

บทที่ 5

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

5.1 บทนำ

การวิเคราะห์ปัญหาโดยการตัดสินใจซึ่งปราศจากข้อมูลทางสถิติอ้างอิงจะทำให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ดังนั้นในขั้นตอนการวิเคราะห์นี้จึงมีความสำคัญอย่างมากที่ต้องอาศัยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ คือ การตั้งสมมติฐาน และการทดสอบสมมติฐาน การวิเคราะห์เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาโดยนำผังแสดงเหตุและผล การวิเคราะห์ของ FMEA โดยเลือกสาเหตุจากการเรียงลำดับจากเหตุที่มีความเป็นไปได้สูงกว่าหรือมีความร้ายแรงมากกว่าเพื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาก่อนตามลำดับไป แต่ทั้งนี้เหตุที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดอาจจะไม่จำเป็นต้องเป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาก็คงได้ โดยทั่วไปการวิเคราะห์โดยอาศัยสารสนเทศที่ได้จากการทดลองจะลดโอกาสผิดพลาดได้ การตัดสินใจที่อาศัยหลักการของสถิติวิศวกรรมหรือหลักการอนุมานทางสถิติ โดยดำเนินการทดลองเพื่อหาข้อมูลสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าสาเหตุที่สงสัยนั้นคือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือความบกพร่องด้านคุณภาพ นอกจากนี้เมื่อมีการยืนยันว่าสาเหตุเหล่านั้นมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ก็ยังสามารถสรุปได้ต่อไปว่าสาเหตุดังกล่าวมีผลกระทบมากน้อยเพียงใด

5.2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ได้สรุปปัจจัยนำเข้าที่ทดสอบทั้งหมด 8 ปัจจัย ซึ่งมีขอบเขตอยู่ในกระบวนการขึ้นรูปเลนส์ ได้แก่

- อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาด โมลด์แซนวิช
- อุณหภูมิของ Raptex ที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาด โมลด์แซนวิช
- อุณหภูมิของ NMP ที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาด โมลด์แซนวิช
- ความเข้มข้นของ NMP ที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาด โมลด์แซนวิช
- ระยะเวลาการล้างด้วย Raptex ที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาด โมลด์แซนวิช
- ชนิดของน้ำยาโมโนเมอร์
- การล้างเลนส์หลังการแกะประกอบ
- จำนวนชิ้นงานในการ Brushing

นำปัจจัยนำเข้าที่มีความเสี่ยงสูงทั้งหมด 8 ปัจจัย มากรองด้วยการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการวางแผนการทดลอง

จะเห็นว่า ปัจจัยความเข้มข้นของ NMP ที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดโมลด์เซนวิชนั้น เป็นไปได้ยากที่จะนำมาทดลองด้วยการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล เพราะในการทำการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลนั้น จะต้องทำการทดลองแบบสุ่ม และเนื่องจากปัจจัยความเข้มข้นของ NMP นั้น NMP ที่ใช้ในการทำความสะอาดโมลด์เซนวิชนั้นมีราคาสูง ซึ่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของ NMP จะต้องมีการทิ้งสารเดิมไปและทำการผสมสาร NMP ขึ้นมาใหม่เพื่อให้ได้ระดับความเข้มข้นที่ต้องการ อีกทั้งในขั้นตอนการเปลี่ยนระดับการทดลองนั้น จำเป็นจะต้องทำการหยุดการผลิตช่วงระยะเวลาหนึ่งเพื่อทำการผสมสาร NMP ซึ่งยิ่งถ้าต้องมีการเปลี่ยนระดับการทดลองหลายๆ ครั้งก็จะต้องมีการทิ้งสาร NMP ไปมากขึ้น และหยุดการผลิตนานขึ้นด้วย ดังนั้น ในการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยความเข้มข้นของ NMP จะทำการทดลองด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐานทีละปัจจัย ส่วนที่เหลืออีก 7 ปัจจัยจะทำการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล

5.2.1 การทดสอบสมมติฐานทีละปัจจัย (One factor at a time: OFAT) ของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

1. ปัจจัยนำเข้า

1.1 ระดับความเข้มข้นของ NMP ที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดโมลด์เซนวิช เนื่องจากในขั้นตอนการเติมน้ำยาโมโนเมอร์เข้าไปในโมลด์เซนวิชจะมีคราบของน้ำยาโมโนเมอร์เลอะออกมาจากโมลด์เซนวิช และเมื่อโมลด์เซนวิชถูกส่งเข้าไปในขั้นตอนของการโพลีเมอร์ไรเซชันก็จะทำให้คราบน้ำยาโมโนเมอร์ที่เลอะออกมานั้น แห้งติดอยู่กับตัวของโมลด์เซนวิช ดังนั้นสาร NMP จึงเป็นตัวทำละลายน้ำยาโมโนเมอร์ที่เลอะออกมา โดยถ้าคราบน้ำยาโมโนเมอร์ที่เลอะออกมานั้นถูกล้างออกไม่หมด เมื่อถูกทิ้งไว้ก็จะแห้งติดอยู่กับโมลด์เซนวิช และเมื่อโมลด์เซนวิชถูกส่งผ่านไปยังขั้นตอนของการแกะประกอบ คราบที่แห้งติดอยู่อาจจะกระเด็นไปติดอยู่ที่หน้าเลนส์ทำให้เกิดเป็นเลนส์เสียได้ ดังนั้นความเข้มข้นของสาร NMP จึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถช่วยในการทำละลายน้ำยาโมโนเมอร์ที่เลอะออกมาจากโมลด์เซนวิชได้

ระดับความเข้มข้นของสาร NMP ในปัจจุบันทางโรงงานใช้อยู่ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยผู้ทำการทดลองเห็นว่าถ้าเพิ่มระดับความเข้มข้นของสาร NMP จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการล้างคราบโมโนเมอร์ที่เลอะออกมาจากโมลด์เซนวิชได้ โดยจะเพิ่มความเข้มข้นของสาร NMP ไปอยู่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าเป็นระดับที่ยอมรับได้ เนื่องจากถ้าเพิ่มระดับความเข้มข้นของ NMP มากไปกว่านี้แล้ว สาร NMP อาจจะไปทำอันตรายต่อตัวโมลด์ได้ และถ้าลดระดับความเข้มข้นของสาร

NMP ลดลงไปน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ สาร NMP ก็จะไม่สามารถที่จะล้างโมโนเมอร์ที่เลอะออกมาได้ ดังนั้นในการทดลองจะทดลองระดับความเข้มข้นของสาร NMP ที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ และ 10 เปอร์เซ็นต์ ว่ามีผลต่อการเกิดเลนส์เสียหรือไม่

1.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมเลนส์สำหรับการทดลอง 2 กลุ่ม โดยเตรียมชิ้นงานที่ผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน
2. ชิ้นงานกลุ่มที่ 1 นำไปล้างด้วยน้ำยา NMP ที่ระดับความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ และ ชิ้นงานกลุ่มที่ 2 นำไปล้างด้วยน้ำยา NMP ที่ระดับความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์
3. ขั้นตอนที่ใช้ในการล้างเลนส์จะใช้เครื่องจักรเดียวกัน พนักงานคนเดียวกัน และทำในกะเดียวกัน เพื่อลดความแปรปรวนซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้
4. เก็บข้อมูลอัตราส่วนข้อบกพร่องของเลนส์

1.1.2 สมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

$H_0 : P_{5\%} = P_{10\%}$; ไม่มีความแตกต่างกันของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำยา NMP

$H_1 : P_{5\%} \neq P_{10\%}$; มีความแตกต่างกันของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ในแต่ละระดับความเข้มข้นของน้ำยา NMP

1.1.3 จำนวนของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

จากสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ในกระบวนการ Convex แบบ DM มีค่าเท่ากับ 53,144 PPM ในการทดลองต้องการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนเลนส์เสียที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาจำนวนเลนส์ที่จะใช้ในการทดลองด้วย โปรแกรม MINITAB ได้ดังต่อไปนี้

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus not =)

Calculating power for proportion 2 = 0.026572

Alpha = 0.05

	Sample	Target	
Proportion 1	Size	Power	Actual Power
0.053144	1137	0.9	0.900017

The sample size is for each group.

จากการคำนวณโดยโปรแกรม MINITAB จำนวนตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่น 0.900 คือ 1,137 เลนส์ แต่เนื่องจากในกระบวนการผลิตเลนส์จะผลิตเป็น batch โดยจะทำการผลิต batch ละ 40 เลนส์ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทดลองใช้จำนวนเลนส์ทั้งหมด กลุ่มละ 30 batch ซึ่งคิดเป็น 1200 เลนส์ ในแต่ละกลุ่มการทดลอง

1.1.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.1 สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ของระดับความเข้มข้นของ NMP ที่ ระดับ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์

ระดับความเข้มข้น ของ NMP	จำนวนเลนส์ที่ทำการ ทดลอง	จำนวนเลนส์เสียที่เกิด จากข้อบกพร่อง US	สัดส่วนเลนส์เสีย (PPM)
5 เปอร์เซ็นต์	1,200	58	48,333
10 เปอร์เซ็นต์	1,200	67	55,833

1.1.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	58	1200	0.048333
2	67	1200	0.055833
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: -0.0075			
95% CI for difference: (-0.0252765, 0.0102765)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -0.83 P-Value = 0.408			

1.1.6 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการคำนวณโดย MINITAB ค่า P-value ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.408 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยความเข้มข้นของน้ำยา NMP ไม่มีผลต่อสัดส่วนของเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงกำหนดให้ ระดับความเข้มข้นของสาร NMP ให้อยู่ที่ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามมาตรฐานเดิมของโรงงาน

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นว่าระดับความเข้มข้นของน้ำยา NMP จะไม่สามารถนำมาทำ ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล เนื่องจากข้อจำกัดในด้านค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นจึงใช้การทดลองด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐานที่ละปัจจัย ซึ่งจะไม่สามารถบ่งบอกถึงความมีนัยสำคัญทางสถิติของอันตรกิริยาระหว่างระดับความเข้มข้นของน้ำยา NMP กับปัจจัยนำเข้าปัจจัยอื่นๆ ได้ ดังนั้นจึงจะกำหนดให้อันตรกิริยาระหว่างความเข้มข้นของน้ำยา NMP กับปัจจัยอื่นๆ ไม่มีผล ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดในงานวิจัยฉบับนี้

5.2.2 การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลของปัญหาเลนส์เสีย ที่เกิดจาก

ข้อบกพร่องUS

1. ปัจจัยนำเข้า

1.1 ระดับอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดโมลด์แซนวิช

จากกระบวนการล้างโมลด์แซนวิชจะมีสาร Raptex เป็นตัวทำความสะอาดอยู่ด้วย โดยสาร Raptex นี้จะมีส่วนประกอบของโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งเมื่อปล่อยให้เลนส์แห้งโดยมีสาร Raptex ติดอยู่จะเกิดเป็นคราบโซดาติดอยู่บนตัวของโมลด์แซนวิช เมื่อโมลด์แซนวิชถูกส่งไปยังขั้นตอนของการแกะประกอบ จะทำให้คราบโซดาที่ติดอยู่นี้ลอยไปติดอยู่ที่หน้าเลนส์ ทำให้เลนส์นั้นกลายเป็นเลนส์เสีย ดังนั้นในกระบวนการล้างโมลด์แซนวิชจึงมีน้ำเป็นตัวทำละลายสาร Raptex ออกจากตัวโมลด์แซนวิช ซึ่งถ้าสามารถทำละลายสาร Raptex ที่ติดอยู่บนตัวโมลด์แซนวิชได้หมด ก็จะสามารถที่จะลดคราบโซดาที่มาจากสาร Raptex ได้ ซึ่งผู้ทำการทดลองเห็นว่าระดับอุณหภูมิของน้ำเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะสามารถช่วยในการทำละลายสาร Raptex ออกจากโมลด์แซนวิชได้

ระดับของอุณหภูมิของน้ำในปัจจุบันทางโรงงานกำหนดระดับอุณหภูมิของน้ำให้อยู่ที่ระดับ 60 องศาเซลเซียส ผู้ทำการทดลองเห็นว่าถ้ามีการเพิ่มระดับอุณหภูมิของน้ำขึ้น อาจจะสามารที่จะช่วยให้การทำละลายสาร Raptex ออกจากตัวโมลด์แซนวิชได้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยจะกำหนดให้ระดับอุณหภูมิของน้ำที่จะทำการทดลองอยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับที่จะไม่ทำอันตรายต่อโมลด์ และเลนส์

1.2 ระดับอุณหภูมิของ Raptex ที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดโมลด์แซนวิช

จากกระบวนการล้างโมลด์แซนวิชจะมีสาร Raptex เป็นตัวทำความสะอาดอยู่ด้วย โดยสาร Raptex นี้จะมีหน้าที่ในการทำละลายสาร NMP ในขั้นตอนก่อนหน้า ซึ่งสาร Raptex นี้จะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายสาร NMP ออกจากตัวโมลด์แซนวิช ซึ่งสาร NMP ที่ถูกสาร Raptex ล้างออกไปนั้นจะมีโมโนเมอร์ที่เลอะออกมาจากโมลด์แซนวิชปนอยู่ด้วย เนื่องจาก NMP จะเป็นตัวทำละลายโมโนเมอร์ที่เลอะออกมานั่นเอง ซึ่งถ้าสาร NMP ที่ติดอยู่บนตัวโมลด์แซนวิช ถูกสาร Raptex ล้างออกไปหมด เมื่อโมลด์แซนวิชถูกทิ้งให้แห้ง โมโนเมอร์ที่ปนอยู่ในสาร NMP ที่เหลืออยู่บนตัวโมลด์ก็จะแห้งติดอยู่ที่ตัวโมลด์ และเมื่อโมลด์แซนวิชถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนของการแกะประกอบ คราบโมโนเมอร์ที่ติดอยู่บนโมลด์แซนวิช จะกระเด็นไปติดอยู่บนผิวเลนส์ทำให้เกิดเลนส์เสียได้ ดังนั้น

ถ้าในขั้นตอนของการทำความสะอาดโมลด์แซนวิชสามารถที่จะทำลายสาร NMP ออกให้หมดจากโมลด์แซนวิชได้ก็จะสามารถที่จะช่วยลดเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ได้ ซึ่งผู้ทำการทดลองก็เห็นว่าระดับอุณหภูมิของ Raptex จะเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำละลายสาร NMP ออกจากตัวโมลด์แซนวิชได้

ระดับอุณหภูมิของ Raptex ที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดโมลด์แซนวิชในปัจจุบันทางโรงงานกำหนดไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งผู้ทำการทดลองเห็นว่าถ้ามีการเพิ่มระดับอุณหภูมิของ Raptex จะสามารถที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการทำละลายสาร NMP ได้มากขึ้น เนื่องจากสาร Raptex มีคุณสมบัติเป็นสารไวไฟ เมื่อเจอกับความร้อนสูงอาจจะเกิดระเบิดขึ้นได้ ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงกำหนดระดับอุณหภูมิของ Raptex ที่จะใช้ในการทดลองอยู่ที่ระดับ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับที่ปลอดภัย ไม่ทำให้เกิดการติดไฟขึ้น

1.3 ระดับอุณหภูมิของ NMP ที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดโมลด์แซนวิช

ในกระบวนการล้างโมลด์แซนวิช สาร NMP จะเป็นตัวทำลายคราบโมโนเมอร์ที่เลอะออกมาจากโมลด์แซนวิช ซึ่งคราบโมโนเมอร์ที่หลงเหลือจากการที่สาร NMP ไม่สามารถล้างออกได้หมด เมื่อแห้งก็จะติดอยู่บนโมลด์แซนวิช ซึ่งเมื่อโมลด์แซนวิชถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนของการแกะประกอบคราบโมโนเมอร์ที่แห้งติดอยู่นี้ อาจจะกระเด็นไปติดบนหน้าเลนส์ทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่อง US ขึ้นได้ ดังนั้นการที่จะลดข้อบกพร่อง US ได้นั้นจะต้องเพิ่มประสิทธิภาพในการทำละลายโมโนเมอร์ที่เลอะออกมาจากโมลด์แซนวิช ซึ่งผู้ทำการทดลองก็เห็นว่าระดับอุณหภูมิของ NMP จะเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำละลายโมโนเมอร์ที่เลอะออกจากตัวโมลด์แซนวิชได้

ระดับอุณหภูมิของ NMP ในกระบวนการทำความสะอาดโมลด์แซนวิชในปัจจุบันทางโรงงานกำหนดไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส โดยผู้ทำการทดลองเห็นว่าถ้าทำการเพิ่มระดับอุณหภูมิของ NMP ขึ้นจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำละลายโมโนเมอร์ที่เลอะออกมาได้ โดยระดับอุณหภูมิที่ผู้ทำการทดลองจะกำหนดให้ทำการทดลองอยู่ที่ระดับ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจะเป็นระดับอุณหภูมิที่จะไม่ส่งผลต่อตัวโมลด์และตัวเลนส์

1.4 ระยะเวลาการล้างด้วย Raptex ที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาด โมลด์แซนวิช จากที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นกระบวนการล้าง โมลด์แซนวิชจะมีสาร Raptex เป็นตัวทำความสะอาดอยู่ด้วย โดยสาร Raptex นี้จะมีส่วนประกอบของ โซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งสาร Raptex นี้จะทำหน้าที่เป็นตัวทำลายสาร NMP ออก จากตัวโมลด์แซนวิช ซึ่งถ้าสาร Raptex สามารถที่จะทำลายสาร NMP ออกได้หมดก็จะสามารถช่วยลดสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ได้ ซึ่งระยะเวลาในการล้างด้วย Raptex ก็จะเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยเพื่อประสิทธิภาพในการทำลายสาร NMP ออกจากโมลด์แซนวิชได้

