บทที่ 6

การคำนวณและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

6.1 บทนำ

ข้อมูลจากการดำเนินการทดลองในบทที่ผ่านมา จะต้องนำมาทำการวิเคราะห์ตามหลักการของการออกแบบการทดลองในบทที่ 2 ซึ่งจะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยเพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวในกระบวนการตัดหัวอ่านเขียนข้อมูล จากนั้นต้องพิจารณาจากข้อมูลว่าที่ระดับของปัจจัยใดจะทำให้เกิดรอยบิ่นและรอยร้าวต่ำสุด ซึ่งเมื่อได้สภาวะการตัดที่เหมาะสมแล้วก็จะทำการทดลองเพื่อยืนยันผลต่อไป

6.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การออกแบบการทดลองที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ แผนการทดลองแฟรกชั่นนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^k แฟคทอเรียล (One-Half Fraction of the 2^k Design) การทดลองนี้จะใช้สำหรับการคัดเลือกหาปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการที่เราสนใจ จากแผนการทดลองที่ถูกออกแบบไว้ดังตารางที่ 4.3 ได้ดำเนินการทดลองตามแผนที่วางไว้ทั้งหมดได้ข้อมูลมา 16 สภาวะ ดังตารางที่ 6.1

6.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Varience Analysis)

หลักการของแผนการทดลองแฟรกชั่นนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^k แฟคทอเรียล คือ ปัจจัยร่วมในระดับสูงๆ (High Order Interaction Effects) จะไม่มีอิทธิพล (Effect) ต่อค่าตัวแปรตอบสนองดังนั้นจะนำปัจจัยร่วมในระดับสูงๆ ไปรวมกับปัจจัยร่วมในระดับที่ต่ำกว่าหรือไปรวมกับปัจจัยหลัก

การทดลองครั้งนี้ใช้แผนการทดลองแฟรกชั่นนอลแบบครึ่งหนึ่งของ 2^5 แฟคทอเรียล หรือ การทดลอง 2^{5-1} โดยมีดีไฟนิ่งรีเลชั่น (Defining Relation) I = ABCDE จะมีผลของปัจจัยต่าง ๆ ร่วมกันดังนี้คือ

A + BCDE AB + CDE BD + ACE

B + ACDE	AC + BDE	BE + ACD
C + ABDE	AD + BCE	CD + ABE
D + ABCE	AE + BCD	CE + ABD
E + ABCD	BC + ADE	DE + ABC

โดยที่ A คือ ความเร็วรอบในการตัด
B คือ ความลึกของใบมีดในการตัด
C คือ อัตราการป้อนตัด
D คือ จำนวนครั้งในการลับมีด
E คือ ทิศทางในการตัด
AB คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A และ B
AC คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A และ C
AD คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A และ D
AE คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A และ E
BC คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย B และ C
BD คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย B และ D
BE คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย B และ E
CD คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย C และ D
DE คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย D และ E
CDE คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย C , D และ E
BDE คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย B , D และ E
BCE คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย B , C และ E
BCD คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย B , C และ D
ADE คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A , D และ E
ACE คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A , C และ E
ACD คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A , C และ D
ABE คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A , B และ E
ABD คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A , B และ D
ABC คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A , B และ C
BCDE คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย B , C , D และ E
ACDE คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A , C , D และ E
ABDE คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A , B , D และ E
ABCE คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A , B , C และ E
ABCD คือ ปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย A , B , C และ D

ตารางที่6.1 แสดงผลการทดลองทั้งหมด 16 สภาวะ

2^{5-1} Design for Chip&Crack							
Run	Basic Design				E=ABCD	Treatment Combination	chip&crack
	A	B	C	D			
1	-1	-1	-1	-1	1	e	2
2	1	-1	-1	-1	-1	a	17
3	-1	1	-1	-1	-1	b	16
4	1	1	-1	-1	1	abe	35
5	-1	-1	1	-1	-1	c	25
6	1	-1	1	-1	1	ace	6
7	-1	1	1	-1	1	bce	12
8	1	1	1	-1	-1	abc	29
9	-1	-1	-1	1	-1	d	22
10	1	-1	-1	1	1	ade	29
11	-1	1	-1	1	1	bde	14
12	1	1	-1	1	-1	abd	5
13	-1	-1	1	1	1	cde	7
14	1	-1	1	1	-1	acd	8
15	-1	1	1	1	-1	bcd	27
16	1	1	1	1	1	abcde	33

จากปัจจัยที่แสดงข้างต้นนั้นจะสามารถแบ่งแยกเป็น 2 กลุ่มคือ

1. ปัจจัยหลัก (Main Effects)

2.1 ความเร็วรอบในการตัด (A) ซึ่งมีปัจจัยร่วม BCDE รวมอยู่ด้วย

2.2 ความลึกของใบมีดในการตัด (B) ซึ่งมีปัจจัยร่วม ACDE รวมอยู่ด้วย

2.3 อัตราการป้อนตัด (C) ซึ่งมีปัจจัยร่วม ABDE รวมอยู่ด้วย

2.4 จำนวนครั้งในการลับมีด (D) ซึ่งมีปัจจัยร่วม ABCE รวมอยู่ด้วย

2.5 ทิศทางในการตัด (E) ซึ่งมีปัจจัยร่วม ABCD รวมอยู่ด้วยกัน

2. ปัจจัยร่วม (Interaction)

ในการทดลองจะพิจารณาเฉพาะปัจจัยร่วมของสองปัจจัยเท่านั้น คือ

2.1 ปัจจัยร่วม AB คือผลของปัจจัย A จะขึ้นกับปัจจัย B ด้วย โดยปัจจัยร่วม AB จะมีผลของปัจจัยรวม CDE รวมอยู่ด้วย

2.2 ปัจจัยร่วม AC คือผลของปัจจัย A จะขึ้นกับปัจจัย C ด้วย โดยปัจจัยร่วม AC จะมีผลของปัจจัยร่วม BDE รวมอยู่ด้วย

2.3 ปัจจัยร่วม AD คือผลของปัจจัย A จะขึ้นกับปัจจัย D ด้วย โดยปัจจัยร่วม AD จะมีผลของปัจจัยร่วม BCE รวมอยู่ด้วย

2.4 ปัจจัยร่วม AE คือผลของปัจจัย A จะขึ้นกับปัจจัย E ด้วย โดยปัจจัยร่วม AE จะมีผลของปัจจัยร่วม BCD รวมอยู่ด้วย

2.5 ปัจจัยร่วม BC คือผลของปัจจัย B จะขึ้นกับปัจจัย C ด้วย โดยปัจจัยร่วม BC จะมีผลของปัจจัยร่วม ADE รวมอยู่ด้วย

2.6 ปัจจัยร่วม BD คือผลของปัจจัย B จะขึ้นกับปัจจัย D ด้วย โดยปัจจัยร่วม BC จะมีผลของปัจจัยร่วม ACE รวมอยู่ด้วย

2.7 ปัจจัยร่วม BE คือผลของปัจจัย B จะขึ้นกับปัจจัย E ด้วย โดยปัจจัยร่วม BE จะมีผลของปัจจัยร่วม ACD รวมอยู่ด้วย

