

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การกำหนดปัจจัย ระดับปัจจัย และตัวแปรตอบสนองที่มีผลต่อค่ากำลังขยายของเลนส์

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการออกแบบการทดลองเบื้องต้น จากกราฟความน่าจะเป็นแจกแจงปกติของผลกระทบของปัจจัย และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k แฟคทอเรียล (2^k Factorial) ในการทดสอบผลความมีนัยสำคัญของปัจจัย โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อค้นหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่ากำลังขยายของเลนส์ รวมถึงผลกระทบรวม โดยใช้หลักการวิเคราะห์ด้วยการสร้างกราฟความน่าจะเป็นการแจกแจงปกติสำหรับผลกระทบของปัจจัย และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (Normal Probability Plot of the Standardized Effects) โดยทำการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ของปัจจัย ระยะความสูงตรงกลางของเลนส์ ระยะความสูงตรงขอบของเลนส์ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบเลนส์ และความเร็วรอบในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเลนส์ ซึ่งระดับของปัจจัยที่ทำการวิเคราะห์ คือ เลือกระดับสูงและระดับต่ำ ดังตารางที่ 4.1 และผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1

ปัจจัย และระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับต่ำ	ระดับสูง
ระยะความสูงตรงกลางของเลนส์	3 mm.	12 mm.
ระยะความสูงตรงขอบของเลนส์	6 mm.	18 mm.
เวลา	24 hr.	48 hr.
ความเร็วรอบ	25 rpm.	35 rpm.

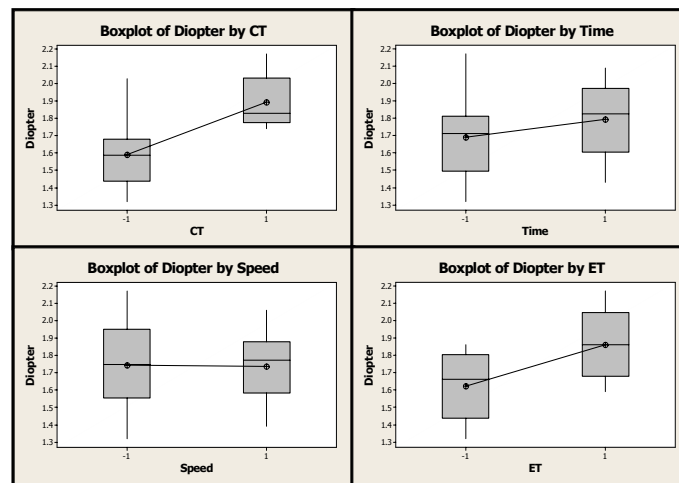
ตารางที่ 4.2

ผลการทดลองผลกระทบของปัจจัย และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเชิงแฟคทอเรียล
แบบ 2^4 แฟคทอเรียล (2^4 Factorial Designs)

No.	Run Order	Condition				Diopter		
		CT	ET	Time	Speed	1	2	3
1	5	-1	-1	-1	1	1.42	1.39	1.46
2	3	1	-1	-1	-1	1.82	1.75	1.77
3	15	-1	-1	1	1	1.51	1.46	1.58
4	13	-1	1	-1	1	1.63	1.66	1.59
5	8	-1	-1	-1	-1	1.39	1.32	1.35
6	2	1	1	-1	1	1.74	1.83	1.81
7	10	1	1	1	1	2.06	1.98	1.93
8	4	-1	1	1	-1	1.72	1.74	1.68
9	14	1	1	-1	-1	2.09	2.13	2.17
10	6	1	-1	1	1	1.85	1.79	1.83
11	9	1	-1	-1	1	1.81	1.74	1.75
12	1	-1	-1	1	-1	1.54	1.43	1.49
13	16	-1	1	-1	-1	1.59	1.63	1.68
14	12	1	-1	1	-1	1.77	1.86	1.82
15	7	-1	1	1	1	1.94	1.89	2.03
16	11	1	1	1	-1	2.05	1.98	2.09

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

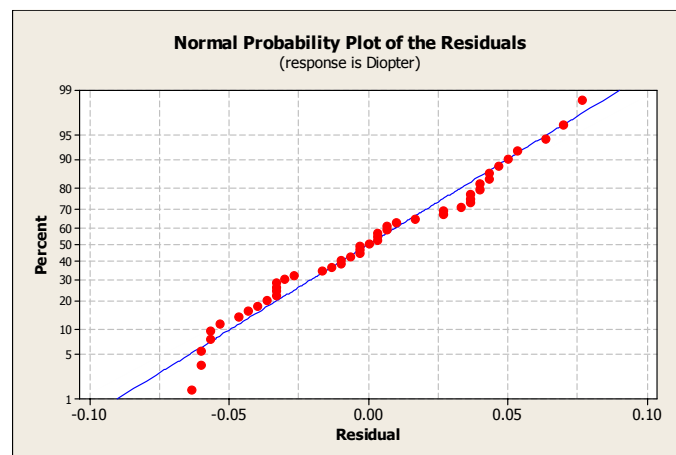
การเปรียบเทียบผลความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจากภาพที่ 4.1 โดยแผนภาพกล่องในแต่ละระดับของปัจจัย พบว่าค่ากำลังขยายของเลนส์เพิ่มขึ้นเมื่อระดับของระยะความสูงตรงกลางของเลนส์ ระยะความสูงตรงขอบของเลนส์ และเวลาที่ใช้ในการอบเลนส์เพิ่มขึ้น ส่วนความเร็วรอบในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ มีผลให้ค่ากำลังขยายของเลนส์ลดลงเล็กน้อย