ระยะเวลาการล้างด้วย Raptex ในกระบวนการทำความสะอาดโมลด์แซนวิชในปัจจุบันทางโรงงานกำหนดไว้ที่ 10 นาที โดยผู้ทำการทดลองเห็นว่า การเพิ่มระยะเวลาการล้างด้วย Raptex จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลายโมโนเมอร์ออกจากตัวโมลด์ได้ แต่สาร Raptex นั้นสามารถที่จะทำการกัดกร่อนตัวโมลด์ หรือแม้กระทั่งตัวเลนส์ด้วย เมื่อตัวโมลด์แซนวิชถูกแช่ทิ้งไว้นานเกินไป ดังนั้นในการกำหนดระยะเวลาการล้างด้วย Raptex จะกำหนดอยู่ที่ 15 นาที เพื่อป้องกันไม่ให้สาร Raptex ทำอันตรายต่อโมลด์และเลนส์

1.5 ชนิดของน้ำยาโมโนเมอร์

น้ำยาโมโนเมอร์ที่ทางโรงงานใช้ในการผลิตเลนส์ Index 1.5 ในปัจจุบันจะมีอยู่ 2 ประเภทหลัก คือ Water – Compound และ No Water – Compound โดยน้ำยาโมโนเมอร์ชนิด Water – Compound นั้นจะถูกใช้ในการผลิตเลนส์ประเภท Concave ส่วน น้ำยาโมโนเมอร์ชนิด No Water – Compound จะถูกใช้ในการผลิตเลนส์ประเภท Convex โดยในการทดลองนั้นผู้ทำการทดลองจะมุ่งเน้นไปที่กระบวนการผลิตเลนส์ Convex แบบ DM ซึ่งผู้ทำการทดลองเห็นว่า การนำน้ำยาโมโนเมอร์ชนิด Water – Compound มาทดลองใช้ในกระบวนการผลิตเลนส์ Convex แบบ DM อาจจะสามารถช่วยในการลดสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ลงได้

1.6 การล้างเลนส์หลังการแกะประกอบ

กระบวนการล้างเลนส์หลังการแกะประกอบนั้นถูกใช้ในกระบวนการผลิตเลนส์ Concave เนื่องจากกระบวนการผลิตเลนส์ Concave หลังขึ้นคอนฟอร์โพลีเมอร์ไรเซชันจะต้องทำการดึงคลิป์ และกาสเก็ตออกจากแซนวิชโมลด์ที่เป็นวัสดุ ดังนั้นเมื่อนำแซนวิชโมลด์เข้าสู่ตู้อบเพื่อทำการโพลีเมอร์ไรเซชันส่วนของขอบแซน

วิชโมลด์จะสัมผัสกับออกซิเจนทำให้บริเวณขอบของแกนวิชโมลด์จะเกิดโพลีเมอร์ไรเซชันไม่สมบูรณ์ ดังนั้นกระบวนการตัดขอบจึงเป็นกระบวนการที่เพิ่มเข้ามาให้กับกระบวนการผลิตเลนส์ Concave เพื่อที่จะตัดขอบเลนส์ที่มีการเพอร์ริเมอร์ไรเซชันไม่สมบูรณ์ออกไป ซึ่งก็จะทำให้มีเศษสะเก็ดเลนส์ติดอยู่บนตัวเลนส์ ดังนั้นกระบวนการล้างเลนส์หลังการแกะประกอบนั้น ก็จะมีหน้าที่หลักคือล้างสะเก็ดเลนส์ที่ติดอยู่ออกไป แต่เนื่องจากการทดลองผู้ทำการทดลองได้มุ่งเน้นทำการทดลองที่กระบวนการผลิตเลนส์ Convex แบบ DM ซึ่งกระบวนการนี้จะไม่มีการล้างเลนส์หลังการแกะประกอบ ซึ่งผู้ทำการทดลองเห็นว่ากระบวนการล้างเลนส์นี้นอกจากจะมีหน้าที่ในการล้างเศษเลนส์ที่เกิดจากการตัดขอบเลนส์แล้ว ยังสามารถที่จะล้างคราบของโมโนเมอร์ที่แห้งติดอยู่บนหน้าเลนส์ได้อีกด้วย เนื่องจากในกระบวนการล้างเลนส์หลังการแกะประกอบนี้ จะมีการใช้คลื่นอัลตราโซนิคเป็นตัวช่วยในการทำความสะอาดเลนส์เนื่องจากคลื่นอัลตราโซนิคจะมีประสิทธิภาพมากในการที่จะทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคปนเปื้อนกับพื้นผิวเลนส์ ซึ่งอาจจะช่วยลดเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ลงได้

ดังนั้นในการทดลองจะกำหนดให้ระดับปัจจัยของตัวแปรการล้างเลนส์หลังการแกะประกอบ 2 ระดับ คือที่ระดับการทดลองหนึ่ง ให้นำเลนส์ที่ทำการทดลองจากกระบวนการผลิตเลนส์ Convex แบบ DM ไปทำการล้างเลนส์หลังการแกะประกอบที่กระบวนการผลิตเลนส์ Concave ส่วนอีกระดับการทดลองเลนส์ที่ทำการทดลองที่กระบวนการผลิตเลนส์ Convex แบบ DM จะไม่มีการล้างเลนส์หลังการแกะประกอบ

1.7 จำนวนชิ้นงานในการ Brushing

กระบวนการ Brushing จะเป็นกระบวนการทำความสะอาดขอบโมลด์แกนวิช เนื่องจากขอบของโมลด์แกนวิชจะมีร่องอยู่ โดยจะให้พนักงานใช้แปรงขัดขอบโมลด์แกนวิชหลังจากกระบวนการล้างโมลด์แกนวิช เพื่อทำความสะอาดคราบโมโนเมอร์หรือแม้กระทั่งคราบของสาร Raptex ที่อาจจะหลงเหลือจากกระบวนการล้างโมลด์แกนวิช ซึ่งถ้าสามารถทำความสะอาดเหล่านี้ออกได้หมด ก็จะสามารถลดโอกาสที่คราบโมโนเมอร์จะกระเด็นไปติดอยู่บริเวณหน้าเลนส์ได้ ซึ่งก็จะสามารถที่จะช่วยลดเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ลงได้

โดยในปัจจุบันตามมาตรฐานการทำงานของโรงงาน พนักงาน Brushing จะทำการ Brushing เลนส์ครั้งละ 6 เลนส์พร้อมๆกัน แต่เนื่องจากผู้ทำการทดลองเห็นว่าถ้าทำการลดปริมาณของเลนส์ที่จะทำการ Brushing ในแต่ละครั้งลงจะ

สามารถช่วยให้พนักงานสามารถทำความสะอาดขอบโมลด์แซนวิชได้ดีขึ้น แต่เนื่องจากถ้าให้พนักงานลดการทำความสะอาดเลนส์ในแต่ละครั้งลง ก็จะส่งผลต่อกำลังการผลิต ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงกำหนดจำนวนเลนส์ในการ Brushing ลงครั้งหนึ่ง ซึ่งไม่น่าจะส่งผลต่อกำลังการผลิตมากนัก นั่นก็คือในการ Brushing แต่ละครั้งจะให้พนักงานทำการ Brushing เลนส์ครั้งละ 3 เลนส์พร้อมๆกัน

ตารางที่ 5.2 ปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทำการทดลอง

ปัจจัยที่	ปัจจัย	ระดับปัจจัย		หน่วย
		-1	1	
1	ระดับอุณหภูมิของน้ำ (A)	60	70	องศาเซลเซียส
2	ระดับอุณหภูมิของ Raptex (B)	50	60	องศาเซลเซียส
3	ระดับอุณหภูมิของ NMP (C)	50	60	องศาเซลเซียส
4	ระยะเวลาการล้างด้วย Raptex (D)	10	15	นาที
5	ชนิดของน้ำยาโมโนเมอร์ (E)	No-water compound	Water compound	-
6	การล้างเลนส์หลังการแกะประกอบ (F)	ไม่มีการล้าง	ล้าง	-
7	จำนวนชิ้นงานในการ Brushing (G)	3	6	เลนส์

2. ตัวแปรตอบสนอง

ในการทดลองนี้ ผู้ทำการทดลองมีความสนใจที่จะพิจารณาสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ดังนั้นตัวแปรสนองที่กำหนดในการทดลองคือ สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

3. การออกแบบการทดลอง

จากตารางที่ 5.2 จะทำการการออกแบบการทดลองโดยจะใช้การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3} ซึ่งจะมีการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง โดย Alias ของการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3} สามารถแสดงผลโดยโปรแกรม Minitab ได้ดังผลดังต่อไปนี้

<p>Design Generators: E = ABC, F = BCD, G = ACD</p> <p>Alias Structure</p> <p>I + ABCE + ABFG + ACDG + ADEF + BCDF + BDEG + CEFG</p> <p>A + BCE + BFG + CDG + DEF + ABCDF + ABDEG + ACEFG</p> <p>B + ACE + AFG + CDF + DEG + ABCDG + ABDEF + BCEFG</p> <p>C + ABE + ADG + BDF + EFG + ABCFG + ACDEF + BCDEG</p> <p>D + ACG + AEF + BCF + BEG + ABCDE + ABDFG + CDEFG</p> <p>E + ABC + ADF + BDG + CFG + ABEFG + ACDEG + BCDEF</p> <p>F + ABG + ADE + BCD + CEG + ABCEF + ACDFG + BDEFG</p> <p>G + ABF + ACD + BDE + CEF + ABCEG + ADEFG + BCDFG</p> <p>AB + CE + FG + ACDF + ADEG + BCDG + BDEF + ABCEFG</p> <p>AC + BE + DG + ABDF + ACFG + BCFG + CDEF + ABCDEG</p> <p>AD + CG + EF + ABCF + ABEG + BCDE + BDFG + ACDEFG</p> <p>AE + BC + DF + ABDG + ACFG + BEFG + CDEG + ABCDEF</p> <p>AF + BG + DE + ABCD + ACEG + BCEF + CDFG + ABDEFG</p> <p>AG + BF + CD + ABDE + ACEF + BCEG + DEFG + ABCDFG</p> <p>BD + CF + EG + ABCG + ABEF + ACDE + ADFG + BCDEFG</p> <p>ABD + ACF + AEG + BCG + BEF + CDE + DFG + ABCDEFG</p>

4. การสุ่ม (Randomization)

การสุ่มเป็นหลักฐานสำคัญในการใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยการสุ่มจะหมายถึงการจัดสรรหน่วยการทดลองและลำดับการทดลองให้เป็นไปโดยสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลองตรงกับข้อกำหนดทางสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน และการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลจากการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

การสุ่มลำดับการทดลองในการทดลองนี้จะกระทำโดยโปรแกรม MINITAB ซึ่งกำหนดพร้อมกับการสร้างเมตริกการออกแบบ (Design Matrix) โดยสังเกตลำดับการทดลองได้จากช่อง Run Order ของตาราง

5. จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

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

$$n = \frac{(1.96 + 1.282)^2}{16(\arcsin \sqrt{0.0531 + 0.0266/2} + \arcsin \sqrt{0.0531 - 0.0266/2})^2}$$

$$n = 184.39 \approx 185$$

เนื่องจากในกระบวนการผลิตเลนส์จะผลิตเป็น Batch โดยจะทำการผลิต batch ละ 40 เลนส์ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทดลองจะใช้จำนวนเลนส์ทั้งหมด 5 batch ดังนั้นในแต่ละการทดลอง (16 การทดลอง) จะใช้เลนส์ในการทดลองการทดลองละ 200 เลนส์

6. การเตรียมการทดลอง

ทำการกำหนดตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ดังต่อไปนี้

- ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกันตลอดการทดลอง
- ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงาน

7. ขั้นตอนในการทดลอง

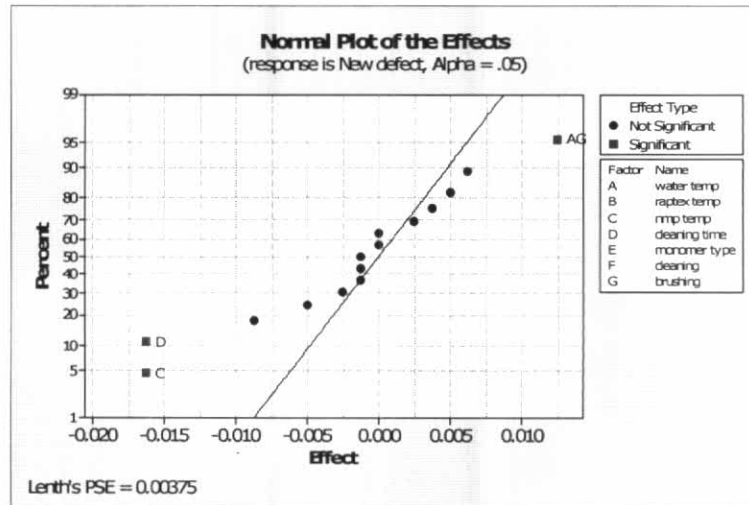
ทำการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องจักรและวัสดุอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดลองให้พร้อม จากนั้นนำชิ้นงานเข้ากระบวนการโดยสุ่มอย่างต่อเนื่อง ปรับระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 7 ปัจจัย ทำการทดลองจนครบทั้ง 16 การทดลอง โดยลำดับการทดลองจะทำการทดลองตามลำดับที่กำหนดไว้ในช่อง Run Order ดังตารางและจะทำการทดลองให้เสร็จทีละการทดลอง จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองไปตรวจสอบสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}

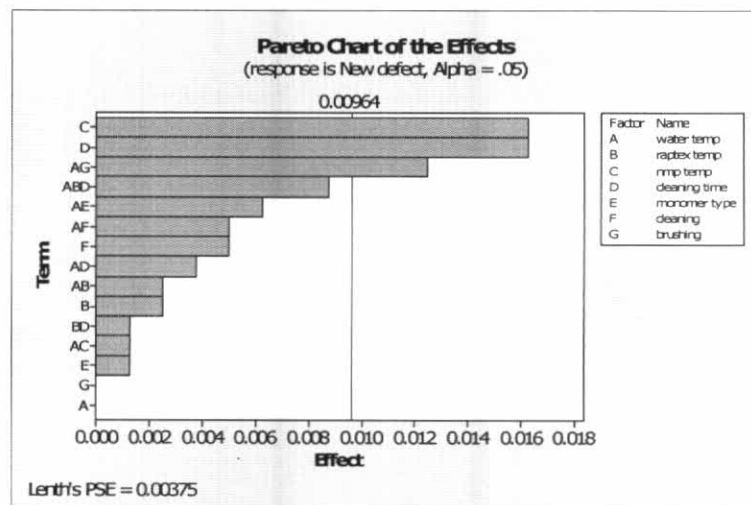
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Water temp	Raptex temp	NMP temp	Cleaning time	Monomer type	Cleaning	Brushing	Defective
8	1	1	1	70	60	60	10	water	no	3	0.05
5	2	1	1	60	50	60	10	water	yes	6	0.04
15	3	1	1	60	60	60	15	no water	yes	3	0.045
9	4	1	1	60	50	50	15	no water	yes	6	0.035
10	5	1	1	70	50	50	15	water	yes	3	0.055
3	6	1	1	60	60	50	10	water	yes	3	0.07
11	7	1	1	60	60	50	15	water	no	6	0.05
16	8	1	1	70	60	60	15	water	yes	6	0.035
13	9	1	1	60	50	60	15	water	no	3	0.045
6	10	1	1	70	50	60	10	no water	yes	3	0.035
14	11	1	1	70	50	60	15	no water	no	6	0.04
2	12	1	1	70	50	50	10	water	no	6	0.075
4	13	1	1	70	60	50	10	no water	yes	6	0.08
12	14	1	1	70	60	50	15	no water	no	3	0.04
1	15	1	1	60	50	50	10	no water	no	3	0.09
7	16	1	1	60	60	60	10	no water	no	6	0.055

8. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

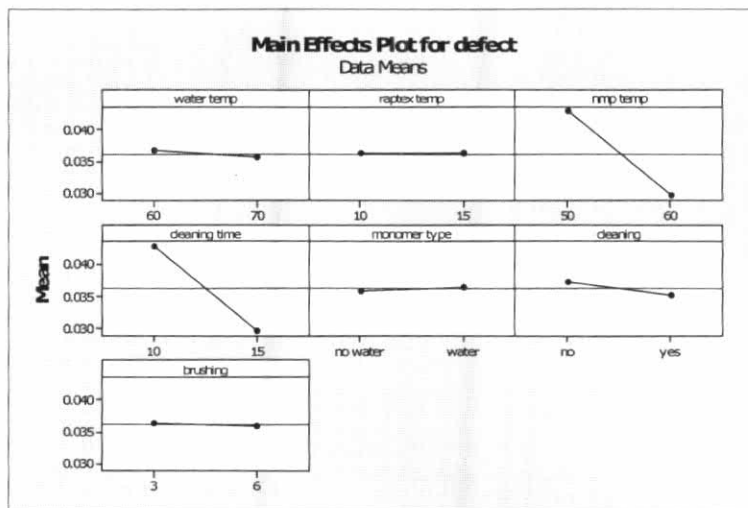
ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3} ด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่นัยสำคัญออกมาในรูปของกราฟ Normal Probability Plot และ แผนภูมิพารेटอ ดังต่อไปนี้