2.8 ปัจจัยร่วม CD คือผลของปัจจัย C จะขึ้นกับปัจจัย D ด้วย โดยปัจจัยร่วม CD จะมีผลของปัจจัยร่วม ABE รวมอยู่ด้วย

2.9 ปัจจัยร่วม CE คือผลของปัจจัย C จะขึ้นกับปัจจัย E ด้วย โดยปัจจัยร่วม CE จะมีผลของปัจจัยร่วม ABD รวมอยู่ด้วย

2.10 ปัจจัยร่วม DE คือผลของปัจจัย D จะขึ้นกับปัจจัย E ด้วย โดยปัจจัยร่วม DE จะมีผลของปัจจัยร่วม ABC รวมอยู่ด้วย

โดยปัจจัยร่วมในระดับสูงตั้งแต่ 3 ปัจจัยนั้นถือว่าไม่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองและไม่นำมาพิจารณาในการทดลอง

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแผนการทดลอง 2^{5-1} จะต้องทำการพล็อตกราฟระหว่างผล (Effect) กับความน่าจะเป็นลำดับที่ โดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามากหลังได้ทำการทดลองทั้ง 16 สภาวะตามได้วางแผนไว้ก็จะนำมาคำนวณหาค่า Estimated Effect ได้ในตารางที่ 6.2

ตารางที่6.2 แสดงค่า Effect ของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม

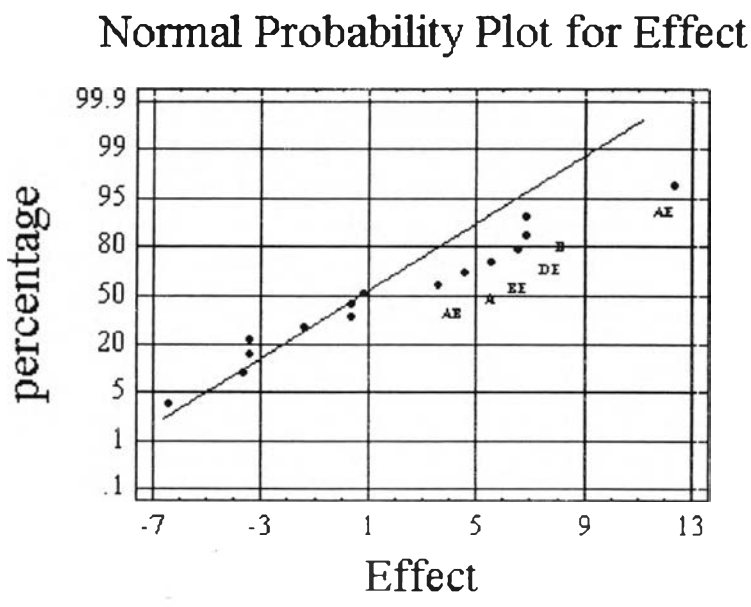
Variable	Regression Coefficient	Estimated Effect	Sum of Squares	Contrast
Overall Average	17.938			
A	2.313	4.625	85.56	37
B	3.438	6.875	189.06	55
C	0.438	0.875	3.06	7
D	0.188	0.375	0.56	3
E	-0.688	-1.375	7.56	-11
AB	1.813	3.625	52.56	29
AC	-1.688	-3.375	45.56	-27
AD	-1.688	-3.375	45.56	-27
AE	6.188	12.375	612.56	99
BC	3.438	6.875	189.06	55
BD	-1.813	-3.625	52.56	-29
BE	2.813	5.625	126.56	45
CD	0.188	0.375	0.56	3
CE	-3.188	-6.375	162.56	-51
DE	3.313	6.625	175.56	53

หลังจากได้ค่า Estimated Effects ดังตารางที่ 6.2 แล้ว ก็จะนำค่าEstimated Effectที่ได้มาเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก แล้วหาค่าความน่าจะเป็นของลำดับที่ (P_k) ตั้งแต่ 1 ถึง 15 ซึ่งคำนวณได้ในตารางที่ 6.3

ข้อมูลในตารางที่ 6.3 จะถูกนำมาพล็อตเป็นกราฟบนกระดาษที่เรียกว่า กระดาษตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ (NOPP) ซึ่งเมื่อนำค่าจากตารางที่ 6.3 มาพล็อตบนกระดาษ NOPP จากนั้นก็จะทำการลากเส้นตรงโดยพยายามให้ผ่านจุดส่วนใหญ่ **[1]** ดังรูปที่ 6.1 ซึ่งหลักในการพิจารณาว่าปัจจัยใดมีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองนั้นจะดูจากกราฟในรูปที่ 6.1 ว่าจุดใดนั้นเบี่ยงเบนออกจากเส้นตรงมากกว่าตัวอื่นๆ ที่ชัดเจน หลังจากนั้นก็จะสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) โดยจุดอื่นๆ ที่ไม่ถูกเลือก (หมายถึงอยู่ในแนวเส้นตรงที่ลากไว้) ก็จะนำผลไปรวมกันเป็นค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง เมื่อทำการคำนวณค่าต่างๆในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้วสามารถสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.3 แสดงค่า Effect และความน่าจะเป็นของลำดับที่ (P_k)

Order	Factors	Estimated Effect	P_k=(k-1/2)/15*100
1	CE	-6.375	3.33
2	BD	-3.625	10.00
3	AC	-3.375	16.67
4	AD	-3.375	23.33
5	E	-1.375	30.00
6	D	0.375	36.67
7	CD	0.375	43.33
8	C	0.875	50.00
9	AB	3.625	56.67
10	A	4.625	63.33
11	BE	5.625	70.00
12	DE	6.625	76.67
13	B	6.875	83.33
14	BC	6.875	90.00
15	AE	12.375	96.67



รูปที่ 6.1 กราฟ Normal Probability Plot ของ Effect

ตารางที่ 6.4 การวิเคราะห์ควรแปรปรวนของรอยบิ่นและรอยร้าว

source of variation	sum of squares	Degrees of Freedom	Mean Square	F_0	P-Value
A	85.56	1	85.5625	1.5187	0.2490
B	189.06	1	189.0625	3.3557	0.1002
AB	52.56	1	52.5625	0.9329	0.3593
AE	612.56	1	612.5625	10.8726	0.0093
BE	126.56	1	126.5625	2.2464	0.1682
DE	175.56	1	175.5625	3.1161	0.1113
Error	507.0625	9	56.3403		
Total	1748.94	15			

จากตารางที่ 6.4 สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัย AE มีนัยสำคัญที่ α มากกว่า 0.0093

6.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ **[1]** เป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าข้อมูลจากการทดลองเป็นตามหลักการทางสถิติหรือไม่ โดยจะต้องตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองว่า ความคลาดเคลื่อน (Error) มีรูปแบบการกระจายเป็นแบบปกติ และเป็นอิสระต่อกัน $\in ij \sim NID(0,\sigma^2)$ ซึ่งเมื่อตรวจสอบด้วยขั้นตอนนี้แล้วจะทำให้ข้อมูลนั้นมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น มีคุณสมบัติสำคัญ 3 ประการที่จะต้องทำการตรวจสอบ คือ

1. ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution)
2. ข้อมูลมีความเป็นอิสระ (Independent)
3. ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

ตารางที่ 6.5 แสดงค่า Residual ที่ได้จากการคำนวณ

Treatment Combination	y	$\hat{y}$	$e = y - \hat{y}$
e	2	11.750	-9.750
a	17	11.750	5.250
b	16	24.125	-8.125
abe	35	24.125	10.875
c	25	24.125	0.875
ace	6	24.125	-18.125
bce	12	11.750	0.250
abc	29	11.750	17.250
d	22	24.125	-2.125
ade	29	24.125	4.875
bde	14	11.750	2.250
abd	5	11.750	-6.750
cde	7	11.750	-4.750
acd	8	11.750	-3.750
bcd	27	24.125	2.875
abcde	33	24.125	8.875

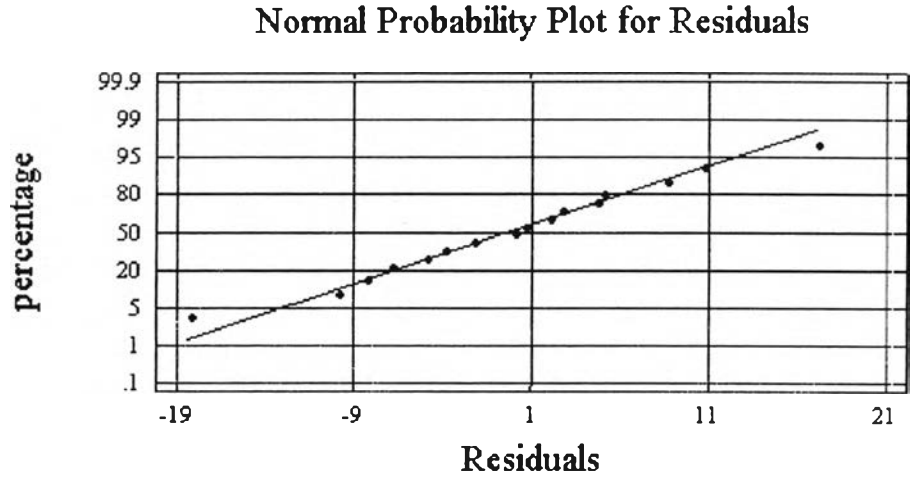
การตรวจสอบคุณสมบัติทั้ง 3 ข้อ ข้างต้นสามารถทำได้โดยใช้กราฟของการพล็อตค่าเรสซิดวล (Residual Plot) ขั้นตอนแรกคือต้องหาค่าความคลาดเคลื่อน (หรือค่า Residual) ได้ดังตารางที่ 6.5 เมื่อได้ค่าความคลาดเคลื่อน (e) แล้วจากนั้นก็จะนำมาพล็อตกราฟเป็น 3 ลักษณะ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติทั้ง 3ประการดังนี้

1. ตรวจสอบการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ของข้อมูล

เมื่อได้ค่า Residual แล้วจะนำมาเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก และนำค่าลำดับที่เปลี่ยนให้เป็นความน่าจะเป็น ดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 แสดงค่า Residual และความน่าจะเป็นของลำดับที่ (P_k)

Order	Treatment	Residual	P_k=(k-1/2)/16*100	Order	Treatment	Residual	P_k=(k-1/2)/16*100
1	ace	-18.125	3.125	9	c	0.875	53.125
2	e	-9.750	9.375	10	bde	2.250	59.375
3	b	-8.125	15.625	11	bcd	2.875	65.625
4	abd	-6.750	21.875	12	ade	4.875	71.875
5	cde	-4.750	28.125	13	a	5.250	78.125
6	acd	-3.750	34.375	14	abcde	8.875	84.375
7	d	-2.125	40.625	15	abe	10.875	90.625
8	bce	0.250	46.875	16	abc	17.250	96.875

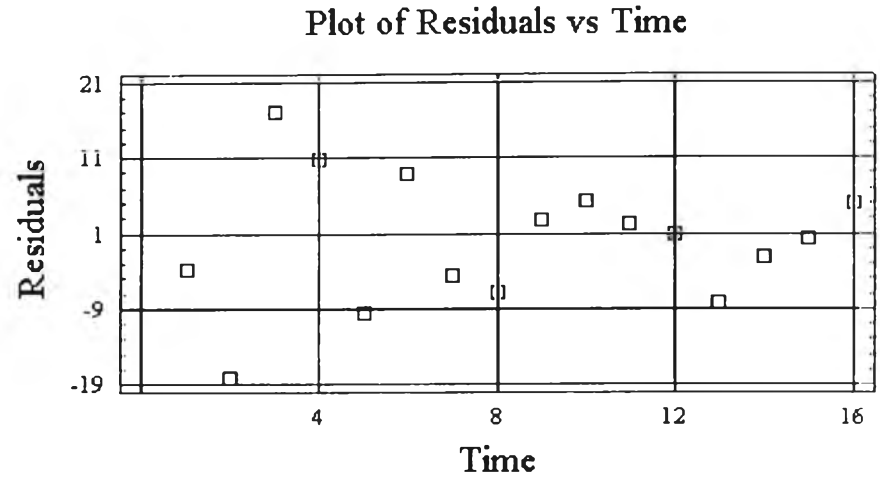


รูปที่ 6.2 กราฟระหว่างค่า Residual กับค่าความน่าจะเป็นของลำดับที่ (P_k)

จากรูปที่ 6.2 เป็นการนำค่าความคลาดเคลื่อน (Residuals) พล็อตคู่กับความน่าจะเป็นของลำดับ บนกระดาษ NOPP กราฟในรูปที่ 6.2 นี้ใช้ในการตรวจสอบข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ จากการพิจารณากราฟแล้วพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวประมาณได้เป็นเส้นตรง ทำให้สรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบปกติ

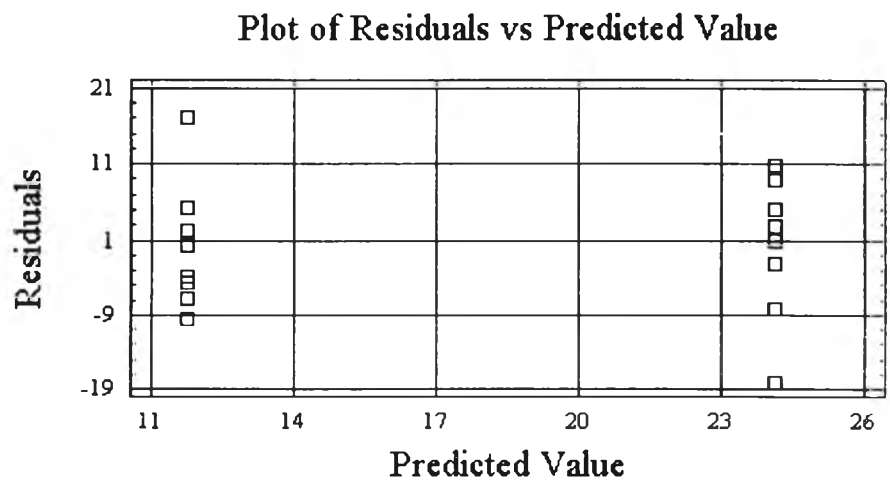
2. ตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของข้อมูล

ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลจะพิจารณาจากรูปแบบการกระจายตัวของค่า Residual ที่เวลาต่าง ๆต้องมีการกระจายตัวอย่างไม่มีรูปแบบ



รูปที่ 6.3 กราฟระหว่างค่าResidual กับ ลำดับเวลาที่ทำการทดลอง

จากรูปที่ 6.3 เป็นการตรวจสอบดูว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระหรือไม่ โดยกราฟที่ใช้ในการพิจารณาจะเป็นการพล็อตระหว่างค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กับลำดับที่ของการทำการทดลอง ซึ่งเมื่อสังเกตดูจากกราฟในรูปที่ 6.3 แล้วพบว่าความคลาดเคลื่อนของจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวที่เกิดขึ้นมีการกระจายตัวอย่างมีอิสระไม่มีรูปแบบ ซึ่งแสดงว่าข้อมูลที่ได้นั้นมีความอิสระต่อกัน (Independent) ตามหลักการของการวิเคราะห์



รูปที่ 6.4 กราฟระหว่างค่า Residual กับ Predicted Chip&Crack

3. ตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล

จากรูปที่ 6.4 เป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนหรือไม่ ซึ่งในการพิจารณาจะกราฟของการพล็อตระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าคาดหมายของจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่งของค่าคาดหมายทั้งสองจึงนำให้สรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

6.2.3 การวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองจากการทดลอง

จากข้อมูลในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญคือ ปัจจัย AE โดยในขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์ค่าของตัวแปรตอบสนองของปัจจัย A, E และ AE ที่มีอิทธิพลต่อค่าจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าว

ตารางที่ 6.7 *แสดงค่าเฉลี่ยรอยบิ่นรอยร้าว ที่ความเร็วรอบในการตัดทั้งสองค่า*

ความเร็วรอบในการตัด(rpm.)	ค่าเฉลี่ยรอยบิ่นและรอยร้าว
8,500	12.625
11,000	20.25

จากตารางที่ 6.7 ที่แสดงผลการตรวจสอบจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวที่เกิดขึ้นโดยพิจารณาที่ความเร็วรอบของใบมีดในการตัด (A) ทั้งสองค่า พบว่าค่าความเร็วรอบในการตัด กันจะมีผลต่อจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าว โดยที่เมื่อตัดด้วยความเร็วรอบในการตัด 8,500 rpm. จะทำให้จำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวมีค่าน้อยกว่าเมื่อตัดที่ความเร็วรอบในการตัด 11,000 rpm.

ตารางที่ 6.8 *แสดงค่าเฉลี่ยรอยบิ่นรอยร้าวที่ทิศทางในการตัดทั้งสองค่า*

ทิศทางในการตัด	ค่าเฉลี่ยรอยบิ่นและรอยร้าว
Taper - Pole	15.625
Pole - Taper	17.25

จากตารางที่ 6.8 ซึ่งแสดงผลของค่าเฉลี่ยจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวที่เกิดขึ้นโดยพิจารณาที่จากปัจจัย E ที่ระดับของปัจจัยทั้งสองค่า พบว่าค่าทิศทางในการตัดที่ต่างกันจะมีผลต่อจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าว โดยที่ทิศทางในการตัดจากด้าน Taper สู่ด้าน Pole จะมีทำให้จำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวน้อยกว่าเมื่อตัดอีกทิศทางหนึ่ง

ตารางที่ 6.9 แสดงค่าเฉลี่ยของรอยบิ่นและรอยร้าว โดยพิจารณาจากปัจจัยร่วม AE

	ความเร็วรอบในการตัด (rpm.)	
ทิศทางในการตัด	**8,500**	**11,000**
Taper - Pole	16.5	14.75
Pole - Taper	8.75	25.75

จากตารางที่ 6.9 แสดงข้อมูลจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวที่เกิดขึ้นโดยพิจารณาจากปัจจัยร่วม AE คือความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยความเร็วรอบในการตัดและทิศทางในการตัด ที่มีผลต่อจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวของหัวอ่านเขียนข้อมูล เมื่อพิจารณาจากค่าในตารางแล้วพบว่าเมื่อทำการตัดที่ความเร็วรอบ 8,500 rpm.โดยใช้ทิศทางการตัดเริ่มจากด้าน Pole ไปสู่ด้าน Taper จะทำให้มีจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวน้อยที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อแยกพิจารณาเป็นปัจจัยเดี่ยว เราจะเลือกทิศทางในการตัดจากด้าน Taper สู่ด้าน Pole แต่เมื่อพิจารณาจากปัจจัยร่วม AE จะทำให้เลือกทิศทางในการตัดอีกทิศทางหนึ่ง ที่เป็นเช่นนี้เพราะปัจจัยร่วม (Interaction) นั้นมีนัยสำคัญด้วย

6.2.4 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง

วัตถุประสงค์ในการทดลองครั้งนี้เพื่อลดจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวที่เกิดขึ้น จากการใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนในหัวข้อที่ผ่านมานั้น ทำให้สามารถหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดหัวอ่านเขียนข้อมูลฮาร์ดดิสก์ดังตารางที่ 6.10 โดยปัจจัยใดที่ไม่มีนัยสำคัญก็จะกำหนดให้ใช้ค่าในปัจจุบัน ดังนั้นจะมีการเปลี่ยนค่าเฉพาะปัจจัยA และ E

***ตารางที่ 6.10** เงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมจากการทดลอง*

ปัจจัย	สภาวะที่ใช้ในการตัด
1. ความเร็วรอบในการตัด (A)	8,500 (rpm.)
2. ความลึกของใบมีดในการตัด (B)	35 mil
3. อัตราการป้อนตัด (C)	4 inch/min
4. จำนวนครั้งในการลับมีด (D)	6 Pass
5. ทิศทางในการตัด (E)	Pole - Taper

หลังจากได้เงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมจากการทดลองแล้วก็จะนำเงื่อนไขของการตัดดังกล่าวไปทำการทดลองกับการตัดชิ้นงานจริงๆต่อไป

6.2.5 การทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง [9]

จากการนำสภาวะการตัดตามตารางที่ 6.10 ไปทดลองใช้งานกับงานจริงจำนวน 20 Pallet หรือ 52,000 ตัว พบว่าจะพบจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวเป็นจำนวน 142 ตัว โดยคิดเป็นสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.00273 โดยเปรียบเทียบกับสภาวะการตัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันที่มีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.003 ซึ่งได้นำไปทดสอบสมมติฐานดังนี้

H_0 : $p = 0.003$

H_1 : $p < 0.003$

$$z_0 = \frac{x - np_0}{\sqrt{np_0(1-p_0)}} = \frac{0.00273 - 52000 * 0.003}{\sqrt{52000 * 0.003(1-0.003)}} = -12.5085$$

