

บทที่ 4

การทดลอง

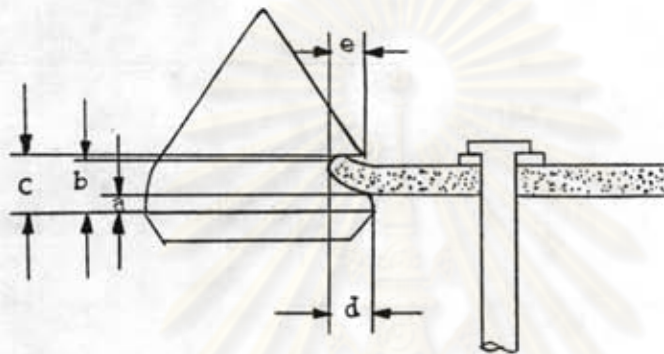
เพื่อเป็นการตรวจสอบเครื่องเซาะร่องเม็ดพลอยที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมา จึงได้ทำการทดลองเครื่องเซาะร่องเม็ดพลอย โดยการเซาะร่องจริงบนเม็ดพลอยที่ความเร็วรอบ ความเร็วป้อนตัด และความลึกในการตัดที่ระดับต่างๆกันภายในขอบเขตที่ได้ทำการวิเคราะห์ไว้แล้วในบทที่ 2 ทั้งนี้ลำดับของการเซาะร่องจะได้นำเอาหลักการลุ่มตัวอย่างทางสถิติมาใช้ (Hicks, 1973) เพื่อเป็นการลดผลกระทบของสภาพของล้อหินเจียรระไนที่จะมีต่อการเซาะร่อง ทำให้สามารถศึกษาผลกระทบของความเร็วรอบ และความเร็วป้อนตัดที่เหมาะสมในการเซาะร่องได้

การทดลองเซาะร่องเม็ดพลอยประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง โดยที่การทดลองชุดที่หนึ่งและสองเป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงผลกระทบต่อสภาพของร่องที่เซาะอันเนื่องมาจากตัวแปรต่างๆ เพื่อเป็นการยืนยันและใช้ในการปรับช่วงการทดลองในครั้งต่อไป ตลอดจนถึงค่ามิติต่าง ๆ ของร่องที่จะต้องนำมาใช้เป็นเกณฑ์วัดคุณภาพของร่องที่เซาะ ทั้งนี้เนื่องจากว่าข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเซาะร่องบนเม็ดพลอยจริง ๆ ยังไม่ทราบมาก่อนเลย

เนื่องจากความเสียหายของปากร่องในการเซาะร่องชุดที่หนึ่งและสองที่ความเร็วป้อนตัดสูง ๆ เกิดขึ้นมาก จึงกำหนดการทดลองชุดที่สามขึ้นเพื่อทดลองหาขอบเขตของความเร็วป้อนตัดสูงสุดที่จะใช้ในการทดลองครั้งต่อไป การทดลองชุดที่สี่จะนำผลสรุปที่เกี่ยวกับมิติต่าง ๆ ที่สำคัญเพื่อกำหนดเป็นตัวแปรในการวิเคราะห์ผลการเซาะร่องว่าร่องที่ทำการเซาะมีคุณสมบัติดีหรือไม่ ผลจากการทดลองครั้งนี้จะถูกวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อดูอิทธิพลของความเร็วรอบและความเร็วป้อนตัด การทดลองชุดที่ห้าจะเป็นการทดลองเพื่อสนับสนุนผลของการทดลองครั้งก่อน ๆ

4.1 ลักษณะของร่องที่เจาะบนเม็ดพลอย

เพื่อให้สามารถจำแนกสภาพของร่องที่ทำการเจาะบนเม็ดพลอยในเชิงปริมาณได้โดยวิธีทางสถิติ จึงต้องกำหนดมิติต่าง ๆ ของร่องที่จะวัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ดังรายละเอียดแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงระยะต่างๆ บนเม็ดพลอยที่ทำการวัด

- a = ตำแหน่งที่ทำการเจียรระโนเจาะร่องเม็ดพลอย [มม]
- b = ระยะกึ่งกลางของร่อง [มม]
- c = ขอบบนสุดของร่อง [มม]
- d = ค่าความลึกที่ล้อยินเจียรระโนเริ่มเข้าเจียรระโนเม็ดพลอย วัดที่บริเวณผิวเอียงด้านล่างของเม็ดพลอย
- e = ค่าความลึกที่ล้อยินเจียรระโนเริ่มเข้าเจียรระโนเม็ดพลอย วัดที่บริเวณผิวเอียงด้านบนของเม็ดพลอย

ระยะมิติต่างๆ เหล่านี้ จะวัดโดยใช้กล้องขยาย NIKON ขนาดกำลังขยาย 100 เท่า ซึ่งมีอุปกรณ์ถ่ายภาพเพื่อใช้แสดงผลเป็นหลักฐานได้ด้วย

ระยะมิติที่วัดได้จากร่อง จะใช้ในการคำนวณค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานของร่องในการยึดเม็ดพลอยติดกับตัวเรือน

ความกว้างของร่องที่ทำการเจียรระโน (WIDTH OF CUT)

$$= c - a \quad [\text{ มม }]$$

(4.1)

ความโค้งงอที่เกิดขึ้นของล้อหินเจียรไน (DEFLECTION OF GRINDING WHEEL)

$$= b - a - \frac{\text{ความหนาของล้อหินเจียรไน}}{2} \quad [\text{มม}] \quad (4.2)$$

ความลึกของร่องที่ทำการเจียรไน (DEPTH OF CUT) = $\frac{d + e}{2}$ [มม] (4.3)

ค่าที่วัดจากร่องที่เซาะ โดยช่างฝีมือที่ชำนาญและสามารถนำไปใช้งานได้จะมีค่าโดยประมาณคือ

$$\begin{aligned} \text{ความกว้างของร่องที่เจียรไน} &= 0.2 - 0.3 \quad \text{มม.} \\ \text{ความลึกของร่องที่ทำการเจียรไน} &= 0.2 - 0.3 \quad \text{มม.} \\ \text{ระยะที่ทำการเจียรไน (a)} &= 0 - 0.15 \quad \text{มม.} \end{aligned}$$

ซึ่งมีค่าเหล่านี้จะกำหนดให้เป็นคุณลักษณะของร่องที่ต้องการในการทดลอง

4.2 การทดลองชุดที่ 1

ในการทดลองครั้งนี้ทำการเซาะร่องเม็ดพลอยสีน้ำเงินขนาด 2.0 - 2.4 มม. ลักษณะสี่เหลี่ยมจัตุรัสจำนวน 24 เม็ด โดยการเซาะร่องเม็ดละ 1 ร่อง รวมเป็นจำนวนร่องทั้งหมด 24 ร่อง การทดลองจะเริ่มโดยใช้ล้อหินเจียรไนใหม่ ซึ่งลำดับของการเซาะร่องที่เงื่อนไขของการตัดต่าง ๆ จะเลือกโดยแบบสุ่มทางสถิติ (RANDOMIZATION) ดังแสดงลำดับไว้ในตารางที่ 4.1 การทดลองนี้จะเป็นการเซาะร่องโดยไม่ใช้สารหล่อเย็น และทำการบ้อนตัดครั้งละ 0.2 มม.

ตารางที่ 4.1 ลำดับขั้นตอนในการทดลองชุดที่ 1

RPM FEED [mm/s]	10,000	11,000	12,000	13,000	14,000	15,000
0.1	4	11	15	2	17	6
0.2	14	1	20	13	8	22
0.3	10	21	23	7	24	18
0.4	3	16	12	19	5	9

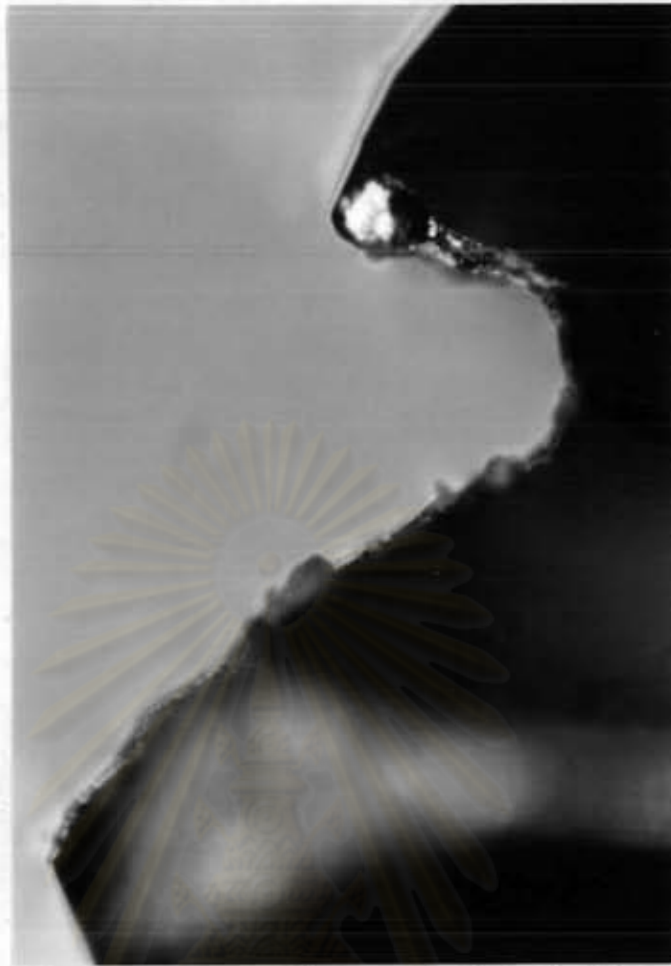
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองเมื่อนำร่องที่ทำการเซาะไปวัดมิติต่างๆด้วยกล้องขยาย ปรากฏคุณลักษณะของร่อง แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเซาะร่องเม็ดพลอยชุดที่ 1

