

บทที่ 4 การดำเนินการทดลอง

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนในบทที่ 3 สามารถแสดงผลการวิจัยและนำมาวิเคราะห์ผลการวิจัยในขั้นตอนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อความเงาของชิ้นงานไม่ผ่านมาตรฐานหลังจากนั้นผู้วิจัยได้นำผลมาสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญของความเงาไม่ผ่านมาตรฐาน โดยการวิเคราะห์จากข้อมูลการใช้งานผ่านโปรแกรม Minitab เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยในการลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการขัดที่ทำให้ความเงาไม่ผ่านมาตรฐานและสุดท้ายได้ทำการทดลองค่าปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสมการถดถอยที่ได้โดยการตรวจสอบจำนวนของเสียที่ความเงาไม่ผ่านมาตรฐานลดลง ซึ่งผลการวิจัยทั้งหมดจะกล่าวตามหัวข้อต่อไป

4.1 การตั้งสมมติฐานเบื้องต้นและผลการทดลอง

การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อลดของเสียที่เกิดจากความเงาไม่ผ่านมาตรฐานโดยเทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ซึ่งเป็นการใช้แบบจำลองทางสถิติสำหรับการออกแบบ 2^5 แฟกทอเรียล (Full Factorial Design) ทำการทดลองจำนวน 32 การทดลอง ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ลำดับการทดลองเป็นแบบสุ่ม เพื่อให้เป็นไปตามหลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลองดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งมีปัจจัยที่สนใจศึกษาและระดับปัจจัยของการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.5 โดยมีจำนวนของระดับขั้นความเสรี (Degree of freedom) สำหรับการทดลองรวมปัจจัยทั้ง 32 เท่ากับ 31 ประกอบด้วยระดับขั้นความเสรีสำหรับผลกระทบหลัก 5 ชนิด คือ A, B, C, D, E ผลกระทบของอันตรกิริยาร่วมของ 2 ปัจจัย คือ AB, AC, AD, AE, BC, BD, BE, CD, CE, และ DE ผลกระทบของอันตรกิริยาร่วมของ 3 ปัจจัย คือ ABC, ABD, ABE, ACD, ACE, ADE, BCD, BCE, BDE, และ CDE ผลกระทบของอันตรกิริยาร่วมของทั้ง 4 ปัจจัย คือ ABCD, ABCE, ACDE, BCDE และ ผลกระทบของอันตรกิริยาร่วมของทั้ง 5 ปัจจัย คือ ABCDE

4.1.1 การตั้งสมมติฐาน

โดยในการทดลองสามารถตั้งสมมติฐานทางสถิติได้ดังนี้

4.1.1.1 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

$$(1) \quad H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4 = \tau_5 = 0$$

$$H_1: \tau_i \text{ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ } 0$$

$$H_0: \text{ความเร็วของสายพานไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจาน}$$

สแตนด์เลสเตอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความเร็วของสายพานมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจาน

สแตนด์เลสเตอย่างมีนัยสำคัญ

$$(2) \quad H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$$

H_1 : β_j อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ปริมาณลมที่ใช้สายหิ้วขัดไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจาน

สแตนด์เลสเตอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ปริมาณลมที่ใช้สายหิ้วขัดมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจาน

สแตนด์เลสเตอย่างมีนัยสำคัญ

$$(3) \quad H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma_4 = \gamma_5 = 0$$

H_1 : γ_k อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ปริมาณลมที่ใช้สายกดขัดไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจาน

สแตนด์เลสเตอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ปริมาณลมที่ใช้สายกดขัดมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจาน

สแตนด์เลสเตอย่างมีนัยสำคัญ

$$(4) \quad H_0: \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = \delta_4 = \delta_5 = 0$$

H_1 : δ_i อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : จำนวนลูกขัดที่ใช้ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจาน

สแตนด์เลสเตอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : จำนวนลูกขัดที่ใช้มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจาน

สแตนด์เลสเตอย่างมีนัยสำคัญ

$$(5) \quad H_0: V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = V_5 = 0$$

H_1 : V_m อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ระยะหวัชต์จนถึงผิวชิ้นงานไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจาน

สแตนด์เลสเตอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ระยะหวัชต์จนถึงผิวชิ้นงานมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจาน

สแตนด์เลสเตอย่างมีนัยสำคัญ

4.1.1.2 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย

$$(1) \quad H_0: (\tau\beta)_{ij} = 0$$

H_1 : $(\tau\beta)_{ij}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความสัมพันธ์ของความเร็วของสายพานและปริมาณลมที่ใช้สายหวัชด์ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความสัมพันธ์ของความเร็วของสายพานและปริมาณลมที่ใช้สายหวัชด์มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(2) $H_0: (\tau\gamma)_{ik} = 0$

$H_1: (\tau\gamma)_{ik}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความสัมพันธ์ของความเร็วของสายพานและปริมาณลมที่ใช้กดหวัชด์ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความสัมพันธ์ของความเร็วของสายพานและปริมาณลมที่ใช้กดหวัชด์มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(3) $H_0: (\tau\delta)_{il} = 0$

$H_1: (\tau\delta)_{il}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความสัมพันธ์ของความเร็วของสายพานและจำนวนลูกขัดที่ใช้ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความสัมพันธ์ของความเร็วของสายพานและจำนวนลูกขัดที่ใช้มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(4) $H_0: (\tau\nu)_{im} = 0$

$H_1: (\tau\nu)_{im}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความสัมพันธ์ของความเร็วของสายพานและระยะหวัชด์จนถึงผิวชิ้นงานไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความสัมพันธ์ของความเร็วของสายพานและระยะหวัชด์จนถึงผิวชิ้นงานมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(5) $H_0: (\beta\gamma)_{jk} = 0$

$H_1: (\beta\gamma)_{jk}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความสัมพันธ์ของปริมาณลมที่ใช้สายหวัชด์และปริมาณลมที่ใช้กดหวัชด์ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความสัมพันธ์ของปริมาณลมที่ใช้สายหวัชด์และปริมาณลมที่ใช้กดหวัชด์มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(6) $H_0: (\beta\delta)_{il} = 0$

$H_1: (\beta\delta)_{il}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความสัมพันธ์ของปริมาณลมที่ใช้สายหวัชด์และจำนวนลูกขัด้ที่ใช้ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความสัมพันธ์ของปริมาณลมที่ใช้สายหวัชด์และจำนวนลูกขัด้ที่ใช้มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(7) $H_0: (\beta v)_{jm} = 0$

$H_1: (\beta v)_{jm}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความสัมพันธ์ของปริมาณลมที่ใช้สายหวัชด์และระยะหวัชด์จนถึงผิวชิ้นงานไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความสัมพันธ์ของปริมาณลมที่ใช้สายหวัชด์และระยะหวัชด์จนถึงผิวชิ้นงานมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(8) $H_0: (\gamma \delta)_{kl} = 0$

