บทที่ 6
ระยะการปรับปรุง

6.1 การปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

หลังจากการทำการทดสอบสมมุติฐาน โดยการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐานทั้งการทดสอบสมมติฐานทีละปัจจัย และการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อได้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US แล้ว นำปัจจัยดังกล่าวไปทำการทดลอง โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง ดำเนินการทดลองตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง หาค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยนั้นๆ โดยที่จะส่งผลต่อค่าสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

จากการกรองปัจจัยนำเข้าในกระบวนการขึ้นรูปเลนส์ ทั้งหมด 8 ปัจจัยสามารถสรุปได้ว่า มี 2 ปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US นั่นก็คือ

- ระดับอุณหภูมิของ NMP
- ระยะเวลาการล้างด้วย Raptex

ในการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยนี้จะใช้ การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Central Composite Design with Center Point) เนื่องจากผู้ทำการทดลองได้ประเมินว่ารูปแบบการทดลองมีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) จึงทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มลักษณะกำลังสอง (Second Order) ได้ โดยจะได้การทดลองเป็นการทดลองแบบสุ่มรวมทั้งสิ้น 13 การทดลอง

6.1.1จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

จากสมการที่ (2.5) ได้ประมาณจำนวนของตัวอย่างที่จำเป็นในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่กำหนดไว้ สำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k และการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล โดยสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

จากสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ในกระบวนการ Convex แบบ DM มีค่าเท่ากับ 53,144 PPM ในการทดลองต้องการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนเลนส์เสียที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถคำนวณค่า $\Delta = (0.053144)(0.5) = 0.026572$ ดังนั้นสามารถคำนวณหา n ได้ดังนี้

$$n = \frac{(1.96 + 1.282)^2}{13\left(\arcsin\sqrt{0.0531 + 0.0266/2} + \arcsin\sqrt{0.0531 - 0.0266/2}\right)^2}$$

$$n = 226.94 \approx 227$$

เนื่องจากในกระบวนการผลิตเลนส์จะผลิตเป็น Batch โดยจะทำการผลิต Batch ละ 40 เลนส์ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทดลองใช้จำนวนเลนส์ทั้งหมด 6 Batch ดังนั้นในแต่ละการทดลอง (13 การทดลอง) จะใช้เลนส์ในการทดลองการทดลองละ 240 เลนส์

6.2.2 การเตรียมการทดลอง

ทำการกำหนดตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ดังต่อไปนี้

- ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกันตลอดการทดลอง
- ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงาน

6.3.3 ขั้นตอนในการทดลอง

ทำการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องจักรและวัสดุ อุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดลองให้พร้อม จากนั้นนำชิ้นงานเข้ากระบวนโดยสุ่มอย่างต่อเนื่อง ปรับระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 2 ปัจจัย ทำการทดลองจนครบทั้ง 13 การทดลอง โดยลำดับการทดลองจะทำการทดลองตามลำดับที่กำหนดไว้ในช่อง Run Order ดังตารางที่ 6.1 และจะทำการทดลองให้เสร็จทีละการทดลอง จากนั้นนำเลนส์ที่ได้จากการทดลองไปตรวจสอบสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง
ของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Natural Variable		Coded Variable		Defective
				NMP Temp	Cleaning Time	NMP Temp	Cleaning Time	
1	1	1	1	50.0	10.0	-1	-1	0.0563
7	2	-1	1	55.0	9.0	0	-1.414	0.0563
6	3	-1	1	62.1	12.5	1.414	0	0.0281
4	4	1	1	60.0	15.0	1	1	0.0281
8	5	-1	1	55.0	16.0	0	1.414	0.0281
2	6	1	1	60.0	10.0	1	-1	0.0313
3	7	1	1	50.0	15.0	-1	1	0.0281
11	8	0	1	55.0	12.5	0	0	0.0313
13	9	0	1	55.0	12.5	0	0	0.0313
10	10	0	1	55.0	12.5	0	0	0.0344
9	11	0	1	55.0	12.5	0	0	0.0344
12	12	0	1	55.0	12.5	0	0	0.0344
5	13	-1	1	47.9	12.5	-1.414	0	0.0563

6.3.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง ด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลของปัจจัยหลักและอัตรกิริยาที่นัยสำคัญออกมาได้ดังต่อไปนี้

Response Surface Regression: Defective versus NMP Temp, Cleaning Time

```
The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for new

Term                              Coef    SE Coef       T      P
Constant                      0.943768   0.234638   4.022  0.005
NMP Temp                     -0.020932   0.007401  -2.828  0.025
Cleaning Time                -0.042926   0.011362  -3.778  0.007
NMP Temp*NMP Temp             0.000119   0.000064   1.844  0.108
Cleaning Time*Cleaning Time   0.000475   0.000258   1.844  0.108
NMP Temp*Cleaning Time        0.000500   0.000170   2.944  0.022


S = 0.00424625  PRESS = 0.000832502
R-Sq = 91.84%   R-Sq(pred) = 46.15%  R-Sq(adj) = 86.00%


Analysis of Variance for new

Source          DF    Seq SS    Adj SS    Adj MS      F      P
Regression       5  0.001420  0.001420  0.000284  15.75  0.001
  Linear         2  0.001155  0.000313  0.000156   8.68  0.013
  Square         2  0.000108  0.000108  0.000054   3.01  0.114
  Interaction    1  0.000156  0.000156  0.000156   8.67  0.022
Residual Error   7  0.000126  0.000126  0.000018
  Lack-of-Fit    3  0.000114  0.000114  0.000038  13.03  0.016
  Pure Error     4  0.000012  0.000012  0.000003
Total           12  0.001546
```

ผลจากการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ว่าปัจจัยหลัก ทั้ง 2 ปัจจัย ซึ่งก็คือ ระดับอุณหภูมิของ NMP และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ เพราะมีค่า P Value น้อยกว่า 0.05 เช่นเดียวกันกับอันตรกิริยาของทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ในส่วนของสมการความสมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองนั้น จะเห็นว่าจะมีพจน์ของสมการอันดับที่ 1 (First Order) และ พจน์ของอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญต่อค่าตัวแปรตอบสนอง ส่วนพจน์ของสมการอันดับที่ 2 (Second Order) นั้นจะไม่มีนัยสำคัญต่อค่าตัวแปรตอบสนอง