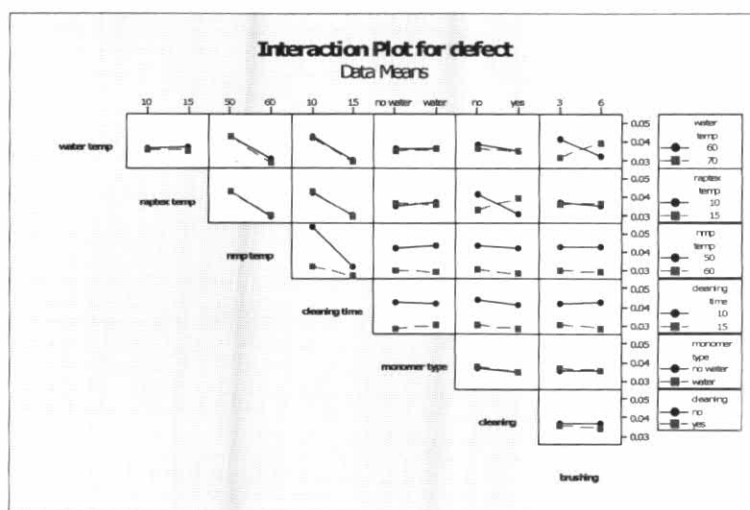
รูปที่ 5.1 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}



รูปที่ 5.2 แผนภูมิพารेटอ แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}



รูปที่ 5.3 ภาพผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนเสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}



รูปที่ 5.4 ภาพอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนเสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}

ผลจากการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3} สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยหลัก 2 ปัจจัยมีผลต่อสัดส่วนเสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US อย่างมีนัยสำคัญ นั่นก็คือ ระดับอุณหภูมิของ NMP (C) และ ระยะเวลาการล้างด้วย Raptex (D) แต่เนื่องจากการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3} นั้น จะมี Alias ที่รวมกันอยู่ไม่สามารถบอกได้อย่างแน่นอนว่ามาจากปัจจัยใด

ดังนี้

โดยระดับอุณหภูมิของ NMP และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex จะมีโครงสร้างของ Alias

$C + ABE + ADG + BDF + EFG + ABCFG + ACDEF + BCDEG$

$D + ACG + AEF + BCF + BEG + ABCDE + ABDFG + CDEFG$

เนื่องจากการทดลองระดับของอันตรกิริยาที่ระดับสูง (มากกว่า 3 ขึ้นไป) จะถูกประเมินว่าไม่มีความสำคัญสามารถตัดออกไปได้ ดังนั้นในการสรุปผลของปัจจัยหลักจึงสามารถที่จะสรุปได้ว่า ระดับอุณหภูมิของ NMP และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex มีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US อย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนอันตรกิริยานั้นจาก Normal Probability Plot และ แผนภูมิพาเรโต ดังรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอันตรกิริยาระหว่างระดับอุณหภูมิของน้ำ (A) และจำนวนชิ้นงานในการ Brushing (G) มีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US อย่างมีนัยสำคัญ แต่ในการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3} จะมี Alias ที่รวมกันอยู่ไม่สามารถบอกได้อย่างแน่นอนว่ามาจากปัจจัยใด นั่นก็คือ

$AG + BF + CD + ABDE + ACEF + BCEG + DEFG + ABCDFG$

แต่จากผลของปัจจัยหลักแสดงให้เห็นว่าระดับอุณหภูมิของ NMP (C) และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex (D) มีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US อย่างมีนัยสำคัญ และระดับของอันตรกิริยาที่ระดับสูงจะถูกประเมินว่าไม่มีความสำคัญสามารถตัดออกไปได้ ดังนั้นจากการพิจารณาจะเห็นถึงข้อบ่งชี้ว่า อันตรกิริยาระหว่างระดับอุณหภูมิของ NMP (C) และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex (D) อาจจะมีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US อย่างมีนัยสำคัญ

เนื่องจากปัจจัยหลัก คือ ระดับอุณหภูมิของน้ำ (A) ระดับอุณหภูมิของ Raptex (B) ชนิดของน้ำยาโมโนเมอร์ (E) การล้างเลนส์หลังการแกะประกอบ (F) และจำนวนชิ้นงานในการ Brushing (G) ไม่มีผล เราสามารถที่จะตัดปัจจัยเหล่านี้ทิ้งจากการพิจารณาได้ ดังนั้นเราจะสามารถที่จะฉายการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3} ไปสู่การออกแบบการทดลอง 2^2 ที่มี 4 เรพลิเคต ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัย ระดับอุณหภูมิของ NMP (C) และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex (D) โดยผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองของการฉายการออกแบบการทดลอง
 เศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3} ไปสู่การออกแบบการทดลอง 2^2 ที่มี 4 เรพลีเคต

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	NMP temp	Cleaning time	Defective
8	1	1	1	60	10	0.05
5	2	1	1	60	10	0.04
15	3	1	1	60	15	0.045
9	4	1	1	50	15	0.035
10	5	1	1	50	15	0.055
3	6	1	1	50	10	0.07
11	7	1	1	50	15	0.05
16	8	1	1	60	15	0.035
13	9	1	1	60	15	0.045
6	10	1	1	60	10	0.035
14	11	1	1	60	15	0.04
2	12	1	1	50	10	0.075
4	13	1	1	50	10	0.08
12	14	1	1	50	15	0.04
1	15	1	1	50	10	0.09
7	16	1	1	60	10	0.055

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การ
 ออกแบบการทดลองของการฉายการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ
 2_{IV}^{7-3} ไปสู่การออกแบบการทดลอง 2^2 ที่มี 4 เรพลีเคต ได้ดังต่อไปนี้

Full Factorial Design

Factors: 2 Base Design: 2, 4
 Runs: 16 Replicates: 4
 Blocks: 1 Center pts (total): 0

All terms are free from aliasing.

Factorial Fit: Defective versus NMP temp, Cleaning time

Estimated Effects and Coefficients for Defective (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.052500	0.002025	25.92	0.000
NMP temp	-0.018750	-0.009375	0.002025	-4.63	0.001
Cleaning time	-0.018750	-0.009375	0.002025	-4.63	0.001
NMP temp*Cleaning time	0.015000	0.007500	0.002025	3.70	0.003

S = 0.00810093 PRESS = 0.0014
 R-Sq = 82.50% R-Sq(pred) = 68.89% R-Sq(adj) = 78.12%

Analysis of Variance for Defective (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0.00281250	0.00281250	0.00140625	21.43	0.000
2-Way Interactions	1	0.00090000	0.00090000	0.00090000	13.71	0.003
Residual Error	12	0.00078750	0.00078750	0.00006563		
Pure Error	12	0.00078750	0.00078750	0.00006562		
Total	15	0.00450000				

Estimated Coefficients for Defective using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.615000
NMP temp	-0.00937500
Cleaning time	-0.0367500
NMP temp*Cleaning time	0.000600000

Alias Structure

I
 NMP temp
 Cleaning time
 NMP temp*Cleaning time

ผลจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^2 ที่มี 4 เรพลีเคต สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยหลัก คือ ระดับอุณหภูมิของ NMP (C) และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex (D) และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย ระดับอุณหภูมิของ NMP (C) และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex (D) มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05

ดังนั้นจากปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 7 ปัจจัย ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US สามารถสรุปได้ว่า มีเพียงปัจจัย

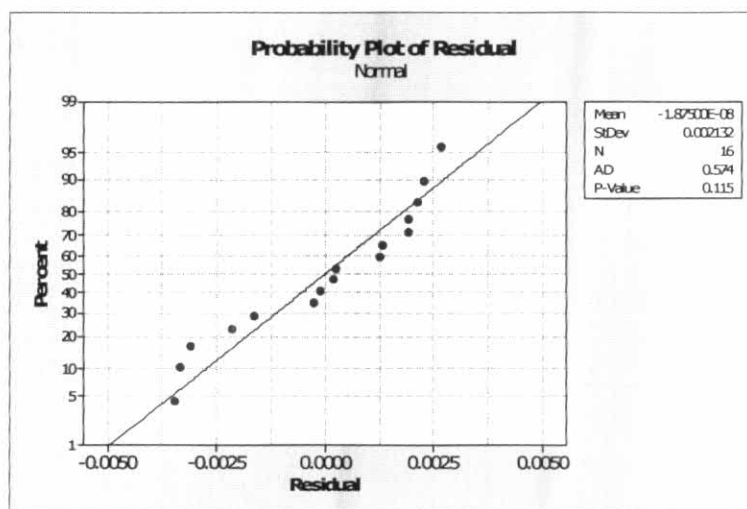
หลัก คือ ระดับอุณหภูมิของ NMP (C) และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex (D) และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยหลัก ระดับอุณหภูมิของ NMP (C) และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex (D) ที่มีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

9. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

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

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

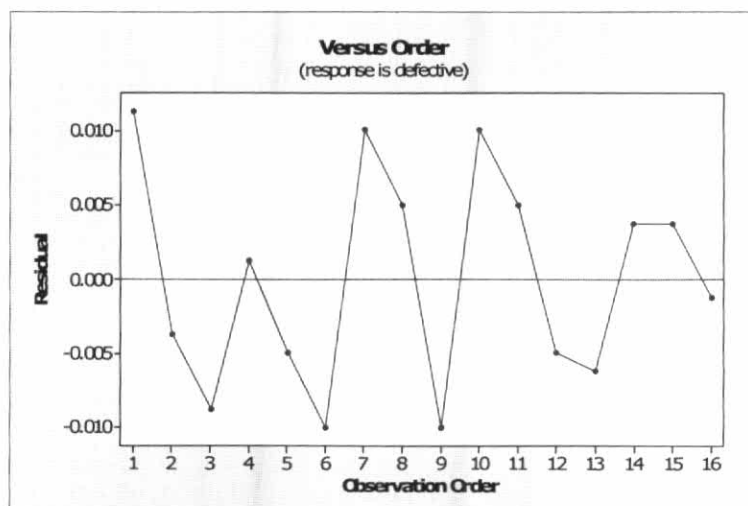
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง (สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US)



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้างของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3} จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง วางตัวอยู่ในแนวเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ดังนั้นข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้ โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใด ๆ ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

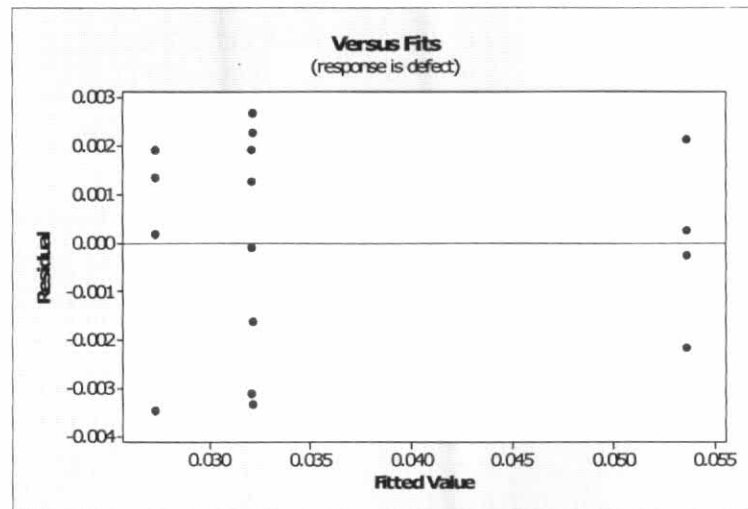


รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูลของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ค่อนข้างคงที่ ดังนั้น สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

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

10. การแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนอง

ในงานวิจัยของ *S. Bisgaard and H. T. Fuller, 1994* นำเสนอว่าข้อมูลที่มีการกระจายแบบ Binomial สมมติฐานในเรื่องความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน มักจะไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ โดย *S. Bisgaard and H. T. Fuller, 1994* ได้เสนอแนะให้ใช้สมการต่อไปนี้เพื่อที่จะทำการแปลงข้อมูลก่อนทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 5.5 สมการการแปลงข้อมูล

ชนิดของข้อมูล	การกระจายของข้อมูล	การแปลงข้อมูล
proportion (\hat{p})	Binomial	$\arcsin \sqrt{\hat{p}}$ และ $\frac{\arcsin \sqrt{\frac{n\hat{p}}{n+1}} + \arcsin \sqrt{\frac{n\hat{p} + 1}{n+1}}}{2}$

จากข้อมูลในตารางที่ 5.3 ทำการแปลงข้อมูลในช่อง Defective ด้วยสมการในตารางที่ 5.4 จะได้ผลการแปลงข้อมูลดังต่อไปนี้

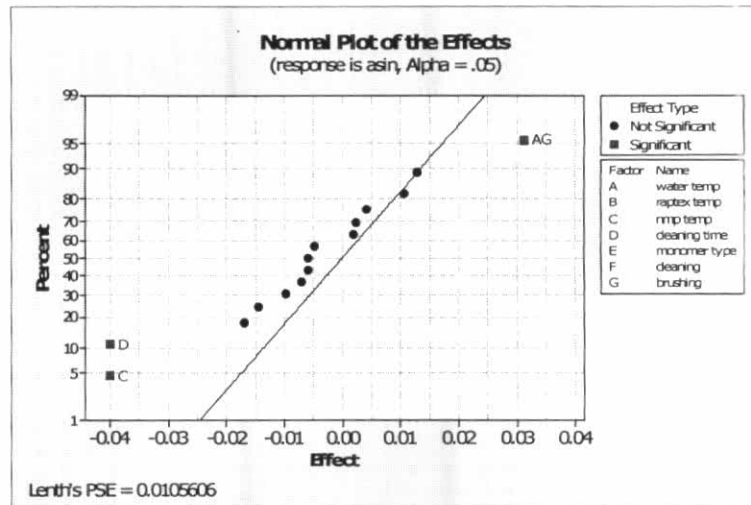
ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองเมื่อทำการแปลงข้อมูลด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$ ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Water temp	Raptex temp	NMP temp	Cleaning time	Monomer type	Cleaning	Brushing	Defective
8	1	1	1	70	60	60	10	water	no	3	0.304693
5	2	1	1	60	50	60	10	water	yes	6	0.277406
15	3	1	1	60	60	60	15	no water	yes	3	0.267763
9	4	1	1	60	50	50	15	no water	yes	6	0.286757
10	5	1	1	70	50	50	15	water	yes	3	0.201358
3	6	1	1	60	60	50	10	water	yes	3	0.188192
11	7	1	1	60	60	50	15	water	no	6	0.236726
16	8	1	1	70	60	60	15	water	yes	6	0.225513
13	9	1	1	60	50	60	15	water	no	3	0.188192
6	10	1	1	70	50	60	10	no water	yes	3	0.236726
14	11	1	1	70	50	60	15	no water	no	6	0.225513
2	12	1	1	70	50	50	10	water	no	6	0.201358
4	13	1	1	70	60	50	10	no water	yes	6	0.213756
12	14	1	1	70	60	50	15	no water	no	3	0.201358
1	15	1	1	60	50	50	10	no water	no	3	0.213756
7	16	1	1	60	60	60	10	no water	no	6	0.188192

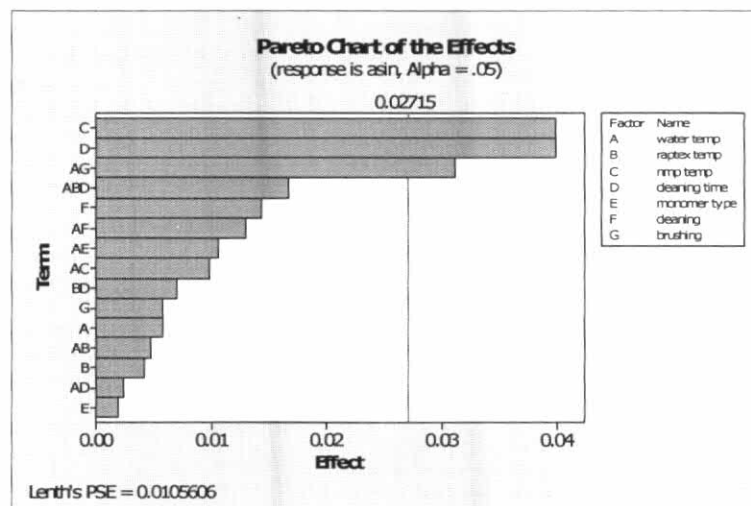
ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองเมื่อทำการแปลงข้อมูลด้วยสมการ $\frac{\arcsin \sqrt{\frac{n\hat{p}}{n+1}} + \arcsin \sqrt{\frac{n\hat{p}+1}{n+1}}}{2}$ ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{7-3}

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Water temp	Raptex temp	NMP temp	Cleaning time	Monomer type	Cleaning	Brushing	Defective
8	1	1	1	70	60	60	10	water	no	3	0.334948
5	2	1	1	60	50	60	10	water	yes	6	0.312711
15	3	1	1	60	60	60	15	no water	yes	3	0.304906
9	4	1	1	60	50	50	15	no water	yes	6	0.320309
10	5	1	1	70	50	50	15	water	yes	3	0.252313
3	6	1	1	60	60	50	10	water	yes	3	0.242212
11	7	1	1	60	60	50	15	water	no	6	0.280033
16	8	1	1	70	60	60	15	water	yes	6	0.271163
13	9	1	1	60	50	60	15	water	no	3	0.242212
6	10	1	1	70	50	60	10	no water	yes	3	0.280033
14	11	1	1	70	50	60	15	no water	no	6	0.271163
2	12	1	1	70	50	50	10	water	no	6	0.252313
4	13	1	1	70	60	50	10	no water	yes	6	0.261940
12	14	1	1	70	60	50	15	no water	no	3	0.252313
1	15	1	1	60	50	50	10	no water	no	3	0.261940
7	16	1	1	60	60	60	10	no water	no	6	0.242212