$H_1: (\gamma \delta)_{kl}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความสัมพันธ์ของปริมาณลมที่ใช้กดหวัชด์และจำนวนลูกขัด้ที่ใช้ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความสัมพันธ์ของปริมาณลมที่ใช้สายกดหวัชด์และจำนวนลูกขัด้ที่ใช้มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(9) $H_0: (\gamma v)_{km} = 0$

$H_1: (\gamma v)_{km}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความสัมพันธ์ของปริมาณลมที่ใช้กดหวัชด์และระยะหวัชด์จนถึงผิวชิ้นงานไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความสัมพันธ์ของปริมาณลมที่ใช้กดหวัชด์และระยะหวัชด์จนถึงผิวชิ้นงานมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(10) $H_0: (\delta v)_{lm} = 0$

$H_1: (\delta v)_{lm}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความสัมพันธ์ของจำนวนลูกขัด้ที่ใช้ และระยะหวัชด์จนถึงผิวชิ้นงานไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความสัมพันธ์ของจำนวนลูกขัด้ที่ใช้ และระยะหวัชด์จนถึงผิวชิ้นงานมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

4.1.1.3 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย

(1) $H_0: (\tau \beta \gamma)_{ijk} = 0$

$H_1: (\tau\beta\gamma)_{ijk}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้สายหวัจัดและปริมาณลมที่ใช้กดหวัจัด ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้สายหวัจัดและปริมาณลมที่ใช้กดหวัจัดมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(2) $H_0: (\tau\beta\delta)_{ijl} = 0$

$H_1: (\tau\beta\delta)_{ijl}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้สายหวัจัดและจำนวนลูกขัดที่ใช้ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้สายหวัจัดและจำนวนลูกขัดที่ใช้มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(3) $H_0: (\tau\beta\nu)_{ijm} = 0$

$H_1: (\tau\beta\nu)_{ijm}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้สายหวัจัดและระยะหวัจัดจนถึงผิวชิ้นงาน ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้สายหวัจัดและระยะหวัจัดจนถึงผิวชิ้นงานมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(4) $H_0: (\tau\gamma\delta)_{ikl} = 0$

$H_1: (\tau\gamma\delta)_{ikl}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้กดหวัจัดและจำนวนลูกขัดที่ใช้ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้กดหวัจัดและจำนวนลูกขัดที่ใช้มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(5) $H_0: (\tau\gamma\nu)_{ikm} = 0$

$H_1: (\tau\gamma\nu)_{ikm}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้กดหวัจัดและระยะหวัจัดจนถึงผิวชิ้นงาน ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้กดหวัจัดและระยะหวัจัดจนถึงผิวชิ้นงานมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(6) $H_0: (\beta\gamma\delta)_{jkl} = 0$

$H_1: (\beta\gamma\delta)_{jkl}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัดและจำนวนลูกขัดที่ใช้ไม่มีผลกระทบ
ต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัดและจำนวนลูกขัดที่ใช้มีผลกระทบต่อ
ค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

$$(7) \quad H_0: (\beta\delta v)_{jlm} = 0$$

$H_1: (\beta\delta v)_{jlm}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด จำนวนลูกขัดที่ใช้และระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงานไม่มี
ผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด จำนวนลูกขัดที่ใช้และระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงานไม่มี
ผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

$$(8) \quad H_0: (\gamma\delta v)_{klm} = 0$$

$H_1: (\gamma\delta v)_{klm}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัด จำนวนลูกขัดที่ใช้และระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงานไม่มี
ผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัด จำนวนลูกขัดที่ใช้และระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงานไม่มี
ผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

4.1.1.4 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วม 4 ปัจจัย

$$(1) \quad H_0: (\tau\beta\gamma\delta)_{ijkl} = 0$$

$H_1: (\tau\beta\gamma\delta)_{ijkl}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัด และจำนวนลูก
ขัดที่ใช้ไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัด และจำนวนลูก
ขัดที่ใช้มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

$$(2) \quad H_0: (\tau\beta\gamma v)_{ijkm} = 0$$

$H_1: (\tau\beta\gamma v)_{ijkm}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัด และระยะหั่ว
ขัดจนถึงผิวชิ้นงานไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมี
นัยสำคัญ

H_1 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้สายหวัซัด ปริมาณลมที่ใช้กดหวัซัด และระยะหวัซัดจนถึงผิวชิ้นงานมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(3) $H_0: (\tau\gamma\delta v)_{iklm} = 0$

$H_1: (\tau\gamma\delta v)_{iklm}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้กดหวัซัด จำนวนลูกขัดที่ใช้ และระยะหวัซัดจนถึงผิวชิ้นงานไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้กดหวัซัด จำนวนลูกขัดที่ใช้ และระยะหวัซัดจนถึงผิวชิ้นงานมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

(4) $H_0: (\beta\gamma\delta v)_{jklm} = 0$

$H_1: (\beta\gamma\delta v)_{jklm}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ปริมาณลมที่ใช้สายหวัซัด ปริมาณลมที่ใช้กดหวัซัด จำนวนลูกขัดที่ใช้ และระยะหวัซัดจนถึงผิวชิ้นงานไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ปริมาณลมที่ใช้สายหวัซัด ปริมาณลมที่ใช้กดหวัซัด จำนวนลูกขัดที่ใช้ และระยะหวัซัดจนถึงผิวชิ้นงานมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

4.1.1.5 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยร่วม 5 ปัจจัย

(1) $H_0: (\tau\beta\gamma\delta v)_{ijklm} = 0$

$H_1: (\tau\beta\gamma\delta v)_{ijklm}$ อย่างน้อยหนึ่งค่าที่ไม่เท่ากับ 0

H_0 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้สายหวัซัด ปริมาณลมที่ใช้กดหวัซัด จำนวนลูกขัดที่ใช้ และระยะหวัซัดจนถึงผิวชิ้นงานไม่มีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ความเร็วของสายพาน ปริมาณลมที่ใช้สายหวัซัด ปริมาณลมที่ใช้กดหวัซัด จำนวนลูกขัดที่ใช้ และระยะหวัซัดจนถึงผิวชิ้นงานมีผลกระทบต่อค่าความเงาของภาชนะอ่างล้างจานสแตนเลสอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อกำหนดให้

τ_i	อิทธิพลที่เกิดจากความเร็วของสายพาน
β_j	อิทธิพลที่เกิดจากปริมาณลมที่ใช้สายหวัชด์
γ_k	อิทธิพลที่เกิดจากปริมาณลมที่ใช้กดหวัชด์
δ_l	อิทธิพลที่เกิดจากจำนวนลูกขัณฑ์ที่ใช้
v_m	อิทธิพลที่เกิดระยะหวัชด์จนถึงผิวชิ้นงาน