RPM FEED [mm/s]		10,000	11,000	12,000	13,000	14,000	15,000
		0.1	DEPTH OF CUT	0.21	0.28	0.19	0.25
WIDTH	0.50		0.49	0.33	0.55	0.40	0.48
DEFLECTION	0.15		0.29	0.14	0.31	0.21	0.29
0.2	DEPTH OF CUT	0.25	0.19	0.20	0.23	0.24	0.28
	WIDTH	0.50	0.35	0.70	0.35	0.43	0.30
	DEFLECTION	0.25	0.13	0.41	0.18	0.21	0.13
0.3	DEPTH OF CUT	0.15	0.31	0.30	0.19	0.14	0.25
	WIDTH	0.50	0.58	0.57	0.27	0.40	0.38
	DEFLECTION	0.21	0.31	0.33	0.06	0.24	0.18
0.4	DEPTH OF CUT	0.13	0.32	0.30	0.23	0.22	0.20
	WIDTH	0.40	0.65	0.48	0.60	0.40	0.45
	DEFLECTION	0.21	0.41	0.24	0.34	0.10	0.23

จากผลของการตรวจสอบด้วยกล้องขยายจะพบว่า การเจียรในเซาะร่องแบบแห้ง โดยใช้การป้อนตัดขนาดความลึก 0.20 มม. เลขนั้น ปรากฏว่ามีการแตกของปากร่อง ที่ความเร็วป้อนตัดทุกค่าตั้งแต่ 0.1- 0.4 มิลลิเมตรต่อวินาที และทุกความเร็วรอบ 10,000 - 15,000 รอบต่อนาที ซึ่งแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.2 - 4.3 ทำให้การวัด



รูปที่ 4.2 แสดงถึงการแตกของร่องที่ทำการเจียรระไนโดยไม่ใช้สารหล่อเย็น



รูปที่ 4.3 แสดงถึงการแตกของร่องที่ทำการเจียรระไนโดยไม่ใช้สารหล่อเย็น

ขนาดของร่องผิดพลาดไปมาก โดยเฉพาะที่ความเร็วบ่อนตัดสูงเช่น ๐.3 - ๐.4 มิลลิเมตร ต่อวินาที ก็ยังพบการแตกเสียหายของร่องสูงขึ้นเรื่อยๆ สาเหตุของการแตกของปากร่อง คาดว่าเกิดจากความร้อนในการเจียรระไน ดังนั้นจึงสรุปว่าไม่ควรดำเนินการทดลองเจียรระไนในลักษณะนี้อีกต่อไป

4.3 การทดลองชุดที่ 2

ในการทดลองชุดที่ 2 ได้ใช้สารหล่อเย็นคือน้ำช่วยในการเจียรระไนเซาะร่องโดยใช้ ฟองน้ำชุบน้ำหุ้มเม็ดนลอยขณะทำการเซาะร่อง และลดความลึกในการบ่อนตัดลงมาเป็นครึ่ง ละเอียด ๐.1๐ มม. โดยบ่อนตัดให้ไปกลับครึ่งละ 1 เที้ยว เพื่อให้ได้ความลึก ๐.2 มม.

การทดลองนี้ได้เพิ่มจำนวนร่องที่จะเซาะมากขึ้นเป็น 96 ร่อง โดยที่แต่ละเงื่อนไขของการทดลองจะทำการเซาะร่อง 4 ร่อง ทั้งนี้แต่ละลำดับของการทดลองก็คือลำดับที่ต้องทำการเจียรระไนเม็ดนลอยแต่ละเม็ด โดยจะทำการเจียรระไนทั้ง 2 ร่องตรงข้ามกันของ แต่ละเม็ด และจะทำการทดลองในแบบต่อไปนี้กับการทดลองในลำดับต่อไปด้วย ทั้งนี้ลำดับการทดลองยังคงใช้วิธีการทางสถิติ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ลำดับขั้นตอนในการทดลองชุดที่ 2

SPEED(RPM) FEED(mm/s)	10,000	11,000	12,000	13,000	14,000	15,000
0.1	12	38	9	3	26	10
	30	25	31	17	18	39
0.2	7	1	16	24	37	5
	29	40	32	27	11	19
0.3	43	22	13	34	2	48
	8	20	42	47	45	36
0.4	46	4	41	6	44	14
	33	21	15	35	23	28

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.4 เป็นขนาดของร่องที่ทำการเซาะร่องด้วยความเร็วป้อนตัดตั้งแต่ 0.1 - 0.4 มิลลิเมตรต่อวินาที ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อ นาที ซึ่งจะพบว่ายังปรากฏความแตกต่างกันระหว่างร่องที่เซาะได้ค่อนข้างสูง และยังมีการแตกร้าวของปากร่องที่ทำการเซาะที่ความเร็วป้อนตัดสูงคือ 0.3 - 0.4 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยที่ผลการทดลองแต่ละเงื่อนไขของการทดลองชุดที่ 2 แสดงอยู่ในภาคผนวก ง ตารางที่ 4.5 จะแสดงค่าเฉลี่ยของผลการทดลองในแต่ละเงื่อนไข

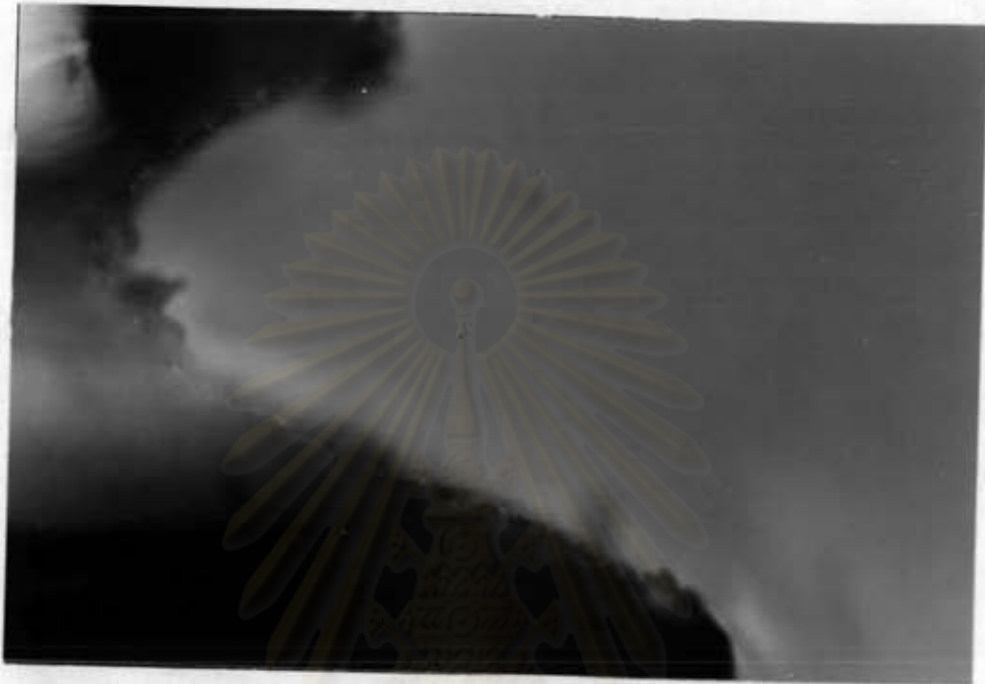
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเซาะร่องเม็ดนลอยชุดที่ 2

RPM		10,000			
		1	2	3	4
Feed [mm/s]					
0.1	DEPTH OF CUT	0.21	0.26	0.25	0.30
	WIDTH	0.50	0.40	0.40	0.42
	DEFLECTION	0.15	0.17	0.19	0.17
0.2	DEPTH OF CUT	0.25	0.29	0.28	0.27
	WIDTH	0.50	0.54	0.54	0.46
	DEFLECTION	0.25	0.29	0.29	0.21
0.3	DEPTH OF CUT	0.15	0.25	0.21	0.19
	WIDTH	0.50	0.42	0.38	0.44
	DEFLECTION	0.21	0.19	0.13	0.21
0.4	DEPTH OF CUT	0.13	0.28	0.37	0.25
	WIDTH	0.40	0.46	0.60	0.44
	DEFLECTION	0.21	0.25	0.21	0.25

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองชุดที่ 2

SPEED(RPM) FEED(mm/s)	10,000	11,000	12,000	13,000	14,000	15,000
DEPTH OF CUT	0.26	0.23	0.24	0.18	0.23	0.24
0.1 WIDTH	0.43	0.51	0.37	0.41	0.38	0.57
DEFLECTION	0.17	0.21	0.15	0.17	0.17	0.26
DEPTH OF CUT	0.28	0.27	0.28	0.23	0.29	0.33
0.2 WIDTH	0.51	0.40	0.55	0.38	0.45	0.43
DEFLECTION	0.26	0.18	0.28	0.22	0.22	0.19
DEPTH OF CUT	0.20	0.29	0.30	0.21	0.23	0.24
0.3 WIDTH	0.44	0.54	0.57	0.41	0.44	0.43
DEFLECTION	0.19	0.34	0.33	0.20	0.21	0.21
DEPTH OF CUT	0.26	0.28	0.40	0.25	0.35	0.26
0.4 WIDTH	0.48	0.46	0.50	0.51	0.56	0.50
DEFLECTION	0.23	0.35	0.26	0.29	0.28	0.29