จากตารางที่ 5.6 การแปลงข้อมูลแบบมาตรฐาน $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$ ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2_{IV}^{7-3} ด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่นัยสำคัญออกมาในรูปของกราฟ Normal Probability Plot และ แผนภูมิพารेटโต ได้ดังรูปที่ 5.8 และ 5.9 ตามลำดับ



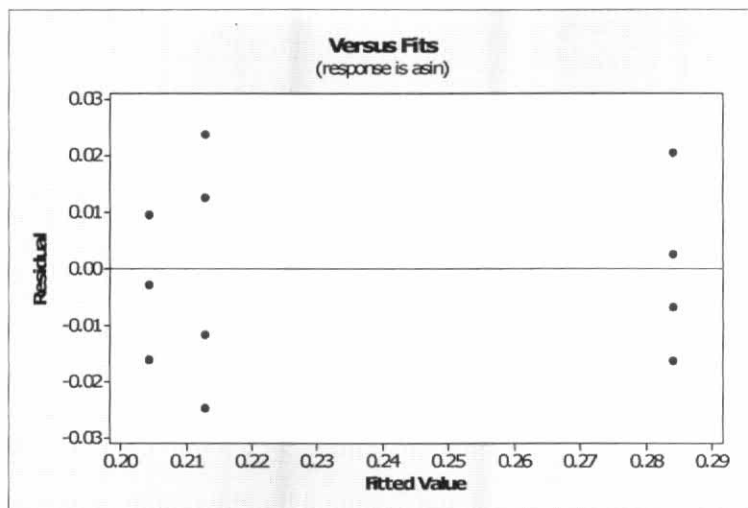
รูปที่ 5.8 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$



รูปที่ 5.9 แผนภูมิพารेटโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$ จากรูปที่ 5.8 และ 5.9 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าผลการวิเคราะห์การทดลองที่ได้หลังจากทำการแปลงข้อมูลด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$ ยังคง

เหมือนกับผลการวิเคราะห์การทดลองก่อนการแปลงข้อมูล นั่นคือ ปัจจัยหลัก ระดับอุณหภูมิของ NMP และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex และอันตรกิริยาระหว่าง ระดับอุณหภูมิของ NMP และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex จะมีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US อย่างมีนัยสำคัญ

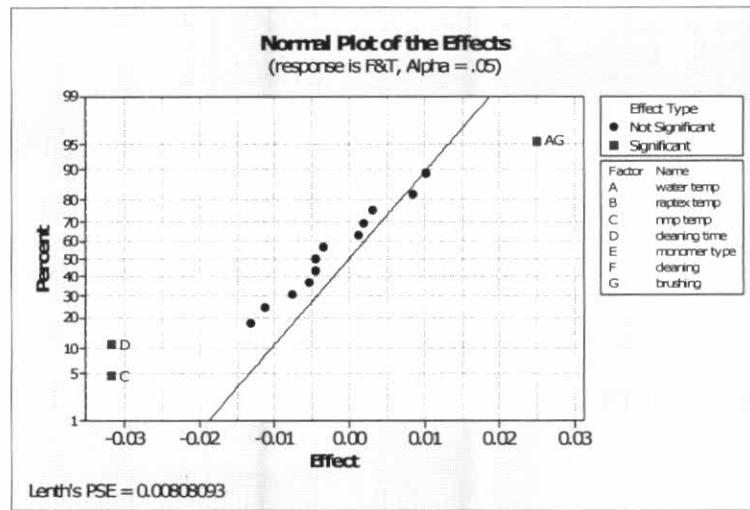
และเมื่อพิจารณาในส่วนของสมมติฐานเรื่องความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สามารถแสดงได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอยดังต่อไปนี้



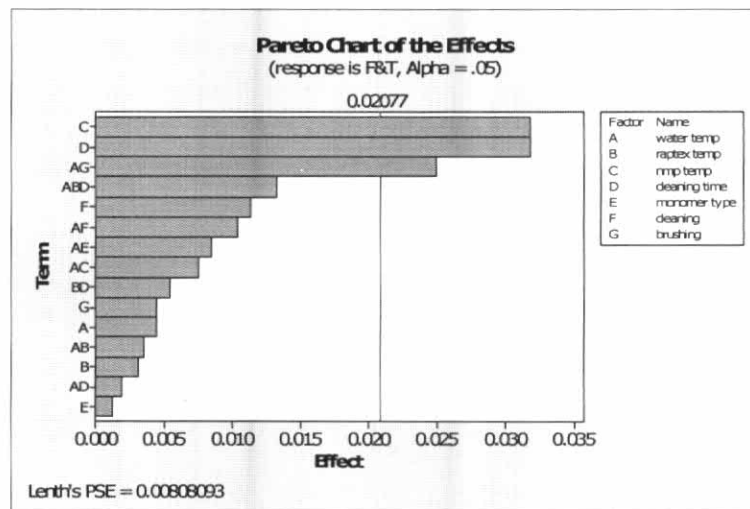
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกพิดของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบรูปที่ 5.7 และ รูปที่ 5.10 จะแสดงให้เห็นว่าหลังจากการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$ ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนมีความเสถียรภาพมากขึ้นกว่าเดิม

จากตารางที่ 5.7 การแปลงข้อมูล Freeman and Turkey's (F&T) Modification ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2_{IV}^{7-3} ด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญออกมาในรูปของกราฟ Normal Probability Plot และ แผนภูมิพาเรโต ได้ดังรูปที่ 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ



รูปที่ 5.11 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการของ Freeman and Turkey's (F&T) Modification



รูปที่ 5.12 แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการของ Freeman and Turkey's (F&T) Modification

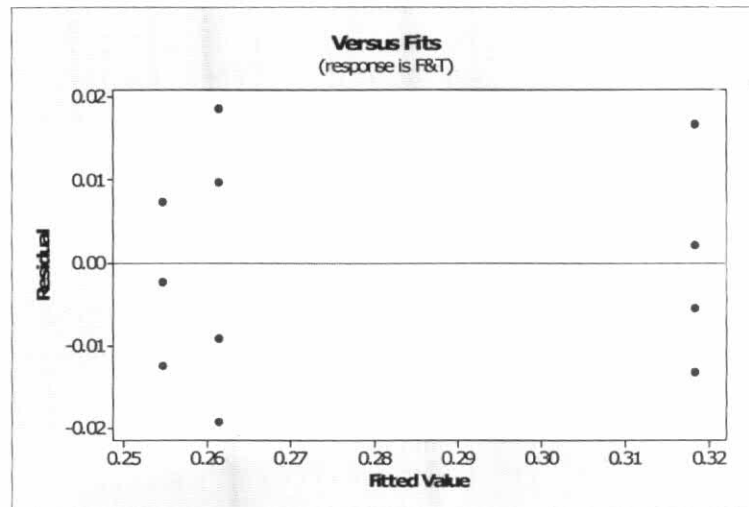
จากรูปที่ 5.11 และ 5.12 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าผลการวิเคราะห์การทดลองที่ได้หลังจากทำการแปลงข้อมูลด้วยสมการ

$$\frac{\arcsin \sqrt{\frac{n\hat{p}}{n+1}} + \arcsin \sqrt{\frac{n\hat{p}+1}{n+1}}}{2}$$

ยังคงเหมือนกับผลการวิเคราะห์การทดลองก่อนการแปลง

ข้อมูล นั่นคือ ปัจจัยหลัก ระดับอุณหภูมิของ NMP และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex และ

อันตรกิริยาระหว่าง ระดับอุณหภูมิของ NMP และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex จะมีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาในส่วนของสมมติฐานเรื่องความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สามารถแสดงได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอยดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการของ Freeman and Turkey's (F&T) Modification

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ รูปที่ 5.7 รูปที่ 5.10 และ รูปที่ 5.13 จะแสดงให้เห็นว่า หลังจากการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการของ Freeman and Turkey's (F&T) Modification ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนมีความเสถียรภาพมากขึ้นกว่าเดิมก่อนทำการแปลงข้อมูล และไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับแปลงข้อมูลด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$

5.3 สรุปผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ในกระบวนการขึ้นรูปเลนส์ สามารถสรุปได้ว่าระดับอุณหภูมิของ NMP ที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดโมลด์เซนนิช และระยะเวลาการล้างด้วย Raptex ที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดโมลด์เซนนิช จะส่งผลกระทบต่อเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US ซึ่งระดับที่เหมาะสมของทั้ง 2 ปัจจัยจะถูกกำหนดด้วยการออกแบบการทดลองดังจะแสดงต่อไปในบทที่ 6

5.4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT

จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT ได้สรุปปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาทดสอบทั้งหมด 10 ปัจจัยได้แก่

- ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง soft water
- ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง soda
- ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง IPA
- ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง DI
- ปริมาณเมทานอลที่ผสมลงในน้ำเกลือ
- ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง น้ำยาเกลือ
- ระยะเวลาในการเคลือบเลนส์
- Dew Point
- ระยะเวลาในการล้างเลนส์
- พลังงานของคลื่นอัลตราโซนิค

นำปัจจัยนำเข้าที่มีความเสี่ยงสูงทั้งหมด 10 ปัจจัย มากรองด้วยการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลเพื่อหาความมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการวางแผนการทดลอง จะเห็นว่ามี 5 ปัจจัยจะเป็นไปได้ยากในการที่จะนำมากรองด้วยการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล ซึ่ง 5 ปัจจัยดังกล่าวคือ

- ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง soft water
- ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง soda
- ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง IPA
- ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง DI
- ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง น้ำยาเคลือบ

ในการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลนั้น จะต้องมึลักษณะการทดลองแบบสุ่มเพื่อให้ผลการทดลองตรงกับข้อกำหนดทางสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน และการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลจากการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ดังนั้นเมื่อจะต้องนำปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยเข้ามามีส่วนร่วมในการออกแบบการทดลองด้วยจะเป็นไปได้ยากมาก เนื่องจากการเปลี่ยนระดับการทดลองของปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยนั้น ซึ่งก็คือขนาดของเครื่องกรองจะต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก เพราะราคาเครื่องกรองแต่ละชิ้นนั้นมีราคาที่สูง ถ้ามีการเปลี่ยนหลายครั้งก็จำเป็นจะต้องใช้จำนวนเครื่องกรองหลายชิ้นมากขึ้น เพราะเมื่อถอดเครื่องกรองออกมาจากถังแล้วจะไม่สามารถที่จะใช้เครื่องกรองอันเดิมในการกรองใหม่ได้อีก และประกอบกับในการทำการเปลี่ยนเครื่องกรองแต่ละครั้งนั้นจะต้องใช้เวลาในการเปลี่ยนเป็นเวลานานและทั้งยังต้องทำการหยุดสายการผลิต จึงจะสามารถที่จะเปลี่ยนเครื่องกรองได้ ทำให้การเปลี่ยนระดับการทดลองของปัจจัยขนาดเครื่องกรองสารในแต่ละครั้งจะมีต้นทุนที่สูง ดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงเลือกใช้การวิธีการทดสอบสมมติฐานทีละปัจจัยให้กับ ปัจจัยขนาดเครื่องกรองสารทั้ง 5 ปัจจัย แทนการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการทดลอง

ในกระบวนการเคลือบเลนส์นั้น ก่อนจะทำการเคลือบเลนส์นั้นเลนส์จะต้องผ่านกระบวนการการเตรียมผิวหน้าเลนส์เสียก่อน เนื่องจากประสิทธิภาพของการเกาะติดของน้ำยาเคลือบนั้นจะขึ้นอยู่กับความเรียบและความสะอาดของผิวหน้าเลนส์ โดยกระบวนการเตรียมผิวหน้าเลนส์จะใช้วิธีการทำความสะอาดด้วยสารละลายซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 ในหัวข้อ 2.2.1

โดยเริ่มต้นเลนส์จะถูกส่งให้ไปแช่ลงในถังของน้ำโซดา (NaOH) เพื่อจะปรับสภาพของหน้าเลนส์ให้มีสภาพเป็นกลางไม่เป็นกรดไม่เป็นด่าง ต่อไปเลนส์ก็จะถูกล้างด้วย Soft water ซึ่งมีส่วนผสมของ Ca เพื่อที่จะทำหน้าที่ในการล้างน้ำโซดาออกจากเลนส์ จากนั้นเลนส์ก็จะถูกส่งต่อมายังถัง DI water ซึ่งเลนส์ก็จะถูกแช่อยู่ในถัง โดย DI water จะมีหน้าที่ในการทำให้เลนส์มีความเป็นกลางทางไฟฟ้าเพื่อป้องกันไม่ให้สิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในบรรยากาศถูกดึงดูดเข้ามาติดอยู่บนผิวหน้าเลนส์ จากนั้นเลนส์ก็จะถูกส่งต่อไปแช่ยังถังของ IPA ซึ่ง IPA นั้นจะมีหน้าที่ที่จะเป็นตัวดึงน้ำออกจากเลนส์เพื่อเป็นการเตรียมเลนส์ก่อนที่จะถูกส่งไปยังถัง 141 B โดยถัง 141 B นั้นจะเป็นการการทำ

ความสะอาดเลนส์ด้วยไอของสารละลายซึ่งได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 ในหัวข้อ 2.2.1 ซึ่งเมื่อเลนส์ออกมาจากถัง 141 B แล้วเลนส์ก็จะแห้งพร้อมสำหรับทำการเคลือบเลนส์ต่อไป

จากกระบวนการเตรียมผิวหน้าเลนส์จะเห็นว่าจะมีการใช้ของเหลวที่เป็นสารละลายในกระบวนการเตรียมผิวหน้าเลนส์เป็นส่วนมาก ซึ่งสารละลายแต่ละชนิดก็จะมีหน้าที่แตกต่างกันไป ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยในกระบวนการเตรียมผิวหน้าเลนส์นี้จะใช้ระบบปิดในการทำงาน ซึ่งก็คือสารละลายที่ใช้แต่ละชนิดจะถูกวนกลับมาใช้ใหม่ โดยใช้เครื่องสูบน้ำเป็นตัวช่วยดูดให้วนกลับมา ซึ่งการที่สารละลายแต่ละชนิดจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามหน้าที่ของสารละลายแต่ละชนิดนั้น จำเป็นจะต้องมีการกรองก่อนที่จะนำกลับมาใช้ เนื่องจากเลนส์ที่ถูกนำมาเตรียมผิวหน้าเลนส์นั้นอาจจะมีสิ่งปนเปื้อนติดอยู่ตามหน้าเลนส์ หรือสิ่งปนเปื้อนต่างๆอาจจะมาจากกระบวนการเตรียมสารละลายเองได้ด้วย ซึ่งเมื่อเลนส์ถูกแช่อยู่ในสารละลายแต่ละชนิดในแต่ละขั้นตอนของการเตรียมผิวหน้าเลนส์ หากสารละลายแต่ละชนิดมีสิ่งปนเปื้อนปนอยู่เป็นจำนวนมากก็อาจจะส่งผลต่อการเกิดเลนส์เสียได้ ดังนั้นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยลดการปนเปื้อนของสารละลายได้ก็คือการใช้ขนาดของเครื่องกรองให้เหมาะสมกับอนุภาคที่ปนเปื้อนที่ปนอยู่ในของเหลวต่างๆ เพื่อที่จะกักอนุภาคปนเปื้อนนั่นไว้ ซึ่งถ้ายิ่งของเหลวที่ใช้เตรียมผิวหน้าเลนส์มีความบริสุทธิ์มากขึ้นเท่าใด โอกาสที่จะเกิดเลนส์เสียก็จะมีน้อยลงยิ่งขึ้น

5.4.1 การทดสอบสมมติฐานที่ละปัจจัย ของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

1. ปัจจัยนำเข้า

1.1 ขนาดของเครื่องกรองสารในถัง soft water

การเตรียมผิวหน้าเลนส์โดยใช้สารละลายนั้น จากที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น Soft water จะมีหน้าที่เป็นตัวชะล้างน้ำโซดาออกจากเลนส์ โดยในการนำ Soft water กลับมาใช้ใหม่จะใช้เครื่องกรองสารในการกรอง Soft water เพื่อขจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากของเหลว ซึ่งขนาดของเครื่องกรองสารก็จะเป็นปัจจัยหนึ่งในการช่วยขจัดสิ่งปนเปื้อนออกไปได้ และยังถ้าสารละลายมีความบริสุทธิ์ ประสิทธิภาพในการทำทำความสะอาดก็จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นตามไปด้วย

ปัจจุบันทางโรงงานได้กำหนดให้ขนาดของเครื่องกรองสารที่ใช้กับถัง Soft water ให้มีขนาด 1 ไมโครเมตร โดยจะมีการทำการเปลี่ยนเครื่องกรองในถัง Soft water ทุกๆ 4 สัปดาห์ แต่ในบางครั้ง เมื่อทำการเปลี่ยนเครื่องกรองจะใช้เครื่องกรองที่มีขนาด 1.2 ไมโครเมตรแทน เนื่องจากว่าในกองคลังไม่มีเครื่องกรองขนาด 1 ไมโครเมตร ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าการเปลี่ยนขนาดของเครื่องกรองอาจจะมีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดขึ้นได้

1.1.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมเลนส์สำหรับการทดลอง 2 กลุ่ม โดยเตรียมชิ้นงานที่ผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน

2. ชิ้นงานกลุ่มที่ 1 นำไปเข้ากระบวนการเคลือบเลนส์โดยใช้ขนาดของเครื่องกรองสารในถัง Soft water ที่มีขนาด 1 ไมโครเมตร
ชิ้นงานกลุ่มที่ 2 นำไปเข้ากระบวนการเคลือบเลนส์โดยใช้ขนาดของเครื่องกรองสารในถัง Soft water ที่มีขนาด 1.2 ไมโครเมตร

3. ขั้นตอนที่ใช้ในการเคลือบเลนส์จะใช้เครื่องจักรเดียวกัน พนักงานคนเดียวกัน และทำในกะเดียวกัน เพื่อลดความแปรปรวนซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้

4. เก็บข้อมูลอัตราส่วนข้อบกพร่องของเลนส์

1.1.2 สมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

$H_0 : P_1 = P_{1,2}$; ไม่มีความแตกต่างกันของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในแต่ละขนาดของเครื่องกรองสารในถัง Soft water

$H_1 : P_1 \neq P_{1,2}$; มีความแตกต่างกันของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในแต่ละขนาดของเครื่องกรองสารในถัง Soft water

1.1.3 จำนวนของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

จากสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในกระบวนการเคลือบเลนส์ ของผลิตภัณฑ์ Kromos รวมกันมีค่าเท่ากับ 46,218 ppm ในการทดลองต้องการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนเลนส์เสียที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาจำนวนเลนส์ที่จะใช้ในการทดลองด้วย โปรแกรม MINITAB ได้ดังต่อไปนี้

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus not =)

Calculating power for proportion 2 = 0.023109

Alpha = 0.05

	Sample	Target		
Proportion 1	Size	Power	Actual Power	
0.046218	1315	0.9	0.900064	

The sample size is for each group.