4.1.2 ผลการทดลอง

หลังจากนั้นดำเนินการทดลองโดยนำปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ทั้ง 5 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วของสายพาน, ปริมาณลมที่ใช้สายหวัชด์ ปริมาณลมที่ใช้กดหวัชด์ จำนวนลูกขัณฑ์ที่ใช้ ระยะหวัชด์จนถึงผิวชิ้นงาน ที่ระดับปัจจัยต่ำและระดับปัจจัยสูงที่ได้ออกแบบไว้ในตารางที่ 3.6 มาดำเนินการทดลอง โดยดำเนินการทดลองด้วยการควบคุมภายใต้การทดลองตามหลักการของการออกแบบการทดลองคือ

- หลักการทดลองซ้ำ (Replication) โดยแต่ละการทดลองจะทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อยืนยัน

ความถูกต้องของการทดลองซึ่งเป็นการเพิ่มความแม่นยำของข้อมูลมากขึ้น

- หลักการสุ่ม (Randomization) โดยการจัดลำดับการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม เพื่อช่วยกระจายความ

ผิดพลาดในการทดลองที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ ให้กระจายไปสู่ทุกๆ การทดลองด้วยโอกาส

และขนาดเท่า ๆ กัน

- หลักการควบคุมการทดลอง (Blocking Control) ในการวิจัยนี้มีการควบคุมปัจจัยการใช้

เครื่องจักรเครื่องเดียวกัน การควบคุมพนักงานที่ทำการทดลองบุคคลเดียวกันทุกการทดลอง

การควบคุมพนักงานที่ทำการตรวจสอบค่าความเงาเป็นบุคคลเดียวกันทุกการทดลอง

ซึ่งได้ผลการทดลองเป็นค่าความเงาของชิ้นงานดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการขัดผิวหน้าภาชนะล้างจานสแตนเลส

ลำดับการทดลองมาตรฐาน	ลำดับการทดลองตามตารางสุ่ม	ค่าระดับปัจจัย					ตัวแปรตอบสนอง
		ความเร็วของสายพาน (เมตรต่อนาที)	ปริมาณลมที่ใช้สายหัวขัด (กิโลปาสกาล)	ปริมาณลมที่ใช้กดหัวขัด (กิโลปาสกาล)	จำนวนลูกขัดที่ใช้ (ลูก)	ระยะหัวขัดจนถึงผิวชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ค่าความเงา (กลอสยูนิต)
1	19	2	300	100	25	150	330.8
2	46	7	0	300	30	100	330.1
3	35	2	300	100	25	100	327.3
4	45	2	0	300	30	100	331.2
5	23	2	300	300	25	150	339.6
6	21	2	0	300	25	150	338.9
7	22	7	0	300	25	150	333.6
8	27	2	300	100	30	150	327.2
9	33	2	0	100	25	100	323.1
10	6	7	0	300	25	100	323.4
11	56	7	300	300	25	150	327.7
12	39	2	300	300	25	100	333.5
13	24	7	300	300	25	150	333.9
14	42	7	0	100	30	100	319.2
15	29	2	0	300	30	150	334.5
16	28	7	300	100	30	150	321.4
17	3	2	300	100	25	100	323.8
18	14	7	0	300	30	100	328.5
19	2	7	0	100	25	100	315.5
20	40	7	300	300	25	100	335.6
21	62	7	0	300	30	150	335.2
22	49	2	0	100	25	150	331.4

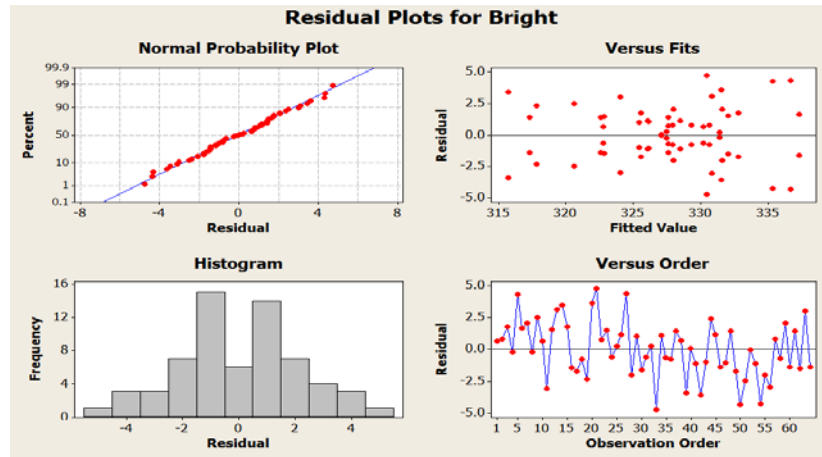
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการจัดพืชน้ำภาชนะล้างจานสแตนเลส (ต่อ)

ลำดับการทดลองมาตรฐาน	ลำดับการทดลองตามตารางสุ่ม	ค่าระดับปัจจัย					ตัวแปรตอบสนอง
		ความเร็วของสายพาน (เมตรต่อนาที)	ปริมาณลมที่ใช้สายหัวขัด (กิโลปาสกาล)	ปริมาณลมที่ใช้กดหัวขัด (กิโลปาสกาล)	จำนวนลูกขัดที่ใช้ (ลูก)	ระยะหัวขัดจนถึงผิวชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ค่าความเงา (กลอสยูนิต)
23	60	7	300	100	30	150	324.3
24	51	2	300	100	25	150	329.5
25	59	2	300	100	30	150	327.7
26	37	2	0	300	25	100	327.2
27	63	2	300	300	30	150	341
28	32	7	300	300	30	150	325.9
29	44	7	300	100	30	100	326.4
30	53	2	0	300	25	150	335.6
31	38	7	0	300	25	100	322.1
32	13	2	0	300	30	100	331.6
33	30	7	0	300	30	150	325.7
34	48	7	300	300	30	100	327.2
35	57	2	0	100	30	150	326.9
36	20	7	300	100	25	150	327.1
37	9	2	0	100	30	100	318.7
38	25	2	0	100	30	150	328.3
39	10	7	0	100	30	100	312.3
40	18	7	0	100	25	150	327.1
41	26	7	0	100	30	150	327.3
42	8	7	300	300	25	100	327.9
43	12	7	300	100	30	100	324.4
44	34	7	0	100	25	100	320.2

