

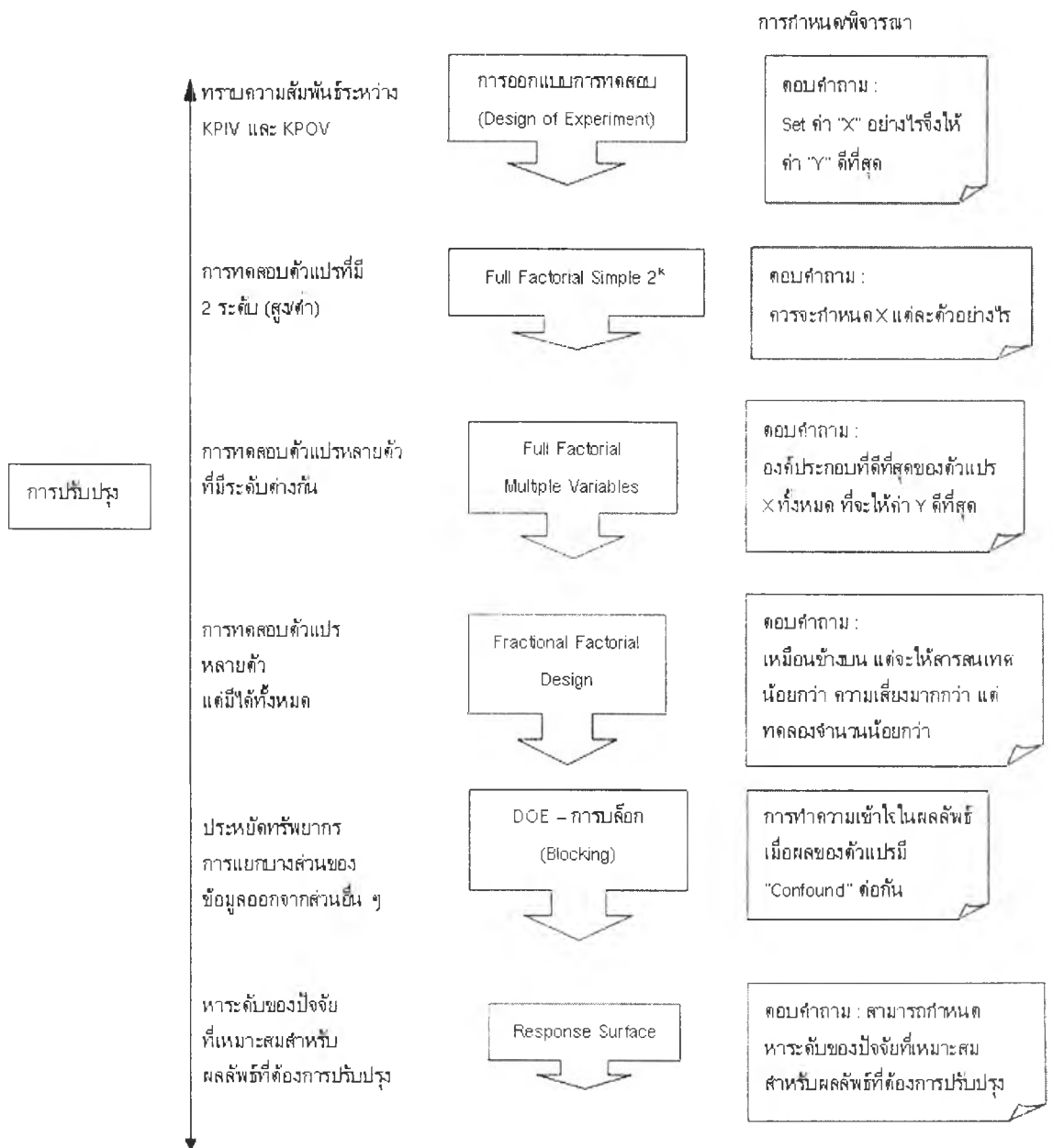


บทที่ 7

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

7.1 บทนำ

แผนผัง Six Sigma ระยะที่ 4 - การปรับปรุง (Improve)



จากแผนผัง ชิกร์ ชิกร์มา ระยะที่ 4 การปรับปรุง (Improve) เครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

- การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) เพราะการออกแบบการทดลองนั้นสามารถที่จะช่วยปรับปรุงกระบวนการที่ศึกษาอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจาก การออกแบบการทดลองนั้นจะช่วยสรุปผลสุดท้าย ที่ต้องการทั้งหมดของชิกร์ ชิกร์มา กล่าวคือ จะช่วยให้สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (KPIV) ที่เหมาะสมซึ่งส่งผลต่อค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ
- การออกแบบการทดลองที่มีสองระดับ (2^k Full Factorial Design) เพราะการออกแบบการทดลองแบบนี้เป็นการออกแบบการทดลองที่มีประโยชน์และนิยมใช้กันอย่างมากในอุตสาหกรรม เนื่องจากช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลอง รวมทั้งช่วยการกลั่นกรองปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญ ได้โดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และสอดคล้องกับการเพิ่มจุดศูนย์กลางของการทดลองเข้าไปเพื่อตรวจสอบว่า รูปแบบของการทดลองนั้นมีลักษณะเป็นเส้นตรงหรือไม่
- วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology, RSM) นำมาใช้เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของค่าผลตอบสนอง

เครื่องมือที่ไม่ได้นำมาใช้ใน ชิกร์ ชิกร์มา ระยะที่ 4 (Improve) ประกอบด้วยเครื่องมือดังต่อไปนี้

- การทดสอบตัวแปรหลายตัวที่มีระดับต่างกัน (Full Factorial Multiple Variables) ที่ไม่ได้นำเครื่องมือนี้มาประยุกต์ใช้เนื่องจากระดับของปัจจัยการออกแบบการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้มีเพียง 2 ระดับ เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลองและเป็นการป้องกันผลเสียที่เกิดขึ้นถ้ามีการทดลองหลายระดับแต่ปัจจัยนั้นไม่มีนัยสำคัญ จึงใช้การออกแบบการทดลองที่มี 2 ระดับ
- การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (Fractional Factorial Design) ที่ไม่ได้นำเครื่องมือนี้มาประยุกต์ใช้เนื่องจากความสามารถในการทดลองแบบเต็มรูปแบบเพียงพอ ถ้านำการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2 ระดับมาใช้ อาจทำให้ขาดสารสนเทศที่สำคัญบางอย่างไป
- การบล็อกของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (DOE-Blocking) ที่ไม่ได้นำเครื่องมือนี้มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากเทคนิคนี้ใช้สำหรับการออกแบบการทดลองที่ทราบอยู่แล้วว่ามีปัจจัยที่มีผลแต่ไม่สนใจจึงทำการบล็อกปัจจัยนั้นเพื่อการสรุปผลที่ถูกต้อง แต่งานวิจัยนี้ไม่มีกรณีของปัจจัยดังกล่าวจึงไม่นำเทคนิคนี้มาวิเคราะห์

หลังจากทำการทดสอบสมมติฐานในบทที่ผ่านมา โดยการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน และเมื่อได้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน (Dt) แล้ว นำปัจจัยดังกล่าวไปทำการทดลอง โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง ดำเนินการทดลองตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง หาค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยนั้นๆ โดยที่จะส่งผลต่อค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำที่สุด

7.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากผลการวิเคราะห์สมมติฐานของปัจจัยนำเข้าทั้ง 9 ปัจจัย พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน (Dt) ของชิ้นงานมี 4 ปัจจัย โดยมีการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 7.1 ดังนี้

ตารางที่ 7.1 แสดงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะนำไปทำการทดลอง

| ปัจจัย | ระดับ | | หน่วย |
|---|-------|------|--------------|
| | -1 | 1 | |
| ขนาดช่องว่างของวัสดุพูน (Mesh) ชั้นนอก | 0.077 | 0.14 | มิลลิเมตร |
| ระยะห่างระหว่างวัสดุพูนกับท่อความร้อน (Gap) | ไม่มี | มี | ไม่มี |
| อุณหภูมิการอบในโตรเจน | 495 | 525 | องศาเซลเซียส |
| เวลาในการไล่ก๊าซออก | 30 | 45 | วินาที |

7.3 ตัวแปรตอบสนอง

ค่าตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน (Dt) วัดในหน่วยองศาเซลเซียส ณ กระบวนการ QA. Thermal Checking โดยเป็นค่าที่ลูกค้ากำหนดในข้อกำหนดให้เป็นค่าที่ต่ำที่สุด ซึ่งต้องมีค่าไม่เกิน 25.7 องศาเซลเซียส เนื่องจาก ค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน (Dt) เป็นการแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์สามารถระบายความร้อนได้ดี

7.4 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองนี้จะใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k โดยที่ k คือ จำนวนของปัจจัยที่นำมาทดลอง และ 2 คือ จำนวนระดับของแต่ละปัจจัย และกำหนดให้แต่ละระดับของแต่ละปัจจัยเป็น ต่ำ (-) กับ สูง (+) ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง มีดังนี้

การทดลองซ้ำ (Replication)

ในการวิเคราะห์จำนวนการทดลองซ้ำนี้ จะใช้อัตราส่วนของค่า δ/σ เท่ากับ 1.5 เนื่องจาก เป็นค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติ เพื่อให้สามารถจำแนกความแตกต่างของค่าเฉลี่ยได้ และกำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.90 ($\beta = 0.10$) โดยสามารถคำนวณหาจำนวนการทดลองซ้ำได้จากโปรแกรม Minitab ได้ดังนี้

Power and Sample Size 2-Level Factorial Design

Sigma = 1 Alpha = 0.05

Factors: 4 Base Design: 4, 16

Blocks: none

Including a term for center points in model.

| Per Block | Effect | Reps | Power |
|-----------|------------|----------|---------------|
| 3 | 1.5 | 1 | 0.3874 |
| 3 | 1.5 | 2 | 0.9797 |
| 3 | 1.5 | 3 | 0.9990 |