ภาพที่ 4.1

แผนภาพกล่องแสดงผลของแต่ละปัจจัยที่ระดับต่ำสุด และสูงสุด

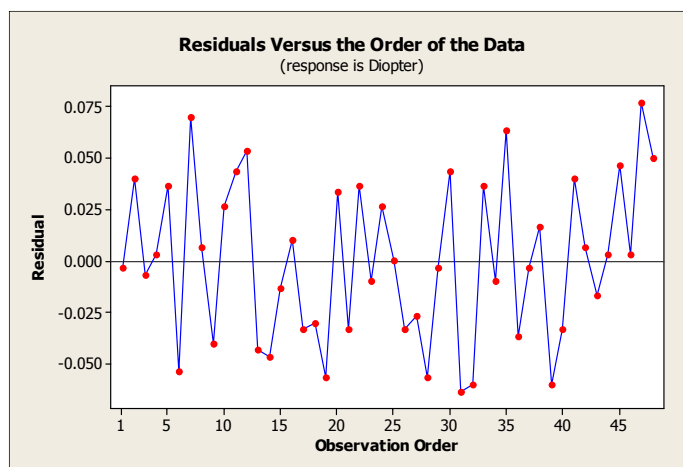
การตรวจสอบการกระจายของค่าความผิดพลาด (Residuals) ว่ามีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) จากภาพที่ 4.2 พบว่าการกระจายของค่าความผิดพลาด (Residuals) ของข้อมูลมีการกระจายตามแนวเส้นตรง ทำให้สรุปได้ว่าค่าความผิดพลาด (Residuals) มีการกระจายแบบปกติ



ภาพที่ 4.2

การแจกแจงข้อมูลแบบปกติของค่าผิดพลาด

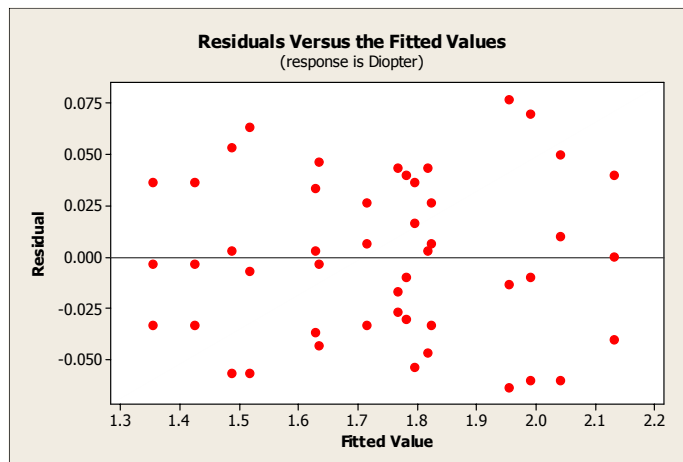
การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจาย จากภาพที่ 4.3 พบว่าการกระจายตัวของค่าความผิดพลาด (Residuals) มีรูปแบบการกระจายเป็นอิสระ ไม่สามารถทำนายรูปแบบได้แน่นอน แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาด (Residuals) มีความเป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 4.3

ความเป็นอิสระต่อกันของค่าผิดพลาด

การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (Residuals) โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายของค่าความผิดพลาดของค่ากำลังขยายของเลนส์ ภาพที่ 4.4 พบว่าค่าความผิดพลาดในแต่ละระดับ มีการกระจายในด้านบวก และลบมีความสมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดมีค่าใกล้เคียงศูนย์

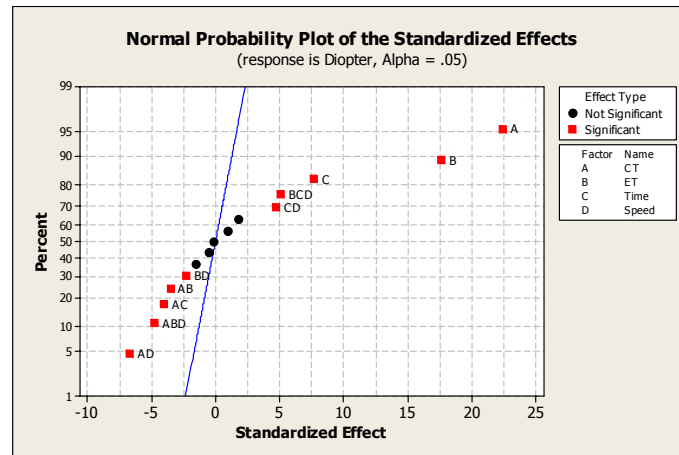


ภาพที่ 4.4

การกระจายตัวของค่าความผิดพลาด

จากภาพที่ 4.2-4.5 เป็นการตรวจสอบความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของตัวแบบของปัจจัยตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$ พบว่ารูปแบบของ Residuals ที่ได้จากข้อมูลในการทดลองเป็นไปตามหลักการทุกประการ ดังนั้นข้อมูลของการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและเชื่อถือได้