จากการคำนวณโดยโปรแกรม MINITAB จำนวนตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่น 0.900 คือ 1,315 เลนส์ แต่เนื่องจากในกระบวนการผลิตเลนส์จะผลิตเป็น batch โดยจะทำการผลิต batch ละ 40 เลนส์ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทดลองใช้จำนวนเลนส์ทั้งหมด กลุ่มละ 33 batch ซึ่งคิดเป็น 1,320 เลนส์ ในแต่ละกลุ่มการทดลอง

1.1.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.8 สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ของขนาดของเครื่องกรองสารในถัง Soft water ที่ขนาด 1 และ 1.2 ไมโครเมตร

ขนาดของเครื่องกรองสารในถัง Soft water	จำนวนเลนส์ที่ทำการทดลอง	จำนวนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US	สัดส่วนเลนส์เสีย (PPM)
1 ไมโครเมตร	1,320	62	46,969
1.2 ไมโครเมตร	1,320	60	45,455

1.1.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	62	1320	0.046970
2	60	1320	0.045455
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: 0.00151515			
95% CI for difference: (-0.0145017, 0.0175320)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 0.19 P-Value = 0.853			

1.1.6 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการคำนวณโดย MINITAB ค่า P-value ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.853 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยของขนาดของเครื่องกรองสารในถัง Soft water ไม่มีผลต่อสัดส่วนของเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

1.2 ขนาดของเครื่องกรองสารในถังโซดา

การเตรียมผิวหน้าเลนส์โดยใช้สารละลายนั้น จากที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นน้ำโซดา จะมีหน้าที่เพื่อจะปรับสภาพของหน้าเลนส์ให้มีสภาพเป็นกลางไม่เป็นกรดไม่เป็นด่าง โดยในการนำน้ำโซดากลับมาใช้ใหม่จะใช้เครื่องกรองสารในการกรองน้ำโซดา เพื่อขจัดสิ่งปนเปื้อนออกจากสารละลาย ซึ่งขนาดของเครื่องกรองสารก็จะเป็นปัจจัยหนึ่งในการช่วยขจัดสิ่งปนเปื้อนออกไปได้ และยังถ้าสารละลายมีความบริสุทธิ์ ประสิทธิภาพในการปรับสภาพของหน้าเลนส์ก็จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งก็จะช่วยในการลดสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดขึ้นได้

ปัจจุบันทางโรงงานได้กำหนดให้ขนาดของเครื่องกรองสารที่ใช้กับถังโซดาให้มีขนาด 1 ไมโครเมตร โดยจะมีการทำการเปลี่ยนเครื่องกรองในถังโซดาทุกๆ สัปดาห์ แต่ในบางครั้ง เมื่อทำการเปลี่ยนเครื่องกรองจะใช้เครื่องกรองที่มีขนาด 1.2 ไมโครเมตรแทน เนื่องจากว่าในคลังไม่มีเครื่องกรองขนาด 1 ไมโครเมตร ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าการเปลี่ยนขนาดของเครื่องกรองอาจจะมีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดขึ้นได้

1.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมเลนส์สำหรับการทดลอง 2 กลุ่ม โดยเตรียมชิ้นงานที่ผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน
2. ชิ้นงานกลุ่มที่ 1 นำไปเข้ากระบวนการเคลือบเลนส์โดยใช้ขนาดของเครื่องกรองสารในถัง โซดาที่มีขนาด 1 ไมโครเมตร ชิ้นงานกลุ่มที่ 2 นำไปเข้ากระบวนการเคลือบเลนส์โดยใช้ขนาดของเครื่องกรองสารในถังโซดา ที่มีขนาด 1.2 ไมโครเมตร
3. ขั้นตอนที่ใช้ในการเคลือบเลนส์จะใช้เครื่องจักรเดียวกัน พนักงานคนเดียวกัน และทำในกะเดียวกัน เพื่อลดความแปรปรวนซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้
4. เก็บข้อมูลอัตราส่วนข้อบกพร่องของเลนส์

1.2.2 สมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

$H_0 : P_1 = P_{1,2}$; ไม่มีความแตกต่างกันของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในแต่ละขนาดของเครื่องกรองสารในถังโซดา

$H_1 : P_1 \neq P_{1,2}$; มีความแตกต่างกันของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในแต่ละขนาดของเครื่องกรองสารในถังโซดา

1.2.3 จำนวนของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

จากสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในกระบวนการเคลือบเลนส์ ของผลิตภัณฑ์ Kromos มีค่ารวมกันเท่ากับ 46,218 ppm ในการทดลองต้องการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนเลนส์เสียที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาจำนวนเลนส์ที่จะใช้ในการทดลองด้วย โปรแกรม MINITAB ได้ดังต่อไปนี้

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus not =)

Calculating power for proportion 2 = 0.023109

Alpha = 0.05

Sample Target

Proportion 1 Size Power Actual Power

0.046218 **1315** 0.9 0.900064

The sample size is for each group.

จากการคำนวณโดยโปรแกรม MINITAB จำนวนตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่น 0.900 คือ 1,315 เลนส์ แต่เนื่องจากในกระบวนการผลิตเลนส์จะผลิตเป็น batch โดยจะทำการผลิต batch ละ 40 เลนส์ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทดลองใช้จำนวนเลนส์ทั้งหมด กลุ่มละ 33 batch ซึ่งคิดเป็น 1,320 เลนส์ ในแต่ละกลุ่มการทดลอง

1.2.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.9 สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ของขนาดของเครื่องกรองสารในถังโซดาที่ขนาด 1 และ 1.2 ไมโครเมตร

ขนาดของเครื่องกรองสารในถังโซดา	จำนวนเลนส์ที่ทำการทดลอง	จำนวนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US	สัดส่วนเลนส์เสีย (PPM)
1 ไมโครเมตร	1,320	68	51,515
1.2 ไมโครเมตร	1,320	60	45,455

1.2.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	68	1320	0.051515
2	60	1320	0.045455
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: 0.00606061			
95% CI for difference: (-0.0103243, 0.0224455)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 0.72 P-Value = 0.46			

1.2.6 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการคำนวณโดย MINITAB ค่า P-value ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.460 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยของขนาดของเครื่องกรองสารในถังโซดาไม่มีผลต่อสัดส่วนของเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

1.3 ขนาดของเครื่องกรองสารในถัง IPA

จากที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น IPA จะมีหน้าที่เพื่อล้างน้ำ DI ออกจากเลนส์เพื่อเตรียมเลนส์เข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดเลนส์ด้วยไอของสารละลาย ยิ่งถ้า IPA มีความบริสุทธิ์มากขึ้นเท่าใดคุณสมบัติที่จะใช้ในการดึงน้ำออกจากตัวเลนส์ก็จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น และเมื่อเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดด้วยไอของสารละลาย การทำความสะอาดก็จะมีประสิทธิภาพด้วย ซึ่งก็จะช่วยในการลดสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดขึ้นได้ โดยขนาดของเครื่องกรองสารก็จะเป็นปัจจัยหนึ่งในการช่วยจัดตั้งปนเปื้อนออกจาก IPA ไปได้

ปัจจุบันทางโรงงานได้กำหนดให้ขนาดของเครื่องกรองสารที่ใช้กับถัง IPA ให้มีขนาด 1 ไมโครเมตร โดยจะมีการทำการเปลี่ยนเครื่องกรองในถังโซดาทุกๆ 2 สัปดาห์ แต่ในบางครั้ง เมื่อทำการเปลี่ยนเครื่องกรองจะใช้เครื่องกรองที่มีขนาด 1.2 ไมโครเมตรแทน เนื่องจากว่าในคลังไม่มีเครื่องกรองขนาด 1 ไมโครเมตร ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าการเปลี่ยนขนาดของเครื่องกรองอาจจะมีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดขึ้นได้

1.3.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมเลนส์สำหรับการทดลอง 2 กลุ่ม โดยเตรียมชิ้นงานที่ผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน
2. ชิ้นงานกลุ่มที่ 1 นำไปเข้ากระบวนการเคลือบเลนส์โดยใช้ขนาดของเครื่องกรองสารในถัง IPA ที่มีขนาด 1 ไมโครเมตร ชิ้นงานกลุ่มที่ 2 นำไปเข้ากระบวนการเคลือบเลนส์โดยใช้ขนาดของเครื่องกรองสารในถัง IPA ที่มีขนาด 1.2 ไมโครเมตร
3. ขั้นตอนที่ใช้ในการเคลือบเลนส์จะใช้เครื่องจักรเดียวกัน พนักงานคนเดียวกัน และทำในกะเดียวกัน เพื่อลดความแปรปรวนซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้
4. เก็บข้อมูลอัตราส่วนข้อบกพร่องของเลนส์

1.3.2 สมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

$H_0 : P_1 = P_{1.2}$; ไม่มีความแตกต่างกันของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในแต่ละขนาดของเครื่องกรองสารในถัง IPA

$H_1 : P_1 \neq P_{1.2}$; มีความแตกต่างกันของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในแต่ละขนาดของเครื่องกรองสารในถัง IPA

1.3.3 จำนวนของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

จากสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในกระบวนการเคลือบเลนส์ ของผลิตภัณฑ์ Kromos มีค่ารวมกันเท่ากับ 46,218 ppm ในการทดลองต้องการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนเลนส์เสียที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาจำนวนเลนส์ที่จะใช้ในการทดลองด้วย โปรแกรม MINITAB ได้ดังต่อไปนี้

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus not =)

Calculating power for proportion 2 = 0.023109

Alpha = 0.05

	Sample	Target		
Proportion 1	Size	Power	Actual Power	
0.046218	1315	0.9	0.900064	

The sample size is for each group.

จากการคำนวณโดยโปรแกรม MINITAB จำนวนตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่น 0.900 คือ 1,315 เลนส์ แต่เนื่องจากในกระบวนการผลิตเลนส์จะผลิตเป็น batch โดยจะทำการผลิต batch ละ 40 เลนส์ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทดลองใช้จำนวนเลนส์ทั้งหมด กลุ่มละ 33 batch ซึ่งคิดเป็น 1,320 เลนส์ ในแต่ละกลุ่มการทดลอง

1.3.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.10 สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ของขนาดของเครื่องกรองสารในถัง IPA ที่ขนาด 1 และ 1.2 ไมโครเมตร

ขนาดของเครื่องกรองสารในถัง IPA	จำนวนเลนส์ที่ทำการทดลอง	จำนวนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US	สัดส่วนเลนส์เสีย (PPM)
1 ไมโครเมตร	1,320	62	46,969
1.2 ไมโครเมตร	1,320	68	51,515

1.3.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	62	1320	0.046970
2	68	1320	0.051515
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: -0.00454545			
95% CI for difference: (-0.0210520, 0.0119611)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = -0.54 P-Value = 0.589			

1.3.6 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการคำนวณโดย MINITAB ค่า P-value ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.589 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยของขนาดของเครื่องกรองสารในถัง IPA ไม่มีผลต่อสัดส่วนของเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

1.4 ขนาดของเครื่องกรองสารในถัง DI water

จากที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น DI water จะมีหน้าที่เพื่อทำให้เลนส์มีคุณสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้า เนื่องจากในกระบวนการผลิตสภาพแวดล้อมในการผลิตไม่ได้ถูกควบคุมให้อยู่ในลักษณะของห้องสะอาดทำให้โอกาสที่อนุภาคปนเปื้อนจะถูกควบคุมติดอยู่บนผิวหน้าเลนส์ได้ ดังนั้นการใช้ DI water เพื่อทำให้เลนส์เป็นกลางทางไฟฟ้าก็จะช่วยลดโอกาสที่อนุภาคปนเปื้อนจะถูกดึงติดให้มาติดอยู่บนผิวหน้าเลนส์ ซึ่งถ้า DI water มีความบริสุทธิ์มากขึ้นเท่าใดคุณสมบัติที่จะใช้ในการทำให้เลนส์มีคุณสมบัติเป็นกลางทางไฟฟ้าก็จะยังมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยขนาดของเครื่องกรองสารก็จะเป็นปัจจัยหนึ่งในการช่วยขจัดสิ่งปนเปื้อนออกจาก DI water ไปได้

ปัจจุบันทางโรงงานได้กำหนดให้ขนาดของเครื่องกรองสารที่ใช้กับถัง DI water ให้มีขนาด 1 ไมโครเมตร โดยจะมีการทำการเปลี่ยนเครื่องกรองในถังโซดาทุกๆ 4 สัปดาห์ แต่ในบางครั้ง เมื่อทำการเปลี่ยนเครื่องกรองจะใช้เครื่องกรองที่มีขนาด 1.2 ไมโครเมตรแทน เนื่องจากว่าในคลังไม่มีเครื่องกรองขนาด 1 ไมโครเมตร ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่า การเปลี่ยนขนาดของเครื่องกรองอาจจะมีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดขึ้นได้

1.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมเลนส์สำหรับการทดลอง 2 กลุ่ม โดยเตรียมชิ้นงานที่ผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน
2. ชิ้นงานกลุ่มที่ 1 นำไปเข้ากระบวนการเคลือบเลนส์โดยใช้ขนาดของเครื่องกรองสารในถัง DI ที่มีขนาด 1 ไมโครเมตร ชิ้นงานกลุ่มที่ 2 นำไปเข้ากระบวนการเคลือบเลนส์โดยใช้ขนาดของเครื่องกรองสารในถัง DI ที่มีขนาด 1.2 ไมโครเมตร
3. ขั้นตอนที่ใช้ในการเคลือบเลนส์จะใช้เครื่องจักรเดียวกัน พนักงานคนเดียวกัน และทำในกะเดียวกัน เพื่อลดความแปรปรวนซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้
4. เก็บข้อมูลอัตราส่วนข้อบกพร่องของเลนส์

1.4.2 สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

$H_0 : P_1 = P_{1,2}$; ไม่มีความแตกต่างกันของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในแต่ละขนาดของเครื่องกรองสารในถัง DI

$H_1 : P_1 \neq P_{1,2}$; มีความแตกต่างกันของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในแต่ละขนาดของเครื่องกรองสารในถัง DI

1.4.3 จำนวนของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

จากสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในกระบวนการเคลือบเลนส์ ของผลิตภัณฑ์ Kromos มีค่ารวมกันเท่ากับ 46,218 PPM ในการทดลองต้องการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนเลนส์เสียที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาจำนวนเลนส์ที่จะใช้ในการทดลองด้วย โปรแกรม MINITAB ได้ดังต่อไปนี้

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus not =)

Calculating power for proportion 2 = 0.023109

Alpha = 0.05

	Sample	Target		
Proportion 1	Size	Power	Actual Power	
0.046218	1315	0.9	0.900064	

The sample size is for each group.