โดยที่ใช้ a = 0.05 เปิดตารางหาค่า $-z_{\alpha} = -z_{0.05} = -1.645$

เนื่องจาก $z_0 < -z_{0.05}$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ค่าสัดส่วนของเสียที่ได้จากสภาวะการตัดจากการทดลอง มีค่าน้อยกว่าสภาวะการตัดที่ใช้ในปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญ

6.2.6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าปัจจัยร่วม AE คือปัจจัยร่วมระหว่าง ความเร็วรอบในการตัด และทิศทางในการตัด มีผลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวอย่างมีนัยสำคัญ จากค่าตัวแปรตอบสนองพบว่าความเร็วรอบที่ระดับต่ำจะให้คุณภาพของการตัดที่ดีกว่าความเร็วรอบที่ระดับสูง แสดงว่าความเร็วรอบที่ใช้ในการตัดแผ่น Wafer ไม่ควรใช้รอบสูงในการตัด เพราะถ้าใบมีดหมุนเร็วเกินไปอาจจะเกิดการเสียดสีเกิดความร้อนสะสม เป็นผลทำให้เกิดรอยบิ่นและรอยร้าวได้ ในด้านของปัจจัยทิศทางในการตัดนั้นพบว่าการเข้าตัดในสองทิศทางจะให้ผลไม่เหมือนกัน แสดงว่ารูปร่างของ Slider ทั้งสองด้านที่ไม่เหมือนกันอาจมีผลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวได้ ส่วนปัจจัยอื่นๆอีก 3 ปัจจัย นั่นถือว่าไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าปัจจัยอีก 3ตัวที่เหลือ มีอิทธิพลน้อยเมื่อเทียบกับสองปัจจัยข้างต้น และเมื่อได้นำสภาวะการตัดที่เหมาะสมดังกล่าวมาทำการทดลองเพื่อยืนยันผล จากการทดลองเพื่อยืนยันผลพบว่า การเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่จำนวนของเสียที่ลดลงยังไม่มากเพียงพอกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ แสดงว่าอาจมีปัจจัยอื่นๆอีกที่ไม่ได้ทำการควบคุม และมีอิทธิพลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าว

อย่างไรก็ตามเพื่อให้วัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้คือ ต้องการลดจำนวนของรอยบิ่นและรอยร้าวให้ลดลงดังนั้น ผู้ทำการทดลองจึงตัดสินใจที่จะทำการทดลองต่อไปเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อ

จำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวของหัวอ่านเขียนข้อมูล และมีนัยสำคัญเพียงพอที่จะทำให้จำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวลดลงได้อย่างเป็นรูปธรรม โดยจะทำการเลือกปัจจัยที่น่าสนใจเพิ่มขึ้นมาทำการทดลอง และดำเนินการตามลำดับของการทดลองที่ผ่านมาต่อไป

6.3 การทดลองเพิ่มเติม

การทดลองเพิ่มเติมนี้ จะทำการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมจากการทดลองครั้งแรก ซึ่งเป็นการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวโดยที่ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งหมด 5 ปัจจัย และได้สรุปผลการทดลองให้หัวข้อที่ผ่านมา การทดลองเพิ่มเติมจะมีทำการพิจารณาเลือกเพียงปัจจัยเดียวเท่านั้นมาทำการทดลองเพราะการทดลองแต่ละทรีทเม้นต์จะต้องเสียเวลามากในการเตรียมชิ้นงาน การตัดชิ้นงาน และการตรวจสอบก่อนตัดและหลังตัด แผนการทดลองของการทดลองเพิ่มเติมนี้จะดำเนินการเช่นเดียวกับการทดลองครั้งแรกทุกประการ

การออกแบบแผนการทดลองเพิ่มเติมมีขั้นตอนดังนี้

6.3.1 กำหนดปัญหาที่น่าสนใจ

ปัญหาที่จะใช้ในการพิจารณาคือ จำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวบริเวณแนวตัดด้านบนและวัตถุประสงค์ในการทำการทดลองคือ เพื่อจะหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวที่เกิดขึ้น จากนั้นนำผลของการทดลองไปช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าว

6.3.2 การเลือกปัจจัยที่จะทำการศึกษา

นอกจาก 5 ปัจจัยที่ทำการศึกษาไปแล้วในข้างต้น ผู้ทดลองได้ทำการศึกษาโดยพิจารณาว่าปัจจัยใดน่าจะมีผลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวอีก โดยปจจัยที่จะเลือกมาทำการทดลองควรจะทำให้จำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวลดลงอย่างเป็นรูปธรรม จากการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญในสายการผลิตที่กำลังศึกษาปัญหานี้อยู่ พบว่ามีอีกปัจจัยหนึ่งที่น่าสนใจและน่าจะมีผลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวของหัวอ่านเขียนข้อมูล คือ ความถี่ในการลับใบมีด เพราะมีการศึกษาเบื้องต้นมาบ้างแล้วว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าว และปัจจัยนี้จะส่งผลต่อความคมของใบมีดโดยตรง จะทำให้คุณภาพในการตัดดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปัจจัยนี้จะมีผลกระทบต่อรอบเวลาการผลิตคือ ทำให้รอบการผลิตสูงขึ้น เพราะเครื่องจะเสียเวลาลับมีดเพิ่มขึ้น โดยปัจจุบันใบมีดตัดนั้นจะถูกลับอยู่ 2 ช่วง คือ

1. การลับมีดครั้งใหญ่ คือจะทำการลับมีดทุกๆการตัด 3 Pallet โดยหินลับมีดที่มีความละเอียด 300 จำนวน 3 ก้อน และให้ใบมีดเดินตัด 8 ครั้ง (Pass) เพื่อทำการเปิดหน้าหินใหม่

2. การลับมีดระหว่างการตัดคือจะทำการลับมีดทุก ๆ การตัด 1 column โดยใช้หินลับมีดที่มีความละเอียด 600 จำนวน 1 ก้อน และให้ใบมีดเดินตัด 3 ครั้ง

ในการทดลอง ครั้งแรกพิจารณาปัจจัยการลับใบมีดในครั้งใหญ่โดยทำการทดลองเพิ่มและลดจำนวนครั้งในการเดินลับใบมีดคือ พิจารณาเรื่องระยะทางในการลับมีดแต่ละครั้ง แต่ไม่ได้เปลี่ยนความถี่ในการลับใบมีด และในการทดลองครั้งนี้จะเลือกปัจจัยการลับมีดระหว่างการตัดมาใช้ในการทดลอง โดยจะเปลี่ยนการลับมีดให้ถี่ขึ้นแต่จำนวนครั้งในการเดินลับใบมีดให้เท่าเดิม หรือน้อยลง ส่วนจำนวนหินและความละเอียดของหินลับมีดยังคงเดิม ซึ่งการที่ให้ใบมีดถูกลับถี่ขึ้น น่าจะทำให้ใบมีดคมอยู่ตลอดเวลาส่งผลให้การตัดหัวอ่านเขียนข้อมูลมีคุณภาพดีขึ้นคือจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวลดลง

การกำหนดระดับของปัจจัย (Levels)