การวิเคราะห์ และการสรุปผลของกราฟความน่าจะเป็นการแจกแจงปกติ สำหรับผลกระทบของปัจจัย และความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยค่ากำลังขยายของเลนส์ของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k ของแต่ละปัจจัย ได้นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน และแสดงผลในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.5 พบว่าปัจจัย A B C และอันตรกิริยาของ CD BCD มีอิทธิพลทางบวกอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95% ส่วนปัจจัยอันตรกิริยาของ AB AC AD BD และ ABD มีอิทธิพลทางลบอย่างมีนัยสำคัญในช่วงความเชื่อมั่น 95%



ภาพที่ 4.5

Normal Probability Plot of Standard Effect ของระยะความสูงตรงกลางของเลนส์

ระยะความสูงตรงขอบของเลนส์ เวลา และความเร็วยรอบ

4.2.1 สรุปผลการทดลองขั้นตอนของการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล

ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองขั้นตอน เพื่อยืนยันผลกระทบของปัจจัย ที่เลือกสำหรับการทดลองว่ามีผลตอบสนองต่อค่ากำลังขยายของเลนส์ เพื่อที่จะดำเนินการทดลองในขั้นตอนต่อไป ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละปัจจัย สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3

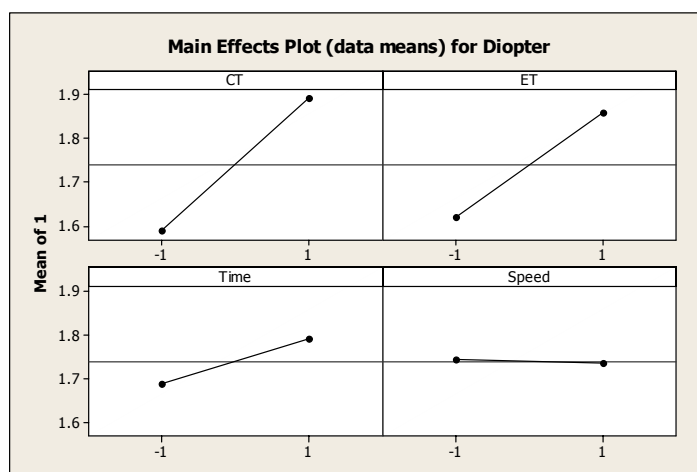
ตารางที่ 4.3

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง 2^k แฟคทอเรียลของแต่ละปัจจัย

ปัจจัย	P-Value
CT	0.000
ET	0.000
Time	0.000
Speed	0.584
CT*ET	0.001
CT*Time	0.000
CT*Speed	0.000
ET*Time	0.084
ET*Speed	0.030
Time*Speed	0.000

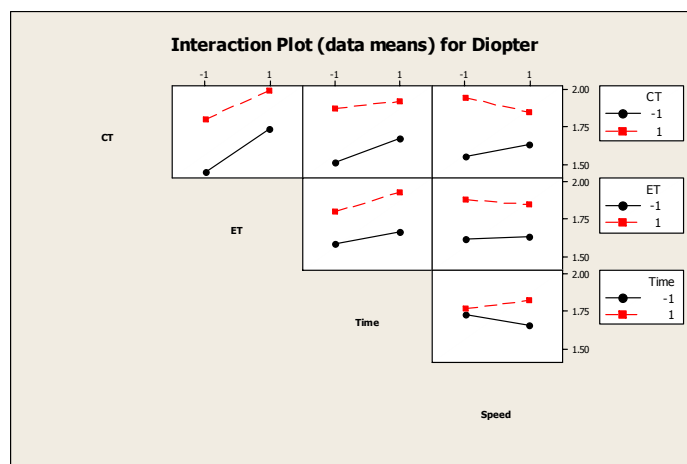
นำผลการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลอง 2^k แฟคทอเรียลมาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab เมื่อพิจารณาค่า P-Value ในตารางที่ 4.2 พบว่าความสูงตรงกลางของเลนส์ ความสูงตรงขอบของเลนส์ และระยะเวลาในการอบเลนส์ มีค่า P-Value น้อยกว่าค่า α ที่กำหนดคือ 0.05 ส่วนความเร็วในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ มีค่า P-Value มากกว่าค่า α ที่กำหนด ดังนั้นความสูงตรงกลางของเลนส์ ความสูงตรงขอบของเลนส์ และระยะเวลาในการอบเลนส์ มีอิทธิพลต่อกำลัขยายของเลนส์อย่างมีนัยสำคัญ แต่ความเร็วในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ ไม่มีอิทธิพลต่อกำลัขยายของเลนส์อย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาถึงอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย พบว่าปัจจัยระหว่าง ความสูงตรงกลางของเลนส์กับความสูงตรงขอบของเลนส์ ความสูงตรงกลางของเลนส์กับระยะเวลาในการอบเลนส์ ความสูงตรงกลางของเลนส์กับความเร็วในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ ความสูงตรงขอบของเลนส์กับความเร็วในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ และระยะเวลาในการอบเลนส์กับความเร็วในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ มีค่า P-Value น้อยกว่าค่า α ที่กำหนดส่วนความสูงตรงขอบของเลนส์กับระยะเวลาในการอบเลนส์ มีค่า P-Value มากกว่าค่า α ที่กำหนด ดังนั้น

อันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย ความสูงตรงกลางของเลนส์กับความสูงตรงขอบของเลนส์ ความสูงตรงกลางของเลนส์กับระยะเวลาในการอบเลนส์ ความสูงตรงกลางของเลนส์กับความเร็วในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ ความสูงตรงขอบของเลนส์กับความเร็วในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ และระยะเวลาในการอบเลนส์กับความเร็วในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ มีอิทธิพลต่อค่ากำลังขยายของเลนส์อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนความสูงตรงขอบของเลนส์กับระยะเวลาในการอบเลนส์ ไม่มีอิทธิพลต่อค่ากำลังขยายของเลนส์อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ คือ จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง ทำให้ทราบว่าปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ความสูงตรงกลางของเลนส์ ความสูงตรงขอบของเลนส์ ระยะเวลาในการอบเลนส์ และความเร็วในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ มีอิทธิพลต่อค่ากำลังขยายของเลนส์อย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่าเมื่อพิจารณาถึงปัจจัยความเร็วในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ จะมีค่า P-Value มากกว่า α ที่กำหนด แต่เมื่อพิจารณาถึงอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย ที่มีความเร็วในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์เป็นปัจจัยร่วมแล้ว ค่า P-Value ที่ได้มีค่าน้อยกว่า α ที่กำหนด ดังนั้นจึงพิจารณาความเร็วในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่ากำลังขยายของเลนส์อย่างมีนัยสำคัญด้วย ดังแสดงผลปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่ากำลังขยายของเลนส์และอันตรกิริยาร่วมของปัจจัย ดังภาพที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.6

อิทธิพลหลักของค่ากำลังขยายของเลนส์



ภาพที่ 4.7

อันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีต่อค่ากำลังขยายของเลนส์

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าลำดับของปัจจัย ระยะความสูงตรงกลางของเลนส์มีอิทธิพลอย่างมากต่อค่ากำลังขยายของเลนส์ รองลงมา คือ ระยะความสูงตรงขอบของเลนส์ ส่วนปัจจัย เวลา และความเร็วรอบ มีอิทธิพลใกล้เคียงกันลดลงตามลำดับ ดังนั้นสามารถยืนยันได้ว่า แต่ละปัจจัยที่เลือกสำหรับทำการศึกษานั้นมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่ากำลังขยายของเลนส์ อันนำไปสู่การวิเคราะห์หาระดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป

4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ และระดับของปัจจัยที่เหมาะสมโดยใช้หลักการ Full Factorial Design

เพื่อเป็นการตัดสินใจในการปรับเปลี่ยนระดับที่เกิดขึ้นของปัจจัยที่มีนัยสำคัญ โดยปัจจัย และระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial) สามารถแยกได้เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ภายใต้เงื่อนไข ดังนั้นจึงสามารถออกแบบตารางแสดงผลการทดลองค่ากำลังขยายของเลนส์ได้ดังตารางที่ 4.4

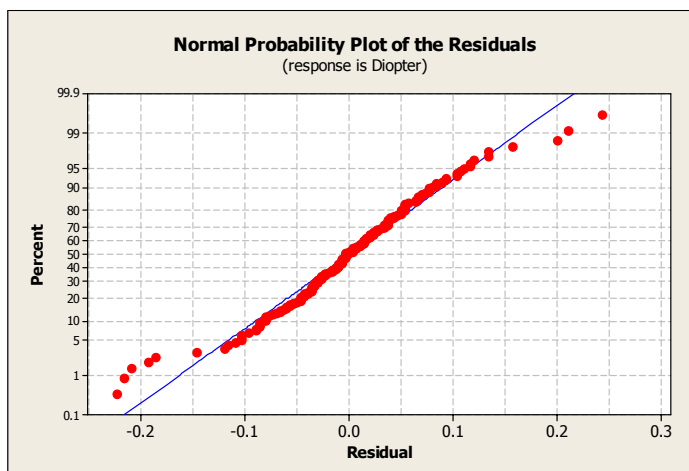
ตารางที่ 4.4

ปัจจัย และรายละเอียดของปัจจัยรวมถึงระดับที่ใช้ในการทดลองของ Full Factorial Design

ตัวแปร	รายละเอียด	ระดับการทดลอง
ปัจจัยที่ควบคุมได้	1.ค่าความสูงตรงกลางของเลนส์	3 6 9 12 มิลลิเมตร
	2.ค่าความสูงตรงขอบของเลนส์	6 10 14 18 มิลลิเมตร
ปัจจัยที่ควบคุมได้ภายใต้เงื่อนไข	3.ระยะเวลาในการอบเลนส์	24 48 ชั่วโมง
	4.ความเร็วในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเลนส์	25 35 รอบต่อนาที
ผลลัพธ์	ค่ากำลังขยายของเลนส์	

4.3.1 ผลการทดลองตามวิธีการออกแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial) ค่ากำลังขยายของเลนส์ที่ได้จากการทดลอง ดังตารางที่ 4.5

นำผลการทดลองที่ได้มาทำการตรวจสอบการกระจายของค่าความผิดพลาด (Residuals) ว่ามีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) จากภาพที่ 4.8 พบว่าการกระจายของค่าความผิดพลาด (Residuals) ของข้อมูลมีการกระจายตามแนวเส้นตรง ทำให้สรุปได้ว่าค่าความผิดพลาด (Residuals) มีการกระจายแบบปกติ