จากการคำนวณโดยโปรแกรม MINITAB จำนวนตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่น 0.900 คือ 1,315 เลนส์ แต่เนื่องจากในกระบวนการผลิตเลนส์จะผลิตเป็น batch โดยจะทำการผลิต batch ละ 40 เลนส์ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทดลองใช้จำนวนเลนส์ทั้งหมด กลุ่มละ 33 batch ซึ่งคิดเป็น 1,320 เลนส์ ในแต่ละกลุ่มการทดลอง

1.4.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.11 สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ของขนาดของเครื่องกรองสารในถัง DI water ที่ขนาด 1 และ 1.2 ไมโครเมตร

ขนาดของเครื่องกรองสารในถัง DI	จำนวนเลนส์ที่ทำการทดลอง	จำนวนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US	สัดส่วนเลนส์เสีย (PPM)
1 ไมโครเมตร	1,320	65	49,242
1.2 ไมโครเมตร	1,320	61	46,212

1.4.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	65	1320	0.049242
2	61	1320	0.046212
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: 0.00303030			
95% CI for difference: (-0.0132338, 0.0192944)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 0.37 P-Value = 0.715			

1.4.6 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการคำนวณ โดย MINITAB ค่า P-value ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.715 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยของขนาดของเครื่องกรองสารในถัง DI water ไม่มีผลต่อสัดส่วนของเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

1.5 ขนาดของเครื่องกรองสารในถังน้ำยาเคลือบ

ในการเคลือบน้ำยานั้นเลนส์จะถูกแช่อยู่ในถังน้ำยาเป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยน้ำยาเคลือบในถังจะถูกเครื่องสูบน้ำให้หมุนวนผ่านตัวเลนส์เพื่อให้ช่วยในการเกาะติดของน้ำยาเคลือบ ซึ่งก็เช่นเดียวกันในกระบวนการเคลือบเลนส์นั้นจะเป็นการผลิตแบบระบบปิด จึงจำเป็นจะต้องใช้เครื่องกรองสารกรองน้ำยาก่อนที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อที่จะลดอนุภาคปนเปื้อนที่ปนอยู่ในน้ำยาเคลือบ ซึ่งการกำหนดขนาดที่เหมาะสมของเครื่องกรองสารในถังน้ำยาเคลือบก็จะเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะช่วยลดสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดขึ้นได้

ปัจจุบันทางโรงงานได้กำหนดให้ขนาดของเครื่องกรองสารที่ใช้กับถังของน้ำยาเคลือบให้มีขนาด 1 ไมโครเมตร โดยจะมีการทำการเปลี่ยนเครื่องกรองในถังโซดา ทุกๆ 1 กะ แต่ในบางครั้ง เมื่อทำการเปลี่ยนเครื่องกรองจะใช้เครื่องกรองที่มีขนาด 1.2 ไมโครเมตรแทน เนื่องจากว่าในคลังไม่มีเครื่องกรองขนาด 1 ไมโครเมตร ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นว่าการเปลี่ยนขนาดของเครื่องกรองอาจจะมีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดขึ้นได้

1.5.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. เตรียมเลนส์สำหรับการทดลอง 2 กลุ่ม โดยเตรียมชิ้นงานที่ผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน
2. ชิ้นงานกลุ่มที่ 1 นำไปเข้ากระบวนการเคลือบเลนส์โดยใช้ขนาดของเครื่องกรองสารในถัง น้ำยาเคลือบ ที่มีขนาด 1 ไมโครเมตร
3. ชิ้นงานกลุ่มที่ 2 นำไปเข้ากระบวนการเคลือบเลนส์โดยใช้ขนาดของเครื่องกรองสารในถังน้ำยาเคลือบ ที่มีขนาด 1.2 ไมโครเมตร
3. ขั้นตอนที่ใช้ในการเคลือบเลนส์จะใช้เครื่องจักรเดียวกัน พนักงานคนเดียวกัน และทำในกะเดียวกัน เพื่อลดความแปรปรวนซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้
4. เก็บข้อมูลอัตราส่วนข้อบกพร่องของเลนส์

1.5.2 สมมุติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

$H_0 : P_1 = P_{1,2}$; ไม่มีความแตกต่างกันของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในแต่ละขนาดของเครื่องกรองสารในถังน้ำยาเคลือบ

$H_1 : P_1 \neq P_{1,2}$; มีความแตกต่างกันของสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในแต่ละขนาดของเครื่องกรองสารในถังน้ำยาเคลือบ

1.5.3 จำนวนของตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

จากสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในกระบวนการเคลือบเลนส์ ของผลิตภัณฑ์ Kromos มีค่ารวมกันเท่ากับ 46,218 ppm ในการทดลองต้องการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนเลนส์เสียที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาจำนวนเลนส์ที่จะใช้ในการทดลองด้วย โปรแกรม MINITAB ได้ดังต่อไปนี้

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus not =)

Calculating power for proportion 2 = 0.023109

Alpha = 0.05

Sample Target

Proportion 1 Size Power Actual Power

0.046218 **1315** 0.9 0.900064

The sample size is for each group.

จากการคำนวณโดยโปรแกรม MINITAB จำนวนตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่น 0.900 คือ 1,315 เลนส์ แต่เนื่องจากในกระบวนการผลิตเลนส์จะผลิตเป็น batch โดยจะทำการผลิต batch ละ 40 เลนส์ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทดลองใช้จำนวนเลนส์ทั้งหมด กลุ่มละ 33 batch ซึ่งคิดเป็น 1,320 เลนส์ ในแต่ละกลุ่มการทดลอง

1.5.4 ผลการทดลอง

ตารางที่ 5.12 สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ของขนาดของเครื่องกรองสารในถังน้ำยาเคลือบที่ขนาด 1 และ 1.2 ไมโครเมตร

ขนาดของเครื่องกรองสารในถังน้ำยาเคลือบ	จำนวนเลนส์ที่ทำการทดลอง	จำนวนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US	สัดส่วนเลนส์เสีย (PPM)
1 ไมโครเมตร	1,320	63	47,727
1.2 ไมโครเมตร	1,320	60	45,454

1.5.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Test and CI for Two Proportions			
Sample	X	N	Sample p
1	63	1320	0.047727
2	60	1320	0.045455
Difference = p (1) - p (2)			
Estimate for difference: 0.00227273			
95% CI for difference: (-0.0138063, 0.0183518)			
Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 0.28 P-Value = 0.782			

1.5.6 สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการคำนวณ โดย MINITAB ค่า P-value ที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.782 จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยของขนาดของเครื่องกรองสารในถังน้ำยาเคลือบ ไม่มีผลต่อสัดส่วนของเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

1.6 สรุปผลการทดสอบสมมติฐานที่ละปัจจัย ของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

สิ่งที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นว่าปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยที่ได้ทำการทดลองด้วยวิธีการทดสอบสมมติฐานที่ละปัจจัย จะไม่สามารถทำได้ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล เนื่องจากข้อจำกัดในด้านค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้น จะทำให้ไม่สามารถบ่งบอกถึงความมีนัยสำคัญทางสถิติของอันตรกิริยากับปัจจัยนำเข้าทั้ง 5 ปัจจัยกับปัจจัยอื่นๆได้ ดังนั้นจึงจะกำหนดให้อันตรกิริยาระหว่างปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยกับปัจจัยอื่นๆ ไม่มีผล ซึ่งถือเป็นข้อจำกัดในงานวิจัยฉบับนี้

ตารางที่ 5.13 ตารางสรุปการเลือกปัจจัยและผลกระทบจากปัจจัย

ปัจจัยนำเข้า	ผลกระทบ
1. ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง soft water	ไม่มีผล
2. ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง soda	ไม่มีผล
3. ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง IPA	ไม่มีผล
4. ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง DI	ไม่มีผล
5. ขนาดของเครื่องกรองสารของถัง น้ำยาเคลือบ	ไม่มีผล

5.4.2 การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT

1. ปัจจัยนำเข้า

1.1 ปริมาณเมทานอลที่ผสมลงในน้ำยาเคลือบ

การเติมเมทานอลลงในน้ำยาเคลือบ มีจุดประสงค์ก็เพื่อที่จะทำการปรับค่า Viscosity ของน้ำยา โดยปริมาณการเติมนั้นก็ขึ้นอยู่กับค่า Viscosity ของน้ำยาว่ามีค่าปริมาณเท่าใด โดยการส่งเติมปริมาณเท่าใดนั้นวิศวกรผู้ควบคุมการผลิตจะเป็นผู้ตัดสินใจโดย อ้างอิงจากประสบการณ์การทำงาน และค่า Viscosity ที่ทำการวัดได้ในขณะนั้นๆ โดยถ้าค่า Viscosity มีค่าสูงขึ้นก็จะมีการเติมเมทานอลเพื่อลดค่า Viscosity ของน้ำยาลง ซึ่งในปัจจุบันทางโรงงานไม่ได้มีมาตรฐานกำหนดไว้ว่าในแต่ละครั้งที่จะทำการปรับค่าน้ำยาจะต้องเติมปริมาณเมทานอลเท่าไร ซึ่งถ้าบางครั้งทำการเติมปริมาณเมทานอลมากเกินไปอาจจะทำให้เมทานอลไม่ผสมรวมตัวกับน้ำยาเคลือบในทันที เพราะในการเติมเมทานอลนั้นจะไม่ได้มีหยุคสายการผลิต เพียงแค่เติมเมทานอลลงไประหว่างกระบวนการผลิตเท่านั้น ดังนั้นถ้าเติมเมทานอลลงไปปริมาณมากเกินไป ก็จะทำให้เมทานอลไม่สามารถรวมตัวเข้ากับน้ำยาเคลือบได้ในทันที ซึ่งก็จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการเกาะติดของน้ำยาเคลือบ เป็นผลทำให้เกิดเลนส์เสียเกิดขึ้น

ปริมาณเมทานอลที่เติมในปัจจุบันไม่ได้กำหนดไว้ว่าจะต้องเติมเท่าใดจึงจะเหมาะสมดังนั้นในการทดลองจึงจะกำหนดให้ทดลองปริมาณเมทานอลที่เติมลงในน้ำยาเคลือบที่ระดับ 500 ลิตร และ 50 ลิตร เนื่องจากถ้ากำหนดหนดให้ปริมาณเมทานอลที่เติมลงในน้ำยาเคลือบมากกว่า 500 ลิตรแล้ว อาจจะทำให้เมทานอลไม่ผสมรวมกับน้ำยาเคลือบได้ในทันที ซึ่งจะส่งผลเสียตามที่ได้กล่าวไปแล้ว

ข้างต้น และในขั้นการเติมเมทานอลนั้นจะไม่ได้เติมเมทานอลบริสุทธิ์ลงไปจนถึงที่ใส่น้ำยาเคลือบ แต่จะต้องทำการผสมเมทานอลกับน้ำยาเคลือบภายนอกก่อนที่จะทำการเทลงในถังใส่น้ำยาเคลือบ ซึ่งถ้าปริมาณเมทานอลที่ผสมกับน้ำยาเคลือบน้อยกว่า 50 ลิตรแล้ว อาจจะทำให้น้ำยาเคลือบที่เติมลงไปใหม่ไม่สามารถที่จะผสมรวมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำยาเคลือบที่มีอยู่เดิมในถังทำให้เกิดผลเสียกับค่า Viscosity ได้

1.2 ระยะเวลาในการเคลือบเลนส์

ระยะเวลาในการเคลือบเลนส์ ก็จะหมายถึงช่วงเวลาที่เลนส์แช่อยู่ในน้ำยาเคลือบ ซึ่งถ้าเลนส์ถูกแช่อยู่ในน้ำยาเคลือบเป็นเวลานานก็จะยิ่งทำให้ประสิทธิภาพในการที่จะทำให้หน้ากระจกติดกับผิวหน้าเลนส์เพิ่มขึ้น

ในปัจจุบันทางโรงงานควบคุมให้ระยะเวลาการเคลือบเลนส์อยู่ที่ 165 วินาที ดังนั้นในการทดลองระดับของระยะเวลาการเคลือบเลนส์อยู่ที่ 170 วินาที และ 160 วินาที โดยที่ระยะเวลาการเคลือบเลนส์ที่ 170 วินาที จะเป็นระยะเวลาที่สามารถยอมรับได้ว่าจะไม่ส่งผลต่อกำลังการผลิตเลนส์มากนัก และในส่วนของระยะเวลาการเคลือบเลนส์ที่ 160 วินาที ก็จะยอมรับได้ว่าจะไม่ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในการเกาะติดของน้ำยาเคลือบลดลง

1.3 Dew Point

ในกระบวนการเคลือบเลนส์ ในขั้นตอนของการ Dip Coat อาจจะมีโอกาสที่จะเกิดหยดน้ำขึ้นบนเลนส์ได้ถ้าอุณหภูมิของเลนส์มีค่าน้อยกว่า Dew Point ซึ่งในขั้นตอนของการ Dip Coat จะมีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำยาเคลือบให้อยู่ที่ 8 องศาเซลเซียส และเมื่อเลนส์ถูกแช่อยู่ในน้ำยาเคลือบระยะเวลาหนึ่งก็จะทำให้เลนส์มีอุณหภูมิเท่ากับน้ำยาเคลือบด้วย โดยในปัจจุบันทางโรงงานก็จะควบคุมให้ Dew Point มีค่าไม่เกิน 8 องศา ซึ่งผู้ทำการวิจัยเห็นว่า ในการลดอุณหภูมิของ Dew Point ลงก็จะช่วยลดโอกาสที่จะทำให้เกิดหยดน้ำขึ้นบนเลนส์ได้ ซึ่งก็จะสามารถที่จะช่วยลดสัดส่วนเลนส์เสียลงได้ด้วย

ในการเลือกระดับที่จะใช้ในการทดลองนั้น จะเลือกอุณหภูมิ Dew Point ที่ระดับ 8 องศาเซลเซียส และ 6 องศาเซลเซียส เพราะที่ระดับ 8 องศาเซลเซียส จะเป็นระดับสูงสุดที่จะไม่ทำให้เกิดหยดน้ำขึ้นบนเลนส์ เพราะตัวเลนส์จะถูกกำหนดให้มีอุณหภูมิอยู่ที่ 8 องศาเซลเซียส จากการทำเลนส์แช่อยู่ในน้ำยาเคลือบที่อุณหภูมิ 8 องศาเซลเซียส ส่วนที่ระดับ 6 องศาเซลเซียสจะเป็นระดับที่เครื่อง

Deshubox สามารถทำได้ (ระดับต่ำที่สุดที่ Deshubox สามารถทำได้ คือ 5.5 องศาเซลเซียส)

1.4 ระยะเวลาในการล้างเลนส์

ระยะเวลาในการล้างเลนส์เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ผู้ทำการวิจัยตั้งสมมติฐานว่าจะสามารถช่วยลดสัดส่วนเลนส์เสียลงได้ เพราะถ้ายังใช้เวลาในการล้างเลนส์มากขึ้นเท่าใด (ระยะเวลาที่เช่อยู่ในน้ำโซดา Soft water DI water IPA และ 141B) ก็จะสามารถที่จะทำให้เลนส์มีความสะอาดและพร้อมเข้าสู่กระบวนการเคลือบต่อไป

ในการเลือกระดับที่จะใช้ในการทดลองจะเลือกใช้ระยะเวลาในการล้างเลนส์ที่ระยะเวลา 160 และ 170 วินาที ซึ่งที่ระยะเวลาในการล้างเลนส์ที่ระดับ 160 วินาทีนั้นหากลดลงไปมากกว่านี้การทำงานของสารละลายแต่ละชนิดอาจจะไม่สามารถที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในส่วนของระยะเวลาในการล้างเลนส์ที่ระดับ 170 วินาทีหากกำหนดให้มากกว่านี้ก็จะส่งผลต่อกำลังการผลิตเลนส์ได้

1.5 พลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก

การใช้คลื่นอัลตราโซนิกในกระบวนการทำความสะอาด คลื่นสามารถที่จะทำลายแรงยึดเหนี่ยวที่ติดแน่นของอนุภาคที่ปนเปื้อนบนผิวเลนส์ได้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของการใช้คลื่นอัลตราโซนิกกับวิธีการทำความสะอาดอื่นๆ การใช้คลื่นอัลตราโซนิกจะมีประสิทธิภาพมากในการที่จะทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคปนเปื้อนกับพื้นผิวเลนส์ โดยกระบวนการทำงานของคลื่นจะต้องทำงานในถังเปิดซึ่งบรรจุของเหลวไว้ภายใน โดยของเหลวจะใช้เป็นตัวกลางในการส่งผ่านคลื่นไปยังเลนส์ ซึ่งคลื่นอัลตราโซนิกจะถูกส่งออกจากแหล่งกำเนิดที่ติดอยู่ที่ก้นถังหรือด้านข้างของถัง โดยช่วงความถี่ 20 – 100 kHz จะป็นความถี่ที่จะใช้นิยมในการให้กำเนิดพลังงานงานของคลื่นอัลตราโซนิก ในกระบวนการทำความสะอาด สำหรับช่วงความถี่ที่เกิน 1MHz ส่วนมากจะถูกนำไปใช้ในการตรวจและการค้นหา เช่น การสแกนทางการแพทย์ หรือการคำนวณหาขนาดของอนุภาค เป็นต้น ซึ่งหลักการการทำงานของคลื่นอัลตราโซนิก คือ เมื่อเสียงเดินทางผ่านของเหลวเสียงจะอยู่ในรูปของคลื่นแรงคังสามมิติ ซึ่งจะมีคุณสมบัติเกิดเป็นคาบของความดันขึ้น และจะค่อยๆจางหายไป ในระหว่างช่วงระยะเวลาที่คาบความดันจางหายไปนั้น ความดันลบที่ถูกสร้างขึ้นจากกำลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก จะมีกำลังงานที่มากเพียงพอที่จะสามารถทำลายแรงคังคูคระหว่างโมเลกุลของของเหลว ซึ่งจะทำให้ของเหลวนั้นเกิดเป็นเม็ดฟองเล็กๆขึ้น

(micro bubbles) และคาบความดันที่ตามมาจะทำให้เม็ดฟองที่เกิดขึ้นในของเหลวนั้นแตกออกในทันที พร้อมกับปล่อยพลังงานมหาศาลออกมา และความดันที่ปล่อยออกมาอาจจะสูงถึง 1000 atm เลยทีเดียว กระบวนการนี้จะถูกเรียกว่า “Cavitation” ผลที่ได้จากการปล่อยพลังงานออกมาของกระบวนการ cavitation จะช่วยในการทำลายแรงยึดเหนี่ยวของอนุภาคปนเปื้อนกับผิวเลนส์ ซึ่งก็คือกระบวนการทำความสะอาดผิวของเลนส์นั่นเอง ส่วนผลกระทบที่มีความซับซ้อนมากขึ้น คือการปล่อยพลังงานของกระบวนการ cavitation อาจจะส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของเลนส์ได้