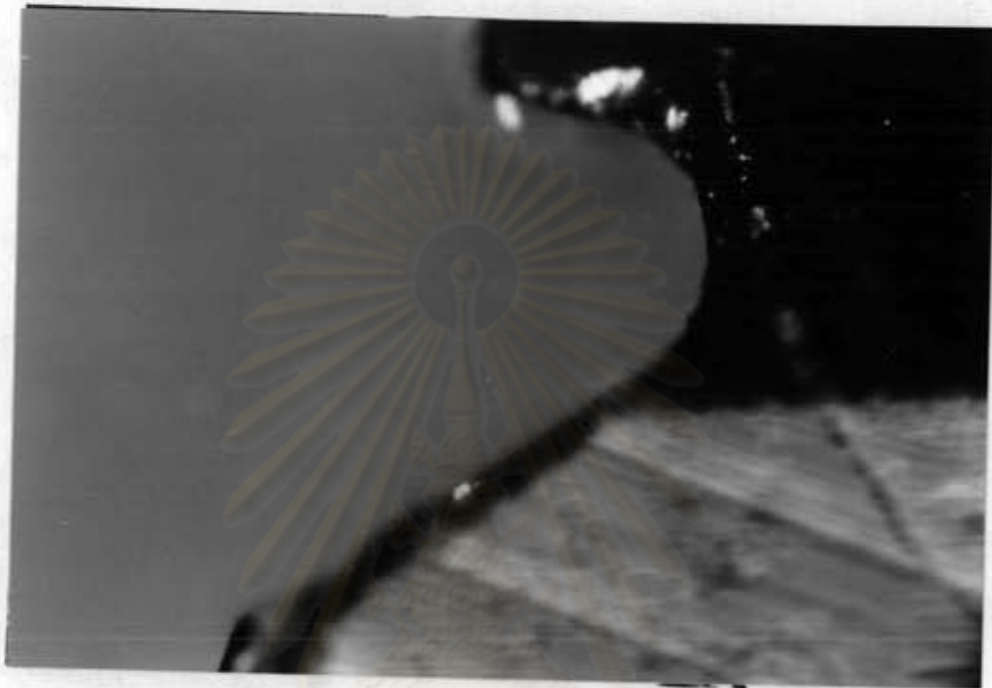
เนื่องจากปากร่องที่ทำการทดลองมีการแตกเกิดขึ้นมากที่ความเร็วป้อนตัด 0.3 - 0.4 มิลลิเมตรต่อวินาที ทั้งๆที่มีการใช้สารหล่อเย็นแล้ว ส่วนร่องเม็ดนลอยที่ความเร็วป้อนตัด 0.1 - 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที มีการแตกกระเทาะบริเวณปากร่องเพียงเล็กน้อยดังพิจารณาได้จากรูปที่ 4.4 - 4.7 จึงได้นำตัวอย่างของเม็ดนลอยที่ทำการเซาะร่องทั้งหมด ไปให้ช่างที่ทำการฝังพิจารณาคุณลักษณะของร่องที่ทำการเซาะ ซึ่งจะสรุปผลที่ได้จากช่างโดยพิจารณาถึงขนาดของร่องเม็ดนลอยที่ใช้ได้จากการบอกกล่าวของช่างดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.4 ปากร่องที่แตก ในช่วงความเร็วป้อนตัด 0.3 -0.4 มิลลิเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.5 ปากร่องที่แตก ในช่วงความเร็วป้อนตัด 0.3 -0.4 มิลลิเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.6 ร่องที่ตีในช่วงความเร็วบ่อนตัด 0.1 -0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.7 ร่องที่ตีในช่วงความเร็วบ่อนตัด 0.1 -0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที

เม็ตพลอยขนาด 2.0 - 2.1 มม.

ความลึก (DEPTH OF CUT) ค่าเฉลี่ย 0.29 มม. ค่าเบี่ยงเบน 0.04 มม.

ความกว้าง (WIDTH) ,, 0.425 มม. ,, 0.03 มม.

ค่าความโค้งงอของใบ (DEFLECTION) ,, 0.19 มม. ,, 0.04 มม.

เม็ตพลอยขนาด 2.3 - 2.4 มม.

ความลึก (DEPTH OF CUT) ค่าเฉลี่ย 0.31 มม. ค่าเบี่ยงเบน 0.03 มม.

ความกว้าง (WIDTH) ,, 0.49 มม. ,, 0.04 มม.

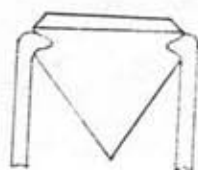
ค่าความโค้งงอของใบ (DEFLECTION) ,, 0.25 มม. ,, 0.04 มม.

จากข้อมูลอื่นที่ได้จาก นายช่างฝังพลอยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ความสูงของร่องเม็ตพลอยหรือระยะ a ก็คือ ระยะที่บริเวณกันเม็ตพลอยที่เกิดการเอียงขึ้นแล้ว เพราะจะเป็นจุดที่ขาจับจะเข้าจับกับเม็ตพลอยได้ดังรูปที่ 4.8



(ก)
รูปที่ 4.8



ขาจับจะหุบเข้าที่เดิมเมื่อจับ
เข้ากับร่องที่ทำการเซาะ

(ข)
รูปที่ 4.8

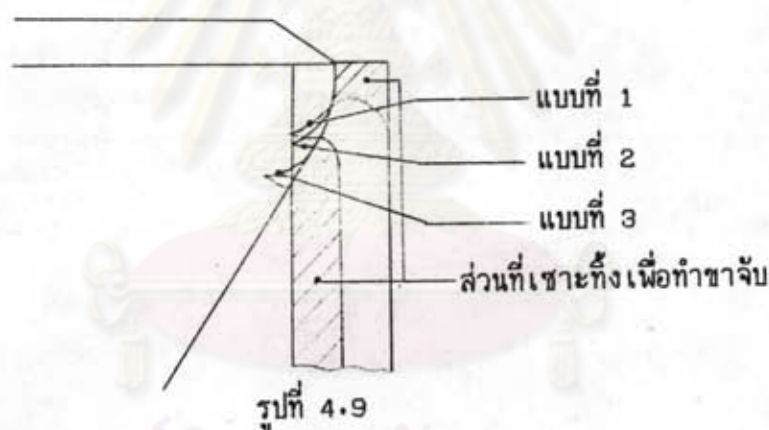
ระยะ a นิยมเจียรระไนที่บริเวณแกนของเม็ดพลอยที่เริ่มเอียงขึ้นเพราะจะทำให้ขาจับถ่างออกเพียงเล็กน้อย ทำให้เกิดแรงภายในขาจับไม่มากเกินไปจนกระทั่งบีบเม็ดพลอยจนแตก จึงจะถือเอา จุดนี้เป็นมาตรฐานในการเจียรระไนทุกครั้ง และระยะ a ยังแปรผันตามขนาดของขาจับก่อนขึ้นรูป ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.9 ซึ่งจะทำให้เกิดร่องแบ่งออกได้เป็น 3 แบบด้วยกันคือ

แบบที่ 1 ร่องปกติ ล้อหินเจียรระไนค่าความโค้งงอไม่มาก

แบบที่ 2 ร่องปกติ ล้อหินเจียรระไนเริ่มทื่อ ค่าความโค้งงอมากขึ้น

แบบที่ 3 ร่องตื้นต่ำกว่าขอบบน

จะพบว่าระยะ a แปรผันไปตามขนาดของขาจับจนถึงระยะสุดท้าย เพราะจะทำให้ขาจับบีบเม็ดพลอยตื้นขึ้น และจะจับเม็ดพลอยไม่ติด ปกติระยะ a จะอยู่ที่ประมาณ 0 - 0.15 มม.



รูปที่ 4.9

2. ความกว้างของร่องควรจะอยู่ในช่วง 0.3 - 0.4 มม. สำหรับเม็ดพลอยขนาด 2.0 - 2.4 มม. แต่ช่างที่ตรวจสอบได้ให้ข้อแนะนำว่า สามารถที่จะทำให้ขาจับเม็ดพลอยมีขนาดใหญ่ขึ้นได้ เพื่อที่จะได้ลดการสูญเสียของเม็ดพลอย แต่ก็จะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น ซึ่งทำให้ความกว้างของร่องเม็ดพลอยที่ได้ มีความกว้างได้ถึง 0.53 มม.

3. ความเสียหายของร่องเม็ดพลอยแบ่งออกเป็น

3.1 เจียรระไนผิดตำแหน่ง ซึ่งก็คือระยะ a มากหรือน้อยจนเกินไป

3.2 เจียรระไนความลึกน้อยจนเกินไปหรือมากจนเกินไป

3.3 เจียรระไนเอียง ทำให้ปากร่องของเม็ดพลอยทั้ง 2 ข้าง ลึกไม่เท่ากัน

3.4 ร่องแตกหรือร้าว เนื่องมาจากความร้อน และความเร็วบ้อนตัด ในการตัดที่

สูงจนเกินไป

3.5 สีของเม็ดพลอยเปลี่ยนทั้งเม็ด เนื่องจากความร้อน

4. สรปร่องเม็ดพลอยที่ใช้ได้ของช่างบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ดังต่อไปนี้

ความเร็วบ้อนตัด = 0.1 mm/s ใช้ได้ 11 ร่องจาก 24 ร่อง คิดเป็นร้อยละ 45.83 %

ความเร็วบ้อนตัด = 0.2 mm/s ใช้ได้ 14 ร่องจาก 24 ร่อง คิดเป็นร้อยละ 58.33 %

ความเร็วบ้อนตัด = 0.3 mm/s ใช้ได้ 9 ร่องจาก 24 ร่อง คิดเป็นร้อยละ 37.50 %

ความเร็วบ้อนตัด = 0.4 mm/s ใช้ได้ 5 ร่องจาก 24 ร่อง คิดเป็นร้อยละ 20.83 %

ลักษณะความเสียหายในแต่ละความเร็วบ้อนตัด สามารถที่จะจำแนกออกได้เป็นข้อต่างๆดังตารางที่ 4.6 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.6 ลักษณะความเสียหายต่างๆที่เกิดขึ้นในการทดลองชุดที่ 2

feed [mm/s]	จำนวนร่อง							
	สูง	ต่ำ	ลึก	ตื้น	เอียง	แตก	ร้าว	สีเปลี่ยน
0.1	4	4	-	8	4	-	-	-
0.2	1	5	-	3	7	-	-	-
0.3	5	5	-	1	4	5	2	-
0.4	9	2	3	8	2	4	1	1

จากผลการทดลองจะเห็นว่า ความผิดพลาดเนื่องจากการเจียรระไนผิดตำแหน่ง เป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นสูงสุดในความเร็วบ้อนตัดที่ 0.1 - 0.2 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเสียหายจะเกิดจากความผิดพลาดในการเจียรระไนผิดตำแหน่งทั้งสิ้น แต่ที่ความเร็วบ้อนตัด 0.3 - 0.4 มิลลิเมตรต่อวินาที ความเสียหายเกิดจากความผิดพลาดทั้งในด้านตำแหน่งของร่อง และการแตกของเม็ดพลอยอันเนื่องมาจากความร้อนด้วย โดยที่ความเร็วบ้อนตัด 0.3 - 0.4 มิลลิเมตรต่อวินาที นั้น อาจกล่าวได้ว่าเม็ดพลอยแตกทุกเม็ดเลย แต่บางเม็ด