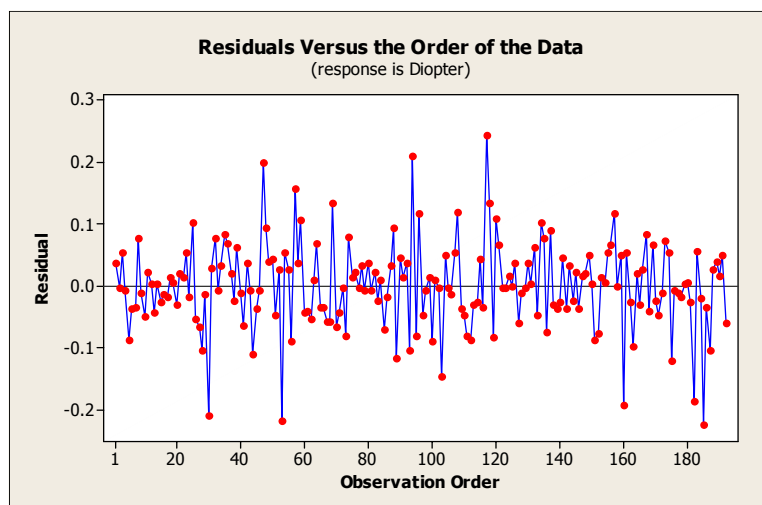
ภาพที่ 4.8

การแจกแจงข้อมูลแบบปกติของค่าผิดพลาด

ตารางที่ 4.5
ค่ากำลังขยายของเลนส์ที่ได้จากการทดลอง

Result		Speed 25 rpm						Speed 35 rpm					
CT	ET	Time 24 hrs			Time 48 hrs			Time 24 hrs			Time 48 hrs		
3	6	1.39	1.32	1.35	1.54	1.43	1.49	1.42	1.39	1.46	1.51	1.46	1.58
	10	1.37	1.59	1.41	1.48	1.47	1.59	1.40	1.37	1.54	1.56	1.48	1.41
	14	1.39	1.32	1.49	1.62	1.61	1.56	1.33	1.46	1.35	1.67	1.69	1.64
	18	1.59	1.63	1.68	1.62	1.64	1.68	1.63	1.66	1.59	1.64	1.69	1.63
6	6	1.54	1.55	1.58	1.63	1.60	1.64	1.56	1.57	1.51	1.59	1.63	1.64
	10	1.60	1.51	1.63	1.83	1.81	1.69	1.58	1.55	1.57	1.72	1.83	1.66
	14	1.87	1.65	1.78	1.89	1.97	2.01	1.68	1.78	1.74	1.91	2.05	2.08
	18	1.83	1.74	1.96	1.88	1.77	1.90	1.78	2.20	1.99	1.93	1.97	1.66
9	6	1.63	1.59	1.69	1.79	1.72	1.61	1.67	1.63	1.61	1.86	1.70	1.81
	10	1.94	1.93	1.89	2.12	1.91	2.14	1.88	1.90	1.93	2.07	2.13	2.04
	14	1.60	1.66	1.73	2.09	2.15	2.05	1.75	1.70	1.69	1.94	2.17	2.04
	18	1.73	1.73	1.84	2.07	1.79	1.75	1.78	1.74	1.84	2.08	1.90	1.98
12	6	1.82	1.75	1.77	1.77	1.86	1.82	1.81	1.74	1.75	1.85	1.79	1.83
	10	1.72	2.18	1.91	2.06	1.95	2.09	1.99	2.07	1.75	1.84	2.04	1.91
	14	2.23	2.14	1.85	2.05	1.94	1.84	1.93	1.89	1.86	1.84	1.90	1.91
	18	2.09	2.13	2.17	2.05	1.98	2.09	1.74	1.83	1.81	2.06	1.98	1.93

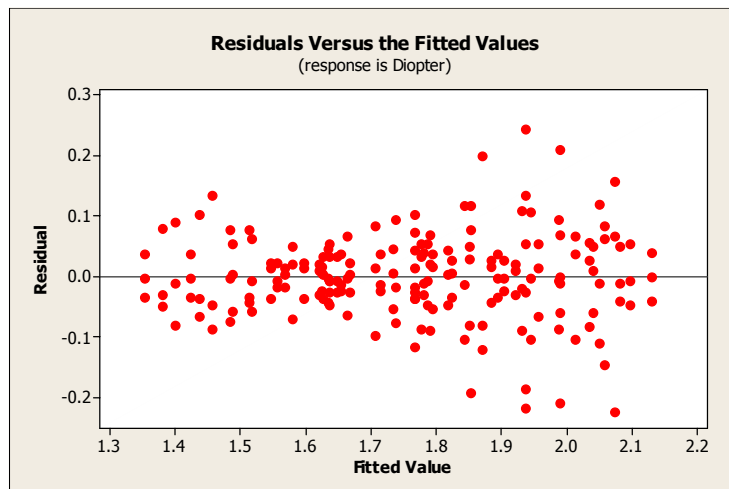
การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent) โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจาย จากภาพที่ 4.9 พบว่าการกระจายตัวของค่าความผิดพลาด (Residuals) มีรูปแบบการกระจายเป็นอิสระ ไม่สามารถทำนายรูปแบบได้แน่นอน แสดงให้เห็นว่าค่าความผิดพลาด (Residuals) มีความเป็นอิสระต่อกัน



ภาพที่ 4.9

ความเป็นอิสระต่อกันของค่าผิดพลาด

การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาด (Residuals) โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายของค่าความผิดพลาดของค่ากำลังขยายของเลนส์ ภาพที่ 4.10 พบว่าค่าความผิดพลาดในแต่ละระดับ มีการกระจายในด้านบวก และลบมีความสมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดมีค่าใกล้เคียงศูนย์