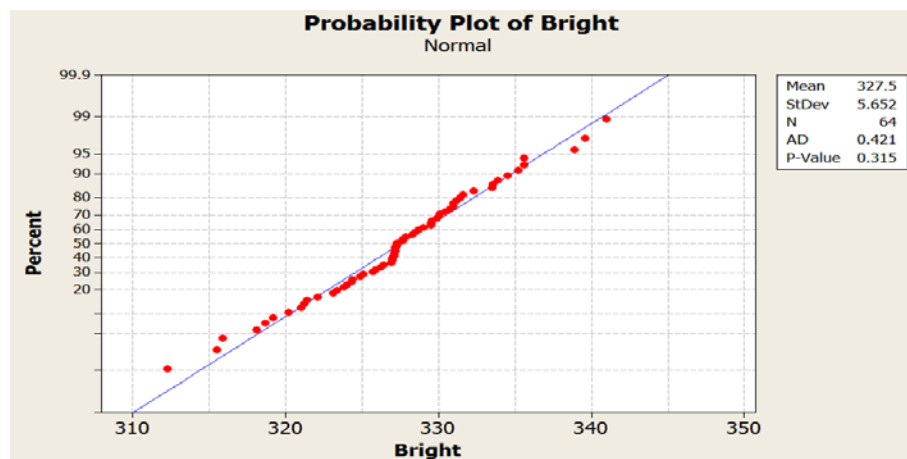
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการจัดผิวหน้าภาชนะล้างจานสแตนเลส (ต่อ)

ลำดับการทดลองมาตรฐาน	ลำดับการทดลองตามตารางสุ่ม	ค่าระดับปัจจัย					ตัวแปรตอบสนอง
		ความเร็วของสายพาน (เมตรต่อนาที)	ปริมาณลมที่ใช้สายหัวขัด (กิโลปาสกาล)	ปริมาณลมที่ใช้กดหัวขัด (กิโลปาสกาล)	จำนวนลูกขัดที่ใช้ (ลูก)	ระยะหัวขัดจนถึงผิวชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	ค่าความเงา (กลอสยูนิต)
45	58	7	0	100	30	150	329.6
46	41	2	0	100	30	100	315.9
47	16	7	300	300	30	100	325.1
48	36	7	300	100	25	100	324
49	61	2	0	300	30	150	331
50	31	2	300	300	30	150	332.3
51	1	2	0	100	25	100	318.1
52	50	7	0	100	25	150	327
53	5	2	0	300	25	100	324.9
54	55	2	300	300	25	150	331
55	54	7	0	300	25	150	329.5
56	47	2	300	300	30	100	321
57	52	7	300	100	25	150	328.7
58	17	2	0	100	25	150	329.9
59	64	7	300	300	30	150	330
60	4	7	300	100	25	100	321.2
61	43	2	300	100	30	100	329
62	7	2	300	300	25	100	330.5
63	15	2	300	300	30	100	327
64	11	2	300	100	30	100	326.2

หลังจากนั้นนำผลการทดลองไปประมวลผลผ่านโปรแกรม Minitab ว่าตั้งอยู่บนสมมติฐานหลักหรือไม่ ซึ่งแสดงดังรูป 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลของผลการทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล



รูปที่ 4.2 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของผลการทดลองแบบ 2^k แฟกทอเรียล

จากรูป 4.1 แสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลการแปลงผลตอบเพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Residual Analysis for Model Adequacy) โดยเมื่อเราทดลองแทนค่าตัวแปรลงไปในรูปแบบจำลองที่ได้จากเทคนิคการออกแบบการทดลองเพื่อทำนายผลตอบนั้น สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพยากรณ์ ($\hat{y}_{ij}$) ค่าจริง (y_{ij}) และส่วนตกค้าง (e_{ij}) ได้ดังสมการ (4.1) นี้

$$e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij} \quad (4.1)$$

โดยแบบจำลองดังกล่าวต้องตั้งอยู่บนสมมติฐานหลัก 3 ประการดังนี้

1. ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Normality Assumption) เป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลที่เก็บมาสามารถเฉลี่ยออกซึ่งปัจจัยของสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือไม่ โดยพิจารณาสมบัติความเป็นปกติของข้อมูลต้องอาศัยกราฟทดสอบความปกติ จากรูป 4.1 Normal Probability of the Residuals) พบว่ากราฟทดสอบความปกติมีลักษณะเป็นเส้นตรงและรูปที่ 4.2 Normal Probability Plot แสดงค่า P-Value = 0.315 ซึ่งมีค่ามาก ชี้ให้เห็นว่า ข้อมูลมีการเรียงใกล้เคียงเส้น Ideal Normal จากสมบัติทั้งสองของรูป และ รูป แสดงให้เห็นถึงความเป็นปกติของข้อมูล

2. ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance Assumption) การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวนนั้นเพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลที่เก็บมานั้นมีความกระจายของสิ่งที่ไม่สามารถควบคุมได้รอบค่าที่ควรจะเป็นเท่ากันหรือไม่ โดยใช้แผนทดสอบความมีเสถียรภาพจากรูป (Residuals Versus the Fitted Value) เห็นได้ว่าแผนภาพทดสอบความมีเสถียรภาพมีความผันแปรสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์แสดงว่าข้อมูลที่ได้นั้นการทดลองมีความมีเสถียรภาพ

3. ส่วนตกค้างต้องมีการกระจายตัวอิสระ (Independence Assumption) การทดสอบความอิสระของข้อมูลนั้นเป็นการตรวจสอบว่า ข้อมูลที่เก็บมานั้นเป็นการเก็บแบบสุ่มหรือไม่ โดยการวิเคราะห์ผ่านแผนภูมิควบคุม โดยแกน X คือลำดับการทดลอง แกน Y คือค่าเศษเหลือซึ่งกราฟนี้จะแสดงพฤติกรรมของค่าเศษเหลือตลอดช่วงการทดลอง จากรูป 4.11 (Residuals Versus Order) พบว่าไม่มีจุดใดตกนอกพิสัยควบคุมสูงสุดและต่ำสุดของแผนภูมิ แสดงว่ามีความอิสระของข้อมูล นั่นคือข้อมูลที่เก็บมานั้นเป็นการเก็บอย่างสุ่มหรือภายใต้ความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ

จากผลการทดสอบสมมติฐานทั้ง 3 สามารถสรุปได้ว่าผลตอบ มีส่วนตกค้างของข้อมูล (Residuals) มีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ มีความแปรปรวนคงที่ และ มีการกระจายตัวอิสระ

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากตรวจสอบคุณสมบัติของข้อมูลเรียบร้อยแล้วพบว่าแบบจำลองที่ได้ดำเนินการออกแบบไว้นั้นเป็นไปตามสมมติฐานหลัก 3 ประการของการออกแบบการทดลอง ซึ่งก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองจะต้องพิจารณาว่าความผันแปรของค่าตัวแปรตอบสนองจากข้อมูลที่เก็บมานั้นสามารถอธิบายได้จากความผันแปรของปัจจัยที่ทำการทดสอบมากหรือน้อยเพียงใด โดยการพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการทดสอบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปดังในตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสมมุติฐาน

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		327.527	0.386	848.44	0
A	-2.734	-1.367	0.386	-3.54	0.001
B	1.709	0.855	0.386	2.21	0.034
C	5.709	2.855	0.386	7.39	0
D	-1.172	-0.586	0.386	-1.52	0.139
E	5.547	2.773	0.386	7.18	0
A*B	-0.178	-0.089	0.386	-0.23	0.819
A*C	-0.353	-0.177	0.386	-0.46	0.65
A*D	0.428	0.214	0.386	0.55	0.583
A*E	-1.116	-0.558	0.386	-1.44	0.158
B*C	-1.322	0.386	0.386	-1.71	0.097
B*D	-1.078	-0.539	0.386	-1.4	0.172
B*E	-2.547	-1.273	0.386	-3.3	0.002
C*D	0.072	0.036	0.386	0.09	0.926
C*E	-0.634	-0.317	0.386	-0.82	0.417
D*E	-0.891	-0.445	0.386	-1.15	0.257
A*B*C	0.441	0.22	0.386	0.57	0.572
A*B*D	-0.853	-0.427	0.386	-1.1	0.277
A*B*E	-0.984	-0.492	0.386	-1.27	0.211
A*C*D	-0.078	-0.039	0.386	-0.1	0.92
A*C*E	-1.097	-0.548	0.386	-1.42	0.165
A*D*E	-0.266	-0.133	0.386	-0.34	0.733
B*C*D	-1.597	-0.798	0.386	-2.07	0.047
B*C*E	1.834	0.917	0.386	2.38	0.024
B*D*E	0.828	0.414	0.386	1.07	0.291

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบสมมุติฐาน (ต่อ)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
C*D*E	0.216	0.108	0.386	0.28	0.782
A*B*C*D	0.053	0.027	0.386	0.07	0.946
A*B*C*E	-0.578	-0.289	0.386	-0.75	0.459
A*B*D*E	-0.947	-0.473	0.386	-1.23	0.229
A*C*D*E	-0.284	-0.142	0.386	-0.37	0.715
B*C*D*E	2.872	1.436	0.386	3.72	0.001
A*B*C*D*E	-0.153	-0.077	0.386	-0.2	0.844

มีค่า $S = 3.08826$ PRESS = 1,220.78

มีค่า $R\text{-Sq} = 84.84\%$ $R\text{-Sq}(\text{adj}) = 70.15\%$

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	1202.19	1202.19	240.438	25.21	0.000
2-Way Interactions	10	194.90	194.90	19.490	2.04	0.061
3-Way Interactions	10	157.09	157.09	15.709	1.65	0.138
4-Way Interactions	5	152.99	152.99	30.599	3.21	0.019
5-Way Interactions	1	0.38	0.38	0.375	0.04	0.844
Residual Error	32	305.20	305.20	9.537	-	-
Pure Error	32	305.20	305.20	9.537	-	-
Total	63	2012.74	-	-	-	-

พิจารณา $R^2 = 84.84\%$ แสดงว่าการทดลองออกแบบมาดีแล้วถ้าหากความผันแปรทั้งหมดมีค่า 100 หน่วยแล้วสามารถอธิบายความผันแปรได้ด้วยปัจจัยที่ทำการทดสอบได้ 84.84 หน่วย ส่วนที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสาเหตุด้านรีฟิเทอริบิลิตี้ของการทดลอง

พิจารณา $R^2 \text{ Adjust} = 70.15\%$, มีค่าใกล้เคียงกับ ค่า $R^2 = 84.84\%$ แสดงว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีจำนวนเพียงพอ

พิจารณาผลการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) พบว่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 เมื่อเทียบกับระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าปัจจัยหลักมีอิทธิพลต่อความเงาของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งจากการพิจารณา P-Value ของ Main Effect พบว่าความเร็วของสายพาน, ปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด, ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัด และ ระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงาน มีค่า P-Value เท่ากับ 0.001, 0.034, 0.000 และ 0.000 ตามลำดับซึ่งทุกปัจจัยมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 เมื่อเทียบกับระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเงาของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

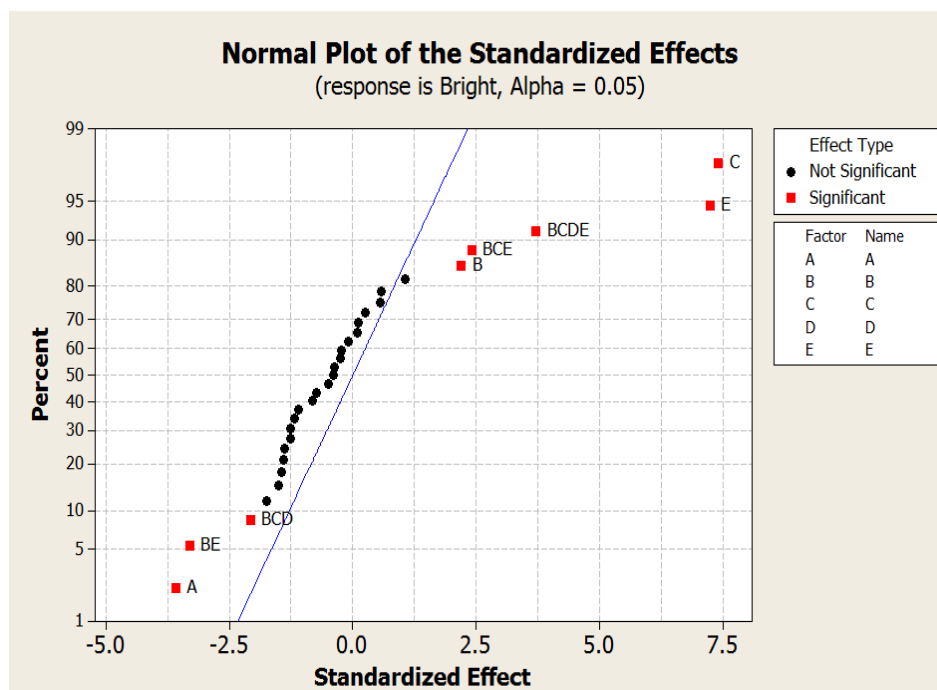
พิจารณาผลการวิเคราะห์อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (2-Way Interactions) พบว่า มีปัจจัยที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัดกับระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงาน มีค่า P-Value เท่ากับ 0.002 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัดกับระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงานมีผลต่อความเงาของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณาผลการวิเคราะห์อิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย (3-Way Interactions) พบว่า มีปัจจัยที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด, ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัดและ จำนวนลูกขัดที่ใช้ มีค่า P-Value เท่ากับ 0.047 และ ปัจจัยที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด, ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัด และ ระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงาน มีค่า P-Value เท่ากับ 0.024 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด, ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัดและ จำนวนลูกขัดที่ใช้ มีผลต่อความเงาของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

และ ปัจจัยที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด, ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัดและ ระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงานมีผลต่อความเงาของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณาผลการวิเคราะห์อิทธิพลร่วม 4 ปัจจัย (4-Way Interactions) พบว่า มีปัจจัยที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด, ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัดและ จำนวนลูกขัดที่ใช้ และ ระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงาน มีค่า P-Value เท่ากับ 0.001 มีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า

มีปัจจัยที่เกิดจากอิทธิพลร่วมของปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัดและ จำนวนลูกขัดที่ใช้ และ ระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงาน มีผลต่อความเงาของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