ก็แตกเพียงเล็กน้อยพอใช้งานได้ บางเม็ดก็ใช้งานไม่ได้เลย ดังที่ได้แสดงไว้แล้วในรูปที่ 4.4 - 4.7 ถ้าสามารถควบคุมความผิดพลาดจากการทดลองซึ่งทำให้เกิดการเจียรระไนผิดตำแหน่งแล้วเปอร์เซ็นต์ความเสียหายจะลดน้อยลงได้ และจากการทดลองในครั้งนี้นพบว่าที่ความเร็วตัด 0.3 - 0.4 มิลลิเมตรต่อวินาทีนั้นไม่สามารถที่จะนำมาใช้งานได้จริง

4.4 การทดลองชุดที่ 3

เนื่องจากการเซาะร่องที่ความเร็วบ่อนตัดสูงในช่วง 0.3 - 0.4 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำให้ปากร่องและตัวร่องเสียหายจำนวนมาก จึงทำการทดลองชุดนี้โดยมีวัตถุประสงค์คือ

1. เพื่อหาว่าในช่วงความเร็วบ่อนตัด 0.2 - 0.3 มิลลิเมตรต่อวินาที นั้น ยังจะมีความเร็วบ่อนตัดค่าไหน ที่สามารถเจียรระไนเซาะร่องเม็ดพลอยได้
2. เพื่อศึกษาผลที่ทำให้เกิดร่องที่ทำการเจียรระไนมีขนาดใหญ่ขึ้น ว่ามีผลมาจาก การที่ล้อยินเจียรระไนหมดสภาพหรือไม่

โดยที่การทดลองนี้เลือกเอาความเร็วบ่อนตัดที่ 0.25 มิลลิเมตรต่อวินาที มาใช้ในการทดลอง และใช้ความเร็วรอบที่ 15,000 รอบต่อนาที โดยทำการทดลองเจียรระไนเซาะร่องเม็ดพลอยทั้งสิ้น 12 เม็ดทำการเจียรระไนโดยใช้ใบเก๋าที่ทื่อแล้วจากคำบอกกล่าวของช่าง กับใบที่อยู่ในสภาพดี โดยเจียรระไนเม็ดพลอยเม็ดละ 2 ร่อง โดยร่องหนึ่งใช้ใบที่ต้ออีกร่องหนึ่งใช้ใบเก๋า ผลการทดลองปรากฏดังตารางที่ 4.7 ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองเจาะร่องเม็ดพลาสติกที่ 3

RPM Feed [mm/s]	15,000 (ใบใหม่)					
	1	2	3	4	5	6
DEPTH OF CUT	0.20	0.24	0.36	0.34	0.24	0.29
0.2 WIDTH	0.38	0.36	0.38	0.38	0.38	0.38
DEFLECTION	0.18	0.15	0.15	0.15	0.20	0.20

RPM Feed [mm/s]	15,000 (ใบเก่า)					
	1	2	3	4	5	6
DEPTH OF CUT	0.18	0.29	0.30	0.19	0.24	0.33
0.2 WIDTH	0.43	0.45	0.53	0.43	0.50	0.54
DEFLECTION	0.30	0.33	0.38	0.30	0.35	0.34

ศูนย์วิจัยทอพอยี กอ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

RPM Feed [mm/s]	15,000 (ใบใหม่)					
	1	2	3	4	5	6
DEPTH OF CUT	0.36	0.38	0.28	0.45	0.24	0.34
0.25 WIDTH	0.39	0.35	0.35	0.38	0.38	0.38
DEFLECTION	0.19	0.15	0.20	0.20	0.20	0.20

RPM Feed [mm/s]	15,000 (ใบเก่า)					
	1	2	3	4	5	6
DEPT OF CUT	0.28	0.25	0.31	0.16	0.39	0.23
0.25 WIDTH	0.46	0.48	0.52	0.50	0.50	0.48
DEFLECTION	0.26	0.30	0.35	0.33	0.40	0.35

จากการทดลองพบว่า ร่องที่เซาะโดยใช้ล้อยินเจียรไนที่สภาพดีจะมีขนาดของร่องค่อนข้างสม่ำเสมอมากกว่าร่องที่เซาะโดยล้อยินเจียรไนเก่า ทั้งนี้คาดว่าเนื่องมาจากสภาพเพชรที่ยึดติดล้อยินเจียรไนเก่าหลุดล่อนหรือหมดความคม ดังนั้นจะต้องใช้แรงในการตัดเซาะสูงกว่าล้อยินเจียรไนที่สภาพดี

ผลการทดลองที่พิจารณาโดยช่างที่ทำการฝังดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สภาพของร่องที่ได้จากการทดลองชุดที่สาม

FEED SPEED 0.2 mm/s. (15,000 RPM)		
NO.	ใบใหม่	ใบเก่า
1	ดี	ใช้ได้
2	ดี	ดี
3	เอียง	ใช้ได้
4	ใช้ได้	ใช้ได้ มีแตกเล็กน้อย
5	ดี	ดี
6	ดี	ดี

FEED SPEED 0.25 mm/s. (15,000 RPM)		
NO.	ใบใหม่	ใบเก่า
1	ดี	ใช้ได้
2	เอียง	เอียง
3	ใช้ได้	ใช้ได้
4	ใช้ได้	แตก
5	ดี	ดี
6	ดี	ใช้ได้

ผลของการทดลองชุดที่สามนี้ สรุปได้ว่าการเซาะร่องเม็ดพลอยอาจกระทำได้ที่ความเร็วบ่อนัด 0.25 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยที่สภาพของร่องที่เซาะด้วยล้อยินเจียรไนใหม่จะมีสภาพดี แต่ถ้าล้อยินเจียรไนที่มีสภาพเก่า ร่องที่เซาะอาจจะมีการแตกเสียหายที่ปากร่องได้มากขึ้น ทำให้ขนาดปากร่องกว้างขึ้นถึง 0.4 - 0.5 มม. แต่สภาพโดยทั่วไปล้อยินเจียรไนที่ช่างบอกว่ายี่ห้อแล้วยังสามารถใช้งานต่อไปได้อีกเมื่อนำมาใช้กับเครื่องเซาะร่องเม็ดพลอย

4.5 การทดลองชุดที่ 4

จากข้อมูลเบื้องต้นที่ได้รับจากการทดลองครั้งที่หนึ่งถึงสาม ทำให้สามารถกำหนดการทดลองชุดที่สี่ ตามหลักการของการสุมทางสถิติ ดังตารางที่ 4.9 โดยกำหนดความเร็วรอบจาก 10,000 11,000 12,000 13,000 14,000 และ 15,000 รอบต่อนาที และความเร็วบ่อนัด 0.10 0.15 0.20 และ 0.25 มิลลิเมตรต่อวินาที ทั้งนี้ในแต่ละช่องการทดลอง จะมีจำนวนร่องที่เซาะทั้งหมด 6 ร่อง โดยเซาะเม็ดพลอย 3 เม็ดละ 2 ร่อง รวมทั้งสิ้น 144 ร่อง เม็ดพลอยที่ใช้ในการทดลองได้คัดเลือกให้มีขนาดใกล้เคียงกันมากขึ้น คือมีขนาดโดยประมาณ 2.0 - 2.3 มิลลิเมตร

การทดลองจะเริ่มโดยใช้ล้อยินเจียรไนใหม่ การเซาะร่องเม็ดพลอยจะใช้น้ำเป็นสารหล่อเย็น โดยทำการบ่อนัดความลึกครึ่งละ 0.1 มม. นับตั้งแต่ระยะที่ใบของล้อยินเจียรไนสัมผัสผิวเม็ดพลอย และให้เครื่องเซาะร่องเดินหน้าไปและถอยหลังอย่างละ 1 ครั้งเพื่อให้ได้ความลึกรวม 0.2 มม. ทั้งนี้จะทำการเซาะร่องเม็ดพลอยแต่ละเม็ดทั้งสองข้างในลำดับเดียวกัน จากนั้นจะทำการวัดขนาดของร่องที่เซาะเพื่อพิจารณาถึงสภาพของล้อยินเจียรไนภายหลังการเซาะร่องในแต่ละลำดับ และกำหนดความกว้างของร่องมากที่สุดเท่ากับ 0.5 มม. ค่าความโค้งงอของใบมีค่าเท่ากับ 0.3 มม. เป็นเกณฑ์ในการจำแนกสภาพว่าล้อยินเจียรไนเริ่มที่จมนไม่อาจใช้งานได้

ผลการทดลองทั้งหมดได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.11 ซึ่งจะพบว่าในการเซาะร่องทั้งหมด 144 ร่องสามารถกระทำได้โดยใช้ล้อยินเจียรไนเพียงใบเดียว แม้ว่าจะมีการเซาะร่องผิดพลาดและร่องมีการเสียหายบ้าง ซึ่งจะได้กล่าวถึงโดยละเอียดต่อไป

ตารางที่ 4.9 ลำดับชั้นในการทดลองชุดที่ 4

SPEED(RPM) FEED(mm/s)	10,000	11,000	12,000	13,000	14,000	15,000
0.1	1	25	43	29	63	71
	42	67	55	5	50	60
	18	51	27	48	56	65
0.15	69	3	59	66	19	70
	21	57	35	33	49	22
	64	23	12	24	61	62
0.2	10	6	20	39	4	53
	46	13	31	37	30	40
	8	72	68	17	7	58
0.25	52	28	47	36	15	2
	54	41	16	9	34	45
	44	11	14	38	32	26

ตารางที่ 4.10 ขนาดของร่องที่ได้จากการทดลองชุดที่ 4

RPM Feed [mm/s]		10,000					
		1	2	3	4	5	6
0.10	DEPTH OF CUT	0.19	0.18	0.21	0.26	0.24	0.20
	WIDTH	0.37	0.37	0.36	0.45	0.36	0.35
	DEFLECTION	0.14	0.11	0.14	0.26	0.13	0.09
0.15	DEPTH OF CUT	0.23	0.19	0.26	0.18	0.22	0.28
	WIDTH	0.36	0.37	0.34	0.31	0.38	0.43
	DEFLECTION	0.18	0.18	0.16	0.11	0.21	0.21
0.20	DEPTH OF CUT	0.20	0.20	0.25	0.29	0.19	0.20
	WIDTH	0.30	0.35	0.35	0.39	0.29	0.34
	DEFLECTION	0.08	0.11	0.16	0.17	0.06	0.13
0.25	DEPTH OF CUT	0.28	0.28	0.24	0.20	0.25	0.26
	WIDTH	0.37	0.38	0.38	0.40	0.42	0.36
	DEFLECTION	0.18	0.19	0.18	0.21	0.23	0.18