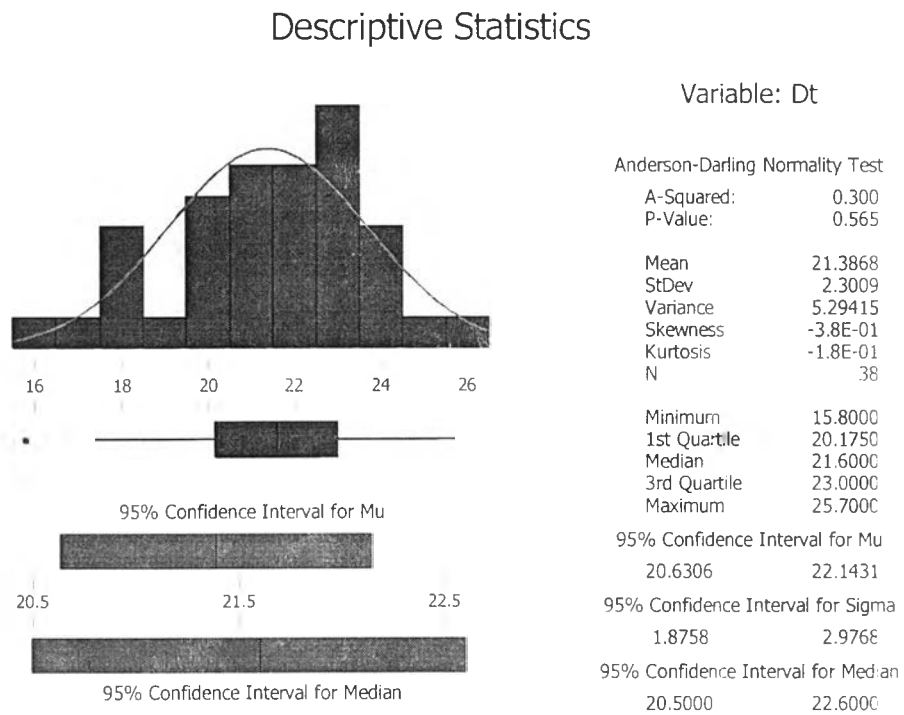
จากผลการคำนวณ พบว่า ที่จำนวนการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ จะมีค่ากำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.9797 ซึ่งมากกว่าค่ากำลังของการทดสอบ (Power of Test) ที่กำหนดไว้ที่ 0.90 ดังนั้น การทดลองนี้จึงใช้การออกแบบการทดลองที่มีการทดลองซ้ำ 2 ซ้ำ นั่นคือ จะได้ว่า การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เป็นแบบ 2^4 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 2 ครั้งและมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Points) เข้าไป 3 จุด เนื่องจากตามทฤษฎีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง ควรจะมีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 3-5 จุด อีกทั้งเป็นการประหยัดจำนวนครั้งของการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ของผลที่จะเกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆ และจะได้ลำดับของการทดลองเป็นการทดลองแบบสุ่มรวมทั้งสิ้น 38 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 ตารางแสดงผลการทดลอง

| StdOrder | RunOrder | CenterPt | Blocks | Outer Mesh | Gap | N2-Baking | Degassing | Dt |
|----------|----------|----------|--------|------------|---------|-----------|-----------|------|
| 33 | 1 | 0 | 1 | 0.1085 | Non-Gap | 510 | 37.5 | 17.8 |
| 21 | 2 | 1 | 1 | 0.077 | Non-Gap | 525 | 30 | 21 |
| 11 | 3 | 1 | 1 | 0.077 | Gap | 495 | 45 | 21.7 |
| 20 | 4 | 1 | 1 | 0.14 | Gap | 495 | 30 | 19.8 |
| 7 | 5 | 1 | 1 | 0.077 | Gap | 525 | 30 | 24.3 |
| 12 | 6 | 1 | 1 | 0.14 | Gap | 495 | 45 | 24.2 |
| 6 | 7 | 1 | 1 | 0.14 | Non-Gap | 525 | 30 | 19.2 |
| 26 | 8 | 1 | 1 | 0.14 | Non-Gap | 495 | 45 | 24.2 |
| 8 | 9 | 1 | 1 | 0.14 | Gap | 525 | 30 | 17.4 |
| 24 | 10 | 1 | 1 | 0.14 | Gap | 525 | 30 | 15.8 |
| 36 | 11 | 0 | 1 | 0.1085 | Gap | 510 | 37.5 | 20.5 |
| 22 | 12 | 1 | 1 | 0.14 | Non-Gap | 525 | 30 | 17.9 |
| 2 | 13 | 1 | 1 | 0.14 | Non-Gap | 495 | 30 | 22.9 |
| 15 | 14 | 1 | 1 | 0.077 | Gap | 525 | 45 | 23.3 |
| 31 | 15 | 1 | 1 | 0.077 | Gap | 525 | 45 | 22 |
| 25 | 16 | 1 | 1 | 0.077 | Non-Gap | 495 | 45 | 24 |
| 32 | 17 | 1 | 1 | 0.14 | Gap | 525 | 45 | 19.8 |
| 16 | 18 | 1 | 1 | 0.14 | Gap | 525 | 45 | 21.4 |
| 17 | 19 | 1 | 1 | 0.077 | Non-Gap | 495 | 30 | 21.8 |
| 13 | 20 | 1 | 1 | 0.077 | Non-Gap | 525 | 45 | 22.6 |
| 29 | 21 | 1 | 1 | 0.077 | Non-Gap | 525 | 45 | 21.2 |
| 30 | 22 | 1 | 1 | 0.14 | Non-Gap | 525 | 45 | 20.5 |
| 19 | 23 | 1 | 1 | 0.077 | Gap | 495 | 30 | 21.7 |
| 18 | 24 | 1 | 1 | 0.14 | Non-Gap | 495 | 30 | 21.5 |
| 35 | 25 | 0 | 1 | 0.1085 | Non-Gap | 510 | 37.5 | 18.1 |
| 9 | 26 | 1 | 1 | 0.077 | Non-Gap | 495 | 45 | 25.3 |
| 4 | 27 | 1 | 1 | 0.14 | Gap | 495 | 30 | 21.1 |
| 3 | 28 | 1 | 1 | 0.077 | Gap | 495 | 30 | 23.3 |
| 28 | 29 | 1 | 1 | 0.14 | Gap | 495 | 45 | 22.8 |
| 27 | 30 | 1 | 1 | 0.077 | Gap | 495 | 45 | 20.3 |
| 34 | 31 | 0 | 1 | 0.1085 | Gap | 510 | 37.5 | 20.4 |
| 38 | 32 | 0 | 1 | 0.1085 | Gap | 510 | 37.5 | 20.4 |
| 14 | 33 | 1 | 1 | 0.14 | Non-Gap | 525 | 45 | 22 |
| 1 | 34 | 1 | 1 | 0.077 | Non-Gap | 495 | 30 | 23.3 |
| 10 | 35 | 1 | 1 | 0.14 | Non-Gap | 495 | 45 | 25.7 |
| 23 | 36 | 1 | 1 | 0.077 | Gap | 525 | 30 | 22.9 |
| 5 | 37 | 1 | 1 | 0.077 | Non-Gap | 525 | 30 | 22.6 |
| 37 | 38 | 0 | 1 | 0.1085 | Non-Gap | 510 | 37.5 | 18 |

7.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ผลของการทดลองที่ได้จากการทดลองทั้ง 38 การทดลองนั้น สามารถสรุปผลค่าตัวแปรตอบสนอง (Dt) ได้ดังรูปที่ 7.1

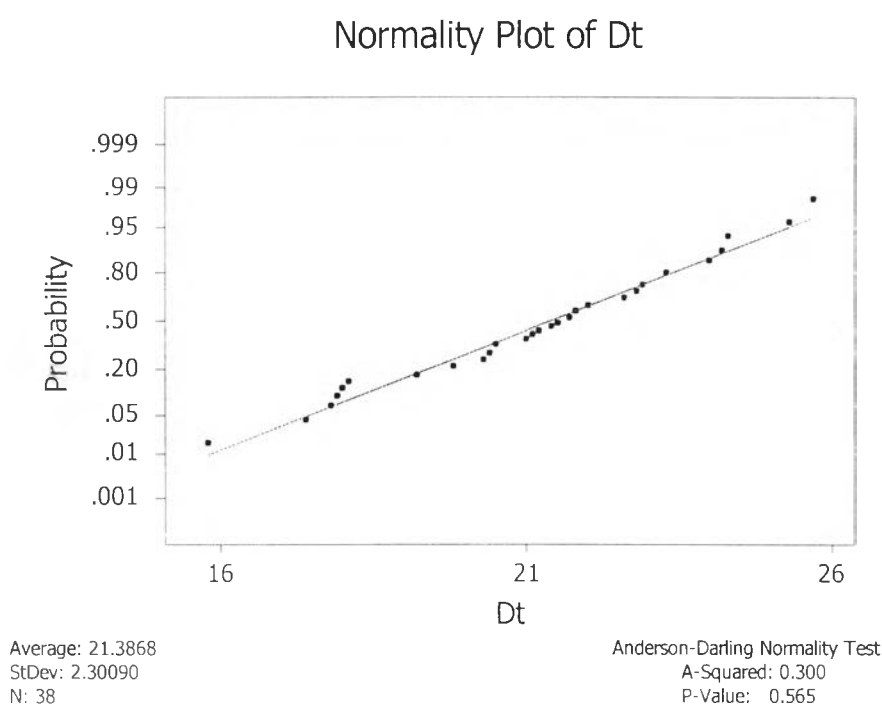


รูปที่ 7.1 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าตัวแปรตอบสนอง (Dt)

ในการออกแบบการทดลองนั้น จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID ($0, \sigma^2$) จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของ NID ($0, \sigma^2$) หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ประกอบด้วย การทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และควรมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

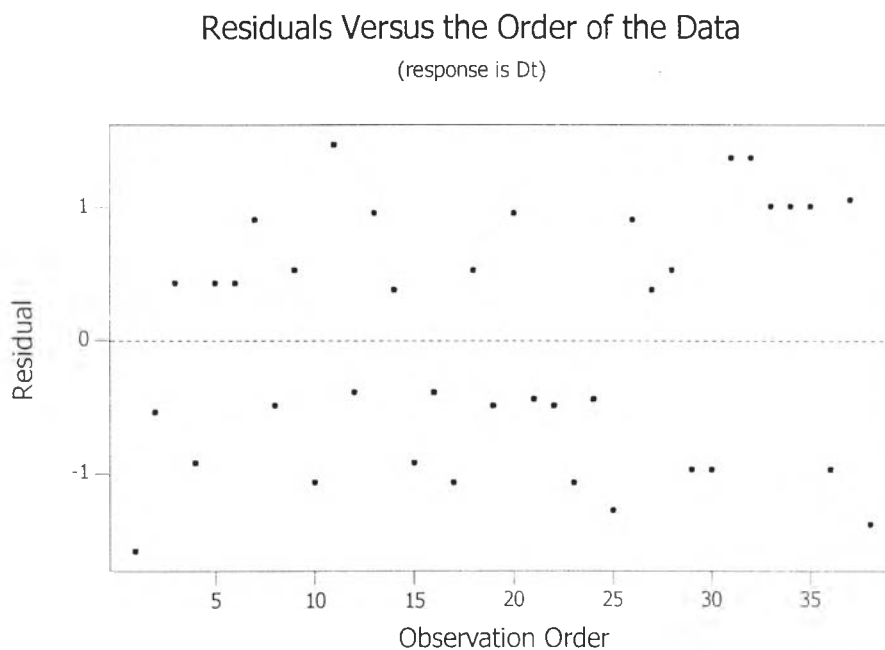
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง (Dt) ซึ่งกราฟการกระจายของค่าส่วนตกค้างค่าตัวแปรตอบสนอง (Dt) ที่ได้ควรเป็นเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบโดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล แสดงดังรูปที่ 7.3 โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใดๆ ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