รูปที่ 4.3 อิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อความเงาของชิ้นงานในกระบวนการขัด

จากกราฟรูป 4.3 พล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติ ผลทั้งหมดที่อยู่บนเส้นปกติจะถือว่าตัดทิ้งได้ ในขณะที่ผลกระทบของปัจจัยมีผลมาก ๆ จะอยู่ห่างจากเส้นนี้ จึงสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลตอบ ในทางบวกได้แก่ C , E , BCDE ,BCE ,B และ ผลตอบในทางลบได้แก่ A , BE , BCD ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าผลกระทบของปัจจัยที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยเรียงตามระดับความสำคัญ ดังนี้

1. ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัด (C)
2. ระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงาน (E)
3. อิทธิพลร่วมของปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัดกับปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัดกับจำนวนลูกขัดที่ใช้ และระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงาน (BCDE)

4. ความเร็วของสายพาน (A)
5. อิทธิพลร่วมของปัจจัยปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัดกับระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงาน (BE)
6. อิทธิพลร่วมของปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัดกับปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัดและ ระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงาน (BCE)
7. ปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด (B)
8. อิทธิพลร่วมของปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด, ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัดและ จำนวนลูกขัดที่ใช้ (BCD)

หลังจากนั้นได้ทำการลดอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (2-Way Interactions) อิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย (3-Way Interactions) อิทธิพลร่วม 4 ปัจจัย (4-Way Interactions) และ อิทธิพลร่วม 5 ปัจจัย (5-Way Interactions) ที่ไม่มีผลเพื่อรวมกับค่า Error หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์การทดลองผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปอีกครั้งซึ่งได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบสมมุติฐานหลังจากหักปัจจัยที่ไม่มีผลออก

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		327.527	0.3727	878.69	0
A	-2.734	-1.367	0.3727	-3.67	0.001
B	1.709	0.855	0.3727	2.29	0.026
C	5.709	2.855	0.3727	7.66	0
D	-1.172	-0.586	0.3727	-1.57	0.122
E	5.547	2.773	0.3727	7.44	0
B*E	-2.547	-1.273	0.3727	-3.42	0.001
B*C*D	-1.597	-0.798	0.3727	-2.14	0.037
B*C* E	1.834	0.917	0.3727	2.46	0.017
B*C*D*E	2.872	1.436	0.386	3.72	0.001

มีค่า $S = 2.98195$ PRESS = 674.475

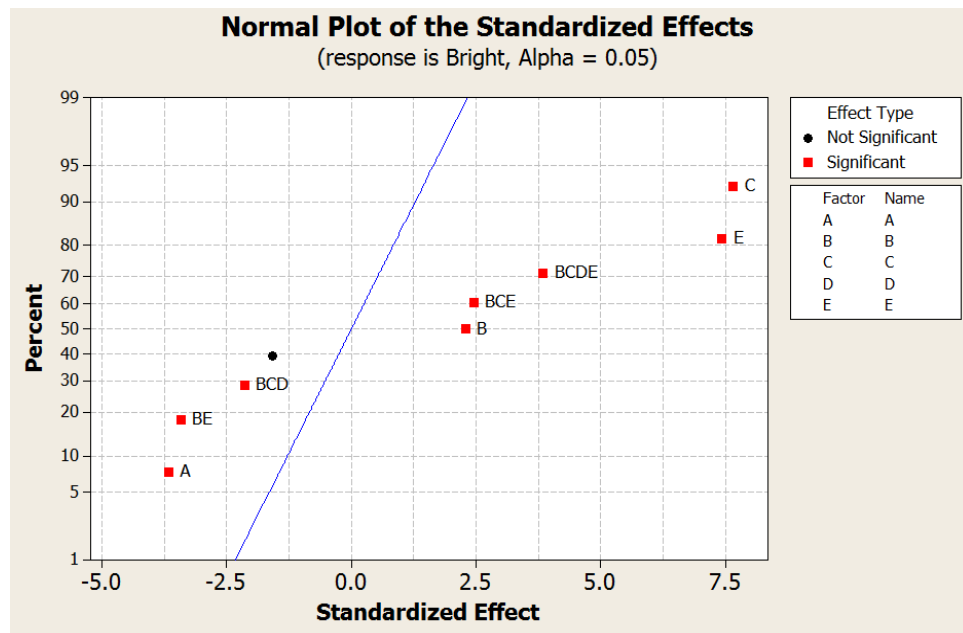
มีค่า $R-Sq = 76.14\%$ $R-Sq(adj) = 72.17\%$

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนหลังจากหักปัจจัยที่ไม่มีผลออก

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	1202.19	1202.19	240.438	27.04	0.000
A	1	119.63	119.63	119.629	13.45	0.001
B	1	46.75	46.75	46.751	5.26	0.026
C	1	521.55	521.55	521.551	58.65	0.000
D	1	21.97	21.97	21.973	2.47	0.122
E	1	492.29	492.29	492.285	55.36	0.000
B*E	1	103.79	103.79	103.785	11.67	0.001
B*C*D	1	40.80	40.80	40.800	4.59	0.037
B*C*E	1	53.84	53.84	53.839	6.05	0.017
B*C*D*E	1	131.96	131.96	131.963	14.84	0.000
Residual Error	54	480.17	480.17	8.892	-	-
Lack of Fit	22	174.97	174.97	7.953	0.83	-
Pure Error	32	305.20	305.20	9.537	-	-
Total	63	2012.74	-	-	-	-

พิจารณาค่า $R^2 = 76.14\%$ แสดงว่าการทดลองออกแบบมาดีแล้วถ้าหากความผันแปรทั้งหมดมีค่า 100 หน่วยแล้วสามารถอธิบายความผันแปรได้ด้วยปัจจัยที่ทำการทดสอบได้ 76.14 หน่วย ส่วนที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสาเหตุด้านรีฟิเทเบิลของการทดลอง

พิจารณาค่า $R^2 \text{ Adjust} = 72.17\%$, มีค่าใกล้เคียงกับ ค่า $R^2 = 76.14\%$ แสดงว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีจำนวนเพียงพอ

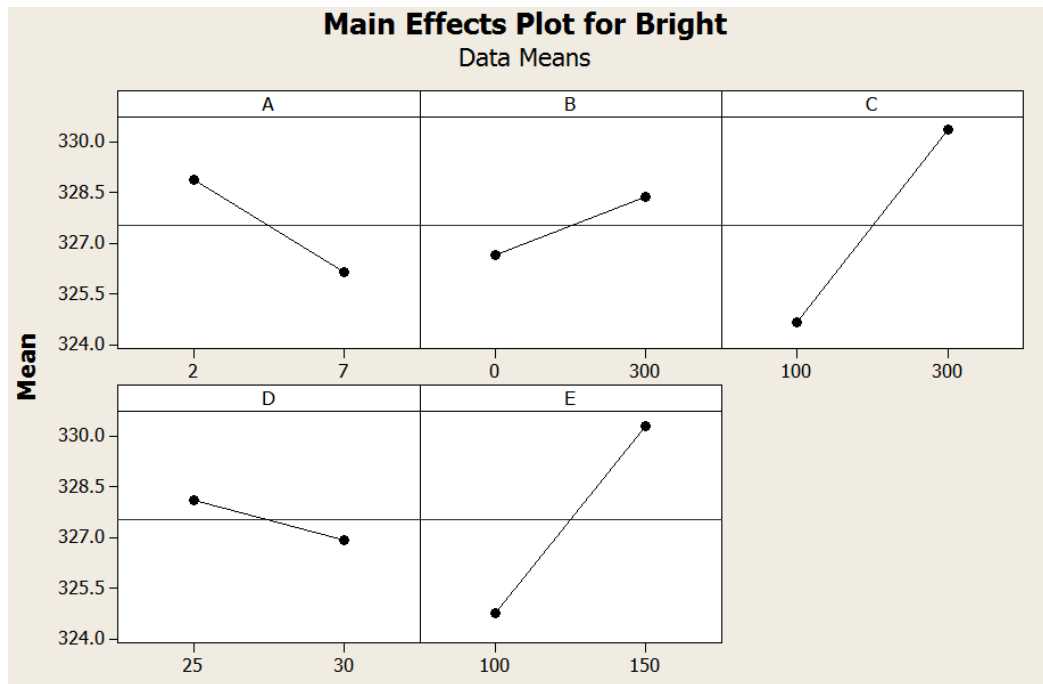


รูปที่ 4.4 อิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเงาของชิ้นงานในกระบวนการขัดหลังทำการตัดปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบ

พิจารณาเทอมของอิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย (2-Way Interactions) คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัยปริมาณลมที่ใช้สายหัวขัดกับระยะหัวขัดจนถึงผิวชิ้นงาน (BE) พบว่า P-Value มีค่า 0.002 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมทั้งสองดังกล่าวมีผลต่อค่าความเงาของชิ้นงานในกระบวนการขัดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งสอดคล้องดังรูปที่ 4.4

พิจารณาเทอมของอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย (3-Way Interactions) คืออิทธิพลร่วมของปริมาณลมที่ใช้สายหัวขัด, ปริมาณลมที่ใช้กดหัวขัดและจำนวนลูกขัดที่ใช้ ระยะหัวขัดจนถึงผิวชิ้นงาน (BCD)และ (BCE) พบว่า P-Value มีค่า 0.045 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าปัจจัยร่วมทั้งสามดังกล่าวมีผลต่อค่าความเงาของชิ้นงานในกระบวนการขัดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งสอดคล้องดังรูปที่ 4.4

พิจารณาเทอมของอิทธิพลร่วม 4 ปัจจัย (4-Way Interactions) คืออิทธิพลร่วมของปริมาณลมที่ใช้สายหัวขัดกับปริมาณลมที่ใช้กดหัวขัดกับจำนวนลูกขัดที่ใช้และระยะหัวขัดจนถึงผิวชิ้นงาน (BCDE) พบว่า P-Value มีค่า 0.001 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมทั้งสามดังกล่าวมีผลต่อค่าความเงาของชิ้นงานในกระบวนการขัดอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งสอดคล้องดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลของค่าปัจจัยหลักของแต่ละระดับปัจจัย

ทำการพิจารณาอิทธิพลหลักดังรูป ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าความเงาของชิ้นงานในกระบวนการขัดเทียบกับค่าระดับที่แตกต่างกันของแต่ละปัจจัย โดยพบว่าการที่จะทำให้ค่าความเงามีค่าสูงสุดต้องใช้ ความเร็วของสายพาน ที่ 2 เมตร/นาที่ , ปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด 300 กิโลปาสกาล, ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัด 300 กิโลปาสกาล , จำนวนลูกขัดที่ใช้ 25 ลูก และ ระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงาน 150 มิลลิเมตร

โดยมีสมการถดถอยเชิงเส้นซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองและตัวแปรอิสระดังนี้

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + v_m + (\beta\gamma)_{jm} + (\beta\gamma\delta)_{jkl} + (\beta\gamma v)_{jkm} + (\beta\gamma\delta v)_{jklm}$$

จากผลการวิเคราะห์สามารถเขียนแทนสมการถดถอยเชิงเส้นซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเงาของชิ้นงานในกระบวนการขัด ความเร็วของสายพาน, ปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัด,จำนวนลูกขัดที่ใช้ และ ระยะหั่วขัดจนถึงผิวชิ้นงาน ได้ดังสมการที่ 4.1

$$\begin{aligned} \text{ค่าความเงา} = & 327.527 - 1.367A + 0.855B + 2.855C + 2.773E - 1.273BE - 0.798BCD + 1.834BCE \\ & + 1.436BCDE \end{aligned} \quad (4.1)$$

เมื่อ A = ความเร็วของสายพาน (เมตร/นาที่)

B = ปริมาณลมที่ใช้สายหั่วขัด (กิโลปาสกาล)

C = ปริมาณลมที่ใช้กดหั่วขัด (กิโลปาสกาล)

D = จำนวนลูกขัดที่ใช้ (ลูก)

E = ระยะหัวขัจนถึงผิวชิ้นงาน (มิลลิเมตร)

ในส่วนขอเนื้อหาขั้นตอนการวิเคราะห์ผลนี้ ได้นำปัจจัยที่เป็นสาเหตุเบื้องต้นที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อความเงาของชิ้นงานมาทำการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผล ซึ่งท้ายที่สุดได้สมการความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีการเกี่ยวข้องกับค่าความเงาของชิ้นงานในกระบวนการขัด โดยผู้วิจัยได้นำสมการดังกล่าวไปทำการแทนค่าของตัวแปรที่เกี่ยวข้องเพื่อหาสถานะควบคุมกระบวนการผลิตที่ทำให้ค่าความเงาของชิ้นงานในกระบวนการขัดผ่านมาตรฐานซึ่งระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือสถานะควบคุมดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 สถานะควบคุมกระบวนการขัดหน้าที่ทำให้ความเงาผ่านมาตรฐานการขัด

ปัจจัยป้อนเข้า	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม
ความเร็วของสายพาน (A)	เมตร/นาที	2
ปริมาณลมที่ใช้สายหัวขัด (B)	กิโลปาสกาล	300
ปริมาณลมที่ใช้กดหัวขัด (C)	กิโลปาสกาล	300
จำนวนลูกขัดที่ใช้ (D)	ลูก	25
ระยะหัวขัจนถึงผิวชิ้นงาน (E)	มิลลิเมตร	150