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

RPM Feed [mm/s]		11,000					
		1	2	3	4	5	6
0.10	DEPTH OF CUT	0.29	0.26	0.30	0.20	0.26	0.24
	WIDTH	0.39	0.32	0.50	0.35	0.38	0.40
	DEFLECTION	0.19	0.12	0.31	0.16	0.18	0.19
0.15	DEPTH OF CUT	0.26	0.31	0.22	0.22	0.26	0.22
	WIDTH	0.34	0.40	0.38	0.40	0.34	0.33
	DEFLECTION	0.11	0.11	0.19	0.20	0.11	0.16
0.20	DEPTH OF CUT	0.19	0.20	0.23	0.25	0.21	0.25
	WIDTH	0.34	0.35	0.35	0.35	0.41	0.37
	DEFLECTION	0.11	0.11	0.13	0.11	0.22	0.16
0.25	DEPTH OF CUT	0.24	0.21	0.25	0.30	0.19	0.19
	WIDTH	0.37	0.34	0.39	0.50	0.34	0.36
	DEFLECTION	0.18	0.11	0.22	0.31	0.13	0.10

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

RPM Feed [mm/s]		12,000					
		1	2	3	4	5	6
Ø.10	DEPTH OF CUT	0.19	0.27	0.20	0.25	0.30	0.27
	WIDTH	0.35	0.34	0.38	0.40	0.35	0.38
	DEFLECTION	0.16	0.15	0.20	0.21	0.15	0.19
Ø.15	DEPTH OF CUT	0.24	0.22	0.18	0.19	0.22	0.24
	WIDTH	0.41	0.42	0.44	0.32	0.39	0.35
	DEFLECTION	0.21	0.21	0.26	0.11	0.16	0.13
Ø.20	DEPTH OF CUT	0.30	0.30	0.30	0.29	0.23	0.30
	WIDTH	0.37	0.34	0.40	0.33	0.41	0.41
	DEFLECTION	0.11	0.12	0.22	0.11	0.23	0.21
Ø.25	DEPTH OF CUT	0.29	0.31	0.26	0.27	0.20	0.23
	WIDTH	0.44	0.35	0.38	0.34	0.36	0.37
	DEFLECTION	0.26	0.16	0.19	0.11	0.13	0.16

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

RPM Feed [mm/s]		13,000					
		1	2	3	4	5	6
0.10	DEPTH OF CUT	0.25	0.23	0.31	0.30	0.24	0.25
	WIDTH	0.36	0.39	0.37	0.40	0.40	0.37
	DEFLECTION	0.16	0.18	0.16	0.19	0.21	0.19
0.15	DEPTH OF CUT	0.27	0.27	0.25	0.23	0.31	0.28
	WIDTH	0.40	0.42	0.38	0.36	0.39	0.38
	DEFLECTION	0.16	0.23	0.18	0.14	0.20	0.19
0.20	DEPTH OF CUT	0.30	0.30	0.31	0.24	0.31	0.24
	WIDTH	0.42	0.45	0.36	0.40	0.36	0.34
	DEFLECTION	0.26	0.24	0.17	0.24	0.12	0.12
0.25	DEPTH OF CUT	0.24	0.23	0.24	0.26	0.19	0.20
	WIDTH	0.47	0.36	0.37	0.35	0.39	0.34
	DEFLECTION	0.29	0.16	0.16	0.10	0.21	0.16

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

RPM Feed [mm/s]		14,000					
		1	2	3	4	5	6
0.10	DEPTH OF CUT	0.27	0.22	0.26	0.26	0.21	0.23
	WIDTH	0.38	0.47	0.40	0.42	0.40	0.36
	DEFLECTION	0.22	0.27	0.21	0.18	0.21	0.20
0.15	DEPTH OF CUT	0.24	0.28	0.29	0.23	0.18	0.21
	WIDTH	0.34	0.35	0.50	0.38	0.41	0.40
	DEFLECTION	0.11	0.13	0.31	0.16	0.21	0.20
0.20	DEPTH OF CUT	0.30	0.23	0.24	0.24	0.19	0.26
	WIDTH	0.42	0.32	0.33	0.34	0.32	0.37
	DEFLECTION	0.16	0.11	0.16	0.13	0.09	0.16
0.25	DEPTH OF CUT	0.21	0.26	0.28	0.24	0.26	0.31
	WIDTH	0.36	0.35	0.36	0.34	0.33	0.36
	DEFLECTION	0.11	0.15	0.16	0.15	0.18	0.13

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

RPM Feed [mm/s]		15,000					
		1	2	3	4	5	6
0.10	DEPTH OF CUT	0.20	0.19	0.28	0.31	0.30	0.29
	WIDTH	0.36	0.40	0.39	0.40	0.40	0.37
	DEFLECTION	0.19	0.21	0.20	0.22	0.16	0.16
0.15	DEPTH OF CUT	0.21	0.25	0.22	0.26	0.19	0.31
	WIDTH	0.36	0.36	0.35	0.39	0.33	0.45
	DEFLECTION	0.16	0.10	0.10	0.16	0.14	0.19
0.20	DEPTH OF CUT	0.23	0.21	0.24	0.29	0.29	0.19
	WIDTH	0.45	0.42	0.36	0.38	0.42	0.38
	DEFLECTION	0.26	0.23	0.11	0.19	0.21	0.20
0.25	DEPTH OF CUT	0.27	0.24	0.20	0.29	0.31	0.20
	WIDTH	0.36	0.34	0.41	0.49	0.37	0.35
	DEFLECTION	0.11	0.11	0.17	0.28	0.21	0.13

การวิเคราะห์ผลการทดลองจะกระทำในแบบ ANALYTIC OF VARIANCE (ANOVA) (ชูศรี วงศ์รัตน์, 2530) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบสองทางต่อหนึ่งช่องการทดลอง (Two way classification several observation per cell) ซึ่งเป็นการทดสอบว่า ร่องที่ทำการเจาะที่มีค่าความกว้างและความโค้งงอของใบที่แตกต่างกันอันเนื่องมาจาก

1. ผลของความเร็วยรอบเพียงอย่างเดียวที่กระทำต่อร่อง
2. ผลของความเร็วย้อนตัดเพียงอย่างเดียวที่กระทำต่อร่อง
3. ผลร่วมของทั้งความเร็วยรอบและความเร็วย้อนตัด (Interaction) กระทำต่อร่องที่ทำการเจาะระไนร่วมกัน

โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความกว้างของร่อง ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมติฐาน H_0 และ H_1

1.1 เปรียบเทียบผลระหว่างความเร็วย้อนตัดทั้ง 4 ค่า

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 0$$

$$H_1 : \alpha_1 \text{ อย่างน้อยค่าหนึ่งที่ไม่เท่ากับ } 0$$

1.2 เปรียบเทียบผลระหว่างความเร็วยรอบทั้ง 6 ค่า

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_6 = 0$$

$$H_1 : \beta_1 \text{ อย่างน้อยค่าหนึ่งที่ไม่เท่ากับ } 0$$

1.3 เปรียบเทียบผลร่วมระหว่างความเร็วย้อนตัดและความเร็วยรอบ

$$H_0 : (\alpha\beta)_{1,1} = (\alpha\beta)_{1,2} = \dots = (\alpha\beta)_{4,6} = 0$$

$$H_1 : (\alpha\beta)_{1,1} \text{ อย่างน้อยค่าหนึ่งที่ไม่เท่ากับ } 0$$

ขั้นที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 3 คำนวณหาค่าสถิติ F ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

3.1 จัดข้อมูลที่รวบรวมได้ของค่าความกว้างของร่องให้อยู่ในรูปของตารางที่ 4.11

ดังนี้

ตารางที่ 4.11 ความกว้างของร่องที่ความเร็วต่างๆของการทดลองชุดที่ 4

SPEED(RPM) FEED(mm/s)	10000	11000	12000	13000	14000	15000	SUM IN ROW
NO.1 0.10	0.37	0.39	0.35	0.36	0.38	0.36	13.85
	2 0.37	0.32	0.34	0.39	0.47	0.40	
	3 0.36	0.50	0.38	0.37	0.40	0.39	
	4 0.45	0.35	0.40	0.40	0.42	0.40	
	5 0.36	0.38	0.35	0.40	0.40	0.40	
	6 0.35	0.40	0.38	0.37	0.36	0.37	
NO.1 0.15	0.36	0.34	0.41	0.40	0.34	0.36	13.66
	2 0.37	0.40	0.42	0.42	0.35	0.36	
	3 0.34	0.38	0.44	0.38	0.50	0.35	
	4 0.31	0.40	0.32	0.36	0.38	0.39	
	5 0.38	0.34	0.39	0.39	0.41	0.33	
	6 0.43	0.33	0.35	0.38	0.40	0.45	
NO.1 0.20	0.30	0.34	0.37	0.42	0.42	0.45	13.29
	2 0.35	0.35	0.34	0.45	0.32	0.42	
	3 0.35	0.35	0.40	0.36	0.33	0.36	
	4 0.39	0.35	0.33	0.40	0.34	0.38	
	5 0.29	0.41	0.41	0.36	0.32	0.42	
	6 0.34	0.37	0.41	0.34	0.37	0.38	



ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

SPEED(RPM) FEED(mm/s)	10000	11000	12000	13000	14000	15000	SUM IN ROW	
NO.1	0.37	0.37	0.44	0.47	0.36	0.36	13.55	
2	0.38	0.34	0.35	0.36	0.35	0.34		
0.25	3	0.38	0.39	0.38	0.37	0.36		0.41
4	0.40	0.50	0.34	0.35	0.34	0.49		
5	0.42	0.34	0.36	0.39	0.33	0.37		
6	0.36	0.36	0.37	0.34	0.36	0.35		
SUM COLUMN	8.79	9.00	9.03	9.23	9.01	9.29	54.35	