ดังนั้นยิ่งอุณหภูมิต่ำหรือมีพลังงานมากขึ้นเท่าใดก็จะยังสามารถทำความสะอาดผิวเลนส์ได้มากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นระดับของพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิกจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะสามารถช่วยลดสัดส่วนเลนส์เสียลงได้

ตารางที่ 5.14 ปัจจัยนำเข้าที่จะนำไปทำการทดลอง

ปัจจัยที่	ปัจจัย	ระดับปัจจัย		หน่วย
		-1	1	
1	ปริมาณเมทานอลที่ผสมลงในน้ำเกลือ (A)	50	500	ลิตร
2	ระยะเวลาในการเคลือบเลนส์ (B)	160	170	วินาที
3	Dew Point (C)	6	8	องศาเซลเซียส
4	ระยะเวลาในการล้างเลนส์ (D)	160	170	วินาที
5	พลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก (E)	Min	Max	-

2. ตัวแปรตอบสนอง

ในการทดลองนี้ ผู้ทำการทดลองมีความสนใจที่จะพิจารณาสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ดังนั้นตัวแปรตอบสนองที่กำหนดในการทดลอง จะกำหนดให้ใช้สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT รวมกับสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง US

3. การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองนี้จะใช้การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_v^{5-1} ซึ่งจะมีการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง โดย Alias ของการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_v^{5-1} สามารถแสดงผลโดยโปรแกรม Minitab ได้ดังต่อไปนี้

Design Generators: E = ABCD

Alias Structure

I + ABCDE

A + BCDE

B + ACDE

C + ABDE

D + ABCE

E + ABCD

AB + CDE

AC + BDE

AD + BCE

AE + BCD

BC + ADE

BD + ACE

BE + ACD

CD + ABE

CE + ABD

DE + ABC

4. การสุ่ม (Randomization)

การสุ่มเป็นหลักสำคัญในการใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยการสุ่มจะหมายถึงการจัดสรรหน่วยการทดลองและลำดับการทดลองให้เป็นไปโดยสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลองตรงกับข้อกำหนดทางสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน และการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลจากการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

การสุ่มลำดับการทดลองในการทดลองนี้จะกระทำโดยโปรแกรม MINITAB ซึ่งกำหนดพร้อมกับการสร้างเมตริกการออกแบบ (Design Matrix) โดยสังเกตลำดับการทดลองได้จากช่อง Run Order ของตาราง

5. จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

จากสมการที่ (2.5) ได้ประมาณจำนวนของตัวอย่างที่จำเป็นในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่กำหนดไว้ สำหรับการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k และการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล โดยสามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

จากสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ในกระบวนการเคลือบเลนส์ ของผลิตภัณฑ์ Kromos มีค่าเท่ากับ 46,218 ppm ในการทดลองต้องการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนเลนส์เสียที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถคำนวณค่า $\Delta = (0.046218)(0.5) = 0.023109$ ดังนั้นสามารถคำนวณหา n ได้ดังนี้

$$n = \frac{(1.96 + 1.282)^2}{16(\arcsin \sqrt{0.0462 + 0.0231/2} + \arcsin \sqrt{0.0462 - 0.0231/2})^2}$$

$$n = 213.56 \approx 214$$

เนื่องจากในกระบวนการผลิตเลนส์จะผลิตเป็น Batch โดยจะทำการผลิต batch ละ 40 เลนส์ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการทดลองใช้จำนวนเลนส์ทั้งหมด 6 batch ดังนั้นในแต่ละการทดลอง (16 การทดลอง) จะใช้เลนส์ในการทดลองการทดลองละ 240 เลนส์

6. การเตรียมการทดลอง

ทำการกำหนดตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ดังต่อไปนี้

- ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกันตลอดการทดลอง
- ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงาน

7. ขั้นตอนในการทดลอง

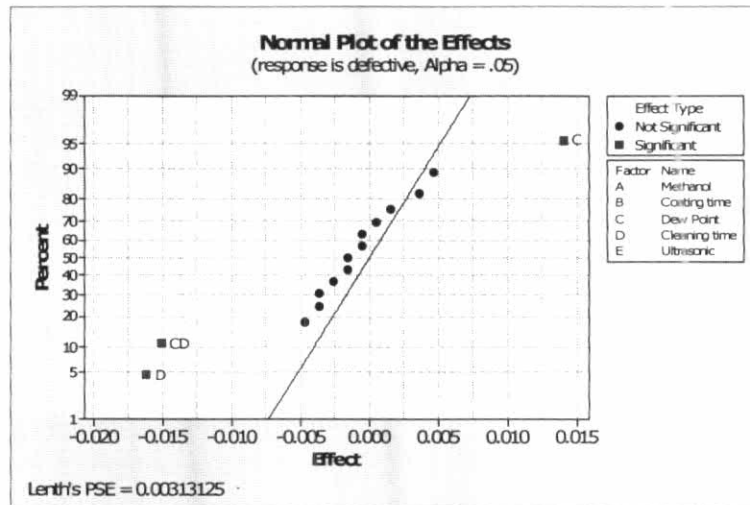
ทำการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องจักรและวัสดุ อุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดลองให้พร้อม จากนั้นนำชิ้นงานเข้ากระบวนการโดยสุ่มอย่างต่อเนื่อง ปรับระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 5 ปัจจัย ทำการทดลองจนครบทั้ง 16 การทดลอง โดยลำดับการทดลองจะทำการทดลองตามลำดับที่กำหนดไว้ในช่อง Run Order ดังตารางและจะทำการทดลองให้เสร็จที่ละการทดลอง จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองไปตรวจสอบสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

ตารางที่ 5.15 ผลการทดลองของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_v^{5-1}

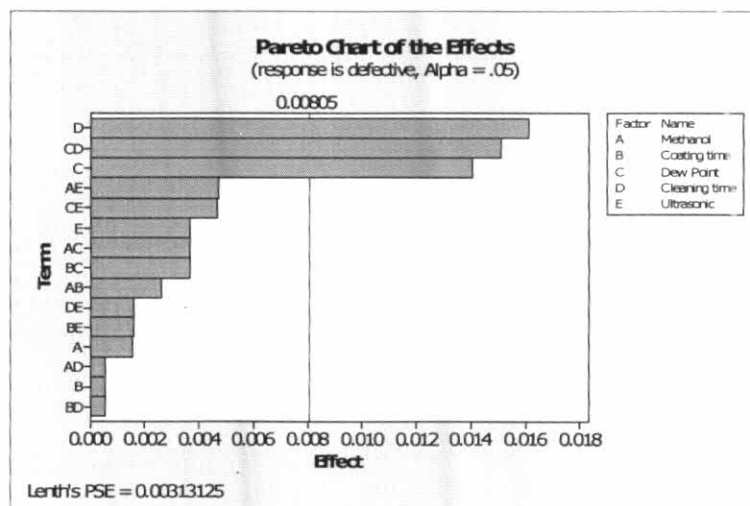
Std Order	Run Order	CenterPt	Blocks	Methanol	Coating time	Dew Point	Cleaning time	Ultrasonic	Defective
12	1	1	1	500	170	6	170	min	0.0292
2	2	1	1	500	160	6	160	min	0.0292
7	3	1	1	50	170	8	160	max	0.0583
1	4	1	1	50	160	6	160	max	0.0333
15	5	1	1	50	170	8	170	min	0.0375
10	6	1	1	500	160	6	170	max	0.0333
13	7	1	1	50	160	8	170	max	0.0250
6	8	1	1	500	160	8	160	max	0.0667
9	9	1	1	50	160	6	170	min	0.0375
3	10	1	1	50	170	6	160	min	0.0417
16	11	1	1	500	170	8	170	max	0.0292
4	12	1	1	500	170	6	160	max	0.0375
5	13	1	1	50	160	8	160	min	0.0708
11	14	1	1	50	170	6	170	max	0.0375
14	15	1	1	500	160	8	170	min	0.0417
8	16	1	1	500	170	8	160	min	0.0625

8. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

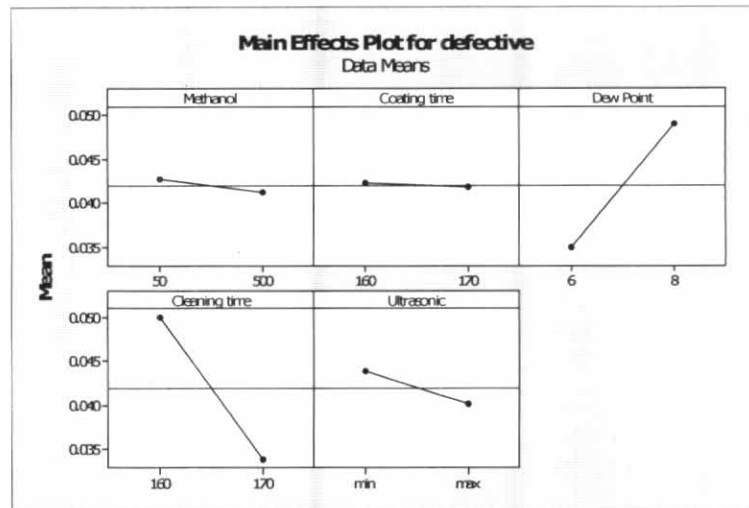
ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_v^{5-1} ด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่นัยสำคัญออกมาในรูปของกราฟ Normal Probability Plot และ แผนภูมิพารेटอ ดังแสดงได้ในรูปที่ 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ



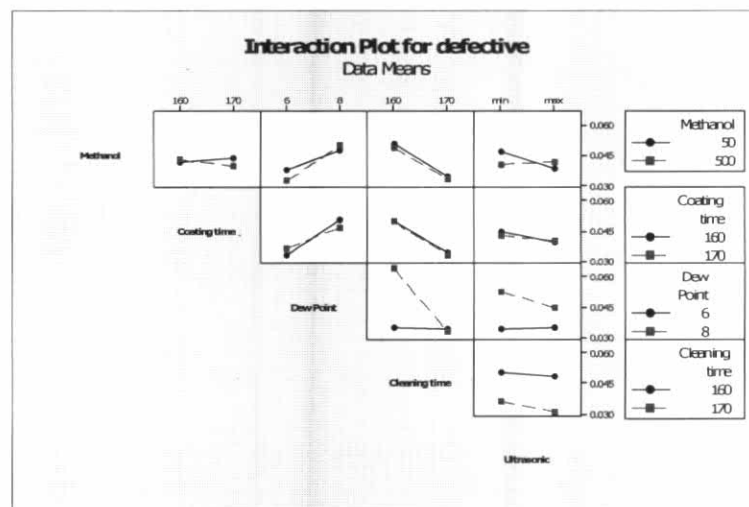
รูปที่ 5.14 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_v^{5-1}



รูปที่ 5.15 แผนภูมิพารेटอ แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_v^{5-1}



รูปที่ 5.16 ภาพผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนเสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_V^{5-1}



รูปที่ 5.17 ภาพอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อสัดส่วนเสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_V^{5-1}

ผลจากการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_V^{5-1} สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยหลัก 2 ปัจจัยมีผลต่อสัดส่วนเสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US อย่างมีนัยสำคัญ นั่นก็คือ Dew Point (C) และ ระยะเวลาในการ

ล้างเลนส์ (D) แต่เนื่องจากการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_v^{5-1} นั้น จะมี Alias ที่รวมกันอยู่ไม่สามารถบอกได้อย่างแน่นอนว่ามาจากปัจจัยใด

โดย Dew Point และระยะเวลาในการล้างเลนส์ จะมีโครงสร้างของ Alias ดังนี้

$$C + ABDE$$

$$D + ABCE$$

เนื่องจากการทดลองระดับของอันตรกิริยาที่ระดับสูง (มากกว่า 3 ขึ้นไป) จะถูกประเมินว่าไม่มีความสำคัญสามารถตัดออกไปได้ ดังนั้นในการสรุปผลของปัจจัยหลักจึงสามารถที่จะสรุปได้ว่า Dew Point และระยะเวลาในการล้างเลนส์ มีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US อย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนอันตรกิริยานั้นจาก Normal Probability Plot และ แผนภูมิพารेट แสดงให้เห็นว่าอันตรกิริยา Dew Point และระยะเวลาในการล้างเลนส์ มีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US อย่างมีนัยสำคัญ แต่ในการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_v^{5-1} จะมี Alias ที่รวมกันอยู่ไม่สามารถบอกได้อย่างแน่นอนว่ามาจากปัจจัยใด นั่นก็คือ

$$CD + ABE$$

แต่จากผลของปัจจัยหลักแสดงให้เห็นว่า Dew Point และระยะเวลาในการล้างเลนส์ มีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US อย่างมีนัยสำคัญ และระดับของอันตรกิริยาที่ระดับสูงจะถูกประเมินว่าไม่มีความสำคัญสามารถตัดออกไปได้ ดังนั้นจากการพิจารณาจะเห็นถึงข้อบ่งชี้ว่า อันตรกิริยาระหว่าง Dew Point และระยะเวลาในการล้างเลนส์ จะมีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US อย่างมีนัยสำคัญ

เนื่องจากปัจจัยหลัก คือ ปริมาณเมทานอลที่ผสมลงในน้ำเกลือ (A) ระยะเวลาในการเคลือบเลนส์ (B) และพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก (E) ไม่มีผล เราสามารถที่จะตัดปัจจัยเหล่านี้ทิ้งจากการพิจารณาได้ ดังนั้นเราจะสามารถที่จะฉายการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1} ไปสู่การออกแบบการทดลอง 2^2 ที่มี 4 เรพลิเคต ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัย Dew Point (C) และ ระยะเวลาในการล้างเลนส์ (D) โดยผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 ผลการทดลองของการฉายการออกแบบการทดลอง
 เศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1} ไปสู่การออกแบบการทดลอง 2^2 ที่มี 4 เรพลีเกต

Std Order	Run Order	CenterPt	Blocks	Dew Point	Cleaning time	Defective
12	1	1	1	6	170	0.0292
2	2	1	1	6	160	0.0292
7	3	1	1	8	160	0.0583
1	4	1	1	6	160	0.0333
15	5	1	1	8	170	0.0375
10	6	1	1	6	170	0.0333
13	7	1	1	8	170	0.0250
6	8	1	1	8	160	0.0667
9	9	1	1	6	170	0.0375
3	10	1	1	6	160	0.0417
16	11	1	1	8	170	0.0292
4	12	1	1	6	160	0.0375
5	13	1	1	8	160	0.0708
11	14	1	1	6	170	0.0375
14	15	1	1	8	170	0.0417
8	16	1	1	8	160	0.0625

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การ
 ออกแบบการทดลองของการฉายการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ
 2_{IV}^{5-1} ไปสู่การออกแบบการทดลอง 2^2 ที่มี 4 เรพลีเกต ได้ดังต่อไปนี้

Full Factorial Design			
Factors:	2	Base Design:	2, 4
Runs:	16	Replicates:	4
Blocks:	1	Center pts (total):	0
All terms are free from aliasing.			