ภาพที่ 4.10

การกระจายตัวของค่าความผิดพลาด

จากภาพที่ 4.8-4.10 เป็นการตรวจสอบความถูกต้อง และความน่าเชื่อถือของตัวแบบของปัจจัย ตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0, \sigma^2)$ พบว่ารูปแบบของ Residuals ที่ได้จากข้อมูลในการทดลองเป็นไปตามหลักการทุกประการ ดังนั้นข้อมูลของการทดลองชุดนี้มีความถูกต้อง และเชื่อถือได้

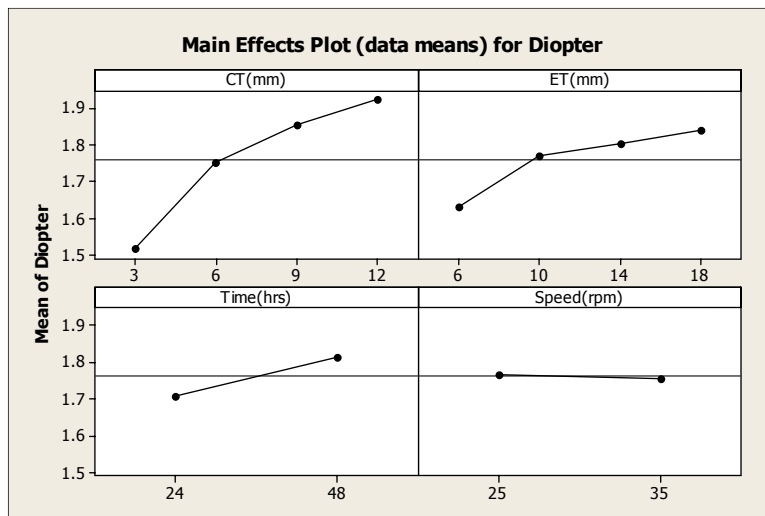
นำผลการทดลองไปวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab ดังตารางที่ 4.5 สามารถแสดงผลปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลกับค่ากำลังขยายของเลนส์ และอันตรกิริยาของปัจจัยดังภาพที่ 4.11 และภาพที่ 4.12

ตารางที่ 4.6

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง Full Factorial Design ของแต่ละปัจจัย

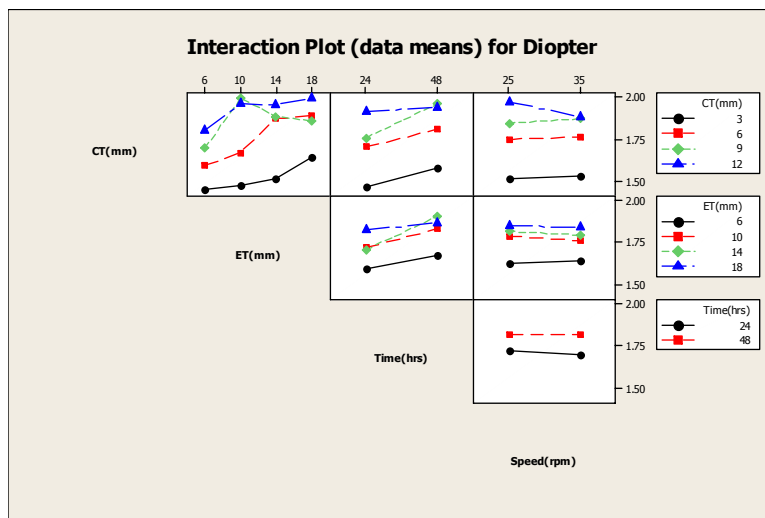
ปัจจัย	P-Value
CT	0.000
ET	0.000
Time	0.000
Speed	0.449
CT*ET	0.000
CT*Time	0.000
CT*Speed	0.002
ET*Time	0.000
ET*Speed	0.559
Time*Speed	0.282

นำผลการทดลองที่ได้จากการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบมาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรม Minitab เมื่อพิจารณาค่า P-Value ในตารางที่ 4.6 พบว่าผลการทดลองมีแนวโน้มเหมือนกับการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกำลังขยายของเลนส์ด้วยการทดลอง 2^k แฟคทอเรียล ซึ่งสามารถสรุปได้เช่นเดียวกัน คือ ปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ความสูงตรงกลางของเลนส์ ความสูงตรงขอบของเลนส์ ระยะเวลาในการอบเลนส์ และความเร็วในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์ มีอิทธิพลต่อกำลังขยายของเลนส์ อย่างมีนัยสำคัญ และแสดงผลปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อกำลังขยายของเลนส์ และอันตรกิริยาร่วมของปัจจัย ดังภาพที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.11

อิทธิพลหลักของค่ากำลังขยายของเลนส์



ภาพที่ 4.12

อันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังขยายของเลนส์

จากผลการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน พบว่าลำดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่ากำลังขยายของเลนส์ จากมากไปน้อย คือ ระยะความสูงตรงกลางของเลนส์ ระยะความสูงตรงขอบของเลนส์ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบเลนส์ และความเร็วรอบที่ใช้ในการลดขนาด