ดังนั้นสามารถแสดงสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงจากผลการวิเคราะห์ด้วย MINITAB ได้ดังต่อไปนี้

Response Surface Regression: defective versus NMP Temp, Cleaning Time

```
The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for defective

Term                         Coef    SE Coef       T      P
Constant                 0.513985   0.142120   3.617  0.006
NMP Temp                -0.007869   0.002579  -3.052  0.014
Cleaning Time           -0.031051   0.011258  -2.758  0.022
NMP Temp*Cleaning Time   0.000500   0.000204   2.448  0.037


S = 0.00510651  PRESS = 0.000507943
R-Sq = 84.82%   R-Sq(pred) = 67.14%  R-Sq(adj) = 79.76%


Analysis of Variance for defective

Source          DF    Seq SS    Adj SS    Adj MS      F      P
Regression       3  0.001311  0.001311  0.000437  16.76  0.001
  Linear         2  0.001155  0.000316  0.000158   6.06  0.022
  Interaction    1  0.000156  0.000156  0.000156   5.99  0.037
Residual Error   9  0.000235  0.000235  0.000026
  Lack-of-Fit    5  0.000223  0.000223  0.000045  15.22  0.010
  Pure Error     4  0.000012  0.000012  0.000003
Total           12  0.001546
```

สัดส่วนของเสีย US = 0.513985 – 0.007869 (NMP Temp) – 0.031051(Cleaning Time)

+ 0.0005(NMP Temp* Cleaning Time) (6.1)

เพื่อยืนยันผลของความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองของสมการที่ (6.1) ว่ามีการเลือกพจน์ของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม จะใช้วิธีการ Stepwise ในการเลือกปัจจัยนำเข้าเข้าในสมการความถดถอย โดยพจน์ของปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 5 พจน์ที่จะทำการเลือกเข้าในสมการความถดถอยด้วยวิธีการ Stepwise มีดังต่อไปนี้

NMP Temp, Cleaning Time, NMP Temp*Cleaning Time, NMP Temp^2 และ Cleaning Time^2

ซึ่งผลของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลได้ดังต่อไปนี้

Stepwise Regression: Defective versus NMP Temp, Cleaning Time, NMP Temp*Cleaning Time, NMP Temp^2, Cleaning Time^2

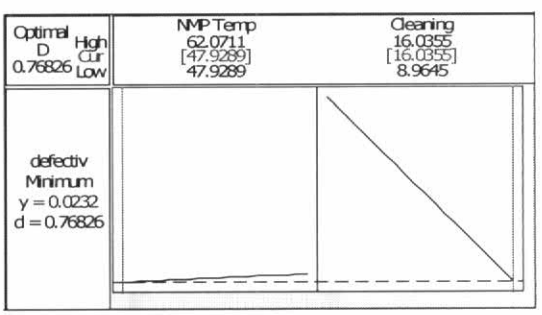
Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.1

Response is Defective on 5 predictors, with N = 13

Step	1	2	3
Constant	0.08117	0.17023	0.51398
Cleaning Time	-0.00355	-0.00355	-0.03105
T-Value	-2.75	-4.02	-2.76
P-Value	0.019	0.002	0.022
NMP Temp		-0.00162	-0.00787
T-Value		-3.66	-3.05
P-Value		0.004	0.014
NMP Temp*Cleaning Time			0.00050
T-Value			2.45
P-Value			0.037
S	0.00912	0.00625	0.00511
R-Sq	40.79	74.71	84.82
R-Sq(adj)	35.40	69.66	79.76

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการ Stepwise ในการเลือกปัจจัยนำเข้าเข้าในสมการความถดถอย ทั้งหมด 5 พจน์จะเหลือพจน์ที่ทำการเลือกเข้าสมการความถดถอย 3 พจน์ นั่นคือ NMP Temp, Cleaning Time และ NMP Temp*Cleaning Time ซึ่งผลที่จะสอดคล้องกับสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นสมการที่ (6.1) ที่ได้จากการออกแบบการทดลอง

จากสมการความสัมพันธ์เชิงเส้น (6.1) สามารถพยากรณ์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ค่าสัดส่วนสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ที่ต่ำที่สุด ได้ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

จากรูปที่ 6.1 สามารถสรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6.2 ปัจจัยและการกำหนดระดับที่เหมาะสมของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

ปัจจัย	ระดับที่เหมาะสม
ระดับอุณหภูมิของ NMP	47.9 องศาเซลเซียส
ระยะเวลาการล้างด้วย Raptex	16 นาที

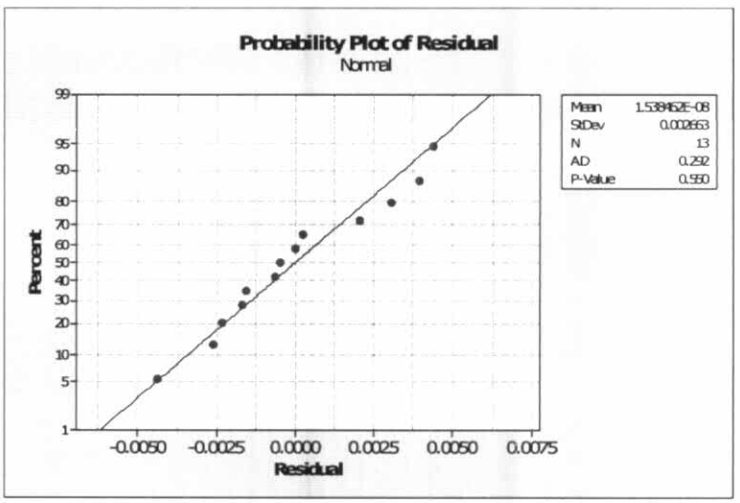
ในการกำหนดปัจจัยนำเข้าระดับอุณหภูมิของ NMP สามารถกำหนดได้ โดยจะไม่ส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตเลนส์ แต่ในส่วนของระยะเวลาการล้างด้วย Raptex นั้นเนื่องจากในการกำหนดระดับที่เหมาะสมนั้นจะถูกกำหนดให้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นจาก 10 นาทีเป็น 16 นาที ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อกำลังการการผลิตเลนส์นั่นก็คือ ถ้าเราเพิ่มระยะเวลาในการผลิตเลนส์เป็น 16 นาที ก็จะทำให้ปริมาณในการผลิตเลนส์ในแต่ละวันลดลงซึ่งอาจจะส่งผลต่อการส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้แก่ลูกค้าได้ แต่เนื่องจากในการสังเกตเบื้องต้นในกระบวนการขึ้นรูปเลนส์ พบว่า กระบวนการขัดทำความสะอาดโมล์ดแซนวิช ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต่อจากกระบวนการล้างโมลด์แซนวิช (ปัจจัยระยะเวลาการล้างด้วย Raptex จะเป็นปัจจัยหนึ่งในกระบวนการล้างโมลด์แซนวิช) พบว่ามีงานรอผลิตกองอยู่หน้ากระบวนการขัดทำความสะอาดโมล์ดแซนวิชเป็นจำนวนมาก ซึ่งทำให้ประเมินได้ว่า กระบวนการขัดทำความสะอาดโมล์ดแซนวิชจะเป็นคอขวดของการบวนการขึ้นรูปเลนส์ ดังนั้นในการที่จะกำหนดให้ระยะเวลาการล้างด้วย Raptex เพิ่มขึ้นจากเดิมจาก 10 นาทีเป็น 16 นาที จึงจะไม่ส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตเลนส์