3.2 คำนวณค่าสถิติ F จากสมการดังต่อไปนี้

3.2.1 การทดสอบความแตกต่างระหว่างตัวแปรทางแกว (R)

$$F = \frac{MSR}{MSE}$$

3.2.2 การทดสอบความแตกต่างระหว่างตัวแปรทางคอลัมน์ (C)

$$F = \frac{MSC}{MSE}$$

3.2.3 การทดสอบความแตกต่างระหว่างตัวแปรทางแกวและคอลัมน์ (RC)

$$F = \frac{MS(RC)}{MSE}$$

จะหา MSR, MSC, MS(RC) และ MSE จะต้องหา SST, SSR, SSC, SS(RC) และ SSE ก่อน ซึ่งหาได้จากสูตรดังนี้

$$SST = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n X_{ijk}^2 - \frac{T^2 \dots}{rcn}$$

$$SSR = \sum_{i=1}^r T_{i\dots}^2 / cn - \frac{T^2 \dots}{rcn}$$

$$SSC = \sum_{j=1}^c T_{\dots j}^2 / rn - \frac{T^2 \dots}{rcn}$$

$$SS(RC) = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij\dots}^2 / n - \sum_{i=1}^r T_{i\dots}^2 / cn - \sum_{j=1}^c T_{\dots j}^2 / rn + \frac{T^2 \dots}{rcn}$$

$$SSE = SST - SSR - SSC - SS(RC)$$

$$MSR = \frac{SSR}{r - 1}$$

$$MSC = \frac{SSC}{c - 1}$$

$$MS(RC) = \frac{SS(RC)}{(r - 1)(c - 1)}$$

$$MSE = \frac{SSE}{rc(n - 1)}$$

สัญลักษณ์แต่ละตัวในสูตรมีความหมายดังนี้

$$\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n X_{ijk}^2 = \text{ผลรวมของคะแนนแต่ละตัวยกกำลังสองทุก ๆ ค่า ในทุกกลุ่มตัวอย่าง}$$

$$T \dots = \text{ผลรวมของคะแนนทั้งหมด}$$

$$T_{i\dots} = \text{ผลรวมของคะแนนในแถวที่ } i \text{ ๆ}$$

- $T_{.j.}$ = ผลรวมของคะแนนในคอลัมน์นั้น ๆ
 $T_{i.j.}$ = ผลรวมของคะแนนในแต่ละช่อง
 r = จำนวนแถว
 c = จำนวนคอลัมน์
 n = จำนวนคะแนนในแต่ละช่อง

ผลการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ผลความแปรปรวน แสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ความกว้างของร่องของการทดลองชุดที่ 4

Source of Variation	df	SS	MS	F
Row Means	3	0.00456	0.00152	1.00
Column means	5	0.00671	0.00135	0.89
Interaction	15	0.02707	0.00180	1.19
Error	120	0.18218	0.00152	
Total	143	0.2206		

ขั้นที่ 4 เปรียบเทียบค่าทางสถิติ F ที่คำนวณได้กับค่าทางสถิติ F ทางทฤษฎีจากตารางการกระจายแบบ F (F - DISTRIBUTION) ที่ $\alpha = 0.05$ ในภาคผนวก จ

4.1 การทดสอบระหว่างตัวแปรทางความเร็วบ่อนัด

จากตารางในภาคผนวก จ ที่ $df_1 = 3, df_2 = 120, F = 2.69$

จากการคำนวณได้ค่า $F = 1.00$

F คำนวน $< F$ ทฤษฎี เพราะฉะนั้นจะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

4.2 การทดสอบระหว่างตัวแปรทางความเร็วรอบ

จากตารางในภาคผนวก จ ที่ $df_1 = 5, df_2 = 120, F = 2.30$

จากการคำนวณได้ค่า $F = 0.89$

F คำนวน $< F$ ทฤษฎี เพราะฉะนั้นจะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

4.3 การทดสอบระหว่างตัวแปรทางความเร็วบ่อนัดและความเร็วรอบ

จากตารางในภาคผนวก จ ที่ $df_1 = 15, df_2 = 120, F = 1.76$

จากการคำนวณได้ค่า $F = 1.19$

F คำนวน $< F$ ทฤษฎี เพราะฉะนั้นจะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

จากการทดสอบค่าความแตกต่างอันเนื่องมาจากตัวแปรทางความเร็วบ่อนัด ความเร็วรอบ และผลรวมของความเร็วบ่อนัดและความเร็วรอบ ผลปรากฏว่าค่า F คำนวนน้อยกว่า F ทฤษฎี จึงอาจสรุปได้ว่าค่าความเร็วบ่อนัดและค่าความเร็วรอบไม่มีผลต่อค่าความกว้างของร่อง

สำหรับการวิเคราะห์ค่าความโค้งงอของใบล้อหินเจียรไนก็สามารถกระทำได้โดยใช้วิธีการเดียวกันคือ

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมติฐาน H_0 และ H_1

1.1 เปรียบเทียบผลระหว่างความเร็วบ่อนัดทั้ง 4 ค่า

$$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 0$$

$$H_1 : \alpha_1 \text{ อย่างน้อยค่าหนึ่งที่ไม่เท่ากับ } 0$$

1.2 เปรียบเทียบผลระหว่างความเร็วรอบทั้ง 6 ค่า

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_6 = 0$$

$$H_1 : \beta_1 \text{ อย่างน้อยค่าหนึ่งที่ไม่เท่ากับ } 0$$

1.3 เปรียบเทียบผลระหว่างความเร็วบ่อนัดกับความเร็วยรอบ

$$H_0 : (\alpha\beta_{1,1} = \alpha\beta_{1,2} = \dots = \alpha\beta_{4,6} = 0$$

$$H_1 : \alpha\beta_{1,1} \text{ อย่างน้อยค่าหนึ่งที่ไม่เท่ากับ } 0$$

ขั้นที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$

ขั้นที่ 3 คำนวนหาค่า F ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

3.1 จัดข้อมูลทางสถิติที่รวบรวมได้ของค่าความโค้งงอของใบให้อยู่ในรูปของตารางที่ 4.13 ดังนี้

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าของความโค้งงอของใบที่ความเร็วต่างกัน

SPEED(RPM)	10000	11000	12000	13000	14000	15000	SUM IN ROW	
FEED(mm/s)								
NO.1	0.14	0.19	0.16	0.16	0.22	0.19	6.60	
2	0.11	0.12	0.15	0.18	0.27	0.21		
0.10	3	0.14	0.31	0.20	0.16	0.21		0.20
4	0.26	0.16	0.21	0.19	0.18	0.22		
5	0.13	0.18	0.15	0.21	0.21	0.16		
6	0.09	0.19	0.19	0.19	0.20	0.16		
NO.1	0.18	0.11	0.21	0.16	0.11	0.16	6.08	
2	0.18	0.11	0.21	0.23	0.13	0.10		
0.15	3	0.16	0.19	0.26	0.18	0.31		0.10
4	0.11	0.20	0.11	0.14	0.16	0.16		
5	0.21	0.11	0.16	0.20	0.21	0.14		
6	0.21	0.16	0.13	0.19	0.20	0.19		
NO.1	0.08	0.11	0.11	0.26	0.16	0.26	5.71	
2	0.11	0.11	0.12	0.24	0.11	0.23		
0.20	3	0.16	0.13	0.22	0.17	0.16		0.11
4	0.17	0.11	0.11	0.24	0.13	0.19		
5	0.06	0.22	0.23	0.12	0.09	0.21		
6	0.13	0.16	0.21	0.12	0.16	0.20		

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

SPEED(RPM)	10000	11000	12000	13000	14000	15000	SUM IN ROW
FEED(mm/s)							
NO.1	0.18	0.18	0.26	0.29	0.11	0.11	6.20
2	0.19	0.11	0.16	0.16	0.15	0.11	
0.25 3	0.18	0.22	0.19	0.16	0.16	0.17	
4	0.21	0.31	0.11	0.10	0.15	0.28	
5	0.23	0.13	0.13	0.21	0.18	0.21	
6	0.18	0.10	0.16	0.16	0.13	0.13	
SUM COLUMN	3.80	3.92	4.15	4.42	4.10	4.20	24.59

ผลการคำนวณค่าสถิติ F แสดงไว้ในตารางที่ 4.14 เพื่อวิเคราะห์ผลความแปรปรวนดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ค่าความโค้งงอของล้อยินเจียรระไนของการทดลองชุดที่ 4

Source of Variation	df	SS	MS	F
Row Means	3	0.01121	0.00374	1.56
Column means	5	0.00989	0.00198	0.82
Interaction	15	0.05744	0.00383	1.59
Error	120	0.28828	0.00240	
Total	143	0.36682		

ขั้นที่ 4 เปรียบเทียบค่าสถิติ F ที่คำนวณได้กับค่าสถิติ F ทางทฤษฎี จากตารางการกระจายแบบ F ที่ $\alpha = 0.05$

4.1 การทดสอบระหว่างตัวแปรทางความเร็วบ่อนตัด

จากตารางในภาคผนวก จ ที่ $df_1 = 3, df_2 = 120, F = 2.69$

จากการคำนวณได้ค่า $F = 1.56$

F ค่าวน < F ทฤษฎี เพราะฉะนั้นจะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

4.2 การทดสอบระหว่างตัวแปรทางความเร็วรอบ

จากตารางในภาคผนวก จ ที่ $df_1 = 5, df_2 = 120, F = 2.30$

จากการคำนวณได้ค่า $F = 0.82$

F ค่าวน < F ทฤษฎี เพราะฉะนั้นจะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

3. การทดสอบระหว่างตัวแปรทางความเร็วบ่อนตัดและความเร็วรอบ

จากตารางในภาคผนวก จ ที่ $df_1 = 15, df_2 = 120, F = 1.76$

จากการคำนวณได้ค่า $F = 1.59$

F ค่าวน < F ทฤษฎี เพราะฉะนั้นจะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

จากการทดสอบค่าความแตกต่างอันเนื่องมาจากตัวแปรทางความเร็วบ่อนตัด ความเร็วรอบ และผลรวมของความเร็วบ่อนตัดและความเร็วรอบ ผลปรากฏว่าค่า F ค่าวนน้อยกว่า F ทฤษฎี จึงอาจสรุปได้ว่าค่าความเร็วบ่อนตัดและค่าความเร็วรอบไม่มีผลต่อค่าความโค้งงอของล้อยินเจียรไนที่ทำการเจียรไนเซาะร่อง