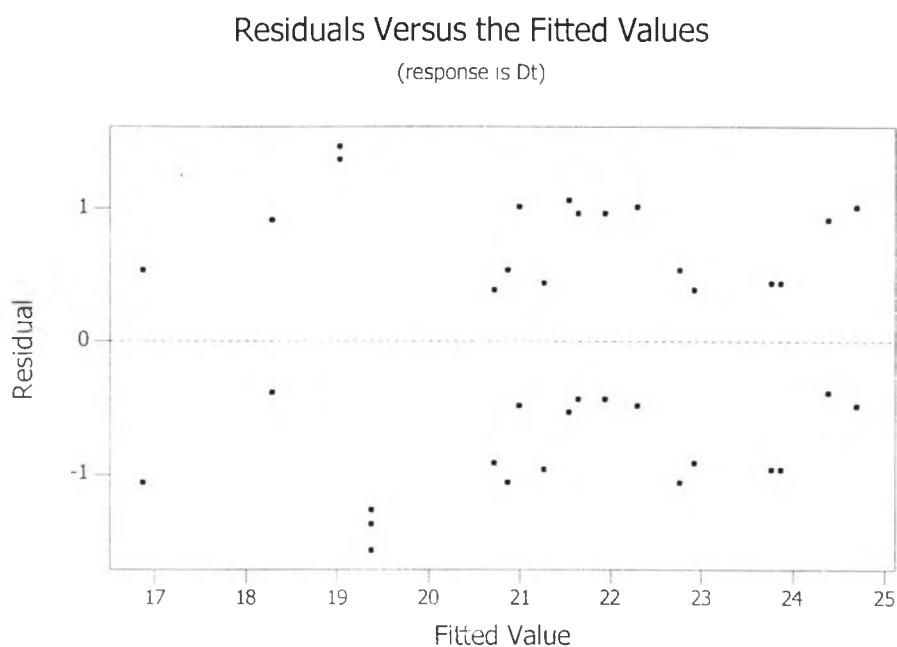


รูปที่ 7.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

จากกราฟสังเกตเห็นได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้ โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 7.4 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน



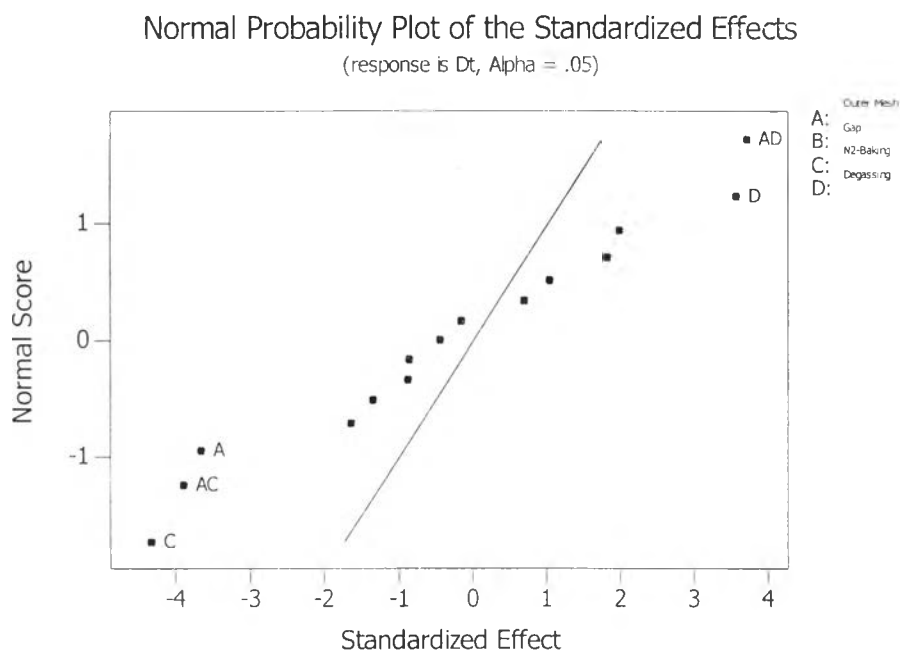
รูปที่ 7.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง (Dt) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า $NID(0, \sigma^2)$

7.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

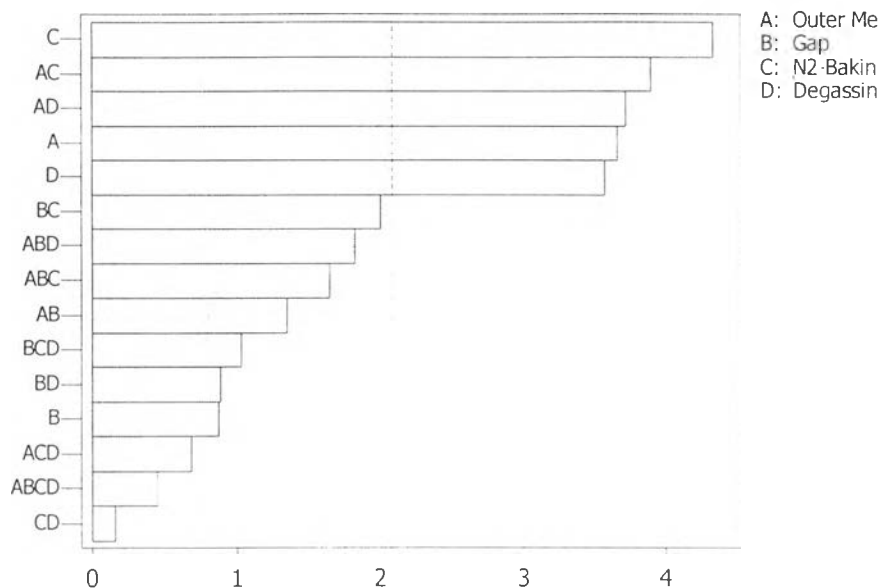
ในการวิเคราะห์ผลของการออกแบบการทดลองเบื้องต้นด้วยโปรแกรม Minitab สามารถแสดงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญออกมาในรูปแบบของกราฟ Normal Probability Plot และแผนภูมิพาเรโต แสดงดังรูปที่ 7.5 และ รูปที่ 7.6 ตามลำดับ รวมถึงการแสดงผลของการออกแบบการทดลองของผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Dt) ดังรูปที่ 7.7 กับผลของอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Dt) ดังรูปที่ 7.8 และ แสดงภาพข้อมูลที่ได้จากการทดลองดังรูปที่ 7.9



รูปที่ 7.5 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลัก
และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ

Pareto Chart of the Standardized Effects

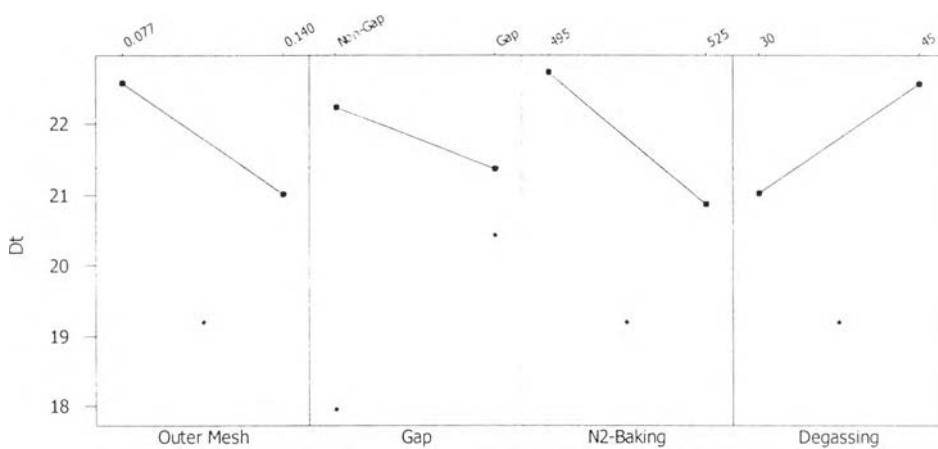
(response is Dt, Alpha = .05)



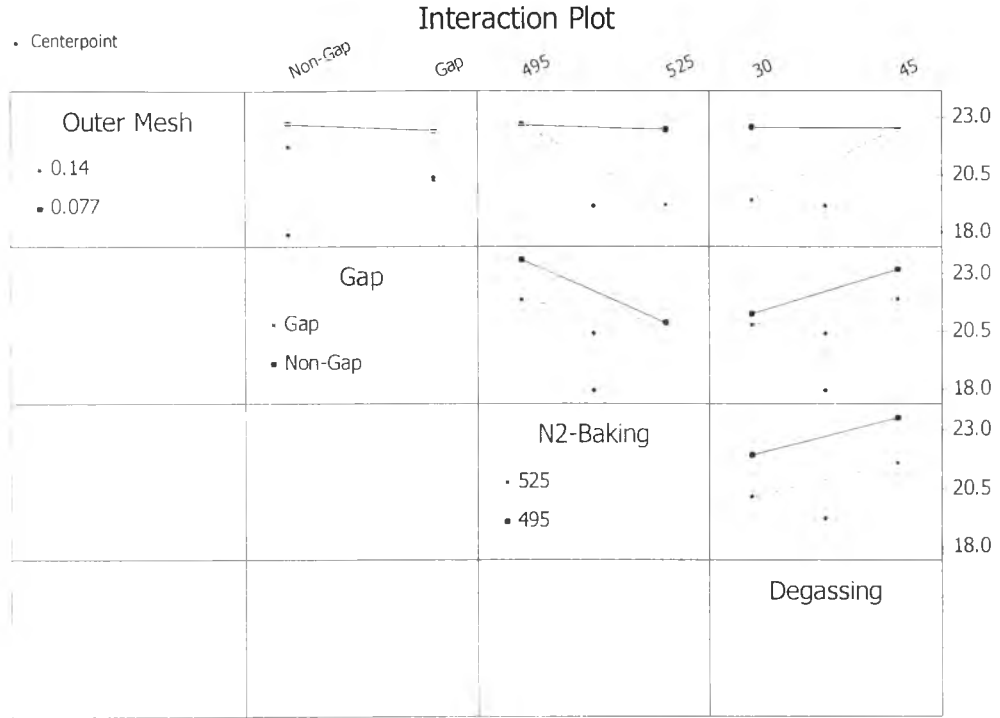
รูปที่ 7.6 แผนภูมิพาราเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ

Main Effects Plot

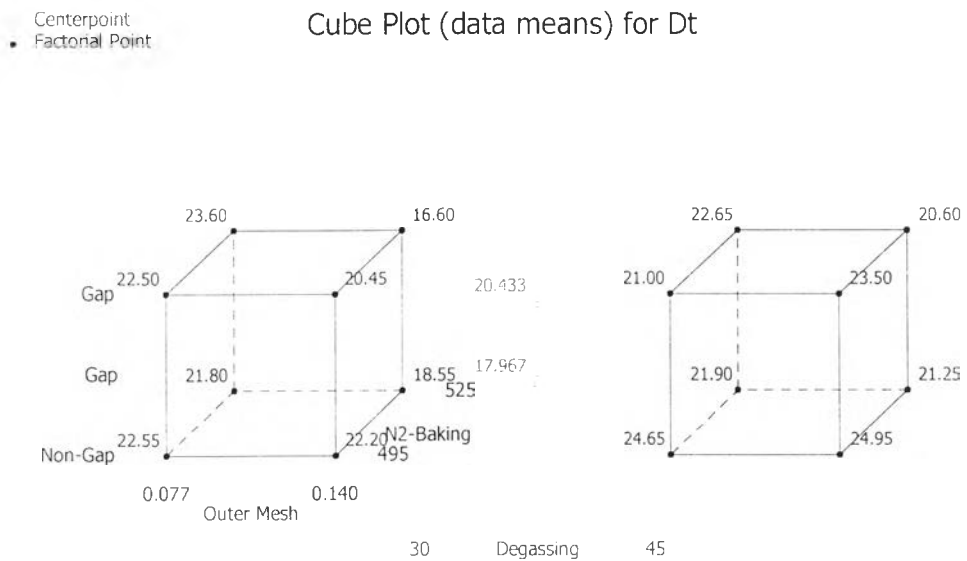
• Centerpoint



รูปที่ 7.7 ภาพผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Dt)



รูปที่ 7.8 ภาพอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Dt)



รูปที่ 7.9 ภาพข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Coded Units) ได้ดังตารางที่ 7.3 และแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Un-coded Units) ได้ดังตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง(Coded Units)

| Estimated Effects and Coefficients for Dt (coded units) | | | | | | |
|---|---------------|---------------|----------------|----------------|--------------|--------------|
| Term | Effect | Coef | SE Coef | T | P | |
| Constant | | 21.797 | 0.2144 | 101.68 | 0.000 | |
| Outer Mesh | -1.569 | -0.784 | 0.2144 | -3.66 | 0.001 | |
| Gap | -0.342 | -0.171 | 0.1967 | -0.87 | 0.394 | |
| N2-Baking | -1.856 | -0.928 | 0.2144 | -4.33 | 0.000 | |
| Degassing | 1.531 | 0.766 | 0.2144 | 3.57 | 0.002 | |
| Outer Mesh*Gap | -0.581 | -0.291 | 0.2144 | -1.36 | 0.190 | |
| Outer Mesh*N2-Baking | -1.669 | -0.834 | 0.2144 | -3.89 | 0.001 | |
| Outer Mesh*Degassing | 1.594 | 0.797 | 0.2144 | 3.72 | 0.001 | |
| Gap*N2-Baking | 0.856 | 0.428 | 0.2144 | 2.00 | 0.059 | |
| Gap*Degassing | -0.381 | -0.191 | 0.2144 | -0.89 | 0.384 | |
| N2-Baking*Degassing | -0.069 | -0.034 | 0.2144 | -0.16 | 0.874 | |
| Outer Mesh*Gap*N2-Baking | -0.706 | -0.353 | 0.2144 | -1.65 | 0.114 | |
| Outer Mesh*Gap*Degassing | 0.781 | 0.391 | 0.2144 | 1.82 | 0.083 | |
| Outer Mesh*N2-Baking*Degassing | 0.294 | 0.147 | 0.2144 | 0.69 | 0.501 | |
| Gap*N2-Baking*Degassing | 0.444 | 0.222 | 0.2144 | 1.04 | 0.312 | |
| Outer Mesh*Gap*N2-Baking* | | | | | | |
| Degassing | -0.194 | -0.097 | 0.2144 | -0.45 | 0.656 | |
| Ct Pt | | -2.597 | 0.5395 | -4.81 | 0.000 | |
| Analysis of Variance for Dt (coded units) | | | | | | |
| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Main Effects | 4 | 67.123 | 67.1228 | 16.7807 | 11.41 | 0.000 |
| 2-Way Interactions | 6 | 52.367 | 52.3669 | 8.7278 | 5.94 | 0.001 |
| 3-Way Interactions | 4 | 11.139 | 11.1387 | 2.7847 | 1.89 | 0.149 |
| 4-Way Interactions | 1 | 0.300 | 0.3003 | 0.3003 | 0.20 | 0.656 |
| Curvature | 1 | 34.074 | 34.0737 | 34.0737 | 23.17 | 0.000 |
| Residual Error | 21 | 30.881 | 30.8810 | 1.4705 | | |
| Lack of Fit | 1 | 14.053 | 14.0526 | 14.0526 | 16.70 | 0.001 |
| Pure Error | 20 | 16.828 | 16.8283 | 0.8414 | | |
| Total | 37 | 195.883 | | | | |

ตารางที่ 7.4 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Uncoded units)

| Estimated Coefficients for Dt using data in uncoded units | |
|---|-------------|
| Term | Coef |
| Constant | -123.611 |
| Outer Mesh | 1541.87 |
| Gap | 47.044 |
| N2-Baking | 0.309815 |
| Degassing | 2.18537 |
| Outer Mesh*Gap | -212.90 |
| Outer Mesh*N2-Baking | -3.32011 |
| Outer Mesh*Degassing | -17.7646 |
| Gap*N2-Baking | -0.075556 |
| Gap*Degassing | -2.72333 |
| N2-Baking*Degassing | -0.00480247 |
| Outer Mesh*Gap*N2-Baking | 0.27778 |
| Outer Mesh*Gap*Degassing | 15.5952 |
| Outer Mesh*N2-Bakin*Degassing | 0.0414462 |
| Gap*N2-Bakin*Degassing | 0.00493827 |
| Outer Mesh*Gap*N2-Baking* | |
| Degassing | -0.0273369 |
| Ct Pt | -2.59688 |

ผลจากการออกแบบการทดลอง 2^4 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 2 ครั้งและมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Points) เข้าไป 3 จุด เนื่องจากการเพิ่มจุดศูนย์กลางตามทฤษฎีแล้ว ควรมีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 3-5 จุด อีกทั้งเป็นการประหยัดจำนวนครั้งในการทดลอง และสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ว่า มีปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองเพียง 3 ปัจจัยเท่านั้น คือ ขนาดช่องว่างของวัสดุพูนชั้นนอก (Outer Mesh) อุณหภูมิการอบไนโตรเจน และเวลาในการไล่ก๊าซออก เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ส่วนปัจจัยระยะห่างระหว่างวัสดุพูนกับท่อความร้อน (Gap) ไม่มีนัยสำคัญในขั้นตอนการออกแบบการทดลองนั้น สาเหตุเนื่องมาจากปัจจัยนี้มีนัยสำคัญที่ไม่สูงนักในขั้นตอนของการทดสอบสมมติฐานซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.044 (จากบทที่ 6 ตารางที่ 6.8) จึงอาจส่งผลให้เมื่อทำการออกแบบการทดลองที่มีการทดลองทุกปัจจัยไปพร้อมๆ กันแล้วทำให้ปัจจัยนี้ไม่มีนัยสำคัญซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.394 (จากบทที่ 7 ตารางที่ 7.3) ดังนั้นปัจจัยหลัก(Main Effects) และอันตรกิริยา (Interaction Effects) ที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น $\alpha = 0.05$ ประกอบด้วย



ปัจจัยหลัก (Main Effects)

- ขนาดช่องว่างของวัสดุพูน (Mesh) ชั้นนอก (Outer Mesh)
- อุณหภูมิการอบไนโตรเจน (N2-Baking)
- เวลาในการไล่ก๊าซออก (Degassing)

อันตรกิริยา (Interaction Effects)

- ขนาดช่องว่างของวัสดุพูน (Mesh) ชั้นนอกและอุณหภูมิการอบไนโตรเจน (Outer Mesh*N2-Baking)
- ขนาดช่องว่างของวัสดุพูน (Mesh) ชั้นนอกและเวลาในการไล่ก๊าซออก (Outer Mesh*Degassing)

ส่วนจุดศูนย์กลาง (Center Points) แสดงถึงรูปแบบของการทดลองที่มีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) เกิดขึ้น โดยพิจารณาจาก Lack of Fit ที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 (นั่นคือจุดศูนย์กลางมีนัยสำคัญ) และสามารถหาตัวแปรถดถอยของการทดลองได้ดังนี้

$$Y = -123.611 + 1541.87 \text{ Outer Mesh} + 0.309815 \text{ N2-Baking} + 2.18537 \text{ Degassing} \\ - 3.32011 \text{ Outer Mesh} * \text{N2-Baking} - 17.7646 \text{ Outer Mesh} * \text{Degassing}$$

เนื่องจากการทดลองนี้มีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นจึงไม่สามารถที่จะสรุปผลการวิเคราะห์ด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เป็น 2^4 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 2 ครั้งและมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Points) เข้าไป 3 จุด

ดังนั้นจึงต้องนำปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง 3 ปัจจัยคือ ขนาดช่องว่างของวัสดุพูน (Mesh) ชั้นนอก (Outer Mesh) อุณหภูมิการอบไนโตรเจน และเวลาในการไล่ก๊าซออก มาทำการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองที่มีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) ใหม่โดยใช้วิธีการของพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Method) แบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Central Composite Design with Center Points) ซึ่งมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ต่อไปนี้