6.3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ในการออกแบบการทดลองนั้น จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID $(0,\sigma^2)$ จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของ NID $(0,\sigma^2)$ หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ประกอบด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ข้อมูลมีความอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นปกติ

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง (สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US)

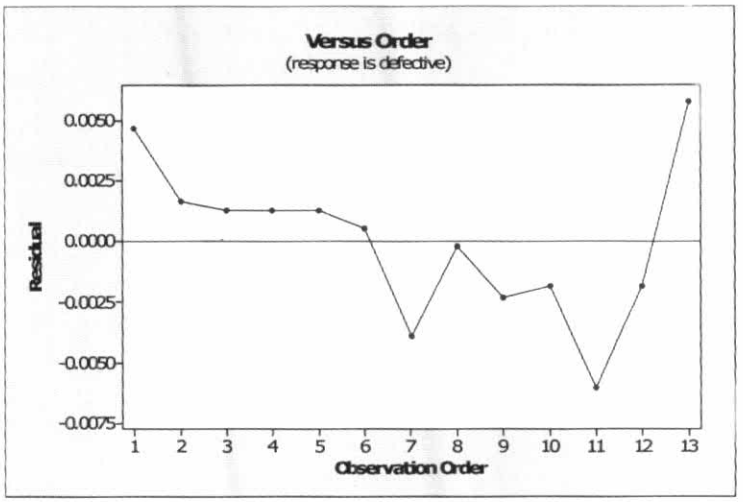


รูปที่ 6.2 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้างของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง วางตัวอยู่ในแนวเส้นตรง ดังนั้นข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใด ๆควรทีจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

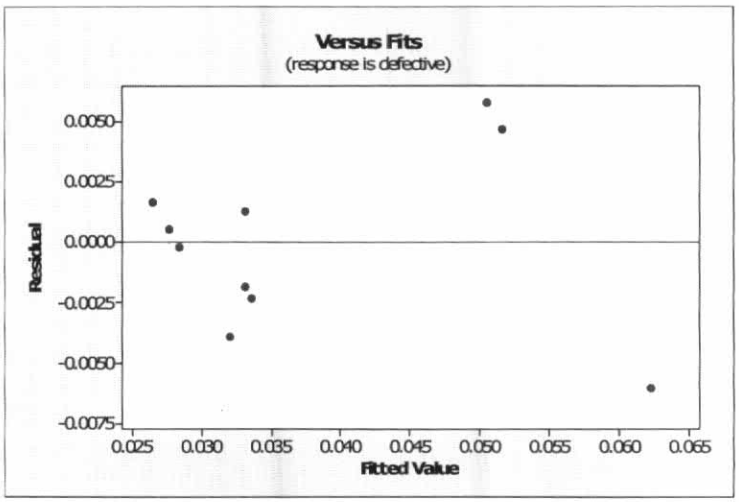


รูปที่ 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง
และลำดับของข้อมูลของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง
ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้น สรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้ โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง
และค่าที่ถูกฟิตของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง
ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ค่อนข้างคงที่ ดังนั้น สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

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

6.2 การปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT

หลังจากการทำการทดสอบสมมุติฐานในส่วนของปัจจัยนำเข้าในกระบวนการเคลือบเลนส์ โดยการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมุติฐานทั้งการทดสอบสมมติฐานทีละปัจจัย และการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อได้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US แล้ว นำปัจจัยดังกล่าวไปทำการทดลอง โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง ดำเนินการทดลองตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง หาค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยนั้นๆ โดยที่จะส่งผลต่อค่าสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

จากการกรองปัจจัยนำเข้าในกระบวนการขึ้นเคลือบเลนส์ทั้งหมด 10 ปัจจัยสามารถสรุปได้ว่ามี 2 ปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US นั่นก็คือ

- Dew Point
- ระยะเวลาในการล้างเลนส์

ในการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยนี้จะใช้ การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง เช่นเดียวกับการปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US เนื่องจากผู้ทำการทดลองได้ประเมินว่ารูปแบบการทดลองมีลักษณะของส่วนโค้ง (Curvature) จึงทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มลักษณะกำลังสอง (Second Order) ได้ โดยจะได้การทดลองเป็นการทดลองแบบสุ่มรวมทั้งสิ้น 13 การทดลอง

6.2.1 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

จากสมการที่ (2.5) ได้ประมาณจำนวนของตัวอย่างที่จำเป็นในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่กำหนดไว้ สำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k และการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล โดยสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

จากสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในกระบวนการเคลือบเลนส์ของผลิตภัณฑ์ Kromos มีค่าเท่ากับ 46,218 ppm ในการทดลองต้องการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนเลนส์เสียที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถคำนวณค่า $\Delta = (0\ 046218)(0.5) = 0.023109$ ดังนั้นสามารถคำนวณหา n ได้ดังนี้

$$n = \frac{(1.96 + 1.282)^2}{13\left(\arcsin\sqrt{0.0462 + 0.0231/2} + \arcsin\sqrt{0.0462 - 0.0231/2}\right)^2}$$

$$n = 262.84 \approx 263$$

เนื่องจากในกระบวนการผลิตเลนส์จะผลิตเป็น Batch โดยจะทำการผลิต Batch ละ 40 เลนส์ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทดลองใช้จำนวนเลนส์ทั้งหมด 7 Batch ดังนั้นในแต่ละการทดลอง (13 การทดลอง) จะใช้เลนส์ในการทดลองการทดลองละ 280 เลนส์

6.2.2 การเตรียมการทดลอง

ทำการกำหนดตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ดังต่อไปนี้

- ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกันตลอดการทดลอง
- ทำการทดลองเฉพาะผลิตภัณฑ์ Kromos เท่านั้น
- ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงาน

6.2.3 ขั้นตอนในการทดลอง

ทำการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องจักรและวัสดุ อุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดลองให้พร้อม จากนั้นนำชิ้นงานเข้ากระบวนโดยสุ่มอย่างต่อเนื่อง ปรับระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 2 ปัจจัย ทำการทดลองจนครบทั้ง 13 การทดลอง โดยลำดับการทดลองจะทำการทดลองตามลำดับที่กำหนดไว้ในช่อง Run Order ดังตารางและจะทำการทดลองให้เสร็จทีละการทดลอง จากนั้นนำเลนส์ที่ได้จากการทดลองไปตรวจสอบสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง
ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Natural Variable		Coded Variable		Defective
				Dew Point	Cleaning Time	Dew Point	Cleaning Time	
6	1	-1	1	8.4	165.0	1.414	0	0.0428
5	2	-1	1	5.6	165.0	-1.414	0	0.0357
11	3	0	1	7.0	165.0	0	0	0.0393
8	4	-1	1	7.0	172.0	0	1.414	0.0393
4	5	1	1	8.0	170.0	1	1	0.0393
9	6	0	1	7.0	165.0	0	0	0.0393
1	7	1	1	6.0	160.0	-1	-1	0.0393
7	8	-1	1	7.0	157.9	0	-1.414	0.0464
10	9	0	1	7.0	165.0	0	0	0.0393
12	10	0	1	7.0	165.0	0	0	0.0393
3	11	1	1	6.0	170.0	-1	1	0.0357
2	12	1	1	8.0	160.0	1	-1	0.0464
13	13	0	1	7.0	165.0	0	0	0.0393

6.2.4 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง ด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลของปัจจัยหลักและอัตรกิริยาที่นัยสำคัญออกมาได้ดังต่อไปนี้

Response Surface Regression: Defective versus Dew Point, Cleaning Time

```
The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for de

Term                            Coef    SE Coef       T      P
Constant                     1.59131   0.211844   7.512  0.000
Dew Point                    0.03519   0.008514   4.133  0.004
Cleaning Time               -0.01990   0.002482  -8.016  0.000
Dew Point*Dew Point         -0.00022   0.000186  -1.199  0.270
Cleaning Time*Cleaning Time  0.00006   0.000007   8.392  0.000
Dew Point*Cleaning Time     -0.00018   0.000049  -3.636  0.008


S = 0.000491100  PRESS = 0.0000120054
R-Sq = 98.72%    R-Sq(pred) = 90.87%   R-Sq(adj) = 97.80%


Analysis of Variance for de

Source          DF    Seq SS    Adj SS    Adj MS       F      P
Regression       5  0.000130  0.000130  0.000026  107.63  0.000
  Linear         2  0.000108  0.000023  0.000012   47.75  0.000
  Square         2  0.000018  0.000018  0.000009   37.88  0.000
  Interaction    1  0.000003  0.000003  0.000003   13.22  0.008
Residual Error   7  0.000002  0.000002  0.000000
  Lack-of-Fit    3  0.000002  0.000002  0.000001       *      *
  Pure Error     4  0.000000  0.000000  0.000000
Total           12  0.000131
```

ผลจากการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ว่าปัจจัยหลัก ทั้ง 2 ปัจจัย ซึ่งก็คือ Dew Point และระยะเวลาการล้างเลนส์ มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ เพราะมีค่า P Value น้อยกว่า 0.05 เช่นเดียวกันกับอัตรกิริยาของทั้ง 2 ปัจจัยมีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ในส่วนของสมการความสมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสองปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองนั้น จะเห็นว่าจะมีพจน์ของสมการอันดับที่ 1 พจน์ของอันตกิริยา และพจน์ของสมการอันดับที่ 2 นั้นจะมีนัยสำคัญต่อค่าตัวแปรตอบสนองหมดทั้งสิ้น

ดังนั้นสามารถแสดงสมการความสัมพันธ์จากผลการวิเคราะห์ด้วย MINITAB ได้ดังต่อไปนี้

Response Surface Regression: Defective versus Dew Point, Cleaning Time

```
The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Defective

Term                            Coef    SE Coef       T      P
Constant                     1.63380   0.214489   7.617  0.000
Dew Point                    0.03207   0.008324   3.852  0.005
Cleaning Time               -0.02028   0.002528  -8.024  0.000
Cleaning Time*Cleaning Time  0.00006   0.000008   8.395  0.000
Dew Point*Cleaning Time     -0.00018   0.000050  -3.541  0.008


S = 0.000504339  PRESS = 0.0000117384
R-Sq = 98.45%    R-Sq(pred) = 91.07%   R-Sq(adj) = 97.68%


Analysis of Variance for Defective

Source          DF    Seq SS    Adj SS    Adj MS       F      P
Regression       4  0.000129  0.000129  0.000032  127.22  0.000
  Linear         2  0.000108  0.000023  0.000011   44.80  0.000
  Square         1  0.000018  0.000018  0.000018   70.48  0.000
  Interaction    1  0.000003  0.000003  0.000003   12.54  0.008
Residual Error   8  0.000002  0.000002  0.000000
  Lack-of-Fit    4  0.000002  0.000002  0.000001       *      *
  Pure Error     4  0.000000  0.000000  0.000000
Total           12  0.000131
```