Factorial Fit: Defective versus Dew Point, Cleaning time

Estimated Effects and Coefficients for Defective (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.041931	0.001435	29.22	0.000
Dew Point	0.014062	0.007031	0.001435	4.90	0.000
Cleaning time	-0.016137	-0.008069	0.001435	-5.62	0.000
Dew Point*Cleaning time	-0.015087	-0.007544	0.001435	-5.26	0.000

S = 0.00573914 PRESS = 0.000702671
R-Sq = 87.41% R-Sq(pred) = 77.61% R-Sq(adj) = 84.26%

Analysis of Variance for Defective (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0.00183269	0.00183269	0.00091635	27.82	0.000
2-Way Interactions	1	0.00091053	0.00091053	0.00091053	27.64	0.000
Residual Error	12	0.00039525	0.00039525	0.00003294		
Pure Error	12	0.00039525	0.00039525	0.00003294		
Total	15	0.00313847				

Estimated Coefficients for Defective using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-1.48362
Dew Point	0.255975
Cleaning time	0.00894750
Dew Point*Cleaning time	-0.00150875

Alias Structure

I
Dew Point
Cleaning time
Dew Point*Cleaning time

ผลจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^2 ที่มี 4 เพลทเกิด สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยหลัก ปัจจัย Dew Point (C) และ ระยะเวลาในการล้างเลนส์ (D) และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย Dew Point (C) และ ระยะเวลาในการล้างเลนส์ (D) มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05

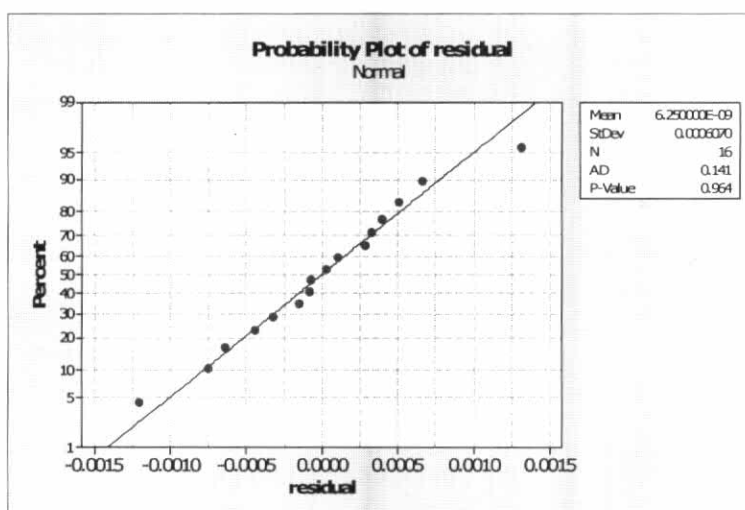
ดังนั้นจากการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1} และการฉายการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1} ไปสู่การออกแบบการทดลอง 2^2 ที่มี 4 เพลทเกิดให้ผลสรุปที่ตรงกันว่า ปัจจัยหลัก Dew Point (C) และ ระยะเวลาในการล้างเลนส์ (D) และอันตรกิริยาระหว่าง ปัจจัย Dew Point (C) และ ระยะเวลาในการล้างเลนส์ (D) มีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US อย่างมีนัยสำคัญ

9. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

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

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง (สัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US

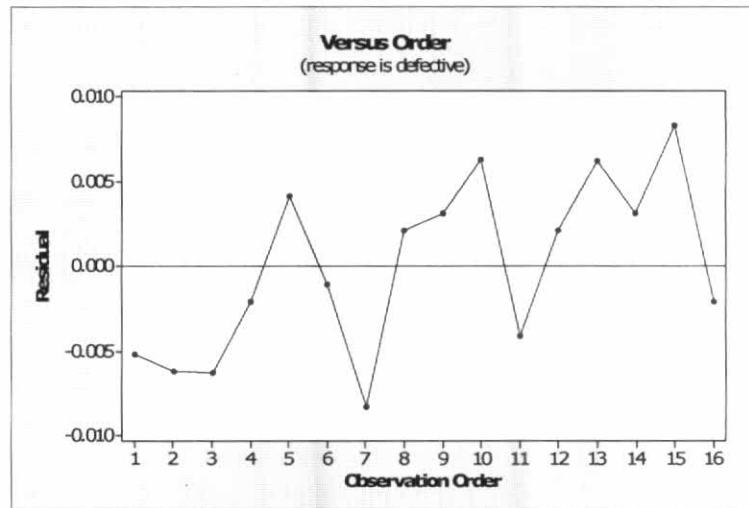


รูปที่ 5.18 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้างของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1}

จากกราฟจะแสดงให้เห็นว่าการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง วางตัวอยู่ในแนวเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ดังนั้นข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้ โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็น แนวโน้มหรือมีรูปแบบใด ๆ ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

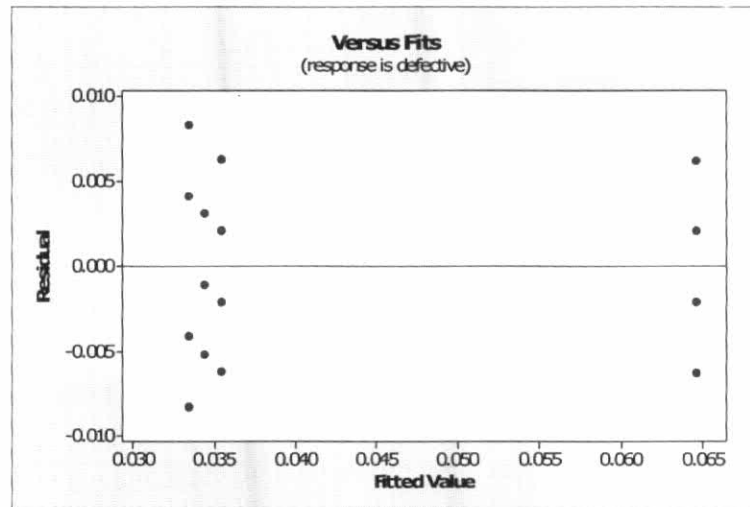


รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูลของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1}

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม การกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1}

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ค่อนข้างคงที่ ดังนั้น สรุปได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

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

10. การแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนอง

จากตารางที่ 5.12 ทำการแปลงข้อมูลในช่อง Defective ด้วยสมการในตารางที่ 5.4 จะได้ผลดังนี้

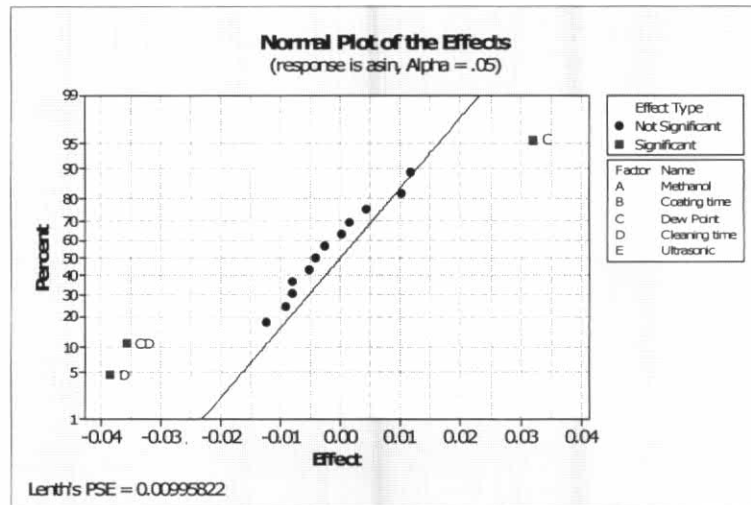
ตารางที่ 5.17 ผลการทดลองเมื่อทำการแปลงข้อมูลด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{p}$ ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1}

Std Order	Run Order	CenterPt	Blocks	Methanol	Coating time	Dew Point	Cleaning time	Ultrasonic	Defective
12	1	1	1	500	170	6	170	min	0.17172
2	2	1	1	500	160	6	160	min	0.17172
7	3	1	1	50	170	8	160	max	0.24386
1	4	1	1	50	160	6	160	max	0.18351
15	5	1	1	50	170	8	170	min	0.19488
10	6	1	1	500	160	6	170	max	0.18351
13	7	1	1	50	160	8	170	max	0.15878
6	8	1	1	500	160	8	160	max	0.26122
9	9	1	1	50	160	6	170	min	0.19488
3	10	1	1	50	170	6	160	min	0.20565
16	11	1	1	500	170	8	170	max	0.17172
4	12	1	1	500	170	6	160	max	0.19488
5	13	1	1	50	160	8	160	min	0.26933
11	14	1	1	50	170	6	170	max	0.19488
14	15	1	1	500	160	8	170	min	0.20565
8	16	1	1	500	170	8	160	min	0.25268

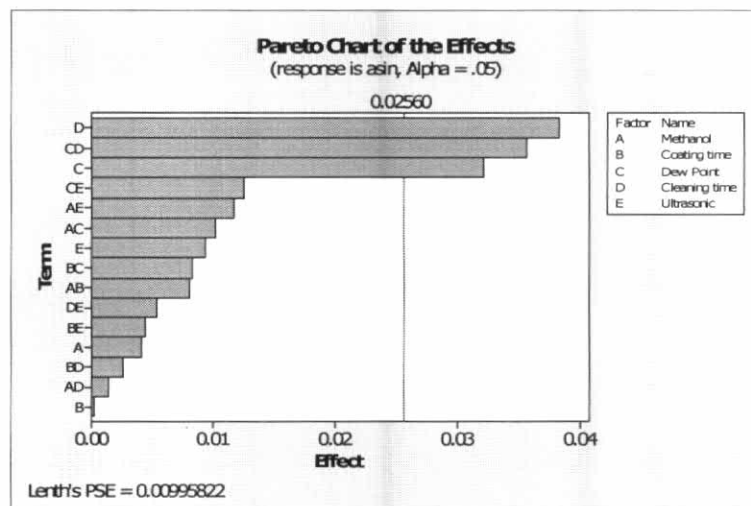
ตารางที่ 5.18 ผลการทดลองเมื่อทำการแปลงข้อมูลด้วยสมการ $\frac{\arcsin \sqrt{\frac{n\hat{p}}{n+1}} + \arcsin \sqrt{\frac{n\hat{p}+1}{n+1}}}{2}$ ของการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2_{IV}^{5-1}

Std Order	Run Order	CenterPt	Blocks	Methanol	Coating time	Dew Point	Cleaning time	Ultrasonic	Defective
12	1	1	1	500	170	6	170	min	0.22978
2	2	1	1	500	160	6	160	min	0.22978
7	3	1	1	50	170	8	160	max	0.28572
1	4	1	1	50	160	6	160	max	0.23865
15	5	1	1	50	170	8	170	min	0.24733
10	6	1	1	500	160	6	170	max	0.23865
13	7	1	1	50	160	8	170	max	0.22018
6	8	1	1	500	160	8	160	max	0.29963
9	9	1	1	50	160	6	170	min	0.24733
3	10	1	1	50	170	6	160	min	0.25564
16	11	1	1	500	170	8	170	max	0.22978
4	12	1	1	500	170	6	160	max	0.24733
5	13	1	1	50	160	8	160	min	0.30617
11	14	1	1	50	170	6	170	max	0.24733
14	15	1	1	500	160	8	170	min	0.25564
8	16	1	1	500	170	8	160	min	0.29277

จากตารางที่ 5.17 การแปลงข้อมูลแบบมาตรฐาน $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$ ในการวิเคราะห์ผล การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2_{IV}^{5-1} ด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถ แสดงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่นัยสำคัญออกมาในรูปของกราฟ Normal Probability Plot และ แผนภูมิพารेटโต ได้ดังรูปที่ 5.18 และ 5.19 ตามลำดับ

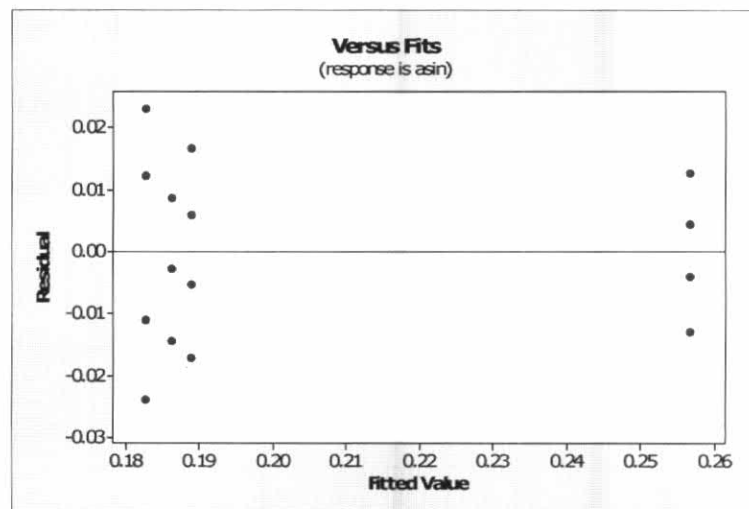


รูปที่ 5.21 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ ของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$



รูปที่ 5.22 แผนภูมิพารेटโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ ของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$

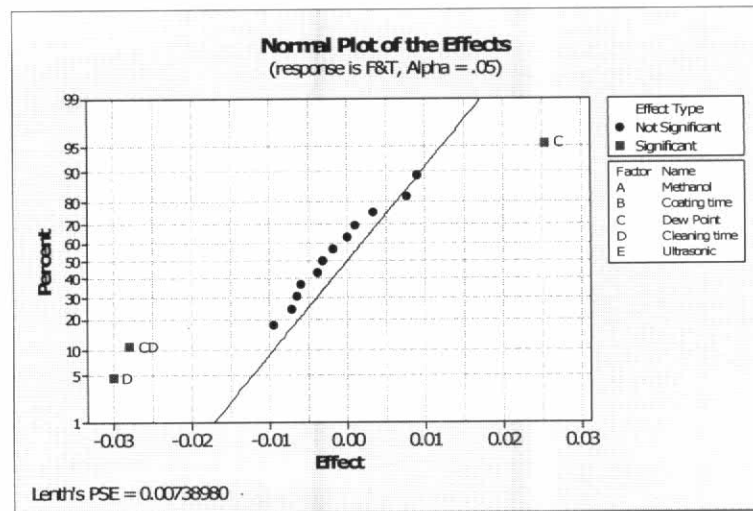
จากรูปที่ 5.18 และ 5.19 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าผลการวิเคราะห์การทดลองที่ได้หลังจากทำการแปลงข้อมูลด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$ ยังคงเหมือนกับผลการวิเคราะห์การทดลองก่อนการแปลงข้อมูล นั่นคือ ปัจจัยหลัก Dew Point และ ระยะเวลาในการล้างเลนส์ และอันตรกิริยาระหว่าง Dew Point และ ระยะเวลาในการล้างเลนส์ จะมีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาในส่วนของสมมติฐานเรื่องความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สามารถแสดงได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอยดังต่อไปนี้



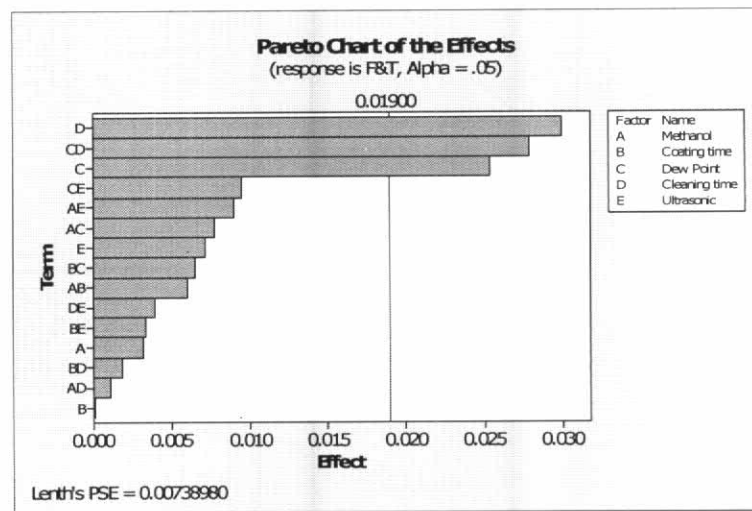
รูปที่ 5.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกพิดของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับรูปที่ 5.17 และ รูปที่ 5.20 จะแสดงให้เห็นว่าหลังจากการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{\hat{p}}$ ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนมีความเสถียรภาพมากขึ้นกว่าเดิม

จากตารางที่ 5.18 การแปลงข้อมูล Freeman and Turkey's (F&T) Modification ในการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2_{IV}^{5-1} ด้วยโปรแกรม MINITAB สามารถแสดงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่นัยสำคัญออกมาในรูปของกราฟ Normal Probability Plot และ แผนภูมิพารโต ได้ดังรูปที่ 5.24 และ 5.25 ตามลำดับ



รูปที่ 5.24 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการของ Freeman and Turkey's (F&T) Modification

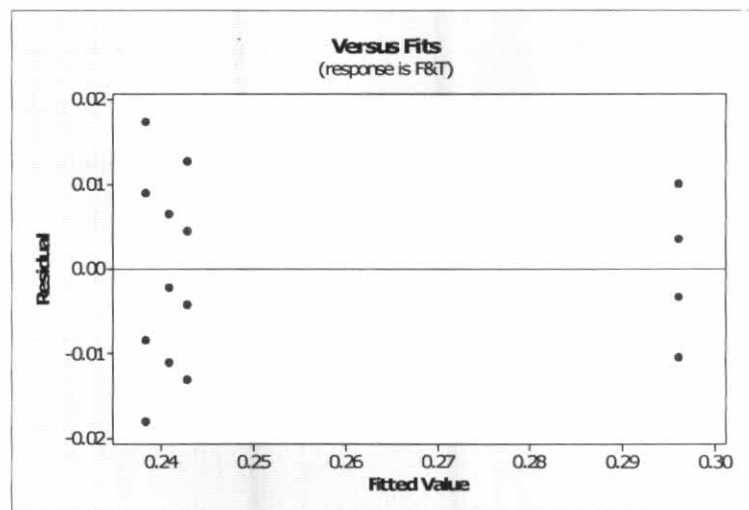


รูปที่ 5.25 แผนภูมิพารेटอ แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการของ Freeman and Turkey's (F&T) Modification

จากรูปที่ 5.24 และ 5.25 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าผลการวิเคราะห์การทดลองที่ได้หลังจากทำการแปลงข้อมูลด้วย

สมการ $\frac{\arcsin \sqrt{\frac{np}{n+1}} + \arcsin \sqrt{\frac{np+1}{n+1}}}{2}$ ยังคงเหมือนกับผลการวิเคราะห์การทดลองก่อนการ

แปลงข้อมูล นั่นคือ ปัจจัยหลัก Dew Point และ ระยะเวลาในการล้างเลนส์ และอันตรกิริยาระหว่าง Dew Point และ ระยะเวลาในการล้างเลนส์ จะมีผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาในส่วนของสมมติฐานเรื่องความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สามารถแสดงได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอยดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการของ Freeman and Turkey's (F&T)

Modification

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ รูปที่ 5.20 รูปที่ 5.23 และ รูปที่ 5.26 จะแสดงให้เห็นว่าหลังจากการแปลงข้อมูลของตัวแปรตอบสนองด้วยสมการของ Freeman and Turkey's (F&T) Modification ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนมีความเสถียรภาพมากขึ้นกว่าเดิมก่อนทำการแปลงข้อมูล และไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับแปลงข้อมูลด้วยสมการ $\arcsin \sqrt{p}$

5.5 สรุปผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US สามารถสรุปได้ว่า Dew Point และระยะเวลาในการล้างเลนส์ ที่ใช้ในกระบวนการเคลือบเลนส์ จะส่งผลต่อสัดส่วนเลนส์เสียที่เกิดจากข้อบกพร่อง PIT และ US ซึ่งระดับที่เหมาะสมของทั้ง 2 ปัจจัยจะถูกกำหนดด้วยการออกแบบการทดลองดังจะแสดงต่อไปในบทที่ 6