เส้นผ่านศูนย์กลางเลนส์ เมื่อพิจารณากราฟผลกระทบหลัก (Main effect plot) พบว่าปัจจัยระยะความสูงตรงกลางของเลนส์มีผลอย่างมากต่อค่ากำลังขยายของเลนส์ ซึ่งมีผลมากกว่าปัจจัยอื่น โดยสังเกตได้จากความชันของกราฟค่าเฉลี่ยของค่ากำลังขยายของเลนส์ที่มากกว่าเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นที่แสดงในกราฟผลกระทบหลัก และเมื่อวิเคราะห์ถึงอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยที่พิจารณาจากกราฟอันตรกิริยา (Interaction Plot) ก็พบว่าระยะความสูงตรงกลางของเลนส์ และระยะความสูงขอบของเลนส์มีผลต่อค่ากำลังขยายของเลนส์มากที่สุดเมื่อเทียบกับปัจจัยตามลำดับ ทั้งนี้ผลตอบสนองของการวิจัยนี้ คือ ค่ากำลังขยายของเลนส์ที่มีค่ากำลังขยายของเลนส์ระหว่าง 1.85 ถึง 2.15 Diopter ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงระดับของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ได้ค่ากำลังขยายของเลนส์ตามที่กำหนด

ตารางที่ 4.7

ระดับของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ค่ากำลังขยายของเลนส์อยู่ในช่วงที่กำหนด

Result		Speed 25 rpm			Speed 35 rpm		
CT	ET	Time 24 hrs			Time 24 hrs		
6	14			1.89 1.97 2.01			1.91 2.05 2.08
	10	1.94 1.93 1.89		2.12 1.91 2.14	1.88 1.90 1.93		2.07 2.13 2.04
9	14			2.09 2.15 2.05			1.94 2.17 2.04
	18						2.08 1.90 1.98
	10			2.06 1.95 2.09			
12	14				1.93 1.89 1.86		
	18			2.05 1.98 2.09			2.06 1.98 1.93

หลังจากที่ทราบถึงระดับของปัจจัยที่ทำให้ได้ค่ากำลังขยายของเลนส์ที่กำหนดแล้วก็นำระดับของปัจจัยค่าความสูงตรงกลางของเลนส์ และค่าความสูงขอบของเลนส์ที่ได้มาทำการคำนวณหาหน้าหนักของเลนส์พลาสติกกึ่งสำเร็จรูป เพื่อหาว่าระดับของปัจจัยค่าความสูงตรงกลางของเลนส์ และค่าความสูงขอบของเลนส์ที่ระดับใดมีผลให้สามารถลดต้นทุนในส่วนของวัตถุดิบได้มากที่สุด ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8

น้ำหนักของเลนส์พลาสติกกึ่งสำเร็จรูปในแต่ละระดับของปัจจัยค่าความสูงตรงกลางของเลนส์ และค่าความสูงตรงขอบของเลนส์

Result		Weight(g)
CT	ET	
6	14	91.7
	10	89.3
9	14	112.9
	18	116.9
12	10	110.5
	14	134.1
	18	138.0

จากผลการคำนวณน้ำหนักของเลนส์พลาสติกกึ่งสำเร็จรูปทำให้ทราบว่าระดับของปัจจัยค่าความสูงตรงกลางของเลนส์ที่ 9 มิลลิเมตร และค่าความสูงตรงขอบของเลนส์ที่ 10 มิลลิเมตร มีผลให้น้ำหนักของเลนส์พลาสติกกึ่งสำเร็จรูปน้อยที่สุด ด้วยระดับของปัจจัยดังกล่าว จึงนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อไปว่าระดับของแต่ละปัจจัยใดที่จะทำให้สามารถลดต้นทุนในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกกึ่งสำเร็จรูปได้มากที่สุดโดยวิเคราะห์จากตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9

ระดับของปัจจัยระยะเวลาในการอบเลนส์ และความเร็วรอบในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเลนส์

CT	ET	Speed 25 rpm		Speed 35 rpm	
		Time 24 hrs	Time 48 hrs	Time 24 hrs	Time 48 hrs
9	10				

วิเคราะห์ระดับของแต่ละปัจจัย คือ เลือกระดับของปัจจัย ระยะเวลาในการอบเลนส์ และความเร็วรอบในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเลนส์ที่มีค่าน้อยที่สุด คือ ระยะเวลา

ในการอบเลนส์ 24 ชั่วโมง และความเร็วรอบในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเลนส์ 25 รอบต่อนาที ซึ่งทำให้สามารถลดระยะเวลาในการอบเลนส์ และลดความเร็วรอบในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเลนส์ได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับระดับของปัจจัยอื่น

สรุปปัจจัย และระดับของปัจจัยที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิจัย เปรียบเทียบกับสภาวะของกระบวนการในปัจจุบัน และกำลังการผลิต แสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10

เปรียบเทียบค่าของปัจจัย และระดับปัจจัยที่ดีที่สุดที่ได้จากการวิจัย

ปัจจัย	สภาวะปัจจุบัน	สภาวะที่ได้จากงานวิจัย
ระยะความสูงตรงกลางของเลนส์	12 มิลลิเมตร	9 มิลลิเมตร
ระยะความสูงตรงขอบของเลนส์	18 มิลลิเมตร	10 มิลลิเมตร
เวลาที่ใช้ในการอบเลนส์	48 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง
ความเร็วรอบที่ใช้ในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเลนส์	35 รอบต่อนาที	25 รอบต่อนาที
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเลนส์	-	ลดลง 30%
เวลาที่ใช้ในการอบเลนส์	-	ลดลง 50%