4.3 การยืนยันผลการทดลอง

จากผลการทดลองทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของทั้ง 5 ปัจจัย จึงทำการยืนยันผลการทดลองด้วยการทดลองสุ่มตัวอย่าง 1,000 ใบ มาทดสอบด้วยสถานะควบคุมกระบวนการ ซึ่งจากการทดลอง 1,000 ใบ พบว่าเกิดการบกพร่องประเภทความเงาไม่ผ่านมาตรฐาน 75 ใบ มีผลทำให้เกิดสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทความเงาไม่ผ่านมาตรฐานร้อยละ 7.5 โดยสามารถแสดงค่าผลการทดลองค่าความเงาที่ได้จากการทดสอบที่สถานะควบคุมกระบวนการขัดหน้าในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1 และทำการยืนยันผลการทดลอง 2 ประเภทคือ

4.3.1 การยืนยันผลการปรับปรุงสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง

การยืนยันผลการปรับปรุงสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทความเงาไม่ผ่านมาตรฐานสามารถตั้งสมมติฐานได้ดังนี้

- (1) H_0 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องค่าความเงาไม่ผ่านมาตรฐานก่อนการปรับปรุงน้อยกว่าหรือเท่ากับหลังการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องค่าความเงาไม่ผ่านมาตรฐานก่อนการปรับปรุงมากกว่าหลังการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ

Sample	X	N	Sample p
1	13233	57154	0.231532
2	75	1000	0.075000

Difference = p (1) - p (2)
 Estimate for difference: 0.156532
 95% lower bound for difference: 0.142528
 Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 18.39 P-Value = 0.000

รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องค่าความเงาไม่ผ่านมาตรฐานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

จากข้อมูลในตารางภาคผนวก ก. ได้นำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป พบว่าค่า P-Value = 0.00 ซึ่งน้อยกว่า ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) นั่นคือ สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องค่าความเงาไม่ผ่านมาตรฐานก่อนการปรับปรุงมากกว่าหลังการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ

จากนั้นตรวจสอบขนาดของสิ่งตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องข้างต้น โดยผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปดังรูปที่ 4.6

Power and Sample Size			
Test for Two Proportions			
Testing proportion 1 = proportion 2 (versus not =)			
Calculating power for proportion 2 = 0.23			
Alpha = 0.05			
Proportion 1	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.075	96	0.85	0.853567
The sample size is for each group.			

รูปที่ 4.7 ขนาดของสิ่งตัวอย่างที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง

จากรูปที่ 4.7 แสดงว่าในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งต้องเก็บจำนวน 96 ขึ้นถึงเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง แต่ในทางปฏิบัติจริงมีการเก็บตัวอย่าง 1000 ขึ้นซึ่งเป็นจำนวนที่เพียงพอแล้วสำหรับการวิเคราะห์สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องข้างต้น

4.3.2 การยืนยันผลการปรับปรุงค่าเฉลี่ยความเงา

การยืนยันผลการปรับปรุงค่าเฉลี่ยความเงาของกระบวนการจัดสามารถตั้งสมมุติฐานได้ดังนี้

(1) H_0 : ค่าเฉลี่ยความเงาของกระบวนการจัดก่อนการปรับปรุงมากกว่าหรือเท่ากับหลังการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ

H_1 : ค่าเฉลี่ยความเงาของกระบวนการจัดก่อนการปรับปรุงน้อยกว่าหลังการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ

Two-sample T for After Improve vs Before Improve				
	N	Mean	StDev	SE Mean
After Improve	1000	333.03	2.94	0.093
Before Improve	200	327.50	1.94	0.14
Difference = mu (After Improve) - mu (Before Improve)				
Estimate for difference: 5.52874				
95% lower bound for difference: 5.17170				
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 25.49 P-Value = 0.000 DF = 1198				
Both use Pooled StDev = 2.8001				

รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยความเงาของกระบวนการจัดก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

จากข้อมูลในตารางภาคผนวก ก. ได้นำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าค่า P-Value = 0.00 ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงปฏิเสธสมมุติฐานหลัก (H_0) นั่นคือ ค่าเฉลี่ยความเงาของกระบวนการจัดก่อนการปรับปรุงน้อยกว่าหลังการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญ

จากการทดลองต้องการทราบว่าค่าความเงาเกิดขึ้นตามสมการแสดงความสัมพันธ์ที่ได้ทำการออกแบบการทดลองไว้ข้างต้นหรือไม่จึงแทนค่าในสมการ ได้ค่าความเงาจากการจัดดังนี้

$$= 327.527 - 1.367A + 0.855B + 2.855C + 2.773E - 1.273BE - 0.798BCD + 1.834BCE + 1.436BCDE$$

$$= 333.46 \text{ กลอสยูนิต}$$

เมื่อแทนค่าในสมการความสัมพันธ์แล้วพบว่า ค่าความเงาในกระบวนการจัดเท่ากับ 333.46 กลอสยูนิต ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับค่าจากการทดลองคือ 333.03 กลอสยูนิต จึงสรุปได้ว่าหลังจากการปรับปรุงกระบวนการทดลองที่สถานะควบคุมทำให้เกิดสัดส่วนของเสียร้อยละ 7.5 ซึ่งทำให้สัดส่วนปริมาณข้อบกพร่องประเภทความเงาไม่ผ่านมาตรฐานลดลงเหลือร้อยละ 15.65 ส่งผลให้ปริมาณข้อบกพร่องโดยรวมของกระบวนการผลิตภาชนะล้างจานสแตนเลสลดลงเหลือร้อยละ 40.20 ซึ่งสามารถสรุปผลความแตกต่างระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงได้ดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบสัดส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์บกพร่องความเงาไม่ผ่านมาตรฐานก่อน
ปรับปรุงกระบวนการจัดหน้าและหลังปรับปรุงกระบวนการจัดหน้า

สถานะของกระบวนการ	ปริมาณการผลิต (ใบ)	ปริมาณผลิตภัณฑ์ บกพร่องประเภท ความเงาไม่ผ่าน มาตรฐาน (ใบ)	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ บกพร่อง (ร้อยละ)
ข้อมูลเดิม	57,154	13,233	23.15
ผลการทดลองที่สถานะ ควบคุม	1,000	75	7.5
สรุปผลสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องที่ลดลง (ร้อยละ)			15.65

ตารางที่ 4.8 ความแตกต่างของข้อมูลระหว่างก่อนปรับปรุงกระบวนการจัดหน้าและหลังปรับปรุง
กระบวนการจัดหน้าที่สถานะควบคุม

สถานะของ กระบวนการ	ค่าเฉลี่ย ความเงาของ กระบวนการจัด (กลอสยูนิต)	สัดส่วน ผลิตภัณฑ์ บกพร่องประเภท ความเงาไม่ผ่าน มาตรฐาน (ร้อยละ)	สัดส่วน ผลิตภัณฑ์ บกพร่องโดยรวม (ร้อยละ)
ก่อนปรับปรุง	327.50	23.15	55.85
หลังปรับปรุง	333.03	7.50	40.20