7.7 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Central Composite Design with Center Points)

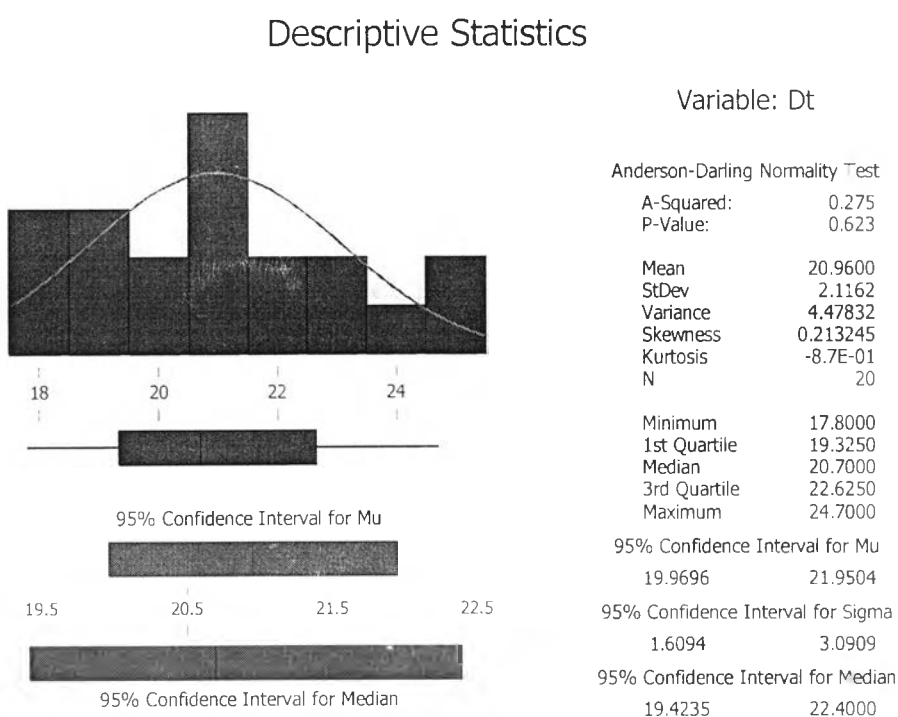
การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Points) เข้าไป 6 จุด ทั้งนี้ เนื่องจากสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ของการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เป็น 2^4 Full Factorial Design ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Points) เข้าไป 3 จุดข้างต้นนั้น ไม่สามารถวิเคราะห์ผลที่ถูกต้องของรูปแบบ (Model) ของการทดลองนี้ได้ เพราะจากรูปแบบของการทดลองที่มีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) เกิดขึ้น จึงทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Points) เข้าไป 6 จุด ซึ่งสามารถวิเคราะห์รูปแบบของการทดลองที่มีลักษณะกำลังสอง (Second Order) ได้โดยจะได้รับการทดลองเป็นการทดลองแบบสุ่มรวมทั้งสิ้น 20 การทดลองดังแสดงในตารางที่ 7.5

ตารางที่ 7.5 ตารางแสดงผลการทดลอง

| Std Order | Run Order | Blocks | Outer Mesh | N2-Baking | Degassing | Dt |
|-----------|-----------|--------|------------|-----------|-----------|------|
| 13 | 1 | 1 | 0.1085 | 510 | 24.8866 | 21.2 |
| 7 | 2 | 1 | 0.077 | 525 | 45 | 20.7 |
| 5 | 3 | 1 | 0.077 | 495 | 45 | 24.5 |
| 9 | 4 | 1 | 0.055524 | 510 | 37.5 | 22.4 |
| 3 | 5 | 1 | 0.077 | 525 | 30 | 17.8 |
| 6 | 6 | 1 | 0.14 | 495 | 45 | 23.7 |
| 20 | 7 | 1 | 0.1085 | 510 | 37.5 | 20.7 |
| 14 | 8 | 1 | 0.1085 | 510 | 50.1134 | 23.1 |
| 18 | 9 | 1 | 0.1085 | 510 | 37.5 | 19.4 |
| 19 | 10 | 1 | 0.1085 | 510 | 37.5 | 19.2 |
| 4 | 11 | 1 | 0.14 | 525 | 30 | 22.4 |
| 2 | 12 | 1 | 0.14 | 495 | 30 | 22.7 |
| 12 | 13 | 1 | 0.1085 | 535.227 | 37.5 | 19.5 |
| 10 | 14 | 1 | 0.161476 | 510 | 37.5 | 19.3 |
| 16 | 15 | 1 | 0.1085 | 510 | 37.5 | 17.8 |
| 8 | 16 | 1 | 0.14 | 525 | 45 | 24.7 |
| 15 | 17 | 1 | 0.1085 | 510 | 37.5 | 18.1 |
| 17 | 18 | 1 | 0.1085 | 510 | 37.5 | 20.5 |
| 1 | 19 | 1 | 0.077 | 495 | 30 | 21.1 |
| 11 | 20 | 1 | 0.1085 | 484.773 | 37.5 | 20.4 |

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

จากผลของการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Points) เข้าไป 6 จุดที่ได้จากการทดลองทั้ง 20 การทดลองข้างต้น สามารถสรุปผลของค่าตัวแปรตอบสนอง (Dt) ได้ดังรูปที่ 7.10

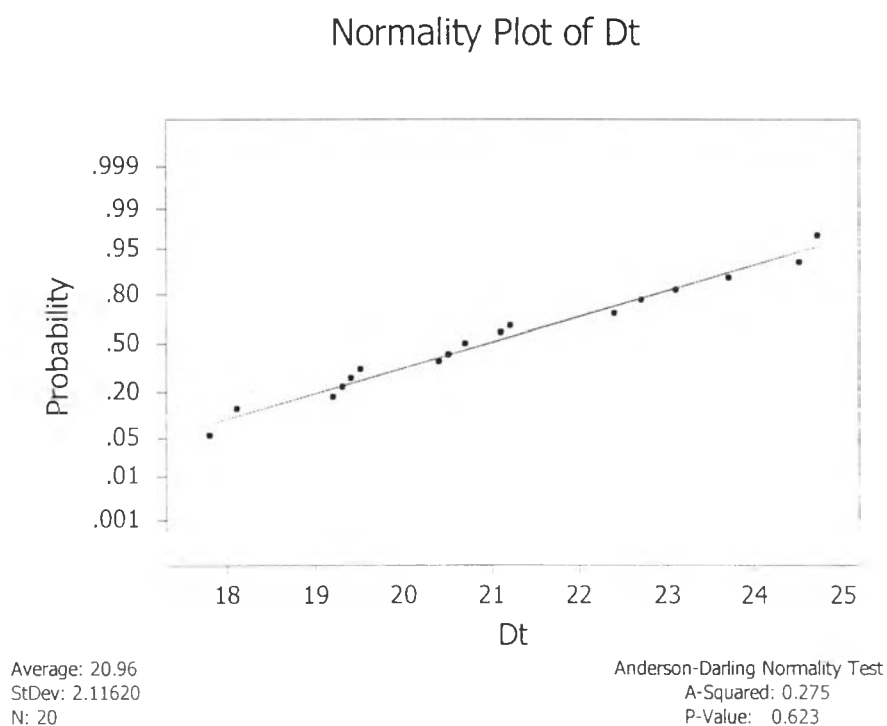


รูปที่ 7.10 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าตัวแปรตอบสนอง (Dt)

ในการออกแบบการทดลองนั้น จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID ($0, \sigma^2$) จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของ NID ($0, \sigma^2$) หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ประกอบด้วย การทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

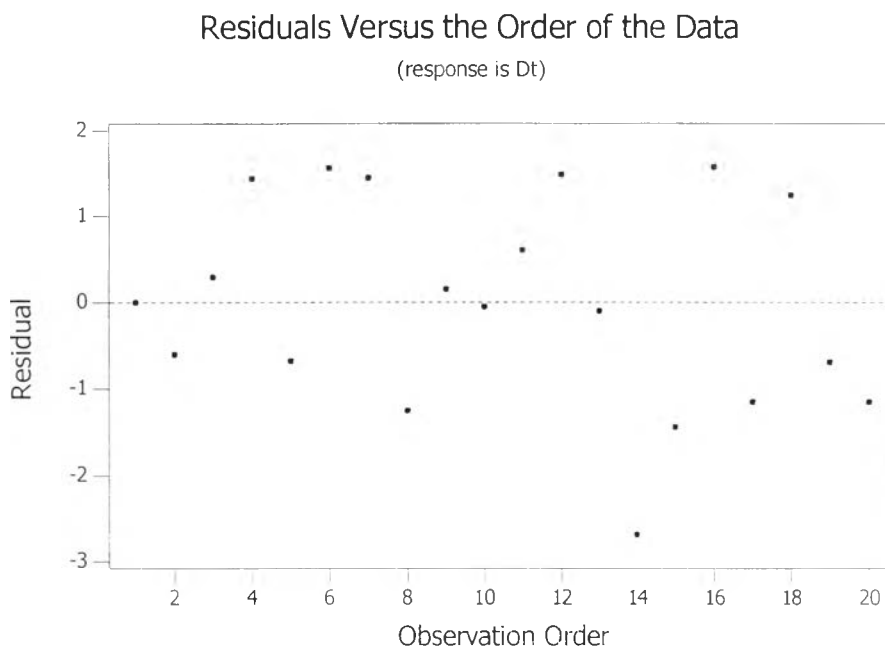
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง (Dt) ซึ่งกราฟการกระจายของค่าส่วนตกค้างค่าตัวแปรตอบสนอง (Dt) ที่ได้ควรเป็นเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 7.11



รูปที่ 7.11 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบโดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูลแสดงดังรูปที่ 7.12 โดยแผนภาพการกระจาย ไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใดๆ ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