สัดส่วนของเสีย (PIT+US) = 1.6338 + 0.03207(Dew Point) – 0.02028(Cleaning Time)

$$- 0.00018(\text{Dew Point}^* \text{ Cleaning Time}) + 0.00006(\text{Cleaning Time})^2 \qquad (6.2)$$

เพื่อยืนยันผลของความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองของสมการที่ (6.2) ว่ามีการเลือกพจน์ของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม จะใช้วิธีการ Stepwise ในการเลือกปัจจัยนำเข้าเข้าในสมการความถดถอย โดยพจน์ของปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 พจน์ที่จะทำการเลือกเข้าในสมการความถดถอยด้วยวิธีการ Stepwise มีดังต่อไปนี้

Dew Point, Cleaning Time, Dew Point*Cleaning Time, Dew Point^2 และ Cleaning Time^2

ซึ่งผลของการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลได้ดังต่อไปนี้

Stepwise Regression: Defective versus Dew Point, Cleaning Time, Dew Point*Cleaning Time, Dew Point^2, Cleaning Time^2

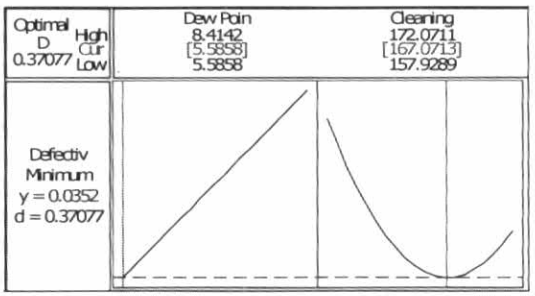
Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.1

Response is Defective on 5 predictors, with N = 13

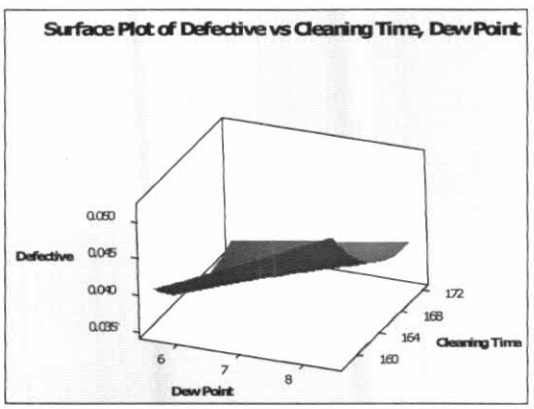
Step	1	2	3	4
Constant	0.1260	0.1078	1.8401	1.6338
Cleaning Time	-0.00052	-0.00052	-0.02153	-0.02028
T-Value	-2.78	-4.84	-5.69	-8.02
P-Value	0.018	0.001	0.000	0.000
Dew Point		0.00260	0.00260	0.03207
T-Value		4.84	9.66	3.85
P-Value		0.001	0.000	0.005
Cleaning Time^2			0.00006	0.00006
T-Value			5.56	8.40
P-Value			0.000	0.000
Dew Point*Cleaning Time				-0.00018
T-Value				-3.54
P-Value				0.008
S	0.00265	0.00152	0.000762	0.000504
R-Sq	41.20	82.39	96.03	98.45
R-Sq(adj)	35.85	78.87	94.70	97.68

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการ Stepwise ในการเลือกปัจจัยนำเข้าเข้าในสมการความถดถอยทั้งหมด 5 พจน์จะเหลือพจน์ที่ทำการเลือกเข้าสมการความถดถอย 4 พจน์ นั่นคือ Dew Point, Cleaning Time, Dew Point*Cleaning Time และ Cleaning Time^2 ซึ่งผลที่จะสอดคล้องกับสมการความสัมพันธ์สมการที่ (6.2) ที่ได้จากการออกแบบการทดลองก่อนหน้านี้

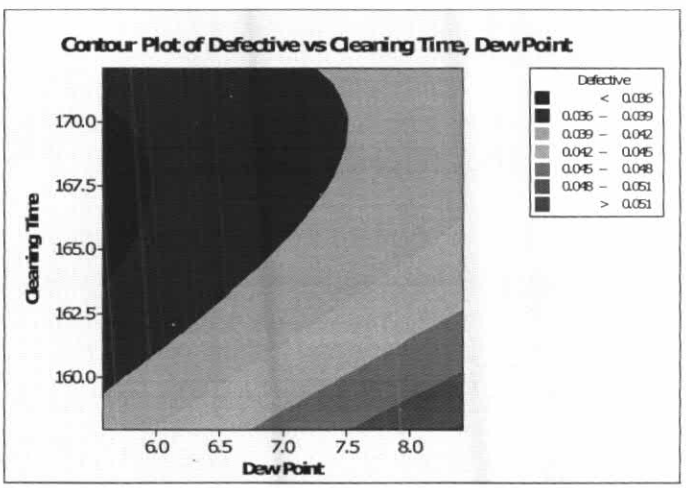
จากสมการความสัมพันธ์สมการที่ (6.2) สามารถพยากรณ์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ค่าสัดส่วนสัดส่วนเลนส์เสียรวมที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ที่ต่ำที่สุด ซึ่งผลจากการวิเคราะห์แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 6.5 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US



รูปที่ 6.6 พื้นผิวผลตอบแบบสามมิติของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US



รูปที่ 6.7 กราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวผลตอบของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

จากรูปสามารถสรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้ดังตารางต่อไปนี้

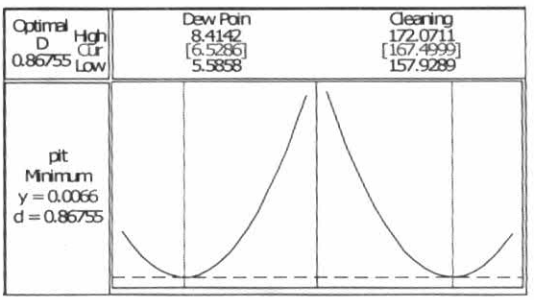
ตารางที่ 6.4 ปัจจัยและการกำหนดระดับที่เหมาะสมของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

ปัจจัย	ระดับที่เหมาะสม
Dew Point	5.6 องศาเซลเซียส
ระยะเวลาในการล้างเลนส์	167 วินาที