ในการทดลองครั้งนี้ มีร่องที่เสียหายซึ่งเกิดจากการทดลอง แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. ความเสียหายเนื่องจากการเจียรไนผิดตำแหน่ง มีจำนวนทั้งสิ้น 5 เม็ด มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.15 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.15 ค่าความผิดพลาดต่างๆที่เกิดขึ้น

ลำดับเม็ดที่	FEED (mm/s)	รอบ (RPM)	ลักษณะที่เสียหาย
11	0.25	11,000	เจียรระไนตำแหน่งต่ำเกินไป
27	0.10	12,000	เจียรระไนตำแหน่งต่ำเกินไป
40	0.20	15,000	เจียรระไนตำแหน่งต่ำเกินไป
43	0.10	12,000	เจียรระไนตำแหน่งต่ำเกินไป
66	0.15	13,000	เจียรระไนตำแหน่งต่ำเกินไป

ความเสียหายของร่องในส่วนนี้ ไม่ได้ถูกนำไปรวมอยู่ในตารางการคำนวณทางสถิติ เพราะได้นำการเซาะร่องบนเม็ดพลอยเม็ดใหม่ทดแทน แต่จะนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเม็ดพลอยที่เสียหายด้วย

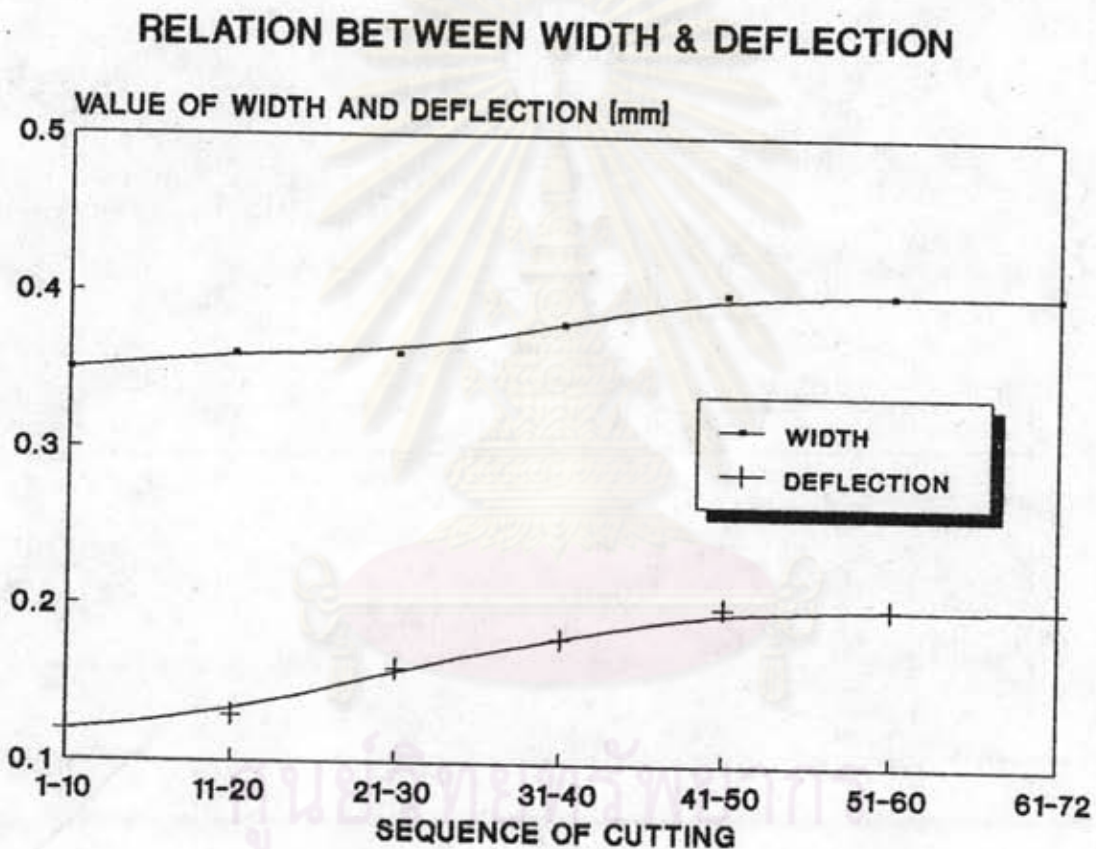
2. ความเสียหายเนื่องมาจากการแตกที่ผิวของร่องเมื่อตรวจด้วยกล้องขยาย แต่คาดว่า สามารถที่จะใช้งานได้อีกมีจำนวนทั้งสิ้น 9 เม็ด มีรายละเอียดดังตารางที่ 4.16 ต่อไปนี้



ตารางที่ 4.16 ค่าความเสียหายที่เกิดจากการแตกที่ผิวร่อง

ตำแหน่งเม็ด	FEED (mm/s)	รอบ (RPM)	ลักษณะความเสียหาย	สาเหตุ
26	0.25	15,000	มีแตกเล็กน้อยที่มุมล่าง ของร่อง	บ้อนตัดเร็วเกินไปขณะที่ เม็ดพลอยยังเลื่อนผ่านใบ เจียรในไม่ทันทำให้เกิด การกระแทกกับใบขึ้น
28	0.25	11,000	แตกมุมด้านล่างเล็ก	เหมือนเม็ดที่ 26
36	0.25	13,000	แตกมุมด้านล่างเล็กน้อย	เหมือนเม็ดที่ 26
41	0.25	11,000	แตกเล็กน้อยตามแนว บริเวณขอบด้านล่าง	ใบเริ่มทื่อและความเร็ว บ้อนตัดสูงมากขึ้น
45	0.25	15,000	แตกเล็กน้อยตามแนว บริเวณขอบด้านล่าง	ใบเริ่มทื่อความเร็วบ้อน ตัดและความเร็วรอบสูง
51	0.10	11,000	แตกเล็กน้อยตามแนว ร่องที่ทำการเซาะ	ใบเริ่มทื่อ
54	0.25	10,000	แตกตามร่อง	ใบทื่อความเร็วบ้อนตัดสูง
57	0.15	11,000	แตกเล็กน้อยตามแนวร่อง	ใบเริ่มทื่อ
65	0.10	15,000	แตกตรงมุมล่าง	บ้อนตัดเร็วเกินไปจนใบ กระแทกกับเม็ดพลอย

ความเสียหายที่เกิดขึ้นนี้ในกรณีนี้ที่กล่าวไว้ว่า ไบที่อื่นสามารถสังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.10 ซึ่งแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างลำดับของเม็ดพลาสติกที่ทำกรเจียรระโนกับค่าเฉลี่ยความกว้างของร่องและค่าความเฉลี่ยโค้งงอของไบที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างลำดับที่กับความกว้างของร่องและความโค้งงอของล้อหินเจียรระโน

จากกราฟจะพบว่าค่าความกว้างของร่องและค่าความโค้งงอของไบจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อลำดับที่ของเม็ดพลาสติกมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าล้อหินเจียรระโนเริ่มมีความที่มากยิ่งขึ้นสังเกตได้จากเม็ดพลาสติกลำดับที่ 40 ขึ้นไป จะมีค่าความกว้างของร่องประมาณ 0.40 มม. และความโค้งงอของไบประมาณ 0.20 มม. ซึ่งจากการทดลองในชุดที่ 3 แสดงให้เห็นว่า

ใบเริ่มที่อแล้ว และก่อนข้างจะคงที่ไปเรื่อยๆตลอดจนถึงลำดับที่ 72

เมื่อนำผลการทดลองทั้งหมดนี้ ไปให้ช่างฝังทำการพิจารณาอีกครั้งผลการตรวจพิจารณาปรากฏว่าสามารถใช้งานได้หมดทุกเม็ด ยกเว้นเม็ดที่ 21 ที่มีการเจียรระไนก่อนข้างจะต่ำเกินไป เพียง 1 ด้านดังนั้นเราจะทำการสรุปค่าที่ได้จากนายช่างดังต่อไปนี้

เม็ดพลอยขนาด 2.1 - 1.8 มม.

ความลึกในการตัด (DEPTH OF CUT) ค่าเฉลี่ย 0.24 มม. ค่าเบี่ยงเบน 0.04 มม.

ความกว้างของร่อง (WIDTH) ,, 0.38 มม. ,, 0.04 มม.

ความโค้งงอของใบ (DEFLECTION) ,, 0.17 มม. ,, 0.05 มม.

ความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้น จะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

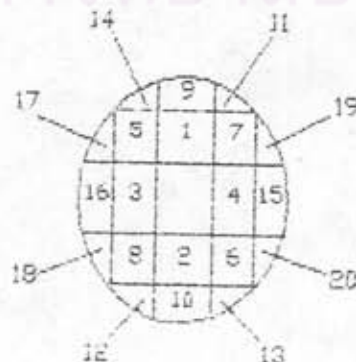
เม็ดพลอยเสียหายทั้งหมด 6 เม็ด รวมเม็ดที่ 21 จากจำนวนทั้งหมด 77 เม็ด

เปอร์เซ็นต์ที่เสียหาย = 7.8%

เปอร์เซ็นต์ที่ใช้งานได้ = 92.2%

4.6 การทดลองชุดที่ 5

เพื่อเป็นการทดสอบร่องที่เจาะในการใช้งานจริง การทดลองชุดนี้จะทำการเจาะร่องเม็ดพลอยสีแดง ซึ่งจะใช้ในการฝังบนตัวเรือนจริงจำนวนทั้งหมด 20 เม็ด โดยลักษณะของตัวเรือนและตำแหน่งของเม็ดพลอยได้แสดงในรูปที่ 4.11 เม็ดพลอยทุกเม็ดจะทำการเจียรระไนเม็ดละสองด้านยกเว้นเม็ดที่ 15 - 20 จะทำการเจียรระไนเพียงด้านเดียว เพราะอีกด้านหนึ่งต้องทำการฝังแบบหุ้ม