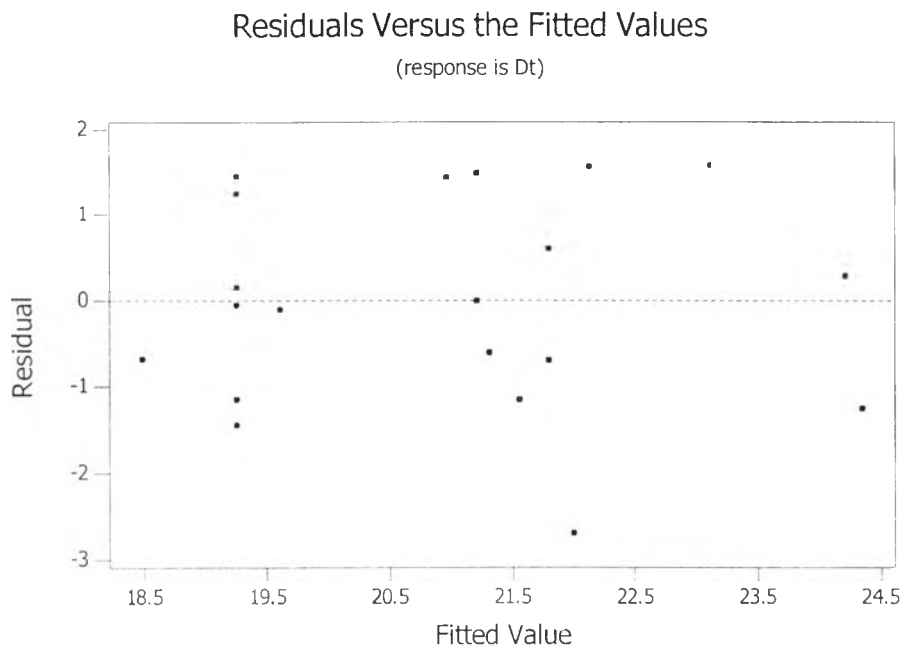


รูปที่ 7.12 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

จากกราฟสังเกตเห็นได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้ โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 7.13 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน



รูปที่ 7.13 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบของตัวแปรตอบสนอง (Dt) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อคือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกันและมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า $NID(0, \sigma^2)$

จากการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Points) เข้าไป 6 จุด สามารถวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab สามารถแสดงผลจากการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Coded Units) ได้ดังตารางที่ 7.6 และแสดงผลจากการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Uncoded Units) ได้ดังตารางที่ 7.7

ตารางที่ 7.6 ตารางแสดงผลจากการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Coded Units)

| Estimated Regression Coefficients for Dt | | | | | | |
|---|---------|---------|--------|--------|------|-------|
| Term | Coef | SE Coef | T | P | | |
| Constant | 19.2474 | 0.6863 | 28.045 | 0.000 | | |
| Outer Mesh | 0.3065 | 0.4553 | 0.673 | 0.516 | | |
| N2-Baking | -0.5795 | 0.4553 | -1.273 | 0.232 | | |
| Degassing | 0.9369 | 0.4553 | 2.058 | 0.067 | | |
| Outer Mesh*Outer Mesh | 0.7889 | 0.4433 | 1.780 | 0.105 | | |
| N2-Baking*N2-Baking | 0.4707 | 0.4433 | 1.062 | 0.313 | | |
| Degassing*Degassing | 1.2485 | 0.4433 | 2.817 | 0.018 | | |
| Outer Mesh*N2-Baking | 0.9750 | 0.5949 | 1.639 | 0.132 | | |
| Outer Mesh*Degassing | -0.3750 | 0.5949 | -0.630 | 0.543 | | |
| N2-Baking*Degassing | 0.1000 | 0.5949 | 0.168 | 0.870 | | |
| S = 1.683 R-Sq = 66.7% R-Sq (adj) = 36.8% | | | | | | |
| Analysis of Variance for Dt | | | | | | |
| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Regression | 9 | 56.772 | 56.772 | 6.308 | 2.23 | 0.114 |
| Linear | 3 | 17.857 | 17.857 | 5.952 | 2.10 | 0.164 |
| Square | 3 | 30.104 | 30.104 | 10.035 | 3.54 | 0.056 |
| Interaction | 3 | 8.810 | 8.810 | 2.937 | 1.04 | 0.418 |
| Residual Error | 10 | 28.316 | 28.316 | 2.832 | | |
| Lack-of-Fit | 5 | 21.208 | 21.208 | 4.242 | 2.98 | 0.128 |
| Pure Error | 5 | 7.108 | 7.108 | 1.422 | | |
| Total | 19 | 85.088 | | | | |

ตารางที่ 7.7 ตารางแสดงผลจากการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Uncoded Units)

| Estimated Regression Coefficients for Dt using data in uncoded units | |
|--|-------------|
| Term | Coef |
| Constant | 742.620 |
| Outer Mesh | -1155.65 |
| N2-Baking | -2.42963 |
| Degassing | -1.82086 |
| Outer Mesh*Outer Mesh | 795.047 |
| N2-Baking*N2-Baking | 0.00209194 |
| Degassing*Degassing | 0.0221956 |
| Outer Mesh*N2-Baking | 2.06349 |
| Outer Mesh*Degassing | -1.58730 |
| N2-Baking*Degassing | 0.000888889 |

ผลจากตารางที่ 7.7 พบว่า รูปแบบของการทดลองนี้มีลักษณะของพจน์ที่เป็นสมการกำลังสอง (Second Order) รวมด้วย แสดงว่ารูปแบบของการทดลองนี้เป็นลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) ซึ่งสามารถหาสมการถดถอยที่เป็นตัวแทนของการทดลองได้ดังนี้

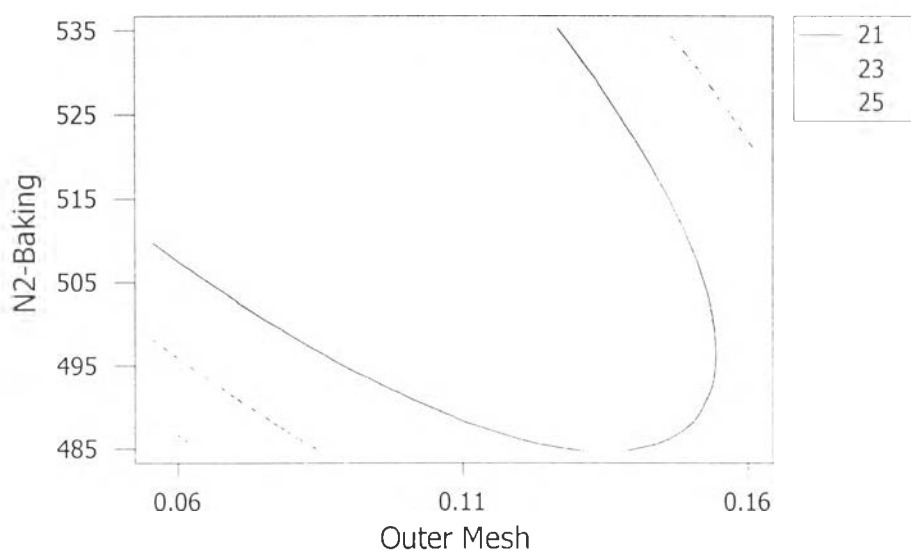
$$Y = 742.620 - 1155.65 \text{ Outer Mesh} - 2.42963 \text{ N2-Baking} - 1.82086 \text{ Degassing} + 795.047 \text{ Outer Mesh*Outer Mesh} + 2.06349 \text{ Outer Mesh*N2-Baking} - 1.58730 \text{ Outer Mesh*Degassing}$$

จากสมการดังกล่าวสามารถคำนวณหาค่าผลลัพธ์ที่เหมาะสมตามต้องการโดยโปรแกรม Minitab ที่มีการคำนวณและประมวลผลในลักษณะของวิธีการปีนขึ้นด้วยทางที่ชันที่สุด (Steepest Ascent) ซึ่งแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นกราฟโครงร่างและพื้นผิวผลตอบ

กราฟโครงร่างและพื้นผิวผลตอบ

ในการวิเคราะห์ผลของการออกแบบการทดลองที่มีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) ด้วยโปรแกรม Minitab สามารถฉายลักษณะของส่วนโค้งของรูปแบบ (Model) การทดลองลงบนแกนของปัจจัยออกมาในรูปกราฟโครงร่างและพื้นผิวผลตอบ สำหรับการออกแบบการทดลองนี้สามารถแสดงกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัยต่างๆ โดยที่เส้นโครงร่าง (Contour Line) เส้นเดียวกันจะให้ค่าผลลัพธ์ค่าเดียวกันดังแสดงตามรูปที่ 7.14 รูปที่ 7.16 และ รูปที่ 7.18 กับกราฟพื้นผิวผลตอบแสดงลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบสามมิติ ดังรูปที่ 7.15 รูปที่ 7.17 และ รูปที่ 7.19 ตามลำดับ

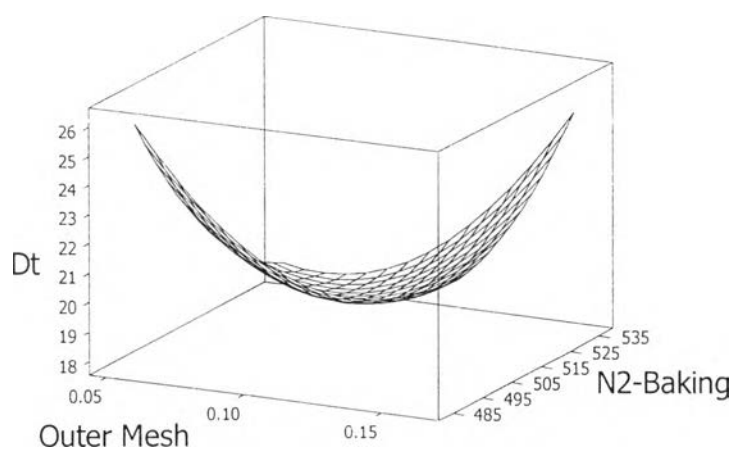
Contour Plot between Outer Mesh & N2-Baking



Hold values: Degassin: 37.5

รูปที่ 7.14 กราฟโครงร่างระหว่างปัจจัยขนาดช่องว่างของวัสดุพูน (Mesh) ชั้นนอก และอุณหภูมิการอบในโตรเจนของการถ่ายเทความร้อน (Dt)