การทดลองนี้จะกำหนดระดับของปัจจัย (Levels) เป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed Levels) เนื่องจากผู้ทดลองจะต้องกำหนดความถี่ในการลับใบมีดใหม่ให้เหมาะสมกับการผลิตจึงใช้ระดับของปัจจัยเป็นกำหนดตายตัว และจากการพิจารณาแล้วพบว่าความถี่ที่จะใช้ในการทดลองมีอยู่ 3 ระดับ คือ

ระดับที่ 1 ลับมีดทุก ๆ 1 Column และเดินตัดหินลับมีด 3 ครั้ง
ระดับที่ 2 ลับมีดทุก ๆ 1/2 Column และเดินตัดหินลับมีด 3 ครั้ง
ระดับที่ 3 ลับมีดทุก ๆ 1 Cut และเดินตัดหินลับมีด 1 ครั้ง
(1 Cut คือการตัด Slider ตลอดแนวครบ 25 ตัว 1ครั้ง)

6.3.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables)

ตัวแปรตอบสนองที่ใช้ในการทดลองคือจำนวนรอยบิ่น และรอยร้าวที่เกิดขึ้นในกระบวนรัดหัวอ่านเขียนข้อมูล ซึ่งจะทำการตรวจสอบชิ้นงานก่อนเข้าตัดและชิ้นงานหลังการตัด เพื่อให้ทราบจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวที่เกิดขึ้นในกระบวนการจริงๆ

6.3.4 การเลือกแบบการทดลอง

แผนการทดลองที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบมีปัจจัยเดียว (Single-Factor Analysis of Variance) คือการทดลองที่มีเพียงปัจจัยเดียว และมีระดับของปัจจัยทั้งหมด 3 ระดับ

หลักการที่ใช้ในการออกแบบการทดลองได้แก่

1. การทำแบบสุ่ม (Randomization)
2. การทดลองซ้ำ (Replication) ในการทดลองนี้จะใช้การทำซ้ำ 2 ครั้ง การทดลองแต่ละครั้งจะเสียเวลาเตรียมงาน การตัดและการตรวจสอบมาก

6.3.5 ดำเนินการทดลอง

การดำเนินการทดลองจะเป็นไปตามขั้นตอนในบทที่ 5

6.3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้หลักการทางสถิติ เพื่อให้การวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง จะถูกวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนตามหลักการของ Fisher

สมการตัวแบบที่ใช้ในการทดลองนี้คือ **[1]**

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad , \quad i = 1,2,\ldots\ldots,a \qquad j = 1,2,\ldots\ldots,n$$

และสมมติฐานที่ใช้ในการทดลองคือ

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_1 : \mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อยหนึ่งคู่ของ i และ j

หรือ

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = 0$

$H_0 : \tau_i \neq 0$ อย่างน้อยหนึ่งค่า i

หลังจากทำการเก็บข้อมูลแล้วต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบโดยจะนำข้อมูลจากการทดลองทำการพล็อตกราฟของความคลาดเคลื่อน (Residual Plot) และตรวจสอบดูว่ามีรูปแบบเป็นไปตามข้อกำหนดทางสถิติหรือไม่ หลังจากข้อมูลถูกตรวจสอบแล้วก็จะทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้ตารางที่ 4.3 ต่อไป

6.3.7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

หลังจากที่คำนวณค่าต่าง ๆ ในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้ว จากนั้นจะทำการสรุปว่าปัจจัยใดบ้างมีผลต่อจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวที่เกิดขึ้น

เราสามารถสรุปแผนการออกแบบการทดลองดังตารางที่ 6.11 ดังนี้

ตารางที่ 6.11 สรุปแผนการออกแบบการทดลองเพิ่มเติม

แผนการออกแบบการทดลองเพิ่มเติม

1. วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าว และหาเงื่อนไขในกระบวนการตัดแผ่นเวเฟอร์ที่เหมาะสม เพื่อลดจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวที่เกิดขึ้น

2. ข้อมูลพื้นฐาน

กระบวนการตัดเป็นกระบวนการทางกลใช้ใบมีดซึ่งมีความคมและทำให้หมุนด้วยความเร็วรอบค่าหนึ่งแล้วจึงเคลื่อนเข้าหาชิ้นงานที่ต้องการตัด ซึ่งในขณะตัดจะทำให้ชิ้นงานบริเวณนั้นหลุดออกและใช้น้ำหล่อเย็นเป็นตัวช่วยพาเศษงานตัดออกมา จากการพิจารณาเบื้องต้นพบว่าปัจจัยที่น่าจะมีอิทธิพลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าว คือ ความเร็วรอบในการตัดความลึกของใบมีดในการตัด อัตราการป้อนตัด จำนวนครั้งในการลับมีดและทิศทางในการตัด

3. ตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลอง

3.1 ตัวแปรตอบสนอง

จำนวนหัวอ่านเขียนข้อมูลที่เกิดรอยบิ่นหรือรอยร้าว โดยใช้การตรวจสอบด้วยสายตาผ่านกล้องขยาย 10 เท่า เพื่อทำการตัดสินใจ

3.2 ปัจจัย

ความถี่ในการลับมีดระหว่างการตัดใน 1 Column

ระดับที่1 ลับมีดทุก ๆ 1 Column และเดินลับมีด 3 ครั้ง

ระดับที่2 ลับมีดทุก ๆ 1/2 Column และเดินลับมีด 3 ครั้ง

ระดับที่1 ลับมีดทุก ๆ 1 Cut และเดินลับมีด 1ครั้ง

3.3 ปัจจัยที่ควบคุม

1. เครื่องจักรที่ใช้ในการตัด
2. กล้องที่ใช้ตรวจ
3. ผู้ตรวจสอบชิ้นงาน
4. ชนิดของแผ่นเวเฟอร์

4. จำนวนซ้ำ

การทดลองมีการทำซ้ำ 2 ครั้ง การทดลองทั้งหมดมี 3x2 = 6 สภาวะ

5. เมตริกการออกแบบการทดลอง

เมตริกการออกแบบการทดลอง แสดงดังตารางที่ 6.12

6. วิธีการสุ่ม

ทำการสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomization) ในการทดลอง ตามตารางที่ 6.13

7. ตารางบันทึกผล

ใช้แบบฟอร์มเดียวกับเมตริกการออกแบบการทดลอง

ตารางที่ 6.11 สรุปแผนการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

8. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

   การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

   กราฟตัวแปรตอบสนอง (Response Plot)

   กราฟค่าเรสซิดวล (Residual Plot)

9. อื่น ๆ

ตารางที่ 6.12 เมตริกการออกแบบการทดลองเพิ่มเติม

ความถี่ในการลับมีดระหว่างการตัดใน 1 Column	ครั้งที่1	ครั้งที่2
1. ลับมีดทุกๆ 1 Column และเดินลับมีด 3ครั้ง	17	15
2.ลับมีดทุกๆ 1/2 Column และเดินลับมีด 3ครั้ง	11	12
3.ลับมีดทุกๆ 1 Cut และเดินลับมีด 1ครั้ง	6	5