ในการกำหนดปัจจัยนำเข้าระดับ Dew Point สามารถกำหนดได้ โดยจะไม่ส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตเลนส์ แต่ในส่วนของระยะเวลาในการล้างเลนส์นั้นเนื่องจากในการกำหนดระดับที่เหมาะสมนั้นจะถูกกำหนดให้ระยะเวลาเพิ่มขึ้นจาก 165 วินาทีเป็น 167 วินาที ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อกำลังการการผลิตเลนส์นั่นก็คือ ถ้าเราเพิ่มระยะเวลาในการผลิตเลนส์เป็น 167 วินาที ก็จะทำให้ปริมาณในการผลิตเลนส์ในแต่ละวันลดลงซึ่งอาจจะส่งผลต่อการส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้แก่ลูกค้าได้ แต่ในปัจจุบันถึงแม้ว่าจะเพิ่มระยะเวลาในการล้างเลนส์เป็น 167 วินาที ก็จะยังไม่ส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตเลนส์ เนื่องจากปริมาณการผลิตเลนส์ถึงแม้จะลดลงแต่ปริมาณที่ผลิตได้ก็ยังเพียงพอกับความต้องการของลูกค้า ดังนั้นการที่จะปรับระยะเวลาในการล้างเลนส์เป็น 167 วินาที จะไม่ส่งผลเสียต่อกระบวนการผลิตเลนส์ ในด้านการส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้แก่ลูกค้า

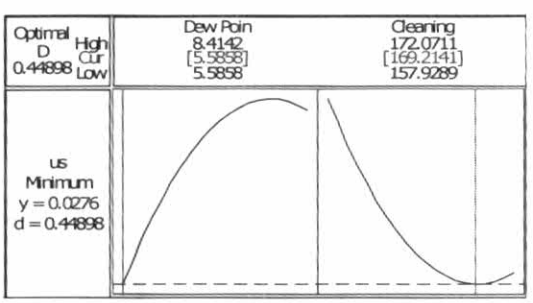
ในการวิเคราะห์ผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่าได้ทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่อง PIT และ US ไปพร้อมๆกัน โดยการนำ Desirability Function มาปรับใช้ โดยนำสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US มารวมกัน และเมื่อพิจารณาผลการทดลองของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพ่อง PIT และ US แยกกันผลที่ได้คือ

เมื่อพิจารณาเฉพาะตัวแปรตอบสนองเฉพาะสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT จะได้ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า Dew Point และ ระยะเวลาในการล้างเลนส์เป็น 6.5 องศาเซลเซียส และ167 วินาที ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6.8



รูปที่ 6.8 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT

และเมื่อเมื่อพิจารณาเฉพาะตัวแปรตอบสนองเฉพาะสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US จะได้ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า Dew Point และ ระยะเวลาในการล้างเลนส์เป็น 5.6 องศาเซลเซียส และ169 วินาที ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

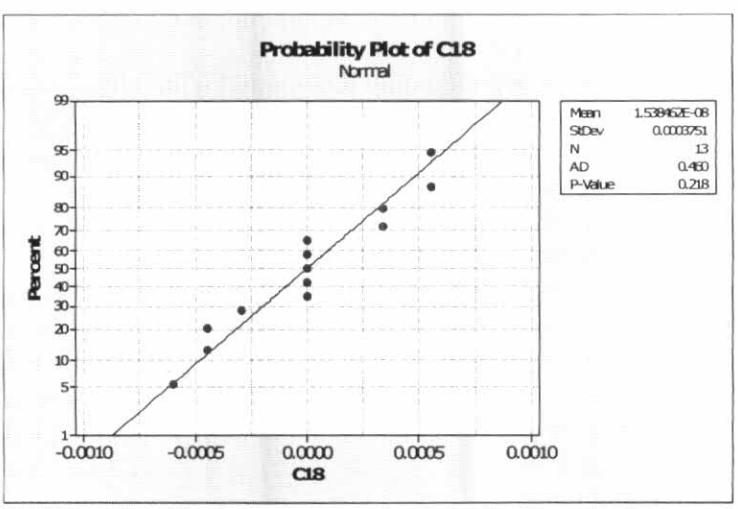
จากรูปที่ 6.8 และ 6.9 จะเห็นว่าถ้าจะกำหนดให้สัดส่วนของเสียที่เกิดข้อบกพร่อง PIT และสัดส่วนของเสียที่เกิดข้อบกพร่อง US ลดลงให้เหลือน้อยที่สุดจะต้องกำหนดให้ Dew Point อยู่ที่ระดับ 6.5 และ 5.6 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และเช่นเดียวกันจะต้องกำหนดให้ระยะเวลาในการล้างเลนส์อยู่ที่ระดับ 167 และ 169 วินาที ตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นว่าถ้าไม่ทำการวิเคราะห์สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ไปพร้อมๆ กันจะไม่สามารถกำหนดค่าระดับที่เหมาะสมให้กับปัจจัยนำเข้าได้

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ในการออกแบบการทดลองนั้น จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID $(0,\sigma^2)$ จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของ NID $(0,\sigma^2)$ หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ประกอบด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ข้อมูลมีความอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นปกติ

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง (สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US)

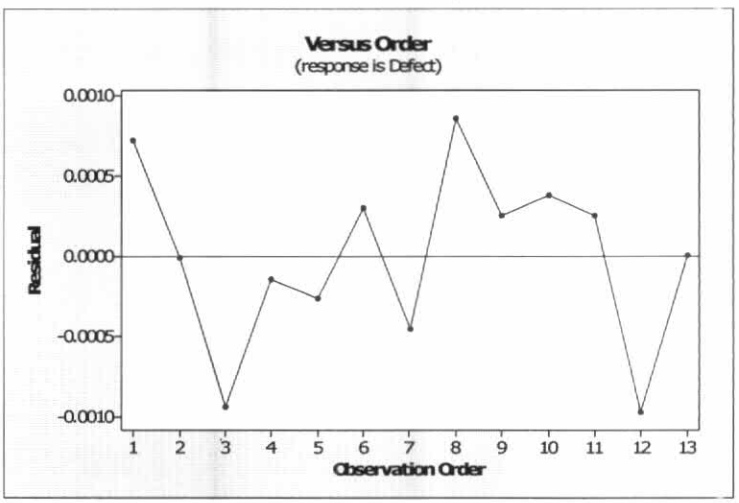


รูปที่ 6.10 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้างของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนองวางตัวอยู่ในแนวเส้นตรง ดังนั้นข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ

การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใด ๆควรทีจะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

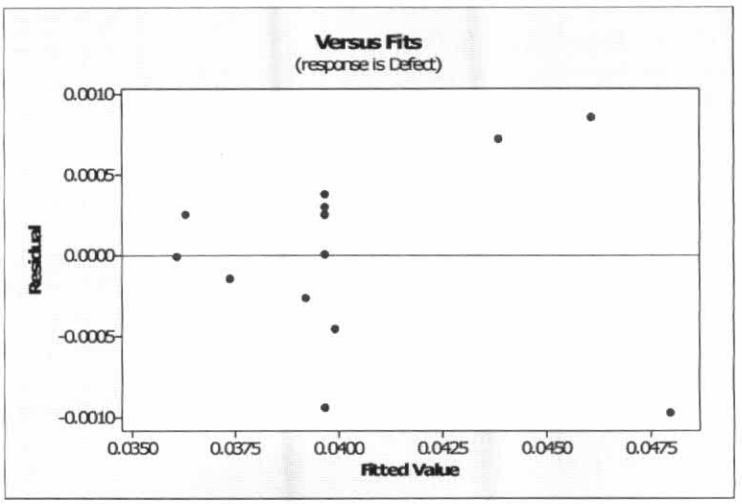


รูปที่ 6.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง
และลำดับของข้อมูลของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง
ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน



รูปที่ 6.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง
และค่าที่ถูกฟิตของการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง
ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ค่อนข้างคงที่ ดังนั้น สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

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

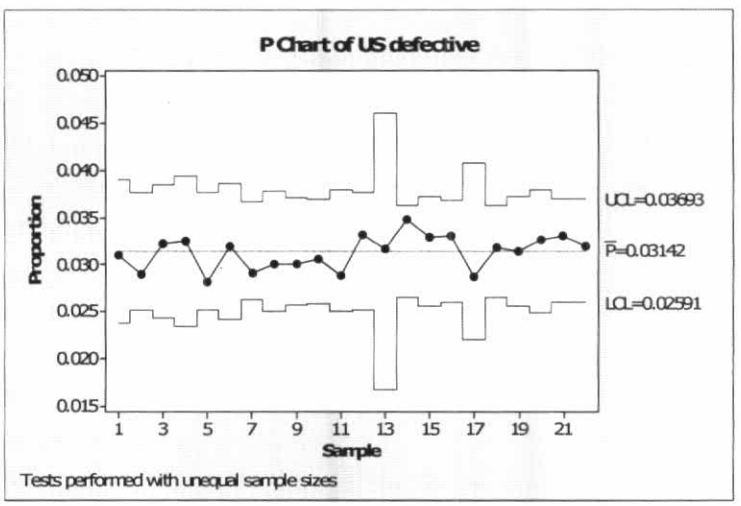
6.3 การทดสอบยืนยันผลของการปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

การทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 2 ปัจจัย คือ ระดับอุณหภูมิของ NMP และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex โดยจะทำการปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 2 ปัจจัยตามค่าที่ได้กำหนดไว้ตามตารางที่ 6.2 เพื่อตรวจสอบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US เป็นไปตามผลการทดลองหรือไม่ โดยผลของการเก็บข้อมูลเพื่อทดสอบยืนยันผลจะใช้เวลาประมาณ 1 เดือน ตามสภาพงานจริง โดยจะทำการเก็บข้อมูลที่กระบวนการขึ้นรูปเลนส์ของกระบวนการ Convex แบบ DM

ตารางที่ 6.5 จำนวนการผลิต จำนวนเลนส์เสียและสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ของกระบวนการขึ้นรูปเลนส์ CX แบบ DM ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2551

วันที่	จำนวนการผลิต	จำนวนเลนส์เสีย US	สัดส่วนเลนส์เสีย (PPM)
7	4650	144	30968
8	7050	204	28936
9	5390	174	32282
10	4285	139	32439
11	7050	198	28085
12	5330	170	31895
14	10011	291	29068
15	6591	198	30041
16	8400	253	30119
17	8975	274	30529
18	6570	189	28767
19	7000	232	33143
21	1260	40	31746
22	11239	391	34790
23	7890	260	32953
24	9420	311	33015
25	3100	89	28710
26	11260	358	31794
28	7900	248	31392
29	6400	209	32656
30	9025	298	33019
31	9030	289	32004
	157826	4959	31421

จากตารางที่ 6.3 วิเคราะห์และตรวจสอบดูว่าแต่ละจุดมีลักษณะอย่างไร โดยอาศัยแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย p เมื่อจำนวนตัวอย่างไม่คงที่ ในแต่ละวัน ดังรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.13 แผนภูมิสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ของเดือนมกราคม พ.ศ. 2551

จากรูป 6.13 โปรแกรม Minitab จะทำการวิเคราะห์รูปแบบบนแผนภูมิควบคุม โดยจะใช้การวิเคราะห์ 4 แบบ คือ การมีจุดนอกควบคุม การเกิดจุดต่อเนื่องบนด้านเดียวกันของแผนภูมิควบคุม การเกิดแนวโน้ม และการเกิดวัฏจักร ซึ่งผลของการวิเคราะห์พบว่าไม่มีความผิดปกติใดๆ บนแผนภูมิควบคุม

จากตารางที่ 3.3 ในบทที่ 3 สัดส่วนเลนส์สียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ของกระบวนการขึ้นรูปเลนส์ CX แบบ DM ก่อนการปรับปรุงกระบวนการมีค่าเท่ากับ 53,144 PPM และเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 6.3 และ รูปที่ 6.11 ซึ่งเป็นการปรับปรุงกระบวนการ โดยทำการกำหนดค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 2 ปัจจัย คือ ระดับอุณหภูมิของ NMP และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex ให้เหมาะสม ผลที่ได้คือสัดส่วนเลนส์เสียเกิดจากข้อบกพร่อง US ของกระบวนการขึ้นรูปเลนส์ CX แบบ DM หลังการปรับปรุงกระบวนการมีค่าเท่ากับ 31,421 PPM ดังนั้น การกำหนดให้ระดับอุณหภูมิของ NMP ที่ระดับ 47.9 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex ที่ระยะเวลา 16 นาที จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงในกระบวนการผลิต ทั้งนี้เพื่อทำให้สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ในกระบวนการขึ้นรูปเลนส์ให้ลดลงจากเดิม

6.4 การทดสอบยืนยันผลของการปรับปรุงปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT

การทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 2 ปัจจัย คือ Dew Point และระยะเวลาการล้างเลนส์ โดยจะทำการปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 2 ปัจจัย ตามค่าที่ได้กำหนดไว้ตามตารางที่ 6.4 เพื่อตรวจสอบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US และ PIT เป็นไปตามผลการทดลองหรือไม่ โดยผลของการเก็บข้อมูลเพื่อทดสอบยืนยันผลจะใช้เวลาประมาณ 1 เดือน ตามสภาพงานจริง โดยจะทำการเก็บข้อมูลที่กระบวนการเคลือบเลนส์ของผลิตภัณฑ์ Kromos ที่เครื่องจักร Nikon3

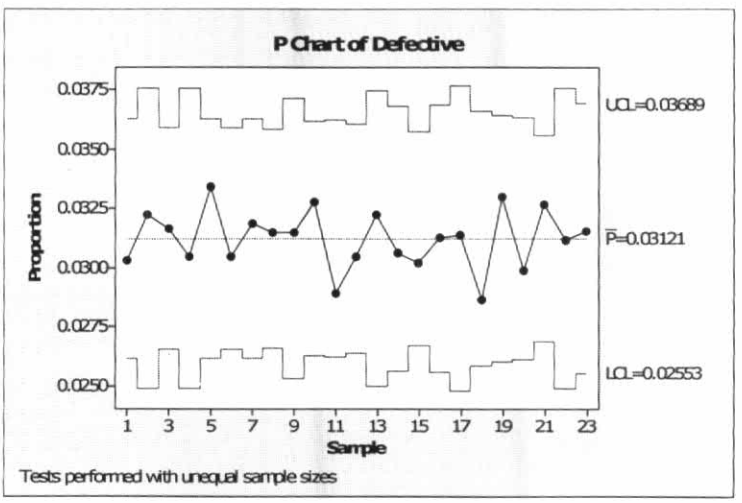
ตารางที่ 6.6 จำนวนการผลิต จำนวนเลนส์เสียและสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US และ PIT ของผลิตภัณฑ์ Kromos ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2551

วันที่	จำนวนการผลิต	จำนวนเลนส์เสีย US	จำนวนเลนส์เสีย PIT	สัดส่วนเลนส์เสีย US และ PIT (PPM)
7	10535	227	92	27474
8	6759	158	60	33491
9	12414	283	110	27027
10	6697	144	60	29601
11	10570	255	98	27540
12	12548	263	119	32270
14	10574	247	90	32364
15	12707	285	115	26589
16	7781	174	71	31982
17	11204	263	104	25005
18	10929	219	97	29011
19	11617	252	102	30147
21	7010	163	63	30371
22	8760	188	80	27263
23	13353	283	120	27796
24	8449	193	71	32215

ตารางที่ 6.6 (ต่อ) จำนวนการผลิต จำนวนเลนส์เสียและสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US และ PIT ของผลิตภัณฑ์ Kromos ในเดือนมกราคม พ.ศ. 2551

วันที่	จำนวนการผลิต	จำนวนเลนส์เสีย US	จำนวนเลนส์เสีย PIT	สัดส่วนเลนส์เสีย US และ PIT (PPM)
25	6566	151	55	34540
26	9319	187	80	32982
27	10004	237	93	32982
28	10453	219	93	25015
29	14450	348	124	31801
30	6775	152	59	31443
31	8437	189	77	32624
	227911	5080	2033	31210

จากตารางที่ 6.4 นำวิเคราะห์และตรวจสอบดูว่าแต่ละจุดมีลักษณะอย่างไร โดยอาศัยแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย p เมื่อจำนวนตัวอย่างไม่คงที่ ในแต่ละวัน ดังรูปที่ 6.12



รูปที่ 6.14 แผนภูมิสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US และ PIT ของเดือนมกราคม พ.ศ. 2551

จากรูป 6.14 โปรแกรม Minitab จะทำการวิเคราะห์รูปแบบบนแผนภูมิควบคุม โดยจะใช้การวิเคราะห์ 4 แบบ คือ การมีจุดนอกควบคุม การเกิดจุดต่อเนื่องบนด้านเดียวกันของแผนภูมิควบคุม การเกิดแนวโน้ม และการเกิดวัฏจักร ซึ่งผลของการวิเคราะห์พบว่าไม่มีความผิดปกติใดๆ บนแผนภูมิควบคุม

จากตารางที่ 3.2 ในบทที่ 3 สัดส่วนเลนส์สียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US และ PIT ของกระบวนการเคลือบเลนส์ของผลิตภัณฑ์ Kromos ก่อนการปรับปรุงกระบวนการมีค่าเท่ากับ 46,218 PPM และเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 6.4 และ รูปที่ 6.12 ซึ่งเป็นการปรับปรุงกระบวนการ โดยทำการกำหนดค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 2 ปัจจัย คือ ระดับอุณหภูมิ Dew Point และระยะเวลาการล้างเลนส์ให้เหมาะสม ผลที่ได้คือสัดส่วนเลนส์เสียเกิดจากข้อบกพร่อง US และ PIT ของกระบวนการเคลือบเลนส์ของผลิตภัณฑ์ Kromos หลังการปรับปรุงกระบวนการมีค่าเท่ากับ 31,210 PPM ดังนั้น การกำหนดให้ระดับอุณหภูมิ Dew Point ที่ระดับ 5.6 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการล้างเลนส์ที่ระดับ 167 วินาที จึงมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงในกระบวนการผลิต ทั้งนี้เพื่อทำให้สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US และ PIT ในกระบวนการเคลือบเลนส์ให้ลดลงจากเดิม