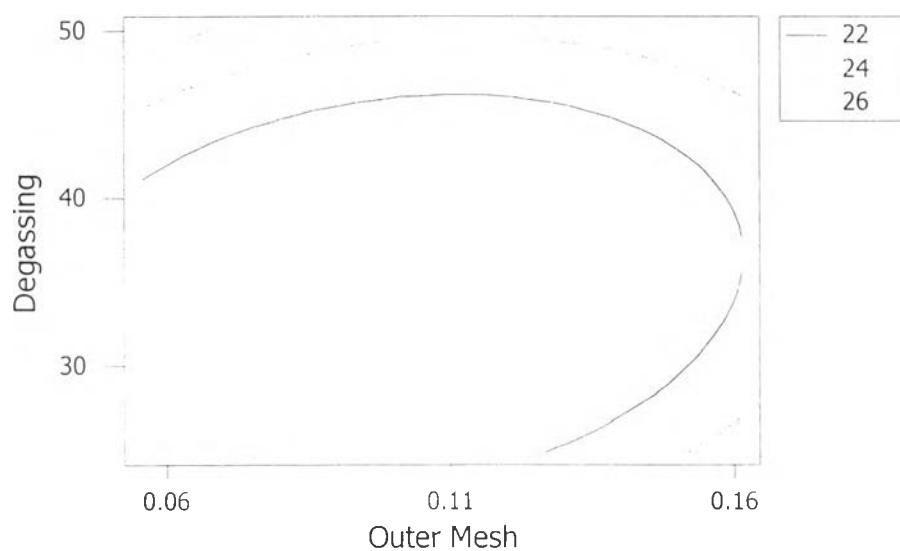
Surface Plot between Outer Mesh & N2-Baking



Hold values: Degassin: 37.5

รูปที่ 7.15 กราฟพื้นผิวผลตอบระหว่างปัจจัย ขนาดช่องว่างของวัสดุพูน (Mesh) ชั้นนอก และอุณหภูมิการอบในโตรเจนของการถ่ายเทความร้อน (Dt)

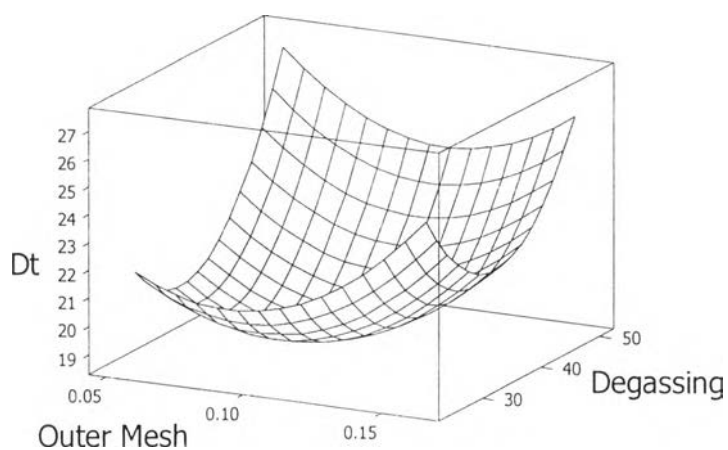
Contour Plot between Outer Mesh & Degassing



Hold values: N2-Bakin: 510.0

รูปที่ 7.16 กราฟโครงสร้างระหว่างปัจจัย ขนาดช่องว่างของวัสดุพูน (Mesh) ชั้นนอก และเวลาในการไล่ก๊าซออกของการถ่ายเทความร้อน (Dt)

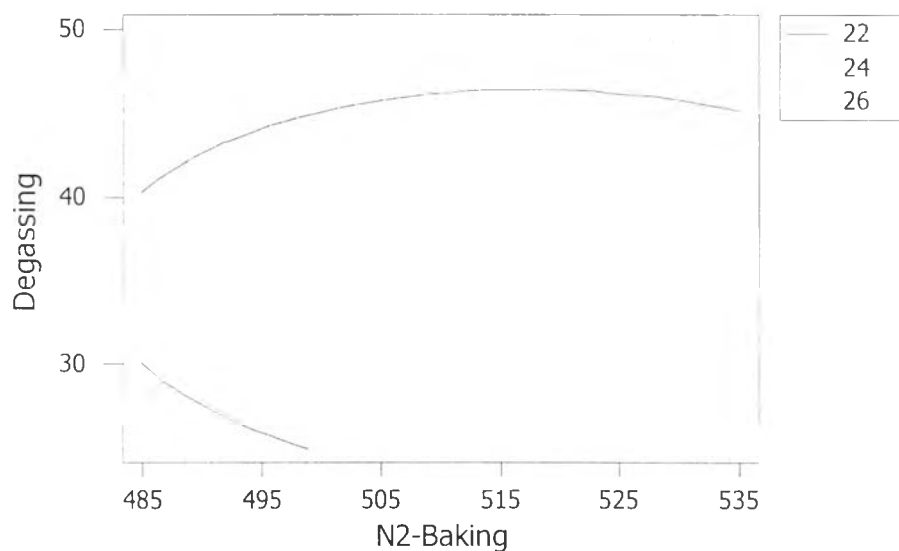
Surface Plot between Outer Mesh & Degassing



Hold values: N2-Bakin: 510.0

รูปที่ 7.17 กราฟพื้นผิวผลตอบระหว่างปัจจัย ขนาดช่องว่างของวัสดุพูน (Mesh) ชั้นนอก และเวลาในการไล่ก๊าซออกของการถ่ายเทความร้อน (Dt)

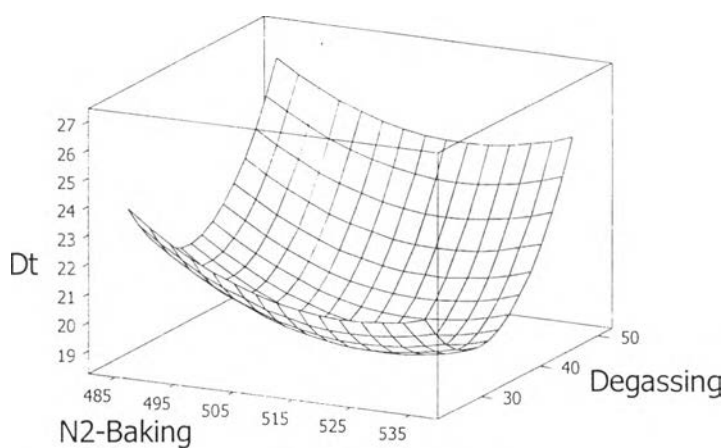
Contour Plot between N2-Baking & Degassing



Hold values: Outer Me: 0.1085

รูปที่ 7.18 กราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย อุณหภูมิการอบไนโตรเจน และเวลาในการไล่ก๊าซออกของการถ่ายเทความร้อน (Dt)

Surface Plot between N2-Baking & Degassing

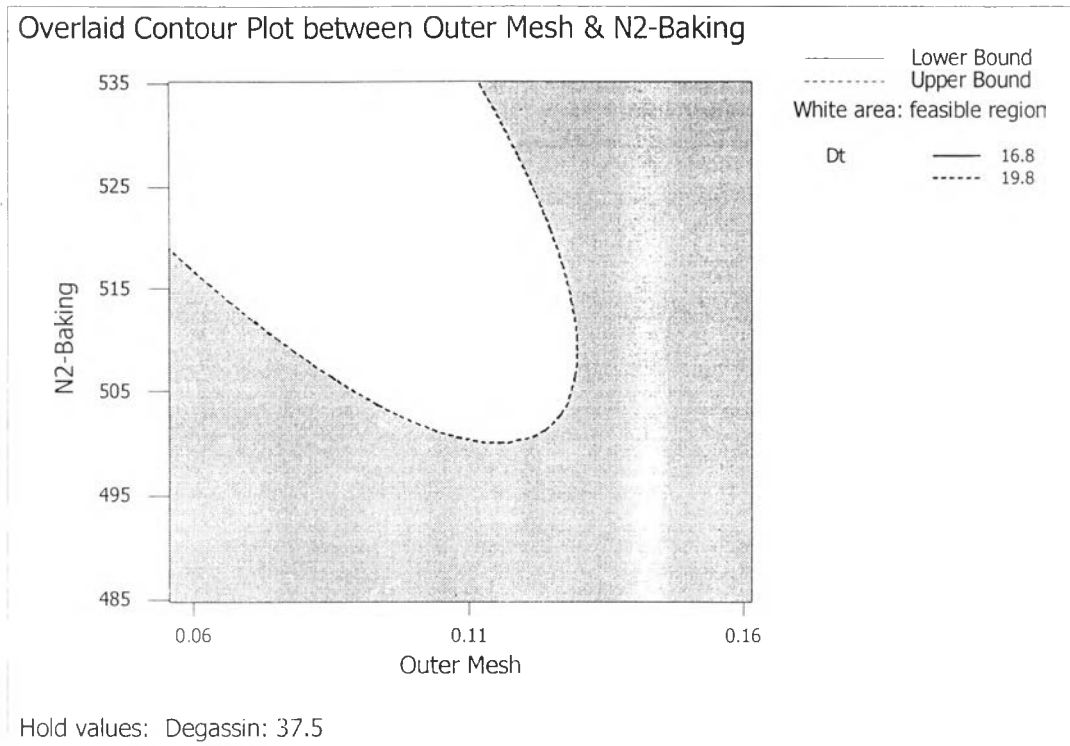


Hold values: Outer Me: 0.1085

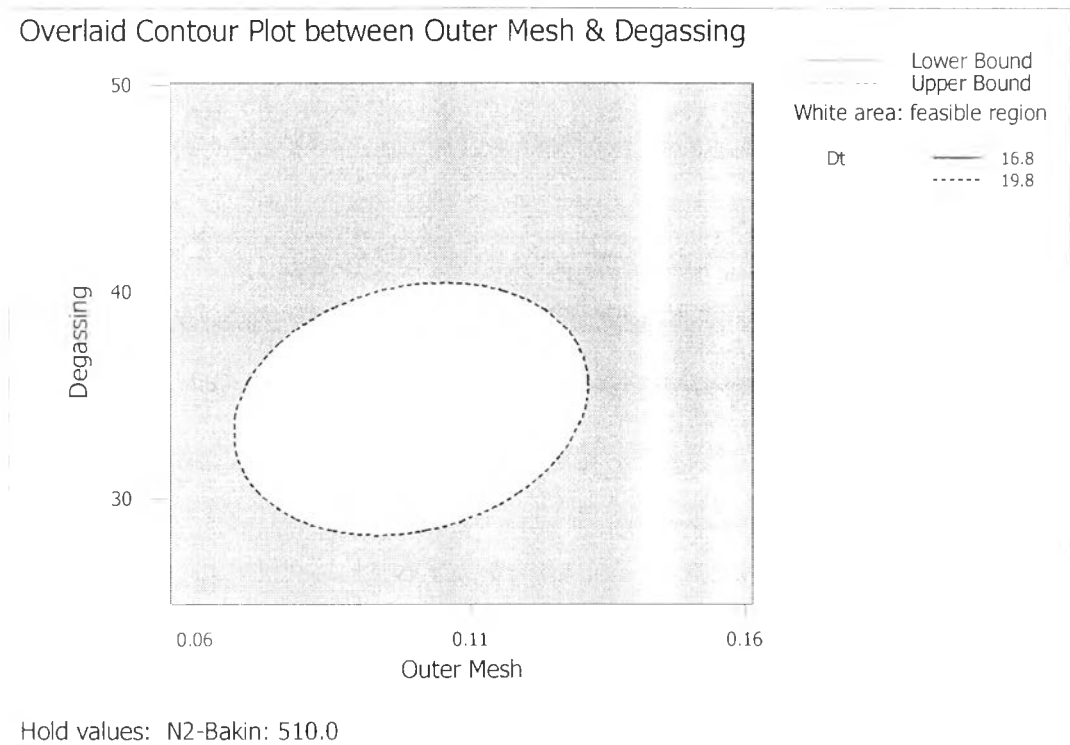
รูปที่ 7.19 กราฟพื้นผิวผลตอบระหว่างปัจจัยอุณหภูมิการอบไนโตรเจน
และเวลาในการไล่ก๊าซออกของการถ่ายเทความร้อน (Dt)