ตารางที่ 6.13 ลำดับการทดลองอย่างสุ่ม

ความถี่ในการลับมีดระหว่างการตัดใน 1 Column	ครั้งที่1	ครั้งที่2
1. ลับมีดทุกๆ 1 Column และเดินลับมีด 3ครั้ง	ลำดับที่1	ลำดับที่4
2.ลับมีดทุกๆ 1/2 Column และเดินลับมีด 3ครั้ง	ลำดับที่3	ลำดับที่2
3.ลับมีดทุกๆ 1 Cut และเดินลับมีด 1ครั้ง	ลำดับที่6	ลำดับที่5

6.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองเพิ่มเติม [1]

6.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เป็นการนำอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ มาทำการวิเคราะห์โดยใช้หลักการของ Fisher โดยกำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบที่ α=0.05 ข้อมูลจากการทดลองอยู่ในตารางที่ 6.12

ผลการคำนวณในการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ 6.14

ตารางที่ 6.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการทดลองเพิ่มเติม

Source of variation	Sum of Square	df	Mean Square	F_0	P-Value
ความถี่ในการลับมีด	111	2	55.5	55.5	0.004
ความคลาดเคลื่อน	3	3	1		
ทั้งหมด	114	5			

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ปัจจัยความถี่ในการลับมีดมีนัยสำคัญที่ α > 0.004 นั่นคือระดับของปัจจัยที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวอย่างมีนัยสำคัญ

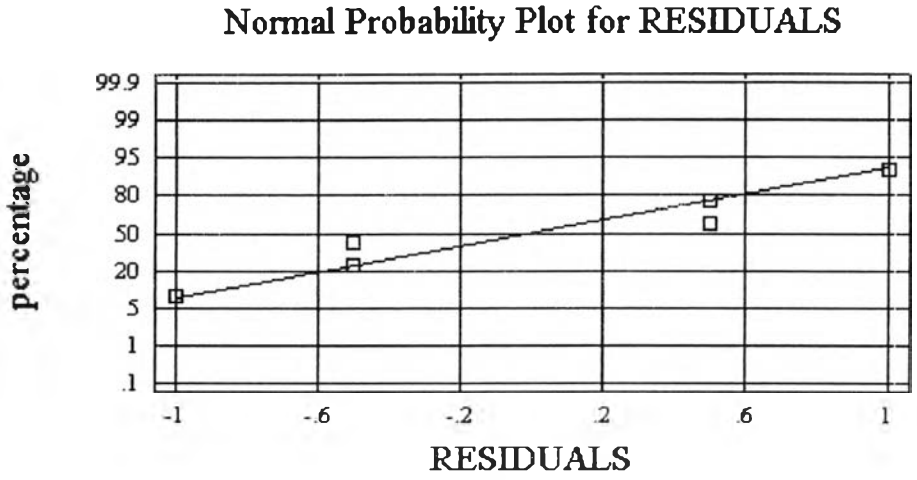
6.4.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ **[1]** เป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าข้อมูลจากการทดลองเป็นไปตามหลักการทางสถิติของการวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือไม่ ซึ่งจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล โดยค่าความคลาดเคลื่อน (Residuals) ต้องมีรูปแบบการกระจายเป็นแบบปกติ และเป็นอิสระต่อกัน $\in ij \sim NID(0,\sigma^2)$ ซึ่งการตรวจสอบนี้จะทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากขึ้น มีคุณสมบัติ 3 ประการที่ต้องทำการตรวจสอบคือ

1. ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution)
2. ข้อมูลมีความอิสระ (Independent)
3. ข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

คุณสมบัติทั้ง 3 ข้อสามารถทำการตรวจสอบได้จากการพล็อตค่าความคลาดเคลื่อน (Residual Plot) ดังนี้

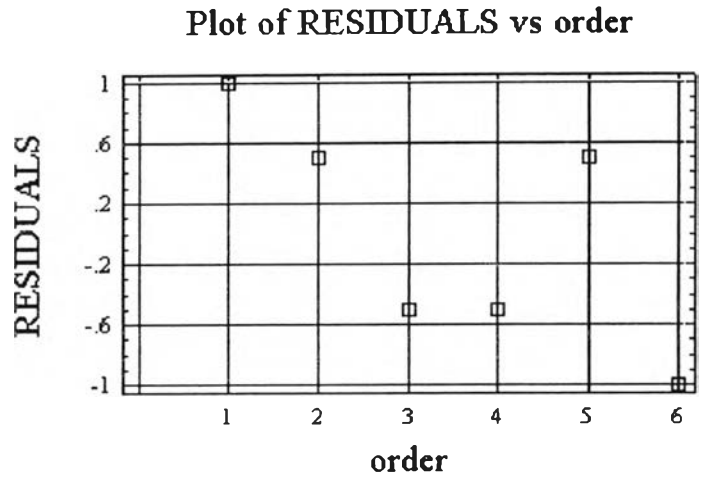
1. การตรวจสอบการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution)ของข้อมูล



***รูปที่ 6.5** กราฟค่า Residuals พล็อตคู่กับความน่าจะเป็นของลำดับที่*

จากรูปที่ 6.5 เป็นการนำค่าความคลาดเคลื่อน (Residuals) พล็อตคู่กับความน่าจะเป็นของลำดับที่ของความคลาดเคลื่อนที่เรียงจากน้อยไปหามาก บนกระดาษ NOPP ซึ่งจากการพิจารณากราฟในรูปที่ 6.5 จะพบว่าข้อมูลมีลักษณะแนวโน้มเป็นเส้นตรง ทำให้สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบปกติ (Normal Distribution)

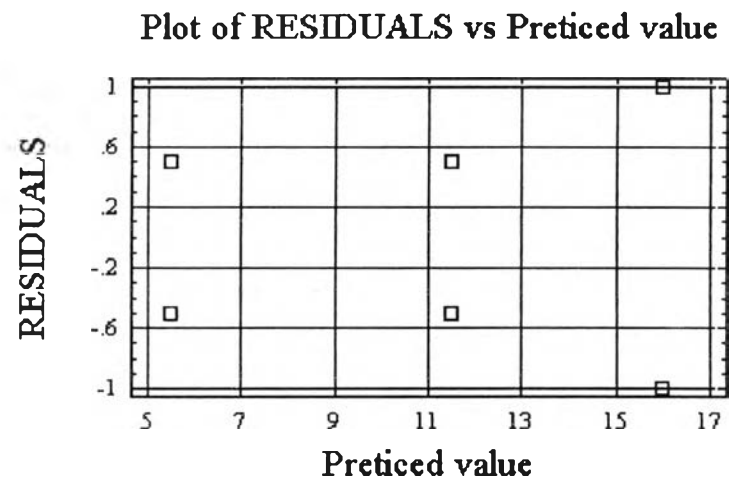
2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent)ของข้อมูล



รูปที่ 6.6 กราฟระหว่างค่า Residual กับ ลำดับที่ของการทำการทดลอง

จากรูปที่ 6.6 แสดงกราฟการพล็อตระหว่างค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กับลำดับที่ของการทำการทดลอง ซึ่งกราฟนี้จะใช้ในการพิจารณาว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระหรือไม่ และจากการพิจารณากราฟดังกล่าวจะเห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวอย่างไม่มีรูปแบบแสดงว่าข้อมูลที่ได้นั้นมีความเป็นอิสระ ตามหลักการของการวิเคราะห์ความแปรปรวน

