20	31	47	149	74	73	101	58	128	107	155	150
21	100	48	113	75	45	102	98	129	122	156	93
22	14	49	95	76	133	103	145	130	130	157	144
23	24	50	30	77	9	104	120	131	102	158	156
24	67	51	138	78	17	105	128	132	74	159	62
25	54	52	89	79	76	106	37	133	84	160	13
26	137	53	111	80	132	107	162	134	46	161	134
27	60	54	86	81	25	108	101	135	159	162	109

* ลำดับการทดลอง

* หมายเลขสภาวะการทดลอง