กราฟโครงร่าง Overlaid

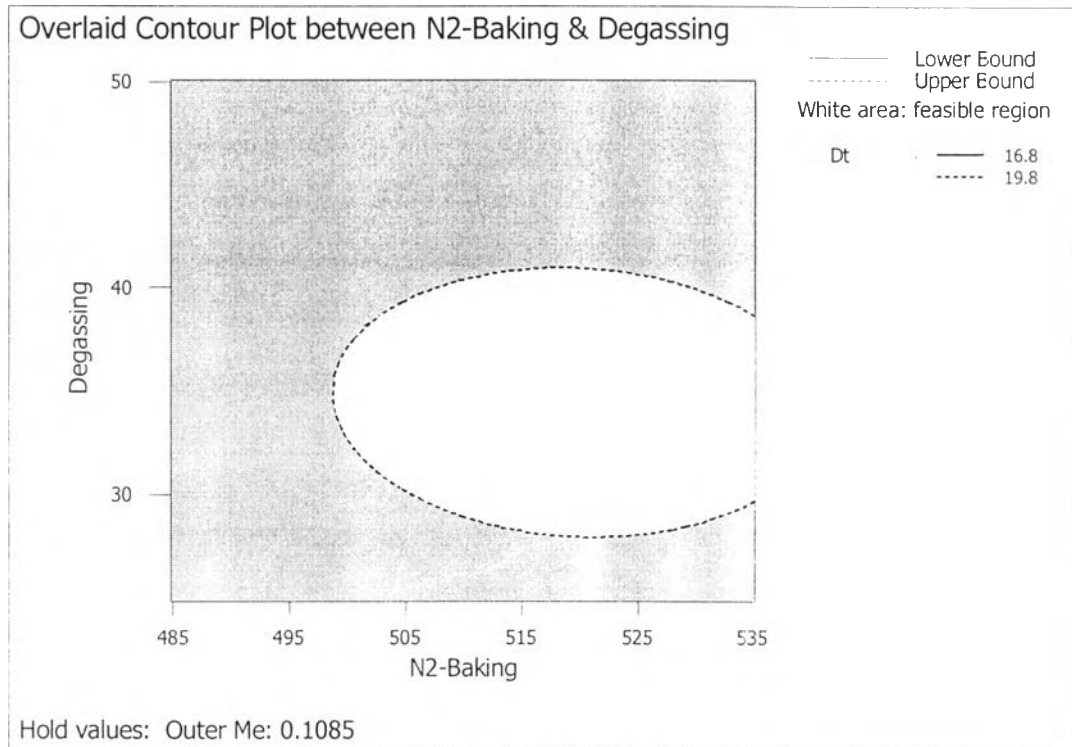
จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ของการออกแบบการทดลองที่มีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) สามารถแสดงกราฟโครงร่าง Overlaid ที่แสดงพื้นที่ซึ่งทำให้ผลตอบที่ดีที่สุดของแต่ละปัจจัย ซึ่งในการแสดงผลนั้นจะแสดงออกมาในรูปสองแนวแกนของปัจจัยตามรูปที่ 7.20 รูปที่ 7.21 และรูปที่ 7.22 ตามลำดับ



รูปที่ 7.20 กราฟโครงร่าง *Overlaid* ระหว่างขนาดช่องว่างของวัสดุพูน (*Mesh*) ชั้นนอก และเวลาในการไล่ก๊าซออกของการถ่ายเทความร้อน (*Dt*)



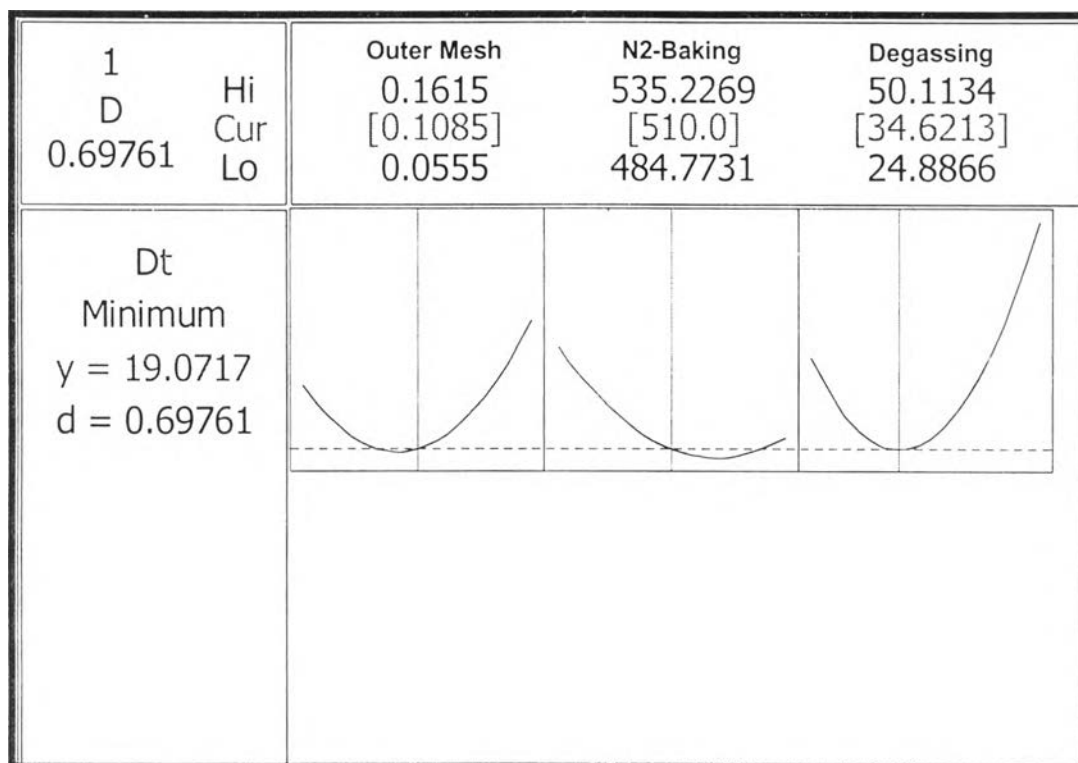
รูปที่ 7.21 กราฟโครงร่าง *Overlaid* ระหว่างปัจจัย ขนาดช่องว่างของวัสดุพูน (*Mesh*) ชั้นนอก และเวลาในการไล่ก๊าซออกของการถ่ายเทความร้อน (*Dt*)



รูปที่ 7.22 กราฟโครงร่าง *Overlaid* ระหว่างปัจจัย อุณหภูมิการอบไนโตรเจน และเวลาในการไล่ก๊าซออกของการถ่ายเทความร้อน (Dt)

7.8 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

จากตัวแบบถดถอยข้างต้น สามารถพยากรณ์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงานที่ต่ำที่สุด ซึ่งผลจากการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 7.23



รูปที่ 7.23 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ
จากรูปที่ 7.23 สามารถสรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้ดังตารางที่ 7.8

ตารางที่ 7.8 ตารางแสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ

| ปัจจัย | การกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ |
|--|-------------------------------|
| ขนาดช่องว่างของวัสดุพูน (Mesh) ชั้นนอก | 0.1085 มิลลิเมตร |
| อุณหภูมิการอบไนโตรเจน | 510 องศาเซลเซียส |
| เวลาในการไล่ก๊าซออก | 34.62 วินาที |

เมื่อพิจารณาทั้ง 3 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญพร้อมกันในการดำเนินการ พบว่า ค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงานที่ต่ำที่สุดที่เหมาะสม คือ 19.07 องศาเซลเซียส เมื่อเปลี่ยนขนาดช่องว่างของวัสดุพูน (Mesh) ชั้นนอกเป็นเบอร์ที่มีขนาด 165 และ เวลาในกระบวนการไล่ก๊าซออกควรใช้เวลาอยู่ที่ 34.62 วินาทีหรือประมาณ 35 วินาที ในขณะที่กำหนดอุณหภูมิของการอบไนโตรเจนควรให้อยู่ที่ 510 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองที่ต้องการ คือ ค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน (Dt) ที่ต่ำที่สุด

7.9 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้ เป็นการนำปัจจัยนำเข้าจากขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้ง 4 ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน (Dt) มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสม โดยออกแบบการทดลองเป็น 2^4 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 2 ครั้งและมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Points) เข้าไป 3 จุด แต่จากการทำการทดลอง พบว่า ไม่สามารถวิเคราะห์ผลที่ถูกต้องจากรูปแบบการทดลองนี้ได้ เนื่องจากรูปแบบของการทดลองมีลักษณะของส่วนโค้งเกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องทำการทดลองด้วยวิธีการแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 6 จุด

ซึ่งสามารถสรุปผลลัพธ์ของขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการได้เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองทั้งสิ้น 3 ปัจจัย คือ ขนาดช่องว่างของรูพรุน (Mesh) ชั้นนอก อุณหภูมิการอบในโตรเจน เวลาในการไล่ก๊าซออก จากนั้นนำปัจจัยดังกล่าวไปหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าผลลัพธ์ของกระบวนการที่ดีที่สุด และต้องทำการยืนยันผลการทดลองดังกล่าวก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริงต่อไป ซึ่งรายละเอียดในส่วนนี้จะกล่าวในบทต่อไป