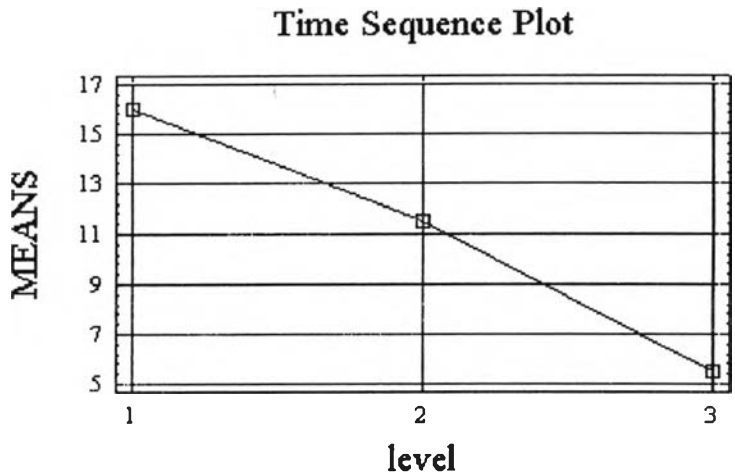
3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล



รูปที่ 6.7 กราฟระหว่างค่า Residual กับ ค่าคาดหมายของจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าว

จากรูปที่ 6.7 แสดงกราฟการพล็อตระหว่างค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าคาดหมายของจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวที่เกิดขึ้น จากการพิจารณากราฟพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่งของค่าคาดหมายทั้ง 3 ค่านั้นมีความกว้างใกล้เคียงกันและไม่มีลักษณะเป็นการเพิ่มขึ้นหรือลดลง (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

6.4.3 การวิเคราะห์กราฟตัวแปรตอบสนองของจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าว



รูปที่ 6.8 กราฟระหว่างค่าเฉลี่ยรอยบิ่นและรอยร้าวกับระดับของปัจจัยทั้ง 3 ระดับ

จากข้อมูลในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าปัจจัยความถี่ในการลับมีด (A) มีนัยสำคัญ จากนั้นนำมาเขียนกราฟระหว่างค่าของจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวกับระดับของปัจจัยทั้ง 3 ระดับ ดังในรูปที่ 6.8 และเมื่อทำการพิจารณากราฟรูปที่ 6.8 พบว่าแนวโน้มของจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวจะลดลงเมื่อเพิ่มความถี่ในการลับมีด และสามารถสรุปได้ว่าที่ความถี่ในการลับมีดทุกๆ 1 Cut (ระดับของปัจจัยที่ 3) จะทำให้จำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวน้อยที่สุด ซึ่งจะนำมาใช้เป็นเงื่อนไขของการตัดที่เหมาะสมในการตัด และจะทำการทดลองเพื่อยืนยันผลในขั้นตอนต่อไป

6.4.4 การทดลองเพื่อยืนยันผลจากการออกแบบการทดลองเพิ่มเติม [9]

หลังจากที่ได้สภาวะการตัดที่เหมาะสมจากการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมาจึงได้นำมาทดลองตัดกับงานจริงโดยเปลี่ยนความถี่ในการลับมีดเป็นลับใบมีดทุก ๆ 1 Cut คือ หลังจากตัดครบ 25 Bar แล้วจะเคลื่อนที่ใบมีมาทำการลับที่หินขนาด 600 จำนวนหนึ่งก้อน โดยเดินตัดผ่านหินลับมีดเพียงครั้งเดียว การทดลองในครั้งนี้เก็บข้อมูลจากการตัดหัวอ่านเขียนข้อมูลจำนวน 20 pallel หรือ 52,000 ตัว พบว่ามีจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวเกิดขึ้นจำนวน 60 ตัว คิดเป็นสัดส่วน

ของเสียเท่ากับ 0.001 โดยเปรียบเทียบกับสภาวะการตัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันที่มีสัดส่วนของเสียเท่ากับ 0.003 ซึ่งได้นำไปทดสอบสมมติฐานดังนี้

H_0 : p = 0.003

H_1 : p < 0.003

$$z_0 = \frac{x - np_0}{\sqrt{np_0(1-p_0)}} = \frac{0.001 - 52000 * 0.003}{\sqrt{52000 * 0.003(1-0.003)}} = -12.5087$$

โดยที่ใช้ α = 0.05 เปิดตารางหาค่า $-z_{\alpha} = -z_{0.05} = -1.645$

เนื่องจาก $z_0 < -z_{0.05}$ จึงปฏิเสธ H_0 นั่นคือ ค่าสัดส่วนของเสียที่ได้จากสภาวะการตัดจากการทดลอง มีค่าน้อยกว่าสภาวะการตัดที่ใช้ในปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญ

6.4.5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองเพิ่มเติม

จากการทดลองเพิ่มเติมพบว่าปัจจัยความถี่ในการลับมีดมีอิทธิพลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาจากกราฟในรูปที่ 6.8 จะเห็นว่าแนวโน้มของจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวจะลดน้อยลงเมื่อเพิ่มความถี่ในการลับมีด แสดงว่าการที่มีการลับใบมีดถี่ขึ้นนั้น จะเป็นการทำให้มีการเปิดหน้าหินใหม่ถี่ขึ้น ใบมีดจะคมอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้คุณภาพในการตัดงานดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการลับมีดถี่ขึ้นจะทำให้เวลาของการตัดเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรจะพิจารณาในการใช้งานจริงต่อไป

จากผลของการทดลองเพื่อยืนยันผลของการทดลองเพิ่มเติม พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของเสียลดลงจากกระบวนการตัดแบบเดิม ซึ่งกระบวนการตัดแบบเดิมมีเปอร์เซ็นต์ของจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวประมาณ 0.3% แต่เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความถี่ในการลับมีดระหว่างการตัด จากต้องลับมีดทุก ๆ 1 Column และเดินลับมีด 3 ครั้ง เปลี่ยนมาเป็นลับทุก ๆ 1 Cut คือ เมื่อตัดผ่าน Bar ทั้ง 25 Bar แล้ว จะทำการลับมีด 1 ครั้ง โดยจะเดินลับมีดเพียง 1 ครั้ง ทำให้เปอร์เซ็นต์ของจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวลดลงเหลือเพียง 0.1% ซึ่งเป็นค่าที่มีนัยสำคัญเพียงพอในการนำไปใช้งานจริงสำหรับกระบวนการตัดหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์

6.5 สรุป

จากการออกแบบการทดลองทั้งสองครั้ง และการทดลองเพื่อยืนยันผลทั้งสองครั้ง ปรากฏว่าสามารถลดจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวลงได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ซึ่งจากการดำเนินการทดลองทั้งสองครั้งนี้มีข้อจำกัดในทางปฏิบัติ และข้อเสนอแนะต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการดำเนินการทดลองมากพอสมควร โดยจะทำการสรุปไว้ในบทต่อไป