หมายเหตุ : วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตสามารถคำนวณได้จาก น้ำหนักของเลนส์ที่ลดลงของสภาวะที่ได้จากการวิจัยเทียบกับสภาวะปัจจุบัน นำค่าระดับของปัจจัยที่ได้ไปแทนค่าในสมการด้านล่าง

$$2\pi \left[-\left(\frac{1}{3} (R_1^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2) \right)^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{3} (R_1^2)^{\frac{3}{2}} + \left(\frac{1}{3} (R_2^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2) \right)^{\frac{3}{2}} - \frac{1}{3} (R_2^2)^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{1}{2} \left(\frac{d}{2} \right)^2 (R_1 - R_2 - CT) \right) \right]$$

ซึ่งได้ค่าต่างๆ ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11

คำนวณหาน้ำหนักของเลนส์พลาสติกกิ่งสำเร็จรูปของสภาวะปัจจุบัน
เทียบกับสภาวะที่ได้จากงานวิจัย

Condition	งานวิจัย'	ปัจจุบัน
R1	298.357	298.357
R2	94.777	67.830
Dia	81	81
CT	9	12
Volume	62,266	87,994
Gravity	1.37	1.37
Weight	89.3	138

ค่ากำลังขยายของเลนส์ ณ สภาวะที่ดีที่สุดของกระบวนการผลิตเลนส์กิ่งสำเร็จรูป
ที่ได้จากการวิจัย กับสภาวะของกระบวนการผลิตในปัจจุบันได้ถูกวิเคราะห์เปรียบเทียบกันด้วย
การแสดงผลแผนภาพกล่อง ดังภาพที่ 4.13

4.4 การตรวจสอบสภาวะการผลิตปัจจุบันกับสภาวะที่ดีที่สุดจากการวิจัย

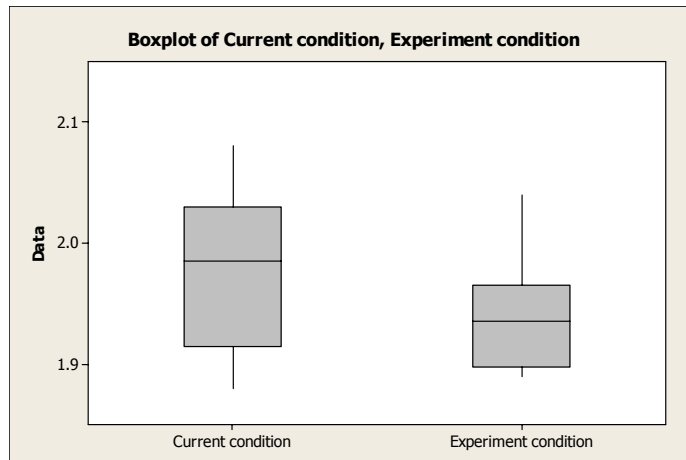
ตรวจสอบสมมติฐานด้วยการทดสอบ Anova ว่าระดับของปัจจัยที่สภาวะปัจจุบัน
เทียบกับระดับของปัจจัยของสภาวะที่ได้จากงานวิจัย มีผลต่อค่ากำลังขยายของเลนส์
ต่างกันหรือไม่ ด้วยระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลการทดลองดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12

ตรวจสอบสมมติฐานด้วยการทดสอบ Anova เทียบระดับของปัจจัยที่สภาวะปัจจุบันกับ
ระดับของปัจจัยของสภาวะที่ได้จากงานวิจัย

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	1	0.00612	0.00612	1.72	0.206
Error	18	0.06397	0.00355		
Total	19	0.07010			

จากผลการทดสอบพบว่าระดับของปัจจัยที่สภาวะปัจจุบันเทียบกับระดับของปัจจัยของสภาวะที่ได้จากงานวิจัยมีค่า P-Value เท่ากับ 0.206 ซึ่งมากกว่าค่า $\alpha = 0.05$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ที่ระดับของปัจจัยที่สภาวะปัจจุบันกับระดับของปัจจัยของสภาวะที่ได้จากงานวิจัยมีผลต่อค่ากำลังขยายของเลนส์ไม่ต่างกัน



ภาพที่ 4.13

แผนภาพกล่องแสดงค่ากำลังขยายของเลนส์
เปรียบเทียบระหว่างสภาวะปัจจุบันกับสภาวะที่ได้จากการวิจัย

ตารางที่ 4.13

ข้อมูลทางสถิติของค่ากำลังขยายของเลนส์ระหว่างสภาวะปัจจุบัน และสภาวะที่ได้จากการวิจัย

Condition	สภาวะปัจจุบัน	สภาวะที่ได้จากการวิจัย
N	10	10
SD	0.0684	0.0492
Min	1.880	1.890
Median	1.985	1.935
Max	2.080	2.040

จากแผนภาพกล่องแสดงค่ากำลังขยายของเลนส์ที่ได้จากการผลิตเลนส์สำเร็จรูปที่สภาวะปัจจุบันของกระบวนการเทียบกับสภาวะที่ได้จากการวิจัยนี้ ดังภาพที่ 4.3 และข้อมูลทางสถิติดังตารางที่ 4.13 พบว่าค่าเฉลี่ยกำลังขยายของเลนส์ที่ได้จากการวิจัยมีค่าใกล้เคียงกับสภาวะปัจจุบันซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1.85 ถึง 2.15 Diopter นอกจากนี้สภาวะที่ได้จากการวิจัยยังสามารถลดความแปรปรวนของค่ากำลังขยายของเลนส์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้