รูปที่ 4.11 ลักษณะตัวเรือนที่ใช้ในการฝังเม็ดพลอย

การทำเครื่องประดับฝังเม็ดพลอยมีขั้นตอนการดำเนินการเป็นลำดับคือขั้นแรกจะทำการหล่อตัวเรือนขึ้นมาเป็นรูปร่างก่อน เมื่อพิจารณาและแก้ไขความสวยงามต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ก็ส่งตัวเรือนไปให้ช่างที่ทำการคัดเลือกขนาดของเม็ดพลอย ให้ได้ใกล้เคียงกับร่องที่จะทำการฝัง ยกเว้นเม็ดพลอยตำแหน่งที่ 17, 18, 19, 20 ซึ่งเป็นรูปสามเหลี่ยมจะต้องทำการเจียรระไนแต่งอย่างมาก เมื่อคัดเลือกเม็ดพลอยเรียบร้อยแล้วก็ส่งไปให้ช่างแต่ง ซึ่งช่างแต่งจะทำการเจียรระไนตกแต่งเม็ดพลอยให้ได้รูปร่างใกล้เคียงกับร่องที่จะทำการฝัง โดยวิธีการแต่งจะเริ่มตั้งแต่เม็ดพลอยเม็ดที่ 1 จนถึงเม็ดที่ 20 เรียงไปตามลำดับ เหตุที่ต้องทำการฝังแบบนี้เพราะว่าต้องการให้เกิดความสวยงามในการใช้งาน การเจียรระไนพร้อมกันทั้ง 20 เม็ดอาจจะทำให้การเจียรระไนผิดพลาดขึ้นได้ ทำให้เม็ดพลอยที่ฝังเกิดการหลวมกันหรือไม่ก็ห่างกันจนเกินไปเมื่อแต่งเสร็จจะให้ช่างฝังตรวจ เมื่อช่างฝังเห็นว่าใช้ได้ก็จะให้ช่างตัดทำการเจียรระไนขัดเงาให้สวยงามโดยหินเจียรระไนที่ละเอียดกว่าช่างแต่งแล้วนำไปทำการเจียรระไนเซาะร่องเม็ดพลอย เพื่อส่งต่อไปให้ช่างฝังทำการขึ้นรูปร่องและทำการฝัง

การฝังจะเริ่มขึ้นตามขั้นตอนที่ละเอียดตามลำดับในรูปที่ 4.11 ซึ่งจากขั้นตอนการปฏิบัติในการทดลองใช้เวลาประมาณ 3 อาทิตย์ เนื่องจากต้องนำเม็ดพลอยจากช่างฝังมาเซาะร่องที่จุ่มเพื่อทำการวัดร่องและส่งกลับไปทำการฝังที่โรงงาน

ลำดับขั้นตอนของการทดลองตามหลักการสู่ทางสถิติได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.17 ทั้งนี้ในการทดลองจะใช้เวลาเร็วรอบตั้งแต่ 10,000 - 14,000 รอบต่อนาที เท่านั้น เพราะจำนวนเม็ดพลอยมีไม่เพียงพอ การเซาะร่องจะเริ่มโดยใช้ล้อหินเจียรระไนใหม่และใช้น้ำเป็นสารหล่อเย็น การบ่อนตัดไปกลับครั้งละ 0.10 มม. รวมความลึก 0.20 มม.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 ลำดับชั้นในการทดลองชุดที่ 5

SPEED (RPM) FEED (mm/s)	10,000	11,000	12,000	13,000	14,000
0.10	11	4	15	7	14
0.15	2	17	1	18	8
0.20	12	3	13	6	20
0.25	10	16	5	19	9

ขนาดของร่องจากการทดลองชุดที่ 5 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 ผลการทดลองชุดที่ 5

Speed (RPM)	10,000		11,000		12,000		13,000		14,000	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
DEPTH OF CUT 0.10 WIDTH DEFLECTION	0.21	0.21	0.20	0.24	0.23		0.23	0.23	0.21	0.22
	0.30	0.35	0.33	0.32	0.28		0.32	0.31	0.33	0.27
	0.15	0.16	0.15	0.15	0.10		0.14	0.13	0.16	0.09
DEPTH OF CUT 0.15 WIDTH DEFLECTION	0.19	0.20	0.19		0.22	0.23	0.23		0.22	0.21
	0.31	0.30	0.32		0.34	0.33	0.34		0.35	0.32
	0.14	0.13	0.16		0.16	0.13	0.16		0.17	0.17
DEPTH OF CUT 0.20 WIDTH DEFLECTION	0.22	0.20	0.23	0.22	0.24	0.20	0.24	0.20	0.23	
	0.33	0.27	0.28	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	
	0.15	0.09	0.13	0.16	0.14	0.13	0.14	0.12	0.15	
DEPTH OF CUT 0.25 WIDTH DEFLECTION	0.24	0.23	0.20		0.22	0.22	0.22		0.24	0.23
	0.31	0.28	0.33		0.30	0.33	0.32		0.28	0.28
	0.14	0.09	0.16		0.11	0.16	0.15		0.10	0.11

เมื่อนำการวิเคราะห์ผลทางสถิติเช่นเดียวกับการทดลองชุดที่ 4 ปรากฏผลดังแสดงในตารางที่ 4.19 และ 4.20 สำหรับค่าความกว้างของร่องและค่าความโค้งงอของล้อหินเจียรระโนตามลำดับ

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ความกว้างของร่องของการทดลองชุดที่ 5

Source of Variation	df	SS	MS	F
Row Means	3	0.00234	0.00078	2.17
Column means	4	0.00166	0.00042	1.16
Interaction	12	0.00716	0.00060	1.66
Error	20	0.00720	0.00036	
Total	39	0.01836		

เปรียบเทียบค่าสถิติ F ที่คำนวณได้กับค่าสถิติ F ทางทฤษฎี จากตารางการกระจายแบบ F ที่ $\alpha = 0.05$

1. การทดสอบระหว่างตัวแปรทางความเร็วบ่อนตัด

จากตารางในภาคผนวก จ ที่ $df_1 = 3, df_2 = 20, F = 3.10$

จากการคำนวณได้ค่า $F = 2.17$

F คำนวน $<$ F ทฤษฎี เพราะฉะนั้นจะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

2. การทดสอบระหว่างตัวแปรทางความเร็วรอบ

จากตารางในภาคผนวก จ ที่ $df_1 = 4, df_2 = 20, F = 3.49$

จากการคำนวณได้ค่า $F = 1.16$

F คำนวน $<$ F ทฤษฎี เพราะฉะนั้นจะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

3. การทดสอบระหว่างตัวแปรทางความเร็วบ่อนตัดและความเร็วรอบ

จากตารางในภาคผนวก จ ที่ $df_1 = 15, df_2 = 120, F = 2.31$

จากการคำนวณได้ค่า $F = 1.66$

F คำนวน $<$ F ทฤษฎี เพราะฉะนั้นจะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

จากการทดสอบค่าความแตกต่างอันเนื่องมาจากตัวแปรทางความเร็วบ่อนตัด ความเร็วรอบ และผลรวมของความเร็วบ่อนตัดและความเร็วรอบ ผลปรากฏว่าค่า F คำนวนน้อยกว่า F ทฤษฎี จึงอาจสรุปได้ว่าค่าความเร็วบ่อนตัดและค่าความเร็วรอบไม่มีผลต่อค่า

ความกว้างของร่อง

ตารางที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ค่าความโค้งงอของล้อยินเจียรไนของการทดลองชุดที่ 5

Source of Variation	df	SS	MS	F
Row Means	3	0.00306	0.00102	2.52
Column means	4	0.00326	0.00082	2.01
Interaction	12	0.00754	0.00663	1.55
Error	20	0.00810	0.00041	
Total	39	0.02196		

เปรียบเทียบค่าสถิติ F ที่คำนวณได้กับค่าสถิติ F ทางทฤษฎี จากตารางการกระจายแบบ F ที่ $\alpha = 0.05$

1. การทดสอบระหว่างตัวแปรทางความเร็วบ่อนตัด

จากตารางในภาคผนวก จ ที่ $df_1 = 3, df_2 = 20, F = 3.10$

จากการคำนวณได้ค่า $F = 2.52$

F คำนวณ $<$ F ทฤษฎี เพราะฉะนั้นจะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

2. การทดสอบระหว่างตัวแปรทางความเร็วรอบ

จากตารางในภาคผนวก จ ที่ $df_1 = 4, df_2 = 20, F = 3.49$

จากการคำนวณได้ค่า $F = 2.01$

F คำนวณ $<$ F ทฤษฎี เพราะฉะนั้นจะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

3. การทดสอบระหว่างตัวแปรทางความเร็วบ่อนตัดและความเร็วรอบ

จากตารางในภาคผนวก จ ที่ $df_1 = 15, df_2 = 120, F = 2.31$

จากการคำนวณได้ค่า $F = 1.55$

F คำนวณ $<$ F ทฤษฎี เพราะฉะนั้นจะยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

จากการทดสอบค่าความแตกต่างอันเนื่องมาจากตัวแปรทางความเร็วบ่อนตัด ความ

เร็วรอบ และผลรวมของความเร็วบ่อนตัดและความเร็วรอบ ผลปรากฏว่าค่า F คำนวนน้อยกว่า F ทฤษฎี จึงอาจสรุปได้ว่าค่าความเร็วบ่อนตัดและค่าความเร็วรอบไม่มีผลต่อค่าความโค้งงอของใบหินเจียรไนที่ทำการเจียรไนเซาะร่อง

เม็ดพลอยที่เจียรไนเซาะร่องทั้งหมด 34 ร่องนี้ จะถูกนำไปฝังโดยช่างฝังตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองร่องที่ทำการเจียรไนเซาะร่องได้นั้น มีขนาดใกล้เคียงกันทั้งความกว้างของร่องและความโค้งงอของล้อยหินเจียรไน สภาพของร่องสามารถนำไปใช้งานในการฝังตัวเรือนได้ทั้งหมด ดังนั้น จะสามารถสรุปค่าที่ได้จากกน่ายช่างดังต่อไปนี้

ความลึกในการตัด (DEPT OF CUT)	ค่าเฉลี่ย 0.22 มม.	ค่าเบี่ยงเบน 0.01 มม.
ความกว้างของร่อง (WIDTH)	0.31 มม.	0.02 มม.
ความโค้งงอของใบ (DEFLECTION)	0.14 มม.	0.02 มม.

ไม่มีความเสียหายที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลอง จึงสรุปได้ว่าผลการทดลองชุดนี้ใช้งานได้เต็ม 100 เปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย