

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้ ได้กล่าวถึงผลการศึกษาคคุณลักษณะของวัสดุที่นำมาใช้ในงานวิจัย ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาคคุณลักษณะของวัสดุ (Material characterization)

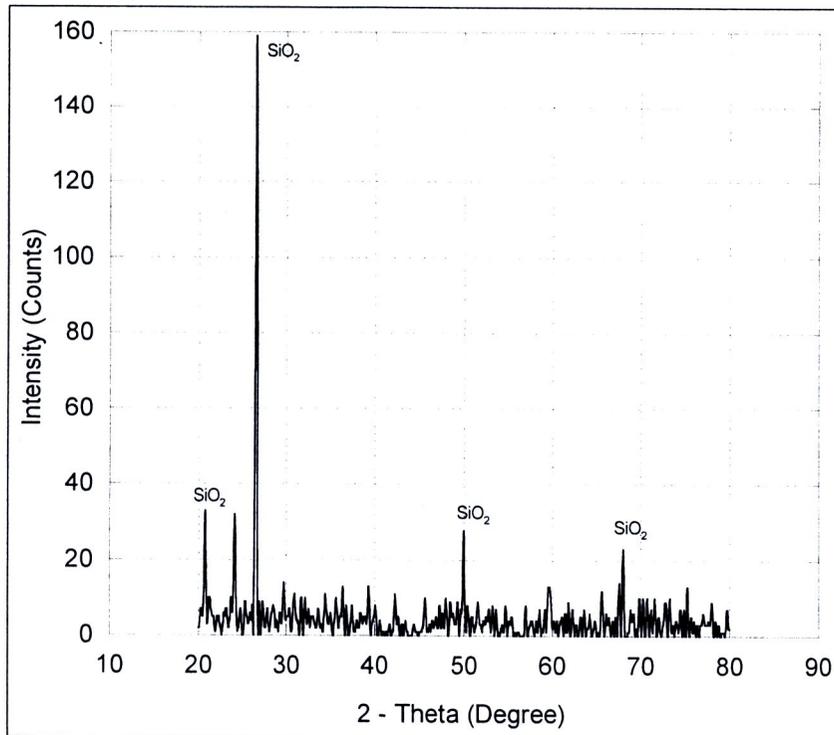
จากการศึกษาคคุณลักษณะของวัสดุที่นำมาใช้ในงานวิจัยนั้น สามารถสรุปผลการศึกษาคคุณลักษณะเชิงกายภาพ และเชิงกล ดังตารางที่ 4.1 และมีรายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อ 4.1.1 ถึง 4.1.3 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของวัสดุที่นำมาใช้ในงานวิจัย

คุณสมบัติ	ค่า
เฟสหลัก	ซีลิกา
ความหนาแน่นรวม (g / cm^3)	0.23
ความหนาแน่นมวลวัสดุ (g / cm^3)	2.41
ความพรุนตัว (%)	88.80
ขนาดรูพรุน (mm)	0.5 – 1.0
ความทนแรงอัด (MPa)	0.65
ความทนแรงดัดโค้ง (MPa)	1.97
ความเครียดแรงดัดโค้ง (mm / mm)	0.006

4.1.1 การวิเคราะห์เฟส (Phase analysis)

จากการศึกษาเฟสของวัสดุด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) สามารถวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมา ที่ 2θ และสามารถระบุเฟสหลักของวัสดุ ได้ดังรูปที่ 4.1 ซึ่งมีเฟสซีลิกา อยู่ที่ 2θ เท่ากับ 20.78 20.54 50.00 และ 67.62 องศา



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD

4.1.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะเชิงกายภาพ (Physical properties characterization)

จากการศึกษาคุณลักษณะเชิงกายภาพของวัสดุที่นำมาวิจัย มีรายละเอียด ดังนี้

4.1.2.1 ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

ความหนาแน่นรวมของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย ได้แสดงค่าทางสถิติไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าทางสถิติของความหนาแน่นรวมของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ค่าทางสถิติ	ค่า
ค่าสูงสุด (g/cm^3)	0.285
ค่าต่ำสุด (g/cm^3)	0.193
ค่าเฉลี่ย (g/cm^3)	0.231
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.018
สัมประสิทธิ์ความแปรผัน	7.63%

4.1.2.2 ความหนาแน่นมวลวัสดุ (Material mass density)

ความหนาแน่นมวลวัสดุของวัสดุ สามารถแสดงค่าทางสถิติไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าทางสถิติของความหนาแน่นมวลวัสดุของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ค่าทางสถิติ	ค่า
ค่าสูงสุด (g / cm ³)	2.501
ค่าต่ำสุด (g / cm ³)	2.143
ค่าเฉลี่ย (g / cm ³)	2.406
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.153
สัมประสิทธิ์ความแปรผัน	6.38%

4.1.2.3 ความพรุนตัว (Porosity)

ความพรุนตัวของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย ได้แสดงค่าทางสถิติไว้ในตารางที่ 4.4

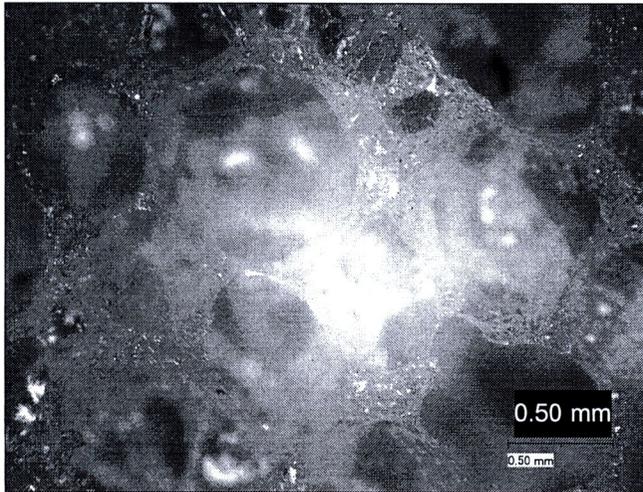
ตารางที่ 4.4 ค่าทางสถิติของความพรุนตัวของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ค่าทางสถิติ	ค่า
ค่าสูงสุด (%)	90.76
ค่าต่ำสุด (%)	89.22
ค่าเฉลี่ย (%)	90.36
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.662
สัมประสิทธิ์ความแปรผัน	0.73%

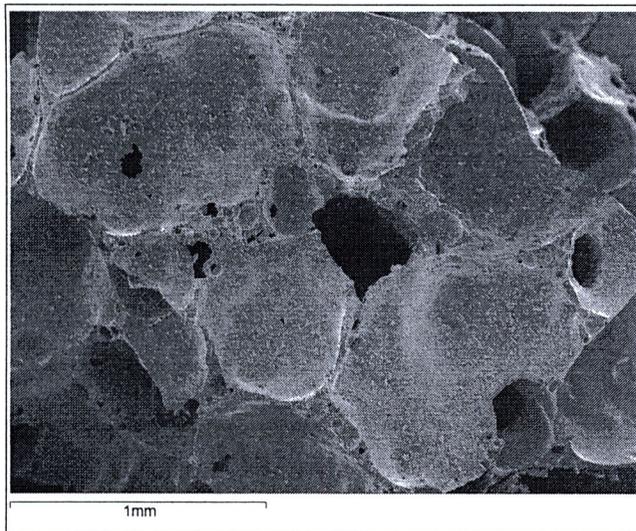


4.1.2.4 ขนาดรูพรุน (Pore size)

ขนาดรูพรุนของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย วัดจากภาพถ่ายซึ่งพบว่ามีขนาด 0.5 ถึง 1.0 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 โดยถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ชิ้นงานถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่กำลังขยาย 20 เท่า



รูปที่ 4.3 ชิ้นงานถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่งที่กำลังขยาย 50 เท่า

4.1.3 ผลการศึกษาคุณลักษณะเชิงกล (Mechanical properties characterization)

จากการศึกษาคุณลักษณะเชิงกลของวัสดุที่นำมาวิจัย มีรายละเอียด ดังนี้

4.1.3.1 ความทนแรงอัด (Compressive strength)

ความทนแรงอัดของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าทางสถิติของความทนแรงอัดของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ค่าทางสถิติ	ค่า
ค่าสูงสุด (MPa)	0.776
ค่าต่ำสุด (MPa)	0.541
ค่าเฉลี่ย (MPa)	0.649
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.092
สัมประสิทธิ์ความแปรผัน	14.22%

4.1.3.2 ความทนแรงดัดโค้ง (Bending strength)

ความทนแรงดัดโค้งของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าทางสถิติของความทนแรงดัดโค้งของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ค่าทางสถิติ	ค่า
ค่าสูงสุด (MPa)	2.195
ค่าต่ำสุด (MPa)	1.775
ค่าเฉลี่ย (MPa)	1.970
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.179
สัมประสิทธิ์ความแปรผัน	9.08%

4.1.3.3 ความเครียดแรงดัดโค้ง (Bending strain)

ความเครียดแรงดัดโค้งของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย แสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่าทางสถิติของความเครียดแรงดัดโค้งของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ค่าทางสถิติ	ค่า
ค่าสูงสุด (mm/mm)	0.009
ค่าต่ำสุด (mm/mm)	0.004
ค่าเฉลี่ย (mm/mm)	0.006
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.002
สัมประสิทธิ์ความแปรผัน	31.07%

4.2 ผลการทดลอง

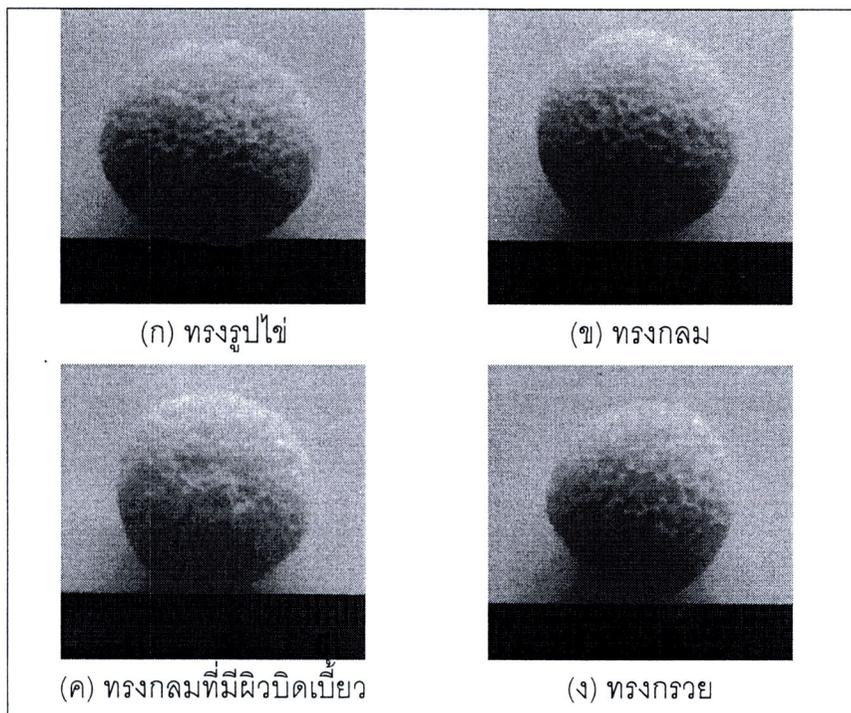
จากแผนการดำเนินการและขั้นตอนการทดลองที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 นั้น ทำให้ได้ผลตอบสนองการเจียรดังนี้

4.2.1 การเกิดรูปทรงของชิ้นงาน (Shape)

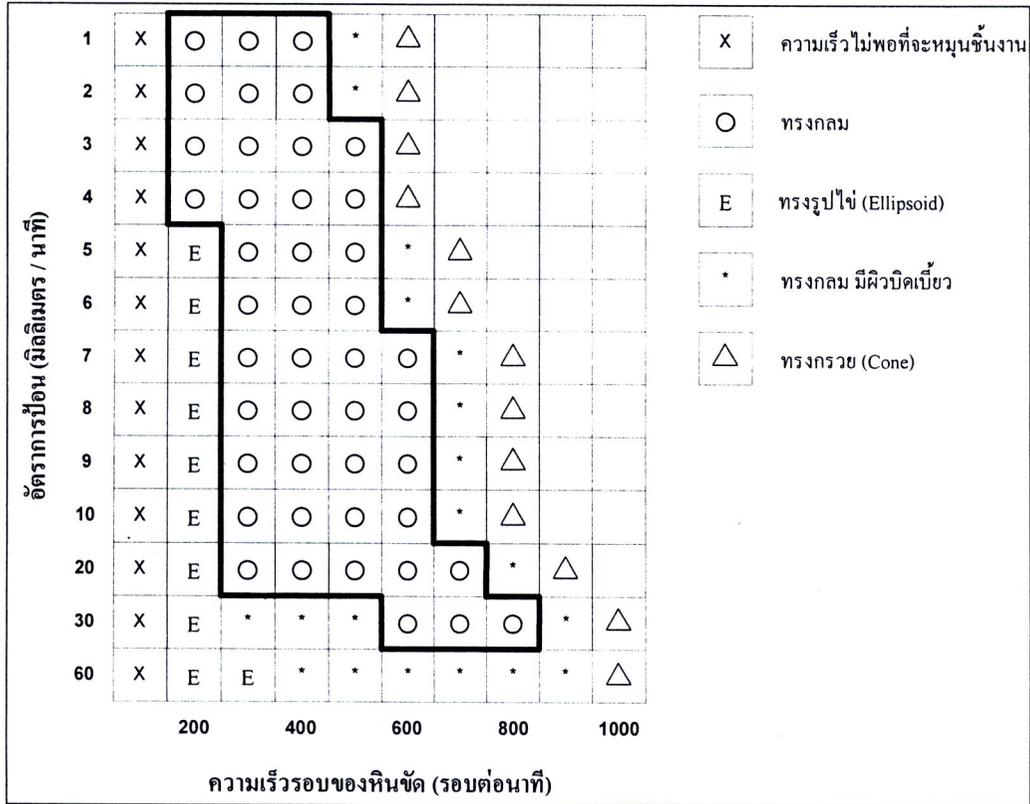
การพิจารณารูปทรงของชิ้นงานหลังการเจียร ได้ใช้คุณสมบัติของทรงกลมที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 นั้น พบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเจียรนั้น มีรูปทรงเกิดขึ้นแตกต่างกันไป โดยสามารถระบุได้เป็น 4 รูปทรง ดังนี้ (ภาพถ่ายของรูปทรงชิ้นงานหลังการเจียร ดังรูปที่ 4.4)

1. ทรงรูปไข่ (Oval) หรือ ทรงรี (Ellipsoid)
2. ทรงกลม (Sphere)
3. ทรงกลมที่มีผิวบิดเบี้ยว (Distorted sphere)
4. ทรงกรวย (Cone)

จากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยระหว่าง ความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงาน พบว่า จะทำให้เกิดขอบเขตของปัจจัยที่สามารถเจียรขึ้นรูปทรงกลมได้ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 ลักษณะรูปทรงชิ้นงานหลังการเจียร



รูปที่ 4.5 รูปทรงของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเจียร ที่ความเร็รรอบงานขัดและอัตราการป้อน ชิ้นงานต่างๆ

จากผลการทดลองสามารถแยกช่วงของความเร็รรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานที่สามารถเจียรขึ้นรูปทรงกลม ได้ดังนี้

- (1) ความเร็รรอบงานขัด 200 รอบต่อนาที สามารถเจียรขึ้นรูปทรงกลมที่อัตราการป้อน ชิ้นงาน 1 ถึง 4 มิลลิเมตรต่อนาที
- (2) ความเร็รรอบงานขัด 300 ถึง 400 รอบต่อนาที สามารถเจียรขึ้นรูปทรงกลมที่อัตรา การป้อนชิ้นงาน 1 ถึง 20 มิลลิเมตรต่อนาที
- (3) ความเร็รรอบงานขัด 500 รอบต่อนาที สามารถเจียรขึ้นรูปทรงกลมที่อัตราการป้อน ชิ้นงาน 3 ถึง 20 มิลลิเมตรต่อนาที
- (4) ความเร็รรอบงานขัด 600 รอบต่อนาที สามารถเจียรขึ้นรูปทรงกลมที่อัตราการป้อน ชิ้นงาน 7 ถึง 30 มิลลิเมตรต่อนาที
- (5) ความเร็รรอบงานขัด 700 รอบต่อนาที สามารถเจียรขึ้นรูปทรงกลมที่อัตราการป้อน ชิ้นงาน 20 ถึง 30 มิลลิเมตรต่อนาที

- (6) ความเร็วรอบจานขัด 800 รอบต่อนาที สามารถเจียรขึ้นรูปทรงกลมที่อัตราการป้อนชิ้นงาน 30 มิลลิเมตรต่อนาที

เมื่อพิจารณาในแต่ละอัตราการป้อนชิ้นงาน เมื่อเพิ่มความเร็วรอบจานขัดแนวโน้มของรูปทรงชิ้นงานที่ได้หลังจากเจียร สามารถจำแนกความแตกต่างได้ดังนี้

- (1) ที่อัตราการป้อนชิ้นงาน 1 ถึง 2 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อเพิ่มความเร็วรอบจานขัด จะได้ชิ้นงานทรงกลม ทรงกลมมีผิวบิดเบี้ยว และทรงกรวย ตามลำดับ
- (2) ที่อัตราการป้อนชิ้นงาน 3 ถึง 4 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อเพิ่มความเร็วรอบจานขัด จะได้ชิ้นงานทรงกลม และทรงกรวย ตามลำดับ
- (3) ที่อัตราการป้อนชิ้นงาน 5 ถึง 20 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อเพิ่มความเร็วรอบจานขัด จะได้ชิ้นงานทรงรูปไข่ ทรงกลม ทรงกลมมีผิวบิดเบี้ยว และทรงกรวย ตามลำดับ
- (4) ที่อัตราการป้อนชิ้นงาน 30 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อเพิ่มความเร็วรอบจานขัด จะได้ชิ้นงานทรงรูปไข่ ทรงกลมมีผิวบิดเบี้ยว ทรงกลม ทรงกลมมีผิวบิดเบี้ยว และทรงกรวย ตามลำดับ

4.2.2. เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทรงกลม (Diameter)

เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานหลังการเจียร จะพิจารณาเฉพาะชิ้นงานที่มีรูปทรงเป็นทรงกลม โดยทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทรงกลมแล้วนำมาคำนวณค่าเฉลี่ย ซึ่งได้แสดงเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชิ้นงาน ดังในตารางที่ 4.8 และนำค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยทั้ง 3 ชุดทดสอบมาคำนวณค่าเฉลี่ย ดังในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 เส้นผ่านศูนย์กลางและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 3 ชุดทดสอบ

อัตราการผลิต ชิ้นงาน (มม. / นาที)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)						
	ความเร็วรอบงานชุด (รอบต่อนาที)						
	200	300	400	500	600	700	800
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
1	20.19 ± 0.05	20.17 ± 0.12	20.00 ± 0.06				
2	20.46 ± 0.08	20.19 ± 0.06	20.13 ± 0.06				
3	20.10 ± 0.06	20.14 ± 0.06	20.24 ± 0.06	20.08 ± 0.05			
4	20.27 ± 0.13	20.29 ± 0.06	20.20 ± 0.05	20.02 ± 0.05			
5		20.02 ± 0.07	19.91 ± 0.07	20.13 ± 0.05			
6		19.93 ± 0.09	20.14 ± 0.07	20.12 ± 0.06			
7		20.14 ± 0.09	20.05 ± 0.06	20.26 ± 0.04	20.17 ± 0.04		
8		20.10 ± 0.21	19.86 ± 0.07	20.07 ± 0.06	20.39 ± 0.06		
9		20.13 ± 0.15	20.12 ± 0.08	20.12 ± 0.05	20.13 ± 0.09		
10		20.05 ± 0.13	20.29 ± 0.08	20.58 ± 0.16	20.45 ± 0.07		
20		20.06 ± 0.17	20.00 ± 0.08	19.95 ± 0.08	19.96 ± 0.07	19.98 ± 0.09	
30					20.07 ± 0.16	20.02 ± 0.06	19.97 ± 0.07
1	20.09 ± 0.07	20.10 ± 0.06	20.46 ± 0.06				
2	20.13 ± 0.08	20.43 ± 0.10	20.26 ± 0.06				
3	20.27 ± 0.09	20.66 ± 0.07	20.45 ± 0.06	20.45 ± 0.09			
4	20.11 ± 0.06	20.51 ± 0.06	20.48 ± 0.10	20.51 ± 0.07			
5		20.24 ± 0.05	20.24 ± 0.09	20.22 ± 0.05			
6		20.48 ± 0.06	20.49 ± 0.07	20.37 ± 0.09			
7		20.42 ± 0.11	20.49 ± 0.06	20.47 ± 0.05	20.16 ± 0.47		
8		20.22 ± 0.04	20.49 ± 0.04	20.20 ± 0.07	20.33 ± 0.12		
9		20.25 ± 0.08	20.44 ± 0.08	20.47 ± 0.06	20.40 ± 0.13		
10		20.49 ± 0.06	20.46 ± 0.07	20.46 ± 0.04	20.14 ± 0.07		
20		20.06 ± 0.08	20.09 ± 0.05	20.11 ± 0.07	20.06 ± 0.07	20.08 ± 0.09	
30					20.02 ± 0.05	20.05 ± 0.07	20.12 ± 0.21
1	20.35 ± 0.05	20.60 ± 0.06	20.23 ± 0.08				
2	20.57 ± 0.05	20.56 ± 0.07	20.35 ± 0.06				
3	20.56 ± 0.06	20.30 ± 0.08	20.48 ± 0.11	20.01 ± 0.46			
4	20.75 ± 0.49	20.63 ± 0.13	20.52 ± 0.10	20.45 ± 0.18			
5		20.54 ± 0.13	20.30 ± 0.06	20.48 ± 0.09			
6		20.26 ± 0.09	20.53 ± 0.15	20.51 ± 0.09			
7		20.53 ± 0.09	20.55 ± 0.08	20.25 ± 0.05	20.37 ± 0.11		
8		20.68 ± 0.24	20.30 ± 0.04	20.48 ± 0.15	20.32 ± 0.19		
9		20.61 ± 0.14	20.46 ± 0.09	20.41 ± 0.20	20.15 ± 0.07		
10		20.61 ± 0.15	20.43 ± 0.05	20.27 ± 0.04	20.40 ± 0.08		
20		20.33 ± 0.41	20.11 ± 0.08	20.04 ± 0.08	20.07 ± 0.06	20.07 ± 0.05	
30					20.01 ± 0.07	20.01 ± 0.06	19.95 ± 0.11

หมายเหตุ พื้นที่ว่างในตาราง คือ บริเวณที่ชิ้นงานหลังการเจียรไม่เป็นทรงกลม

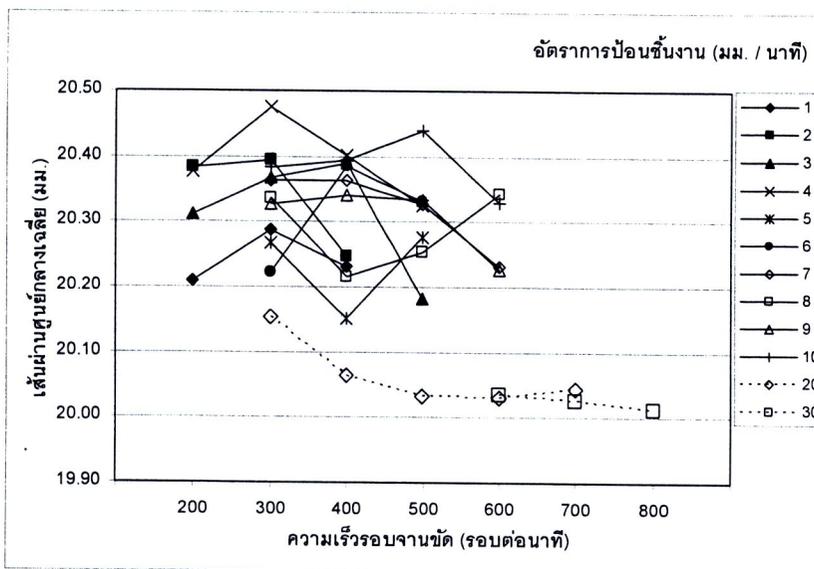
ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทรงกลม

อัตราการป้อน (มม. / นาที)	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)						
	ความเร็วรอบงานขัด (รอบต่อนาที)						
	200	300	400	500	600	700	800
1	20.21 ± 0.13	20.29 ± 0.27	20.23 ± 0.23				
2	20.38 ± 0.23	20.39 ± 0.19	20.25 ± 0.11				
3	20.31 ± 0.23	20.37 ± 0.26	20.39 ± 0.13	20.18 ± 0.24			
4	20.38 ± 0.33	20.48 ± 0.17	20.40 ± 0.18	20.33 ± 0.27			
5		20.27 ± 0.26	20.15 ± 0.21	20.28 ± 0.18			
6		20.22 ± 0.28	20.39 ± 0.22	20.33 ± 0.20			
7		20.36 ± 0.20	20.36 ± 0.27	20.33 ± 0.12	20.23 ± 0.12		
8		20.34 ± 0.31	20.22 ± 0.32	20.25 ± 0.21	20.34 ± 0.04		
9		20.33 ± 0.25	20.34 ± 0.19	20.33 ± 0.19	20.23 ± 0.15		
10		20.38 ± 0.30	20.39 ± 0.09	20.44 ± 0.15	20.33 ± 0.16		
20		20.15 ± 0.15	20.06 ± 0.06	20.03 ± 0.08	20.03 ± 0.06	20.04 ± 0.07	
30					20.03 ± 0.03	20.03 ± 0.07	20.01 ± 0.13

หมายเหตุ พื้นที่ว่างในตาราง คือ บริเวณที่ชิ้นงานหลังการเจียรไม่เป็นทรงกลม

เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยมีค่า 19.86 ถึง 20.75 มิลลิเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทั้งหมดเท่ากับ 20.27 ± 0.21 มิลลิเมตร ที่ขอบเขตความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานต่างๆ ดังตารางที่ 4.8

เมื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังรูปที่ 4.6 พบว่า ที่อัตราการป้อนชิ้นงานระหว่าง 20 และ 30 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างออกไปจากอัตราการป้อนชิ้นงานอื่น โดยได้วิเคราะห์ความแตกต่างในหัวข้อการวิเคราะห์ผลการทดลอง

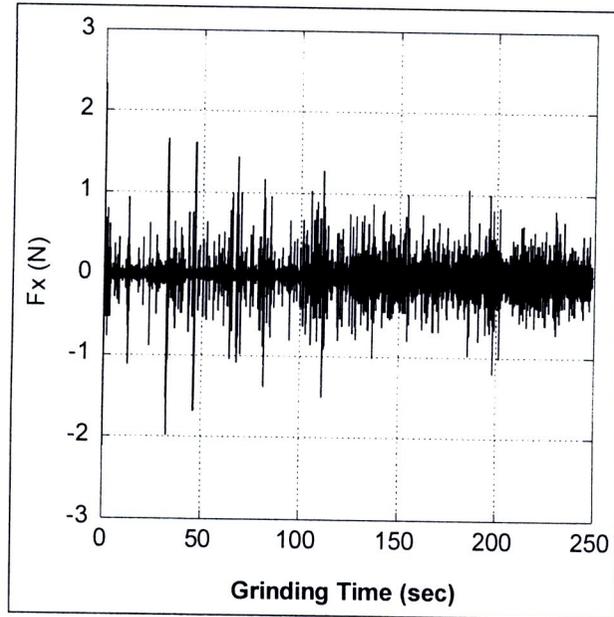


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของชิ้นงานทรงกลม กับความเร็วรอบงานขัด ที่อัตราการป้อนชิ้นต่างๆ

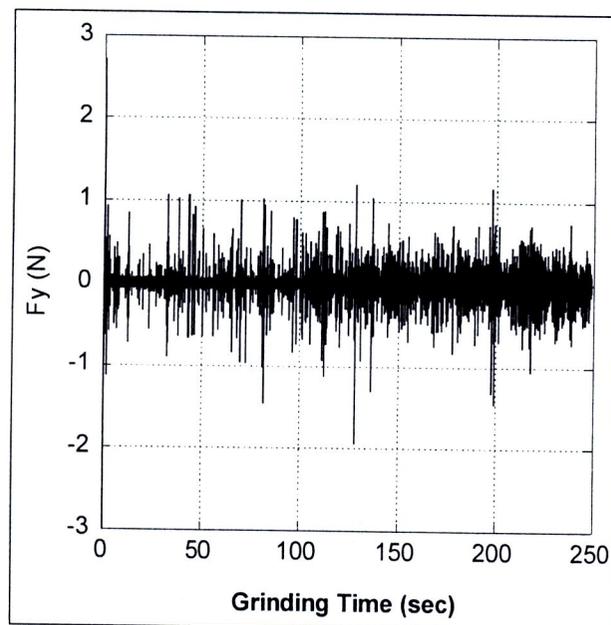
4.2.3 แรงในแนวเส้นสัมผัส (Tangential force; F_t)

แรงในแนวเส้นสัมผัสที่นำมาพิจารณานี้ จะพิจารณาเฉพาะแรงที่เกิดจากการเจียรชิ้นงานที่มีรูปทรงเป็นทรงกลมและมีขนาดตามที่ต้องการเท่านั้น โดยนำเสนอในรูปแบบค่ารากกำลังสองเฉลี่ยซึ่งได้มาจากการคำนวณในบทที่ 3 แล้ว ทั้งนี้ได้แสดงตัวอย่างของแรงในแนวแกน x และ y ที่เกิดขึ้นระหว่างการเจียรชิ้นงานทรงกลมที่ความเร็วรอบจานขัด 300 รอบต่อนาที และอัตราการป้อนชิ้นงาน 2 มิลลิเมตรต่อนาที ในรูปที่ 4.7 และ 4.8 ซึ่งพบว่า แรงในแนวแกน x และ y ไม่มีรูปแบบการเกิดแรงที่แน่นอน ซึ่งขึ้นอยู่กับจังหวะที่ชิ้นงานโดนกระทำด้วยแรงจากอนุภาคของวัสดุขัดสีของกระดาษทราย

สำหรับค่าของแรงในแนวเส้นสัมผัสที่เกิดจากการเจียรชิ้นงานเพื่อให้ได้ชิ้นงานทรงกลมที่มีขนาดตามที่ต้องการนั้นได้แสดงในตารางที่ 4.10 และแสดงค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ชุดทดสอบในตารางที่ 4.11



รูปที่ 4.7 แรงที่เกิดขึ้นในแนวแกน x ขณะเจียรที่ความเร็วรอบงานขัด 300 รอบต่อนาที และอัตราการป้อนชิ้นงาน 2 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ 4.8 แรงที่เกิดขึ้นในแนวแกน y ขณะเจียรที่ความเร็วรอบงานขัด 300 รอบต่อนาที และอัตราการป้อนชิ้นงาน 2 มิลลิเมตรต่อนาที

ตารางที่ 4.10 แรงในแนวเส้นสัมผัสทั้ง 3 ชุดทดสอบ

อัตราการป้อน ชิ้นงาน (มม. / นาที)	แรงในแนวเส้นสัมผัส (Ft rms) (N)				
	ความเร็วรอบงานขัด (รอบต่อนาที)				
	200	300	400	500	600
1	0.173	0.151	0.101		
2	0.255	0.154	0.137		
3	0.286	0.205	0.153	0.146	
4	0.363	0.214	0.222	0.227	
5		0.278	0.234	0.278	
6		0.270	0.262	0.281	
7		0.321	0.280	0.262	0.219
8		0.373	0.311	0.304	0.230
9		0.242	0.223	0.214	0.271
10		0.249	0.366	0.274	0.299
1	0.117	0.122	0.131		
2	0.180	0.180	0.201		
3	0.225	0.188	0.247	0.153	
4	0.243	0.229	0.289	0.194	
5		0.246	0.334	0.219	
6		0.269	0.394	0.220	
7		0.293	0.456	0.257	0.196
8		0.390	0.483	0.278	0.237
9		0.396	0.499	0.277	0.402
10		0.502	0.510	0.357	0.380
1	0.165	0.121	0.092		
2	0.236	0.170	0.145		
3	0.309	0.197	0.181	0.167	
4	0.343	0.241	0.202	0.223	
5		0.236	0.226	0.257	
6		0.273	0.261	0.269	
7		0.301	0.318	0.324	0.155
8		0.318	0.301	0.409	0.202
9		0.306	0.293	0.346	0.184
10		0.364	0.389	0.423	0.216

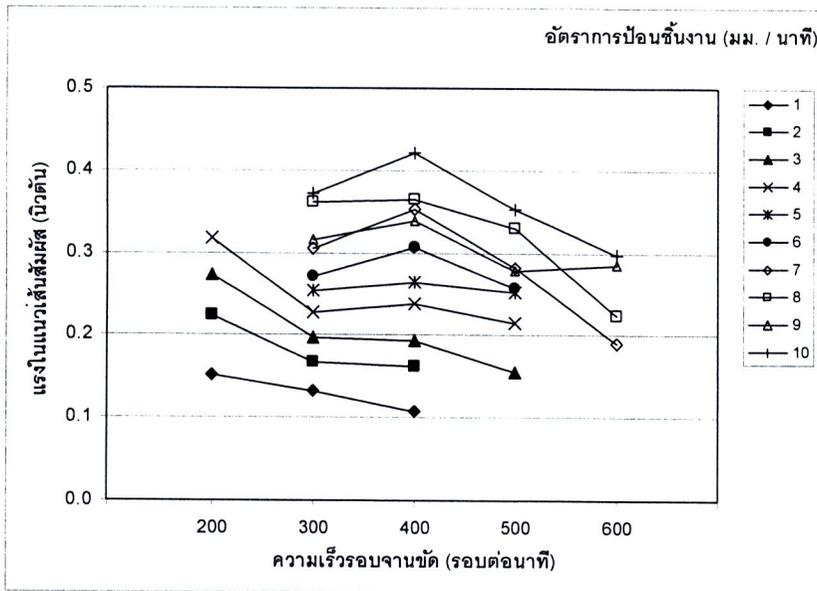
หมายเหตุ พื้นที่ว่างในตาราง คือ บริเวณที่ชิ้นงานหลังการเจียรไม่เป็นทรงกลม

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยของแรงในแนวเส้นสัมผัส

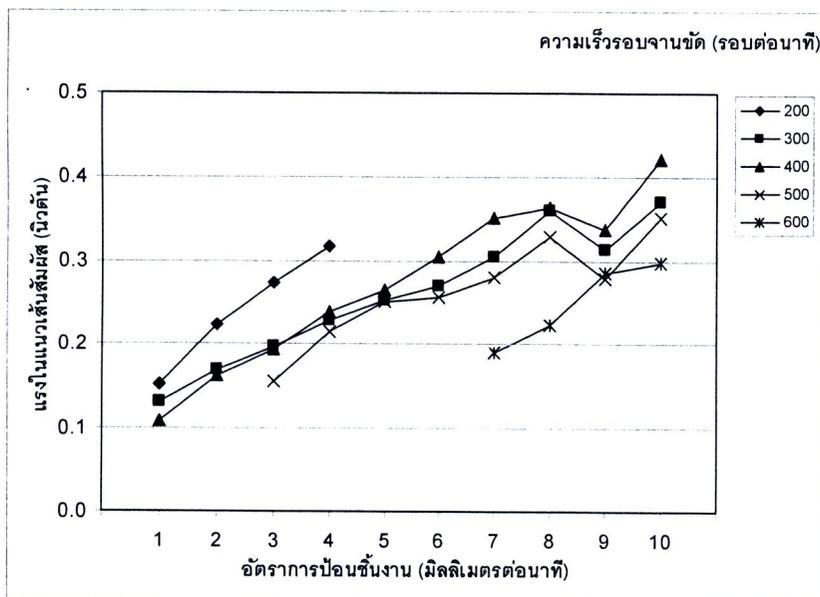
อัตราการป้อน ชิ้นงาน (มม. / นาที)	ค่าเฉลี่ยแรงในแนวเส้นสัมผัส (Ft rms) (N)				
	ความเร็วรอบงานขัด (รอบต่อนาที)				
	200	300	400	500	600
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
1	0.152 ± 0.030	0.131 ± 0.017	0.108 ± 0.021		
2	0.224 ± 0.039	0.168 ± 0.013	0.161 ± 0.035		
3	0.274 ± 0.043	0.197 ± 0.008	0.194 ± 0.049	0.155 ± 0.011	
4	0.316 ± 0.064	0.228 ± 0.014	0.238 ± 0.045	0.215 ± 0.018	
5		0.253 ± 0.022	0.265 ± 0.060	0.251 ± 0.030	
6		0.271 ± 0.002	0.305 ± 0.077	0.257 ± 0.032	
7		0.305 ± 0.015	0.351 ± 0.092	0.281 ± 0.037	0.190 ± 0.032
8		0.360 ± 0.037	0.365 ± 0.102	0.330 ± 0.069	0.223 ± 0.019
9		0.314 ± 0.077	0.338 ± 0.143	0.279 ± 0.066	0.285 ± 0.110
10		0.372 ± 0.127	0.422 ± 0.077	0.352 ± 0.075	0.298 ± 0.082

หมายเหตุ พื้นที่ว่างในตาราง คือ บริเวณที่ชิ้นงานหลังการเจียรไม่เป็นทรงกลม

แรงในแนวเส้นสัมผัสที่เกิดจากการเฉื่อยเพื่อให้ได้ชิ้นงานทรงกลมที่มีขนาดที่ต้องการนั้นมีค่าอยู่ระหว่าง 0.092 ถึง 0.510 นิวตัน ที่ขอบเขตความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานต่างๆ ดังตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวเส้นสัมผัส กับความเร็วรอบงานขัดที่อัตราการป้อนชิ้นงานต่างๆ



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวเส้นสัมผัส กับอัตราการป้อนชิ้นงานที่ความเร็วรอบงานขัดต่างๆ

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 เมื่อมีการเปลี่ยนความเร็วรอบจันซ์และอัตราการป้อนชิ้นงาน ส่งผลให้แรงแนวเส้นสัมผัสเปลี่ยนแปลงไป โดยเมื่อความเร็วรอบจันซ์คงที่ และเพิ่มอัตราการป้อนชิ้นงานทำให้แรงในแนวเส้นสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการป้อนชิ้นงานคงที่ ทำให้แรงในแนวสัมผัสมีแนวโน้มลดต่ำลง เมื่อเจียรที่ความเร็วรอบจันซ์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราการป้อนชิ้นงาน 1 มิลลิเมตรต่อนาที ทำให้แรงในแนวเส้นสัมผัสมีค่าที่ต่ำที่สุด

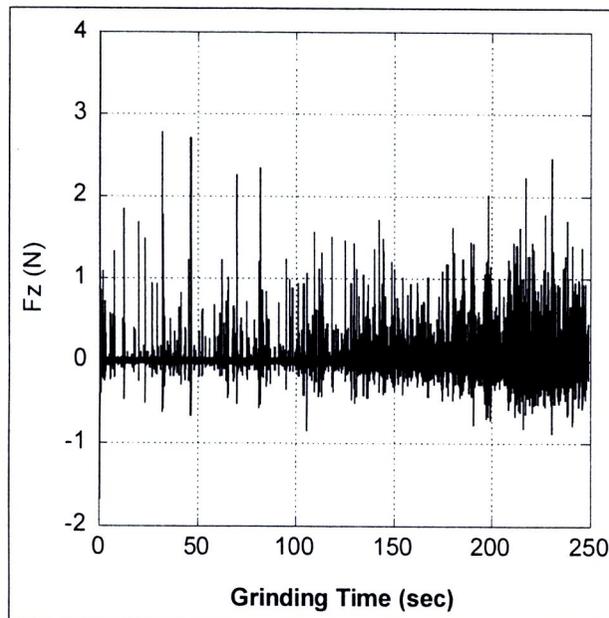
จากรูปที่ 4.9 การเจียรด้วยความเร็วรอบจันซ์ 400 รอบต่อนาที เมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ส่วนต่างระหว่างแรงที่เกิดขึ้นที่ความเร็วรอบจันซ์ 300 กับ 400 รอบต่อนาทีเปลี่ยนไป คือ

- (1) เมื่ออัตราการป้อน 1 มิลลิเมตรต่อนาที แรงที่เกิดขึ้นจากความเร็วรอบจันซ์ 400 รอบต่อนาทีจะมีค่าน้อยกว่าแรงที่เกิดขึ้นจากความเร็วรอบจันซ์ 300 รอบต่อนาที
- (2) เมื่ออัตราการป้อน 2 และ 3 มิลลิเมตรต่อนาที แรงที่เกิดขึ้นจากความเร็วรอบจันซ์ 400 รอบต่อนาทีจะมีค่าใกล้เคียงกับแรงที่เกิดขึ้นจากความเร็วรอบจันซ์ 300 รอบต่อนาที
- (3) เมื่ออัตราการป้อน 4 ถึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที แรงที่เกิดขึ้นจากความเร็วรอบจันซ์ 400 รอบต่อนาทีจะมีค่ามากกว่าแรงที่เกิดขึ้นจากความเร็วรอบจันซ์ 300 รอบต่อนาที และจะมีส่วนต่างที่สุดที่อัตราการป้อน 10 มิลลิเมตรต่อนาที

จากรูปที่ 4.10 การเจียรด้วยความเร็วรอบจันซ์ 300 ถึง 500 รอบต่อนาที แรงในแนวเส้นสัมผัสที่เกิดขึ้น ที่อัตราการป้อนชิ้นงาน 9 มิลลิเมตรต่อนาที จะมีน้อยกว่า ที่อัตราการป้อนชิ้นงาน 8 มิลลิเมตรต่อนาที

4.2.4 แรงกดปกติ (Normal force; F_n)

แรงในแนวเส้นสัมผัสที่นำมาพิจารณานี้ จะพิจารณาเฉพาะแรงที่เกิดจากการเจียรชิ้นงานที่มีรูปทรงเป็นทรงกลมและมีขนาดตามที่ต้องการเท่านั้น โดยนำเสนอในรูปแบบค่ารากกำลังสองเฉลี่ยซึ่งได้มาจากการคำนวณในบทที่ 3 ทั้งนี้ได้แสดงตัวอย่างของแรงในแนวแกน z ที่เกิดขึ้นระหว่างการเจียรชิ้นงานทรงกลมที่ความเร็วรอบงานขัด 300 รอบต่อนาที และอัตราการป้อนชิ้นงาน 2 มิลลิเมตรต่อนาที ในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แรงที่เกิดขึ้นในแนวแกน z ขณะเจียรที่ความเร็วรอบงานขัด 300 รอบต่อนาที และอัตราการป้อนชิ้นงาน 2 มิลลิเมตรต่อนาที

ค่าของแรงกดปกติที่เกิดจากการเจียรชิ้นงานเพื่อให้ได้ชิ้นงานทรงกลมที่มีขนาดตามที่ต้องการนั้นได้แสดงในตารางที่ 4.12 และแสดงค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ชุดทดสอบในตารางที่ 4.13

แรงกดปกติที่เกิดจากการเจียรเพื่อให้ได้ชิ้นงานทรงกลมอยู่ระหว่าง 0.078 ถึง 0.568 นิวตัน ที่ขอบเขตความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานต่างๆ ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แรงกดปกติทั้ง 3 ชุดทดสอบ

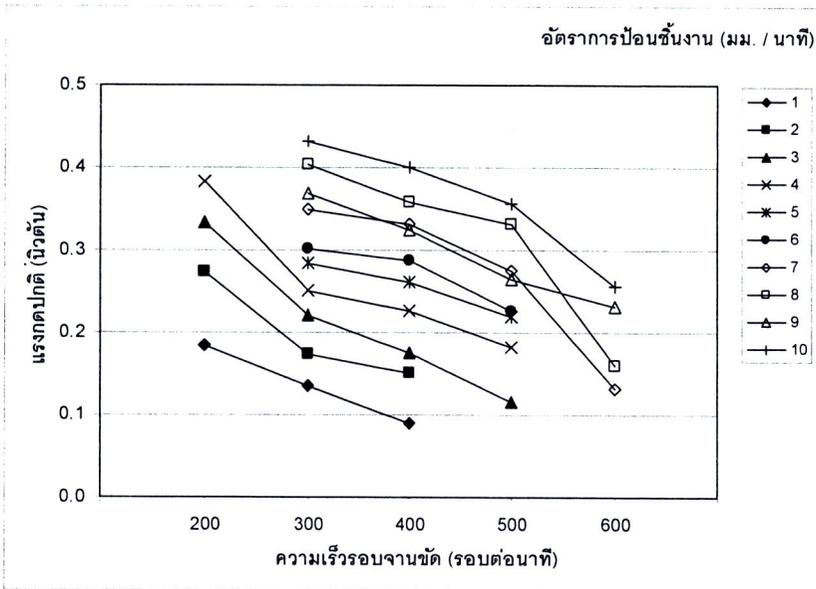
อัตราการป้อน ชิ้นงาน (มม./นาท)	แรงกดปกติ (Fn rms) (N)				
	ความเร็วรอบงานขัด (รอบต่อนาที)				
	200	300	400	500	600
1	0.215	0.176	0.092		
2	0.338	0.177	0.150		
3	0.391	0.233	0.177	0.139	
4	0.439	0.248	0.223	0.210	
5		0.318	0.238	0.268	
6		0.311	0.268	0.292	
7		0.382	0.277	0.302	0.194
8		0.429	0.351	0.343	0.233
9		0.281	0.212	0.200	0.268
10		0.293	0.379	0.292	0.279
1	0.135	0.113	0.097		
2	0.204	0.161	0.178		
3	0.241	0.218	0.195	0.099	
4	0.285	0.250	0.259	0.165	
5		0.270	0.326	0.180	
6		0.285	0.349	0.164	
7		0.344	0.429	0.230	0.098
8		0.449	0.456	0.291	0.131
9		0.488	0.472	0.284	0.286
10		0.568	0.461	0.362	0.350
1	0.202	0.117	0.078		
2	0.282	0.180	0.126		
3	0.368	0.209	0.152	0.108	
4	0.423	0.257	0.197	0.171	
5		0.265	0.222	0.209	
6		0.310	0.243	0.224	
7		0.320	0.289	0.293	0.104
8		0.333	0.267	0.361	0.114
9		0.335	0.287	0.310	0.140
10		0.434	0.363	0.416	0.139

หมายเหตุ พื้นที่ว่างในตาราง คือ บริเวณที่ชิ้นงานหลังการเจียรไม่เป็นทรงกลม

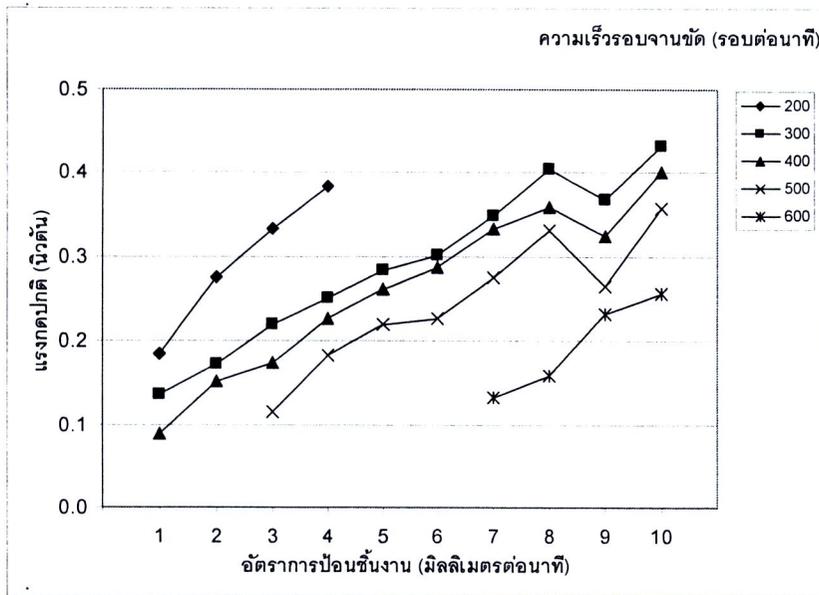
ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยของแรงกดปกติ

อัตราการป้อน ชิ้นงาน (มม. / นาท)	ค่าเฉลี่ยแรงกดปกติ (Fn rms) (N)				
	ความเร็วรอบงานขัด (รอบต่อนาที)				
	200	300	400	500	600
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
1	0.184 ± 0.043	0.135 ± 0.036	0.089 ± 0.010		
2	0.275 ± 0.068	0.173 ± 0.010	0.151 ± 0.026		
3	0.334 ± 0.081	0.220 ± 0.012	0.175 ± 0.021	0.115 ± 0.021	
4	0.383 ± 0.085	0.252 ± 0.005	0.226 ± 0.031	0.182 ± 0.024	
5		0.284 ± 0.029	0.262 ± 0.056	0.219 ± 0.045	
6		0.302 ± 0.015	0.287 ± 0.055	0.227 ± 0.064	
7		0.349 ± 0.031	0.332 ± 0.085	0.275 ± 0.039	0.132 ± 0.054
8		0.404 ± 0.062	0.358 ± 0.095	0.332 ± 0.037	0.159 ± 0.065
9		0.368 ± 0.107	0.324 ± 0.134	0.265 ± 0.057	0.232 ± 0.080
10		0.431 ± 0.138	0.401 ± 0.053	0.357 ± 0.062	0.256 ± 0.108

หมายเหตุ พื้นที่ว่างในตาราง คือ บริเวณที่ชิ้นงานหลังการเจียรไม่เป็นทรงกลม



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดปกติ กับความเร็วรอบงานชุดที่อัตราการป้อนชิ้นงานต่างๆ



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดปกติ กับอัตราการป้อนชิ้นงานที่ความเร็วรอบงานชุดต่างๆ

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 เมื่อมีการเปลี่ยนความเร็วรอบจันต์และอัตราการป้อนชิ้นงาน ส่งผลให้แรงกดปกติมีค่าเปลี่ยนแปลงไป โดยเมื่อความเร็วรอบจันต์คงที่ และเพิ่มอัตราการป้อนชิ้นงานทำให้แรงกดปกติมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราการป้อนชิ้นงานคงที่ ทำให้แรงกดปกติมีแนวโน้มลดต่ำลง เมื่อเจียรที่ความเร็วรอบจันต์ 400 รอบต่อนาทีและอัตราการป้อนชิ้นงาน 1 มิลลิเมตรต่อนาที ทำให้แรงกดปกติมีค่าที่ต่ำที่สุด

จากรูปที่ 4.13 การเจียรด้วยความเร็วรอบจันต์ 300 ถึง 500 รอบต่อนาที แรงกดปกติที่เกิดขึ้น ที่อัตราการป้อนชิ้นงาน 9 มิลลิเมตรต่อนาที จะมีน้อยกว่า ที่อัตราการป้อนชิ้นงาน 8 มิลลิเมตรต่อนาที

4.2.5 อัตราส่วนแรง (Force ratio; F_t / F_n)

อัตราส่วนแรง ได้คำนวณมาจาก แรงในแนวเส้นสัมผัสและแรงกดปกติ ได้แสดงค่าไว้ใน ตารางที่ 4.14 และแสดงค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ชุดทดสอบในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.14 อัตราส่วนแรงทั้ง 3 ชุดทดสอบ

อัตราการป้อน ชิ้นงาน (มม. / นาที)	อัตราส่วนแรง (F_t/F_n)				
	ความเร็วรอบงานขัด (รอบต่อนาที)				
	200	300	400	500	600
1	0.805	0.857	1.101		
2	0.753	0.871	0.916		
3	0.732	0.877	0.864	1.050	
4	0.826	0.863	0.997	1.078	
5		0.877	0.981	1.035	
6		0.868	0.974	0.963	
7		0.842	1.010	0.870	1.130
8		0.869	0.884	0.886	0.987
9		0.859	1.054	1.069	1.010
10		0.852	0.967	0.938	1.072
1	0.864	1.081	1.351		
2	0.883	1.118	1.130		
3	0.936	0.863	1.268	1.544	
4	0.852	0.916	1.116	1.174	
5		0.909	1.025	1.215	
6		0.944	1.127	1.343	
7		0.852	1.061	1.117	2.001
8		0.868	1.059	0.955	1.814
9		0.811	1.056	0.974	1.403
10		0.884	1.105	0.987	1.084
1	0.814	1.037	1.173		
2	0.839	0.941	1.151		
3	0.839	0.941	1.186	1.545	
4	0.810	0.937	1.029	1.303	
5		0.889	1.017	1.228	
6		0.881	1.073	1.199	
7		0.940	1.101	1.106	1.493
8		0.955	1.128	1.131	1.779
9		0.913	1.020	1.116	1.312
10		0.840	1.073	1.017	1.558

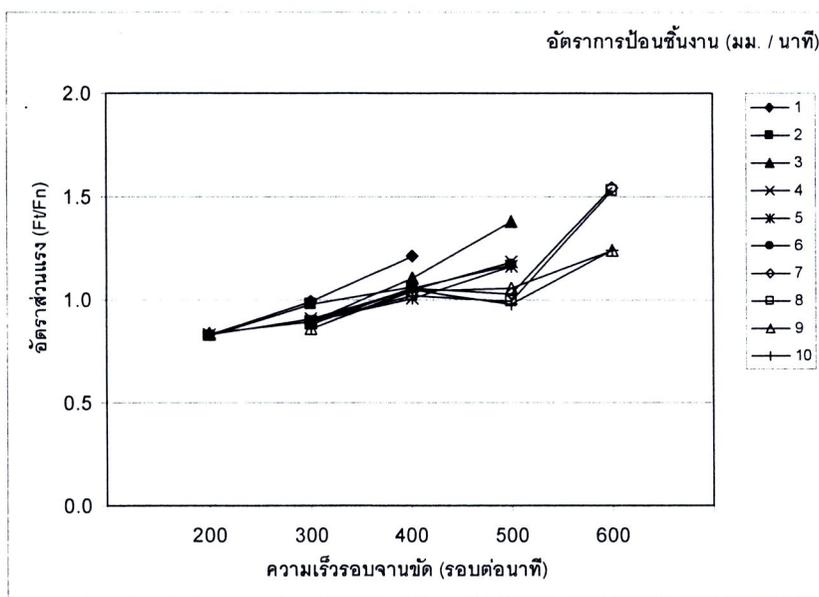
หมายเหตุ พื้นที่ว่างในตาราง คือ บริเวณที่ชิ้นงานหลังการเจียรไม่เป็นทรงกลม

อัตราส่วนแรงที่เกิดจากการเจียรเพื่อให้ได้ชิ้นงานทรงกลมอยู่ระหว่าง 0.732 ถึง 2.001 ที่ขอบเขตความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานต่างๆ ดังตารางที่ 4.14

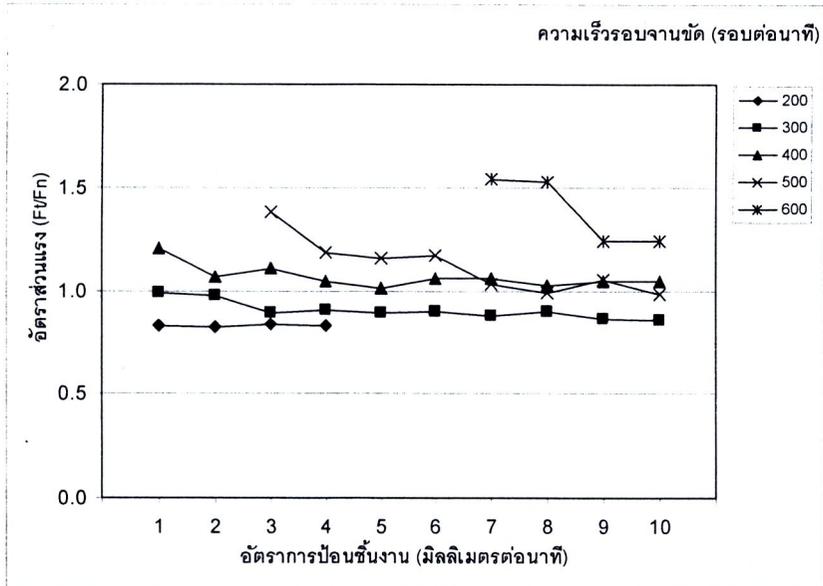
ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนแรง

อัตราการป้อน ชิ้นงาน (มม. / นาที)	ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนแรง (Ft/Fn)									
	ความเร็วรอบงานขัด (รอบต่อนาที)									
	200		300		400		500		600	
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
1	0.828 ± 0.032	0.992 ± 0.119	1.209 ± 0.129							
2	0.825 ± 0.066	0.977 ± 0.127	1.066 ± 0.130							
3	0.836 ± 0.102	0.894 ± 0.042	1.106 ± 0.213	1.380 ± 0.286						
4	0.830 ± 0.021	0.905 ± 0.038	1.047 ± 0.062	1.185 ± 0.113						
5		0.892 ± 0.016	1.008 ± 0.023	1.160 ± 0.108						
6		0.898 ± 0.041	1.058 ± 0.077	1.169 ± 0.192						
7		0.878 ± 0.054	1.057 ± 0.046	1.031 ± 0.140	1.541 ± 0.438					
8		0.897 ± 0.050	1.024 ± 0.126	0.991 ± 0.126	1.527 ± 0.468					
9		0.861 ± 0.051	1.044 ± 0.020	1.053 ± 0.073	1.242 ± 0.206					
10		0.859 ± 0.023	1.048 ± 0.072	0.981 ± 0.040	1.238 ± 0.277					

หมายเหตุ พื้นที่ว่างในตาราง คือ บริเวณที่ชิ้นงานหลังการเจียรไม่เป็นทรงกลม



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแรง กับความเร็วรอบงานขัด ที่อัตราการป้อนชิ้นงานต่างๆ

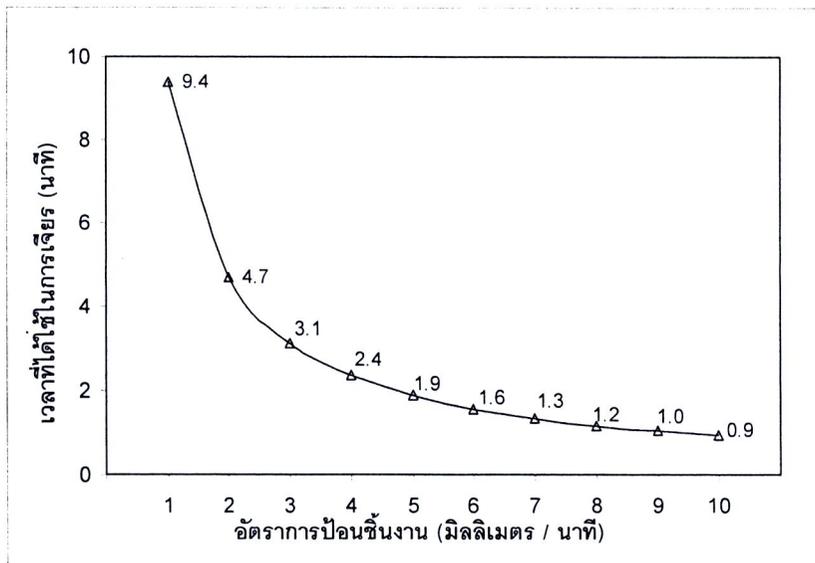


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแรง กับอัตราการป้อนชิ้นงาน
ที่ความเร็วรอบงานขัดต่างๆ

จากรูปที่ 4.14 และ 4.15 ที่ความเร็วรอบงานขัด 200 รอบต่อนาที การเพิ่มอัตราการป้อนชิ้นงาน ส่งผลให้อัตราส่วนแรงเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย แต่ที่ความเร็วรอบงานขัดที่สูงขึ้น คือ 500 และ 600 รอบต่อนาที การเพิ่มขึ้นของอัตราการป้อน ทำให้อัตราส่วนแรงมีการเปลี่ยนแปลงไปมาก

4.2.6 อัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก (Material removal rate; MRR)

การพิจารณาอัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก จะพิจารณาเฉพาะการเจียรที่ได้ชิ้นงานที่มีรูปทรงเป็นทรงกลมและมีขนาดตามที่ได้ออกแบบไว้เท่านั้น โดยสามารถคำนวณได้จากสมการในบทที่ 3 จากอัตราการป้อนชิ้นงาน 1 ถึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนชิ้นงานกับเวลาที่ใช้ในการเจียร ดังรูปที่ 4.16 สำหรับค่าของอัตราการขจัดเนื้อวัสดุออกได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.16 และแสดงค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ชุดทดสอบในตารางที่ 4.17



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการป้อนชิ้นงานกับเวลาที่ใช้ในการเจียร

ตารางที่ 4.16 อัตราการขจัดเนื้อวัสดุออกในการเจียรขึ้นรูปชิ้นงานทรงกลม

อัตราการป้อน ชิ้นงาน (มม. / นาที)	อัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก (mm ³ /min)				
	ความเร็วรอบจานขัด (รอบต่อนาที)				
	200	300	400	500	600
1	474.92	492.51	529.35		
2	978.75	1009.36	958.35		
3	1446.87	1394.45	1349.35	1451.16	
4	1890.58	1602.13	1934.67	1942.06	
5		2380.49	2626.61	2539.61	
6		3101.25	3081.63	2790.02	
7		3109.47	3575.53	3094.99	3294.03
8		3548.73	3974.14	3666.28	3824.16
9		4142.80	4082.69	4508.28	4405.32
10		4795.66	4659.53	4434.98	4924.80
1	512.30	546.19	547.68		
2	990.62	1014.77	1046.96		
3	1411.80	1481.84	1535.02	1499.07	
4	1867.30	1843.23	2007.39	2089.31	
5		2475.66	2472.57	2505.23	
6		2803.44	3078.95	2924.22	
7		3407.19	3801.67	3434.17	3706.61
8		3872.59	3927.55	4313.12	4387.02
9		4763.71	4967.78	4206.47	4642.68
10		5012.70	4450.89	5142.90	5021.39
1	494.24	523.48	519.67		
2	953.32	1079.05	1012.72		
3	1523.39	1612.53	1671.60	1548.33	
4	1845.88	2158.16	2032.12	1946.57	
5		2666.34	2409.23	2472.96	
6		3130.95	2698.67	2907.87	
7		3370.82	3567.35	3386.36	3627.49
8		3725.05	3918.83	4378.73	4078.07
9		4382.62	4648.30	4589.15	4706.06
10		5343.24	4931.41	4843.71	4934.65

หมายเหตุ พื้นที่ว่างในตาราง คือ บริเวณที่ชิ้นงานหลังการเจียรไม่เป็นทรงกลม

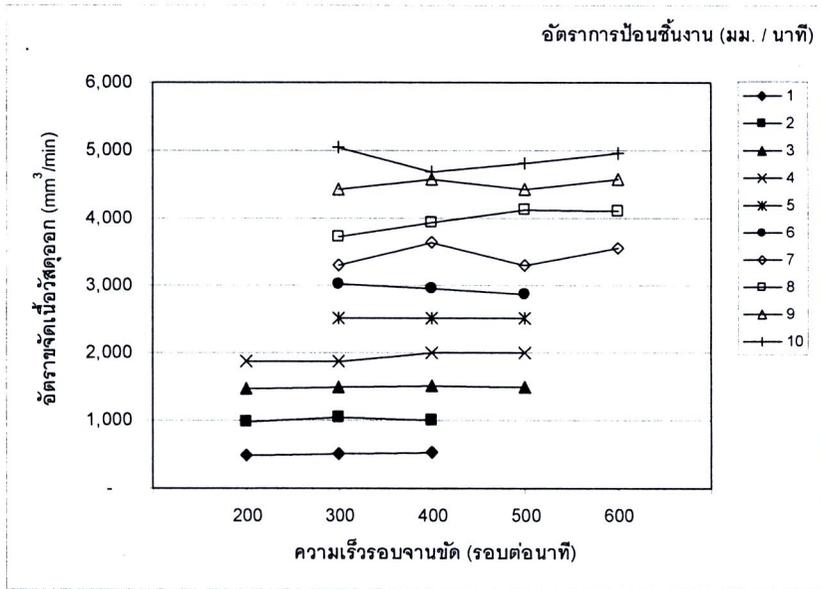
ในการเจียรชิ้นงานทรงลูกบาศก์เพื่อให้ได้ชิ้นงานทรงกลมที่มีขนาดตามที่ต้องการ มีค่าอัตราการขจัดเนื้อวัสดุออกอยู่ระหว่าง 475 ถึง 5243 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที ที่ขอบเขตความเร็วรอบจานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานต่างๆ ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยของอัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก

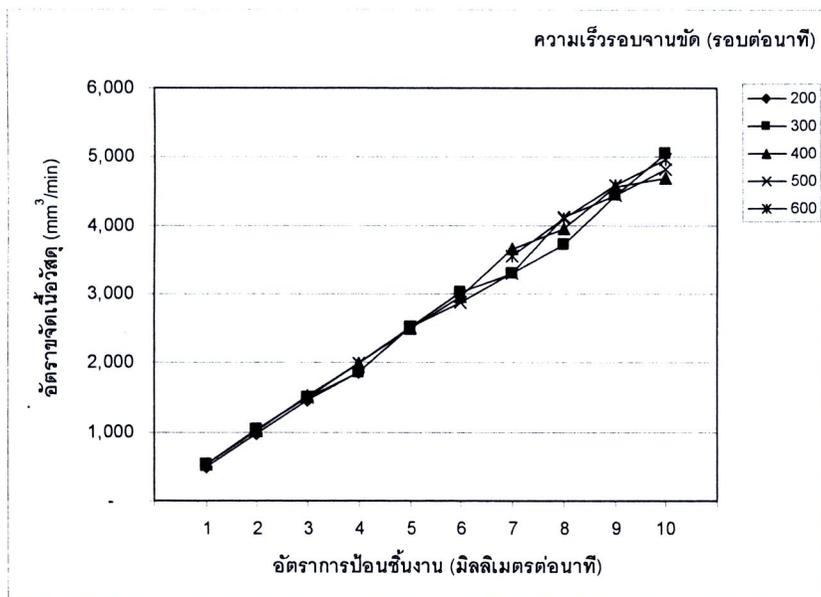
อัตราการป้อน ชิ้นงาน (มม. / นาที)	ค่าเฉลี่ยอัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก (mm ³ /min)									
	ความเร็วรอบงานขัด (รอบต่อนาที)									
	200		300		400		500		600	
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
1	494 ± 19	521 ± 27	532 ± 14							
2	974 ± 19	1034 ± 39	1006 ± 45							
3	1461 ± 57	1496 ± 110	1519 ± 162			1500 ± 49				
4	1868 ± 22	1868 ± 279	1991 ± 51			1993 ± 84				
5		2507 ± 146	2503 ± 112			2506 ± 33				
6		3012 ± 181	2953 ± 220			2874 ± 73				
7		3296 ± 162	3648 ± 133			3305 ± 184		3543 ± 219		
8		3715 ± 162	3940 ± 30			4119 ± 394		4096 ± 282		
9		4430 ± 313	4566 ± 448			4435 ± 202		4585 ± 159		
10		5051 ± 276	4681 ± 241			4807 ± 355		4960 ± 53		

หมายเหตุ พื้นที่ว่างในตาราง คือ บริเวณที่ชิ้นงานหลังการเจียรไม่เป็นทรงกลม

การเพิ่มอัตราการป้อนชิ้นงานมีผลทำให้อัตราการขจัดเนื้อวัสดุออกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.17 และ รูปที่ 4.18 ในแต่ละอัตราการป้อนชิ้นงาน อัตราการขจัดเนื้อวัสดุออกมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยเท่านั้น



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกำจัดเนื้อวัสดุออก กับความเร็วรอบงานขัด ที่อัตราการป้อนชิ้นงานต่างๆ



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกำจัดเนื้อวัสดุออก กับอัตราการป้อนชิ้นงาน ที่ความเร็วรอบงานขัดต่างๆ



4.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง ได้ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติในการศึกษาอิทธิพลของความเร็รรอบจานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงาน ด้วยการทดสอบแบบต่างๆ ดังนี้

- 1) การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรแบบสุ่มปกติ (กรณีประชากรเดียว)
- 2) การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรแบบสุ่มปกติ (กรณีประชากรสองชุด)
- 3) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากประชากรเดียว

ทั้งนี้ เนื่องจากผลการทดลองที่ได้นั้น ได้ทำการพิจารณาเฉพาะส่วนที่สามารถเจาะชิ้นรูปชิ้นงานทรงกลมได้เท่านั้น จึงทำให้ผลของอิทธิพลของความเร็รรอบจานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานบางส่วนไม่ได้นำมาพิจารณา ดังนั้น การทดสอบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจาก 2 ปัจจัย (Two factors ANOVA) จึงไม่สามารถใช้ทดสอบในงานวิจัยนี้ได้

4.3.1 ผลของอิทธิพลของความเร็รรอบจานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง

การศึกษาผลของอิทธิพลของความเร็รรอบจานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

- 1) การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรแบบสุ่มปกติ (กรณีประชากรสองชุด)

จากผลการทดลองสามารถ ใช้การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรแบบสุ่มปกติ (กรณีประชากรสองชุด) ได้ใน 2 กรณี ดังนี้

- 1.1) กรณีประชากรสองชุดระหว่างกลุ่มอัตราการป้อนชิ้นงาน 2 กลุ่ม
- 1.2) กรณีประชากรสองชุดระหว่างกลุ่มความเร็รรอบจานขัดที่แตกต่างกัน

1.1) การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ย กรณีประชากรสองชุด ระหว่างอัตราการป้อนชิ้นงาน 2 กลุ่ม มีรายละเอียดดังนี้

จากผลการทดลอง สามารถแยกกลุ่มชิ้นงานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 อัตราการป้อนชิ้นงาน 1 ถึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที และกลุ่มที่ 2 อัตราการป้อนชิ้นงาน 20 และ 30 มิลลิเมตรต่อนาที เมื่อนำค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของชิ้นงานทั้ง 2 กลุ่ม มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยการทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม มีสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

เมื่อ μ_1 = ค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 1 (อัตราการป้อนชิ้นงาน 1 ถึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที)
 μ_2 = ค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มที่ 2 (อัตราการป้อนชิ้นงาน 20 และ 30 มิลลิเมตรต่อนาที)

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม

	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2
ค่าเฉลี่ย	20.32	20.05
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.19	0.08
จำนวนตัวอย่าง	108	24
ค่าทางสถิติที่ทดสอบได้	16.9	
ช่วงที่ยอมรับ H_0 ได้	$-1.96 \leq Z \leq 1.96$	
ผลการทดสอบ	ปฏิเสธ H_0	

จากตารางที่ 4.18 สามารถพิสูจน์ได้ว่า ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทั้ง 2 กลุ่มคือ ชิ้นงานที่ผ่านการเจียรด้วยอัตราการป้อนชิ้นงาน 1 ถึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที และ ชิ้นงานที่ผ่านการเจียรด้วยอัตราการป้อนชิ้นงาน 20 ถึง 30 มิลลิเมตรต่อนาที มีค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ดังนั้น ในการวิเคราะห์และพิจารณา ในส่วนต่อไป จะทำการพิจารณาเพียงแค่งานชิ้นงานทรงกลมที่สามารถขึ้นรูปได้ที่อัตราการป้อนชิ้นงาน 1 ถึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วรอบงานขัด 200 ถึง 600 รอบต่อนาที เท่านั้น

1.2) การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ย กรณีประชากรสองชุด ระหว่างกลุ่มความเร็วรอบจานซัดที่แตกต่างกัน มีรายละเอียดดังนี้

การทดสอบค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของ 2 กลุ่มตัวอย่าง สามารถทำได้โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานที่ความเร็วรอบจานซัดนั้นกับความเร็วรอบจานซัดถัดไป เช่น ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางที่ความเร็วรอบจานซัด 200 รอบต่อนาทีเทียบกับความเร็วรอบจานซัด 300 รอบต่อนาที เป็นต้น โดยมีสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \mu_i = \mu_{i+100}$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_{i+100}$$

เมื่อ μ_i = ค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มความเร็วรอบจานซัดที่ i
 i = ความเร็วรอบจานซัดที่ 200 300 400 และ 500 รอบต่อนาที

สำหรับผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงในตารางที่ 4.19 พบว่า ยอมรับสมมติฐานหลักในทุกการเปรียบเทียบ ซึ่งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางในแต่ละกลุ่มความเร็วรอบจานซัดมีค่าเท่ากัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในทุกการเปรียบเทียบ

2) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากประชากรเดียว

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยเดียวของเส้นผ่านศูนย์กลาง สามารถวิเคราะห์ได้ 2 ประเด็น มีรายละเอียดดังนี้

2.1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความเร็วรอบจานซัด

2.2) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการป้อนชิ้นงาน

2.1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความเร็วรอบจานซัด

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความเร็วรอบจานซัดที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่ออัตราการป้อนชิ้นงานคงที่ โดยพิจารณาค่า F และ P-value ที่ได้จากการคำนวณ เทียบกับค่า F ได้จากข้อมูลการกระจายตัวแบบ F และ P-value ซึ่งเท่ากับ 0.05 โดยกำหนดให้ ค่า $\alpha = 0.05$ มีสมมติฐานดังนี้

H_0 : ความเร็วรอบจานซัดที่พิจารณาไม่มีผลกระทบ

H_1 : ความเร็วรอบจานซัดที่พิจารณามีผลกระทบ

สำหรับผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.19 โดยพิจารณาทั้งค่า F และ P-value พบว่า ทุกการเปรียบเทียบยอมรับสมมติฐานหลัก แสดงว่า ที่อัตราการป้อนชิ้นงานใดๆ สำหรับ ความเร็วรอบจานซัดที่เปลี่ยนแปลงไปนั้น ไม่มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทรงกลม ในทุก อัตราการป้อนชิ้นงาน

2.2) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการป้อนชิ้นงาน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการป้อนชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อ ความเร็วรอบคงที่ โดยพิจารณาค่า F และ P-value ที่ได้จากการคำนวณ เทียบกับค่า F ได้จาก ข้อมูลการกระจายตัวแบบ F และ P-value ซึ่งเท่ากับ 0.05 โดยกำหนดให้ ค่า $\alpha = 0.05$ มี สมมติฐานดังนี้

H_0 : อัตราการป้อนชิ้นงานที่พิจารณาไม่มีผลกระทบ

H_1 : อัตราการป้อนชิ้นงานที่พิจารณามีผลกระทบ

สำหรับผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.19 โดยพิจารณาทั้งค่า F และ P-value พบว่า ทุกการเปรียบเทียบยอมรับสมมติฐานหลัก แสดงว่า ที่ความเร็วรอบจานซัดใดๆ สำหรับ อัตราการป้อนชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไปนั้น ไม่มีผลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทรงกลมอย่าง มีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในทุกความเร็วรอบจานซัด

ดังนั้น จึงทำการทดสอบค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของ 2 กลุ่มตัวอย่างที่ความเร็ว รอบต่างๆ เพื่อพิสูจน์ว่า ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ความเร็วรอบต่าง ๆ จะมีค่าเท่ากันหรือไม่

3) การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรแบบสุ่มปกติ (กรณี ประชากรเดียว)

การพิสูจน์ว่า ชิ้นงานทรงกลมที่ได้ในแต่ละความเร็วรอบจานซัดนั้น มีค่าตามที่ได้ออกแบบ ไว้หรือไม่ ได้ใช้การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรแบบสุ่มปกติ (กรณีประชากร เดียว) โดยสมมติฐานได้ดังนี้

$$H_0 : \mu = 20.30$$

$$H_1 : \mu \neq 20.30$$

เมื่อ μ = ค่าเฉลี่ยของกลุ่มประชากร

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.19 พบว่า ในทุกกลุ่มยอมรับสมมติฐานหลัก แสดงว่า
ชิ้นงานทรงกลมในแต่ละกลุ่มความเร็วรอบงานขัดมีเส้นผ่านศูนย์กลางตามที่ได้ออกแบบไว้ ด้วย
ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทรงกลม

อัตราการป้อน ชิ้นงาน (มม. / นาที)	ค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)												ค่าทางสถิติ				ผลการวิเคราะห์ที่ 1 ¹					
	ความไวรอบขนาด (รอบต่อ นาที)												Min	Max	Mean	SD	F-table $\alpha=0.05$	F	P-value			
	200	300	400	500	600	Mean \pm SD																
1	20.21 \pm 0.13	20.29 \pm 0.27	20.23 \pm 0.23										20.21	20.29	20.24	0.04	5.14	0.11	accept	0.90	accept	
2	20.38 \pm 0.23	20.39 \pm 0.19	20.25 \pm 0.11										20.25	20.39	20.34	0.08	5.14	0.62	accept	0.57	accept	
3	20.31 \pm 0.23	20.37 \pm 0.26	20.39 \pm 0.13	20.18 \pm 0.24									20.18	20.39	20.31	0.09	4.07	0.54	accept	0.67	accept	
4	20.38 \pm 0.33	20.48 \pm 0.17	20.40 \pm 0.18	20.33 \pm 0.27									20.33	20.48	20.39	0.06	5.14	0.19	accept	0.90	accept	
5		20.27 \pm 0.26	20.15 \pm 0.21	20.28 \pm 0.18									20.15	20.28	20.23	0.07	5.14	0.31	accept	0.75	accept	
6		20.22 \pm 0.28	20.39 \pm 0.22	20.33 \pm 0.20									20.22	20.39	20.31	0.08	5.14	0.39	accept	0.70	accept	
7		20.36 \pm 0.20	20.36 \pm 0.27	20.33 \pm 0.12	20.23 \pm 0.12								20.23	20.36	20.32	0.06	4.07	0.31	accept	0.82	accept	
8		20.34 \pm 0.31	20.22 \pm 0.32	20.25 \pm 0.21	20.34 \pm 0.04								20.22	20.34	20.29	0.05	4.07	0.20	accept	0.90	accept	
9		20.33 \pm 0.25	20.34 \pm 0.19	20.33 \pm 0.19	20.23 \pm 0.15								20.23	20.34	20.31	0.05	4.07	0.22	accept	0.88	accept	
10		20.38 \pm 0.30	20.39 \pm 0.09	20.44 \pm 0.15	20.33 \pm 0.16								20.33	20.44	20.39	0.04	4.07	0.16	accept	0.92	accept	
ค่าทางสถิติ	Min	20.21	20.22	20.15	20.18	20.23																
	Max	20.38	20.48	20.40	20.44	20.34																
	Mean	20.32	20.34	20.31	20.31	20.28																
	SD	0.08	0.07	0.09	0.07	0.06																
ผลการวิเคราะห์ที่ 2 ²	F-table $\alpha=0.05$	4.07	2.39	2.39	2.66	4.07																
	F	0.34	0.24	0.59	0.42	0.72																
	P-value $\alpha=0.05$	accept	accept	accept	accept	accept																
ผลการวิเคราะห์ที่ 3 ³	Z $-1.96 \leq Z \leq 1.96$	0.80	0.98	0.79	0.87	0.57																
	Z	-0.83	1.49	0.17	1.21	1.21																
	P-value $\alpha=0.05$	accept	accept	accept	accept	accept																
ผลการวิเคราะห์ที่ 4 ⁴	Z $-1.96 \leq Z \leq 1.96$	0.87	3.40	0.76	0.59	-1.11																
	Z	accept	reject	accept	accept	accept																

หมายเหตุ

*¹ การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความไวรอบขนาด ชิ้นวัด ของ 3 ชุดทดสอบ

*² การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการป้อนชิ้นงาน ของ 3 ชุดทดสอบ

*³ การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ย กรณีประชากรของชุด ระหว่างกลุ่มความไวรอบขนาด ชิ้นวัดที่แตกต่างกัน ของ 3 ชุดทดสอบ

*⁴ การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของตัวแปรแบบสุ่มปกติ (กรณีประชากรเดียว) ของ 3 ชุดทดสอบ

4.3.2 ผลของอิทธิพลของความเร็วยอบจันขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานต่อแรง ในแนวเส้นสัมผัส แรงกดปกติ และอัตราส่วนแรง

การศึกษาผลของอิทธิพลของความเร็วยอบจันขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานต่อแรงในแนวเส้นสัมผัส แรงกดปกติ และอัตราส่วนแรง สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากประชากรเดียว

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยเดียวของแรงในแนวเส้นสัมผัส แรงกดปกติ และ อัตราส่วนแรง สามารถวิเคราะห์ได้ 2 ประเด็น มีรายละเอียดดังนี้

1.1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความเร็วยอบจันขัด

1.2) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการป้อนชิ้นงาน

1.1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความเร็วยอบจันขัด

ก. แรงในแนวเส้นสัมผัส

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความเร็วยอบจันขัดที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่ออัตราการป้อนชิ้นงานคงที่ โดยพิจารณาค่า F และ P-value ที่ได้จากการคำนวณ เทียบกับค่า F ได้จากข้อมูลการกระจายตัวแบบ F และ P-value ซึ่งเท่ากับ 0.05 โดยกำหนดให้ ค่า $\alpha = 0.05$ มีสมมติฐานดังนี้

H_0 : ความเร็วยอบจันขัดที่พิจารณาไม่มีผลกระทบ

H_1 : ความเร็วยอบจันขัดที่พิจารณามีผลกระทบ

สำหรับผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.20 โดยพิจารณาทั้งค่า F และ P-value พบว่า ที่อัตราการป้อนชิ้นงาน 3 และ 7 มิลลิเมตรต่อนาทีเท่านั้นที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก หรือกล่าวได้ว่า เฉพาะที่อัตราการป้อนชิ้นงาน 3 และ 7 มิลลิเมตรต่อนาทีเท่านั้น ที่ความเร็วยอบจันขัดมีผลต่อแรงในแนวเส้นสัมผัส อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ข. แรกกดปกติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความเร็วรอบงานชุดที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่ออัตราการป้อนชิ้นงานคงที่ โดยพิจารณาค่า F และ P-value ที่ได้จากการคำนวณ เทียบกับค่า F ได้จากข้อมูลการกระจายตัวแบบ F และ P-value ซึ่งเท่ากับ 0.05 โดยกำหนดให้ ค่า $\alpha = 0.05$ มีสมมติฐานดังนี้

H_0 : ความเร็วรอบงานชุดที่พิจารณาไม่มีผลกระทบ

H_1 : ความเร็วรอบงานชุดที่พิจารณามีผลกระทบ

สำหรับผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.21 โดยพิจารณาทั้งค่า F และ P-value พบว่า ที่อัตราการป้อนชิ้นงาน 1 ถึง 4 และ 7 ถึง 8 มิลลิเมตรต่อนาทีเท่านั้นที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ซึ่งหมายความว่า ที่อัตราป้อนชิ้นงานอื่นๆ ความเร็วรอบงานชุดมีผลต่อแรกกดปกติ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ค. อัตราส่วนแรง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความเร็วรอบงานชุดที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่ออัตราการป้อนชิ้นงานคงที่ โดยพิจารณาค่า F และ P-value ที่ได้จากการคำนวณ เทียบกับค่า F ได้จากข้อมูลการกระจายตัวแบบ F และ P-value ซึ่งเท่ากับ 0.05 โดยกำหนดให้ ค่า $\alpha = 0.05$ มีสมมติฐานดังนี้

H_0 : ความเร็วรอบงานชุดที่พิจารณาไม่มีผลกระทบ

H_1 : ความเร็วรอบงานชุดที่พิจารณามีผลกระทบ

สำหรับผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.22 โดยพิจารณาทั้งค่า F และ P-value พบว่า ที่อัตราการป้อนชิ้นงาน 1 3 4 5 7 และ 9 มิลลิเมตรต่อนาทีเท่านั้น ที่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ ที่อัตราป้อนชิ้นงานอื่นๆ ความเร็วรอบงานชุด ไม่มีผลต่ออัตราส่วนแรง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการบินขึ้นงาน

ก. แรงในแนวเส้นสัมผัส

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการบินขึ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อความเร็วรอบคงที่ โดยพิจารณาค่า F และ P -value ที่ได้จากการคำนวณ เทียบกับค่า F ได้จากข้อมูลการกระจายตัวแบบ F และ P -value ซึ่งเท่ากับ 0.05 โดยกำหนดให้ ค่า $\alpha = 0.05$ มีสมมติฐานดังนี้

H_0 : อัตราการบินขึ้นงานที่พิจารณาไม่มีผลกระทบ

H_1 : อัตราการบินขึ้นงานที่พิจารณามีผลกระทบ

สำหรับผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.20 โดยพิจารณาทั้งค่า F และ P -value พบว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบจวนซ์ 200 ถึง 500 รอบต่อนาที ได้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก แสดงว่า ที่ความเร็วรอบนั้นๆ เมื่ออัตราการบินขึ้นงานเปลี่ยนแปลงไป มีผลต่อแรงในแนวเส้นสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบจวนซ์ 600 รอบต่อนาที ยอมรับสมมติฐานหลัก หมายความว่า เมื่ออัตราการบินขึ้นงานเปลี่ยนแปลงไป ที่ความเร็วจวนซ์ 600 รอบต่อนาที จะไม่มีผลต่อแรงในแนวเส้นสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มค่า α ให้เท่ากับ 0.30 จะทำให้สามารถยอมรับสมมติฐานหลัก ในการทดสอบทางสถิติทั้งค่า F และ P -value

ข. แรงกดปกติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการบินขึ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อความเร็วรอบคงที่ โดยพิจารณาค่า F และ P -value ที่ได้จากการคำนวณ เทียบกับค่า F ได้จากข้อมูลการกระจายตัวแบบ F และ P -value ซึ่งเท่ากับ 0.05 โดยกำหนดให้ ค่า $\alpha = 0.05$ มีสมมติฐานดังนี้

H_0 : อัตราการบินขึ้นงานที่พิจารณาไม่มีผลกระทบ

H_1 : อัตราการบินขึ้นงานที่พิจารณามีผลกระทบ

สำหรับผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.21 โดยพิจารณาทั้งค่า F และ P -value พบว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบจวนซ์ 200 ถึง 500 รอบต่อนาที ปฏิเสธ

สมมติฐานหลัก แสดงว่า ที่ความเร็วรอบนั้นๆ เมื่ออัตราการป้อนเปลี่ยนแปลงไป มีผลต่อแรงกดปกตಿಯ่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเร็วรอบงานชุด 600 รอบต่อนาที ยอมรับสมมติฐานหลัก หมายความว่า เมื่ออัตราการป้อนชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไป ที่ความเร็วรอบงานชุด 600 รอบต่อนาที จะไม่มีผลต่อแรงกดปกตಿಯ่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มค่า α ให้เท่ากับ 0.26 จะทำให้สามารถยอมรับสมมติฐานหลัก ในการทดสอบทางสถิติทั้งค่า F และ P-value

ค. อัตราส่วนแรง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการป้อนชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อความเร็วรอบคงที่ โดยพิจารณาค่า F และ P-value ที่ได้จากการคำนวณ เทียบกับค่า F ได้จากข้อมูลการกระจายตัวแบบ F และ P-value ซึ่งเท่ากับ 0.05 โดยกำหนดให้ ค่า $\alpha = 0.05$ มีสมมติฐานดังนี้

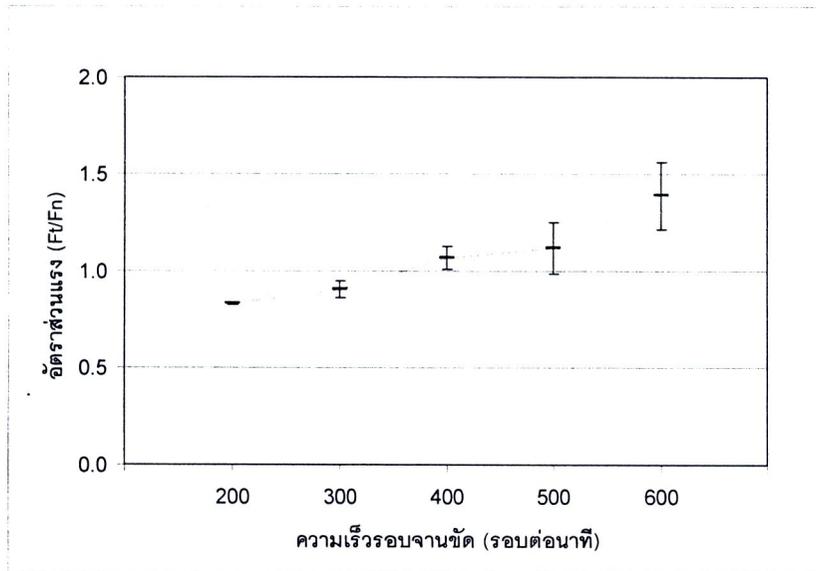
H_0 : อัตราการป้อนชิ้นงานที่พิจารณาไม่มีผลกระทบ

H_1 : อัตราการป้อนชิ้นงานที่พิจารณามีผลกระทบ

สำหรับผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.22 โดยพิจารณาทั้งค่า F และ P-value พบว่า ยอมรับสมมติฐานหลักในทุกการทดสอบ นั่นคือ ที่ความเร็วรอบงานชุดใดๆ สำหรับอัตราการป้อนชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไปนั้น ไม่มีผลต่ออัตราส่วนแรงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในทุกความเร็วรอบงานชุด

เมื่ออัตราการป้อนชิ้นงานไม่มีผลต่ออัตราส่วนแรงแล้ว สามารถนำค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนแรง มาสร้างความสัมพันธ์กับความเร็วรอบงานชุด ดังรูปที่ 4.19 พบว่าที่ความเร็วรอบงานชุด 200 ถึง 400 รอบต่อนาที อัตราส่วนแรงจะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ

เมื่อพบว่าอัตราการป้อนชิ้นงานไม่มีผลต่ออัตราส่วนแรง จากนั้นได้ทำการทดสอบค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนแรงในแต่ละความเร็วรอบงานชุด เพื่อพิสูจน์ว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนแรงในแต่ละความเร็วรอบงานชุด มีค่าเท่ากันหรือไม่ ซึ่งจะกล่าวถึงในต่อไปในส่วนของผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ย กรณีประชากรสองชุด ระหว่างกลุ่มความเร็วรอบงานชุดที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแรง กับความเร็วรอบงานขัด

2) การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ย กรณีประชากรสองชุด ระหว่างกลุ่มความเร็วรอบงานขัดที่แตกต่างกัน

การทดสอบค่าเฉลี่ยอัตราส่วนแรงของ 2 กลุ่มตัวอย่าง สามารถทำได้โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนแรงที่ความเร็วรอบงานขัดนั้นกับความเร็วรอบงานขัดถัดไป เช่น ค่าเฉลี่ยอัตราส่วนแรงที่ความเร็วรอบงานขัด 200 รอบต่อนาทีเทียบกับความเร็วรอบงานขัด 300 รอบต่อนาที เป็นต้น โดยมีสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \mu_i = \mu_{i+100}$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_{i+100}$$

เมื่อ μ_i = ค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มความเร็วรอบงานขัดที่ i
 i = ความเร็วรอบงานขัดที่ 200 300 400 และ 500 รอบต่อนาที

จากผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 4.22 พบว่า การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนแรงระหว่างความเร็วรอบงานขัด 400 กับ 500 รอบต่อนาที ยอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือ ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนแรงมีค่าแตกต่างกันเกือบทุกกลุ่ม ยกเว้นการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มความเร็วรอบงานขัด 400 กับ 500 รอบต่อนาที ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



ตารางที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของแรงกดปกติ

อัตราการป้อน ชิ้นงาน (มม./ นาที)	ค่าเฉลี่ยแรงกดปกติ (Fn rms) (รวมต่อนาที)												ค่าทางสถิติ				ผลการวิเคราะห์ที่ 1 ^{*1}							
	200			300			400			500			600			Min	Max	Mean	SD	F-table $\alpha=0.05$	F	P-value		
	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD												
1	0.184 \pm 0.043	0.135 \pm 0.036	0.089 \pm 0.010	0.089 \pm 0.010	0.132 \pm 0.054	0.089	0.115	0.132	0.089	0.115	0.132	0.089	0.132	0.184	0.136	0.200	0.048	5.14	6.38	reject	0.03	reject		
2	0.275 \pm 0.068	0.173 \pm 0.010	0.151 \pm 0.026	0.151 \pm 0.026	0.132 \pm 0.054	0.173	0.215	0.275	0.173	0.215	0.275	0.173	0.215	0.275	0.200	0.200	0.066	5.14	7.36	reject	0.02	reject		
3	0.334 \pm 0.081	0.220 \pm 0.012	0.175 \pm 0.021	0.175 \pm 0.021	0.132 \pm 0.054	0.220	0.262	0.334	0.220	0.262	0.334	0.220	0.262	0.334	0.243	0.243	0.082	4.07	13.47	reject	0.00	reject		
4	0.383 \pm 0.085	0.252 \pm 0.005	0.226 \pm 0.031	0.226 \pm 0.031	0.132 \pm 0.054	0.252	0.262	0.383	0.252	0.262	0.383	0.252	0.262	0.383	0.287	0.287	0.084	4.07	10.16	reject	0.00	reject		
5	0.284 \pm 0.029	0.284 \pm 0.029	0.262 \pm 0.056	0.262 \pm 0.056	0.132 \pm 0.054	0.284	0.219	0.284	0.284	0.219	0.284	0.284	0.219	0.284	0.273	0.273	0.016	5.14	1.65	accept	0.27	accept		
6	0.302 \pm 0.015	0.302 \pm 0.015	0.287 \pm 0.064	0.287 \pm 0.064	0.132 \pm 0.054	0.302	0.227	0.302	0.302	0.227	0.302	0.302	0.227	0.302	0.294	0.294	0.010	5.14	1.93	accept	0.23	accept		
7	0.349 \pm 0.031	0.349 \pm 0.031	0.332 \pm 0.039	0.332 \pm 0.039	0.132 \pm 0.054	0.349	0.275	0.349	0.349	0.275	0.349	0.349	0.275	0.349	0.340	0.340	0.012	4.07	9.26	reject	0.01	reject		
8	0.404 \pm 0.062	0.404 \pm 0.062	0.358 \pm 0.095	0.358 \pm 0.095	0.132 \pm 0.054	0.404	0.332	0.404	0.404	0.332	0.404	0.404	0.332	0.404	0.381	0.381	0.032	4.07	7.49	reject	0.01	reject		
9	0.368 \pm 0.107	0.368 \pm 0.107	0.324 \pm 0.134	0.324 \pm 0.134	0.132 \pm 0.054	0.368	0.285	0.368	0.368	0.285	0.368	0.368	0.285	0.368	0.346	0.346	0.031	4.07	1.14	accept	0.39	accept		
10	0.431 \pm 0.138	0.431 \pm 0.138	0.401 \pm 0.053	0.401 \pm 0.053	0.132 \pm 0.054	0.431	0.357	0.431	0.431	0.357	0.431	0.431	0.357	0.431	0.416	0.416	0.022	4.07	1.90	accept	0.21	accept		
ค่าทางสถิติ	Min 0.184 Max 0.383 Mean 0.294 SD 0.085	0.135 0.431 0.292 0.098	0.089 0.401 0.261 0.099	0.089 0.401 0.261 0.099	0.115 0.357 0.246 0.078	0.132 0.256 0.195 0.059	0.132 0.256 0.195 0.059	0.132 0.256 0.195 0.059	0.132 0.256 0.195 0.059	0.132 0.256 0.195 0.059	0.132 0.256 0.195 0.059	0.132 0.256 0.195 0.059	0.132 0.256 0.195 0.059											
ผลการวิเคราะห์ที่ 2 ^{*2}	F-table $\alpha=0.05$ F $\alpha=0.05$ P-value	4.07 4.35 reject	2.39 7.64 reject	2.39 6.55 reject	2.66 8.59 reject	4.07 1.65 accept	4.07 1.65 accept	4.07 1.65 accept	4.07 1.65 accept	4.07 1.65 accept	4.07 1.65 accept	4.07 1.65 accept												

*1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความเร็วรอบจากข้อ 3 ชุดทดสอบ

*2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการป้อนชิ้นงาน ของ 3 ชุดทดสอบ

ตารางที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของอัตราส่วนแรง

อัตราการป้อน ชิ้นงาน (มม. / นาที)	ค่าเฉลี่ยส่วนแรง (F/Fn)												ค่าทางสถิติ				ผลการวิเคราะห์ 1 [*]					
	ความเร็วรอบงานชุด (รอบต่อนาที)												Min	Max	Mean	SD	F-table $\alpha=0.05$	F	P-value			
	200			300			400			500										600		
1	Mean ± SD	0.828 ± 0.032	Mean ± SD	0.992 ± 0.119	Mean ± SD	1.209 ± 0.129	Mean ± SD	1.380 ± 0.286	Mean ± SD	1.541 ± 0.438	Mean ± SD	1.712 ± 0.724	0.828	1.209	1.009	0.191	5.14	10.36	reject	0.01	reject	
2	Mean ± SD	0.825 ± 0.066	Mean ± SD	0.977 ± 0.127	Mean ± SD	1.066 ± 0.130	Mean ± SD	1.185 ± 0.113	Mean ± SD	1.310 ± 0.140	Mean ± SD	1.481 ± 0.438	0.825	1.066	0.956	0.122	5.14	3.55	accept	0.10	accept	
3	Mean ± SD	0.836 ± 0.102	Mean ± SD	0.894 ± 0.042	Mean ± SD	1.106 ± 0.213	Mean ± SD	1.380 ± 0.286	Mean ± SD	1.541 ± 0.438	Mean ± SD	1.712 ± 0.724	0.836	1.106	0.945	0.142	4.07	5.23	reject	0.03	reject	
4	Mean ± SD	0.830 ± 0.021	Mean ± SD	0.905 ± 0.038	Mean ± SD	1.047 ± 0.062	Mean ± SD	1.185 ± 0.113	Mean ± SD	1.310 ± 0.140	Mean ± SD	1.481 ± 0.438	0.830	1.047	0.927	0.111	4.07	16.11	reject	0.00	reject	
5	Mean ± SD	0.892 ± 0.016	Mean ± SD	0.905 ± 0.038	Mean ± SD	1.008 ± 0.023	Mean ± SD	1.160 ± 0.108	Mean ± SD	1.310 ± 0.140	Mean ± SD	1.481 ± 0.438	0.892	1.008	0.950	0.082	5.14	13.03	reject	0.01	reject	
6	Mean ± SD	0.898 ± 0.041	Mean ± SD	0.898 ± 0.041	Mean ± SD	1.058 ± 0.077	Mean ± SD	1.169 ± 0.192	Mean ± SD	1.310 ± 0.140	Mean ± SD	1.481 ± 0.438	0.898	1.058	0.978	0.113	5.14	3.75	accept	0.09	accept	
7	Mean ± SD	0.878 ± 0.054	Mean ± SD	0.878 ± 0.054	Mean ± SD	1.057 ± 0.046	Mean ± SD	1.160 ± 0.108	Mean ± SD	1.310 ± 0.140	Mean ± SD	1.481 ± 0.438	0.878	1.057	0.967	0.127	4.07	4.59	reject	0.04	reject	
8	Mean ± SD	0.897 ± 0.050	Mean ± SD	0.897 ± 0.050	Mean ± SD	1.024 ± 0.126	Mean ± SD	1.160 ± 0.108	Mean ± SD	1.310 ± 0.140	Mean ± SD	1.481 ± 0.438	0.897	1.024	0.961	0.089	4.07	3.80	accept	0.06	accept	
9	Mean ± SD	0.861 ± 0.051	Mean ± SD	0.861 ± 0.051	Mean ± SD	1.044 ± 0.020	Mean ± SD	1.160 ± 0.108	Mean ± SD	1.310 ± 0.140	Mean ± SD	1.481 ± 0.438	0.861	1.044	0.952	0.129	4.07	5.74	reject	0.02	reject	
10	Mean ± SD	0.859 ± 0.023	Mean ± SD	0.859 ± 0.023	Mean ± SD	1.048 ± 0.072	Mean ± SD	1.160 ± 0.108	Mean ± SD	1.310 ± 0.140	Mean ± SD	1.481 ± 0.438	0.859	1.048	0.953	0.134	4.07	3.58	accept	0.07	accept	
Min		0.825		0.859		1.008		0.981		1.238		1.238										
Max		0.836		0.992		1.209		1.380		1.541		1.541										
Mean		0.830		0.905		1.067		1.119		1.387		1.387										
SD		0.004		0.045		0.056		0.133		0.170		0.170										
F-table $\alpha=0.05$		4.07		2.39		2.39		2.66		4.07		4.07										
F		0.02		1.36		0.84		2.30		0.65		0.65										
P-value		accept		accept		accept		accept		accept		accept										
Z		1.00		0.27		0.59		0.08		0.60		0.60										
$\alpha=0.05$		accept		accept		accept		accept		accept		accept										
$-1.96 \leq Z \leq 1.96$		reject		reject		accept		reject		reject		reject										

หมายเหตุ

*¹ การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความเร็วยรอบงานชุด ของ 3 ชุดทดสอบ

*² การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการป้อนชิ้นงาน ของ 3 ชุดทดสอบ

*³ การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ย กรณีประชากรสองชุด ระหว่างกลุ่มความเร็วรอบงานชุดที่แตกต่างกัน ของ 3 ชุดทดสอบ

4.3.3 ผลของอิทธิพลของความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานต่ออัตราการขัดเนื้อวัสดุออก

การศึกษาผลของอิทธิพลของความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานต่ออัตราการขัดเนื้อวัสดุออก สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากประชากรเดียว

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยเดียวของแรงในแนวเส้นสัมผัส แรงกดปกติ และ อัตราส่วนแรง สามารถวิเคราะห์ได้ 2 ประเด็น มีรายละเอียดดังนี้

- 1.1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความเร็วรอบงานขัด
- 1.2) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการป้อนชิ้นงาน

1.1) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความเร็วรอบงานขัด

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความเร็วรอบงานขัดที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่ออัตราการป้อนชิ้นงานคงที่ โดยพิจารณาค่า F และ P-value ที่ได้จากการคำนวณ เทียบกับค่า F ได้จากข้อมูลการกระจายตัวแบบ F และ P-value ซึ่งเท่ากับ 0.05 โดยกำหนดให้ ค่า $\alpha = 0.05$ มีสมมติฐานดังนี้

H_0 : ความเร็วรอบงานขัดที่พิจารณาไม่มีผลกระทบ

H_1 : ความเร็วรอบงานขัดที่พิจารณา มีผลกระทบ

สำหรับผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.23 เมื่อพิจารณาทั้งค่า F และ P-value พบว่า ทุกอัตราการป้อนชิ้นงาน ยอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือ ที่อัตราการป้อนชิ้นงานนั้นๆ ความเร็วรอบงานขัดไม่มีผลต่ออัตราการขัดเนื้อวัสดุอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

1.2) การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการป้อนชิ้นงาน

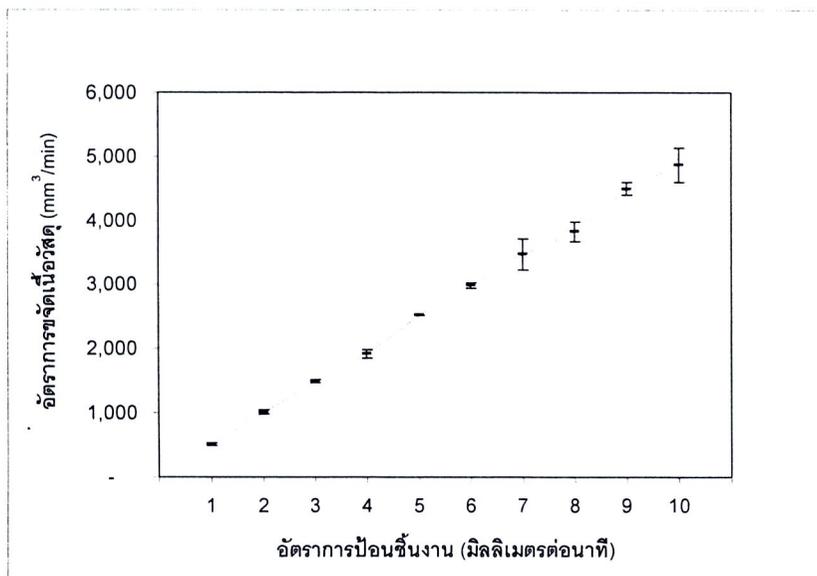
การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการป้อนชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อความเร็วรอบคงที่ โดยพิจารณาค่า F และ P-value ที่ได้จากการคำนวณ เทียบกับค่า F ได้จากข้อมูลการกระจายตัวแบบ F และ P-value ซึ่งเท่ากับ 0.05 โดยกำหนดให้ ค่า $\alpha = 0.05$ มีสมมติฐานดังนี้

H_0 : อัตราการป้อนชิ้นงานที่พิจารณาไม่มีผลกระทบ

H_1 : อัตราการป้อนชิ้นงานที่พิจารณามีผลกระทบ

สำหรับผลการวิเคราะห์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.23 โดยพิจารณาทั้งค่า F และ P-value พบว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ทุกการทดสอบ แสดงว่า ที่ความเร็วรอบงานชุดนั้นๆ เมื่ออัตราการป้อนชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไป ทำให้มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้อวัสดุออกอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

เมื่อความเร็วรอบงานชุดไม่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้อวัสดุแล้ว สามารถนำค่าเฉลี่ยของอัตราการขจัดเนื้อวัสดุ มาสร้างความสัมพันธ์กับอัตราการป้อนชิ้นงาน ได้ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก กับอัตราการป้อนชิ้นงาน

ตารางที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของอัตราการจัดเนื้อวัสดุออก

อัตราการป้อน ชิ้นงาน (มม./ นาที)	ค่าเฉลี่ยอัตราการจัดเนื้อวัสดุออก (mm ³ /min)												ค่าทางสถิติ				ผลการวิเคราะห์ที่ 1 [*]						
	200			300			400			500			600			Min	Max	Mean	SD	F-table α=0.05	F	P-value	
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD											
1	494 ± 19	521 ± 27	532 ± 14											494	532	516	20	5.14	2.74	accept	0.14	accept	
2	974 ± 19	1034 ± 39	1006 ± 45											974	1034	1005	30	5.14	2.11	accept	0.20	accept	
3	1461 ± 57	1496 ± 110	1519 ± 162	1500 ± 49										1461	1519	1492	29	4.07	0.16	accept	0.92	accept	
4	1868 ± 22	1868 ± 279	1991 ± 51	1993 ± 84										1868	1991	1909	71	4.07	0.70	accept	0.58	accept	
5		2507 ± 146	2503 ± 112	2506 ± 33										2503	2507	2505	3	5.14	0.00	accept	1.00	accept	
6		3012 ± 181	2953 ± 220	2874 ± 73										2953	3012	2982	42	5.14	0.50	accept	0.63	accept	
7		3296 ± 162	3648 ± 133	3305 ± 184	3543 ± 219									3296	3648	3472	249	4.07	2.95	accept	0.10	accept	
8		3715 ± 162	3940 ± 30	4119 ± 394	4096 ± 282									3715	3940	3828	159	4.07	1.59	accept	0.27	accept	
9		4430 ± 313	4566 ± 448	4435 ± 202	4585 ± 159									4430	4566	4498	97	4.07	0.23	accept	0.88	accept	
10		5051 ± 276	4681 ± 241	4807 ± 355	4960 ± 53									4681	5051	4866	262	4.07	1.22	accept	0.36	accept	
Min	494	521	532	1500	3543																		
Max	1868	5051	4681	4807	4960																		
Mean	1199	2693	2734	3192	4296																		
SD	595	1480	1468	1189	614																		
F-table α=0.05	4.07	2.39	2.39	2.66	4.07																		
F	952.17 reject	176.18 reject	175.02 reject	91.36 reject	29.14 reject																		
P-value	0.00 reject	0.00 reject	0.00 reject	0.00 reject	0.00 reject																		

* การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากความเร็วรอบงานชุด ของ 3 ชุดทดสอบ

*² การวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากอัตราการป้อนชิ้นงาน ของ 3 ชุดทดสอบ

4.3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานที่มีผลต่อแรงในแนวเส้นสัมผัส แรงกดปกติ และอัตราส่วนแรง

การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานที่มีผลต่อแรงในแนวเส้นสัมผัส แรงกดปกติ และอัตราส่วนแรง ได้นำผลทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้ มาประมวลผลเพื่อสร้างสมการพยากรณ์

จากผลการทดลองและการวิเคราะห์ พบว่า ความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงาน มีผลต่อแรงในแนวเส้นสัมผัส และแรงกดปกติ ดังนั้น จึงต้องสร้างสมการด้วยตัวแปรต้น 2 ตัว จากการประมวลผลสามารถบอกถึงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$F_t = 1.46N^{-0.43} f^{0.5} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

$$F_n = 23.5N^{-0.92} f^{0.49} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

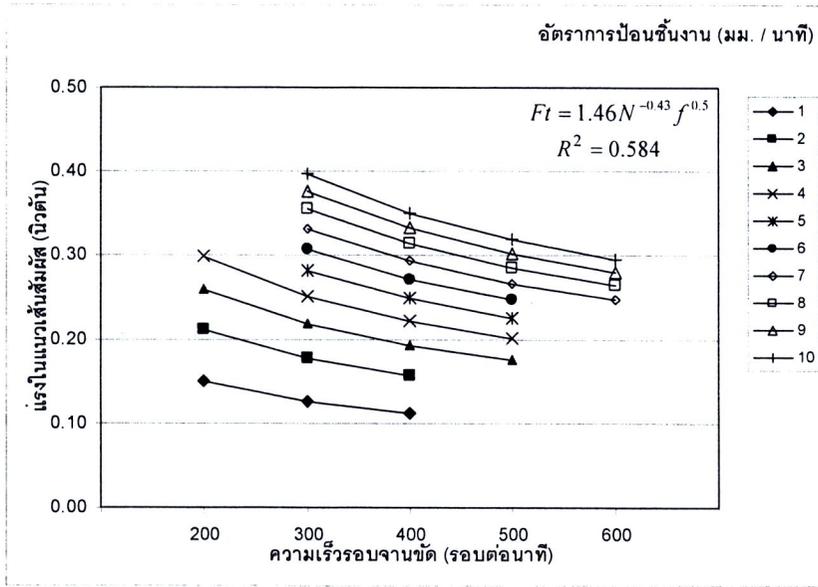
- เมื่อ F_t = แรงในแนวเส้นสัมผัส (N)
 F_n = แรงกดปกติ (N)
 N = ความเร็วรอบงานขัด (รอบต่อนาที)
 f = อัตราการป้อนชิ้นงาน (มิลลิเมตรต่อนาที)

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงาน จากสมการที่ 4.1 ภายใต้เงื่อนไขของความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานที่สามารถเจาะชิ้นงานทรงกลมให้ได้ขนาดที่ต้องการ ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination; R^2) เท่ากับ 0.584 นั่นคือ 58.4% ของการเปลี่ยนแปลงแรงในแนวเส้นสัมผัส เป็นผลเนื่องมาจากความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงาน และจากสมการ ที่ 4.1 พบว่า อัตราการป้อนชิ้นงานจะมีอิทธิพลมากกว่าความเร็วรอบงานขัด โดยเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนชิ้นงานจะทำให้แรงในแนวเส้นสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบงานขัดจะทำให้แรงในแนวเส้นสัมผัสมีค่าลดลง

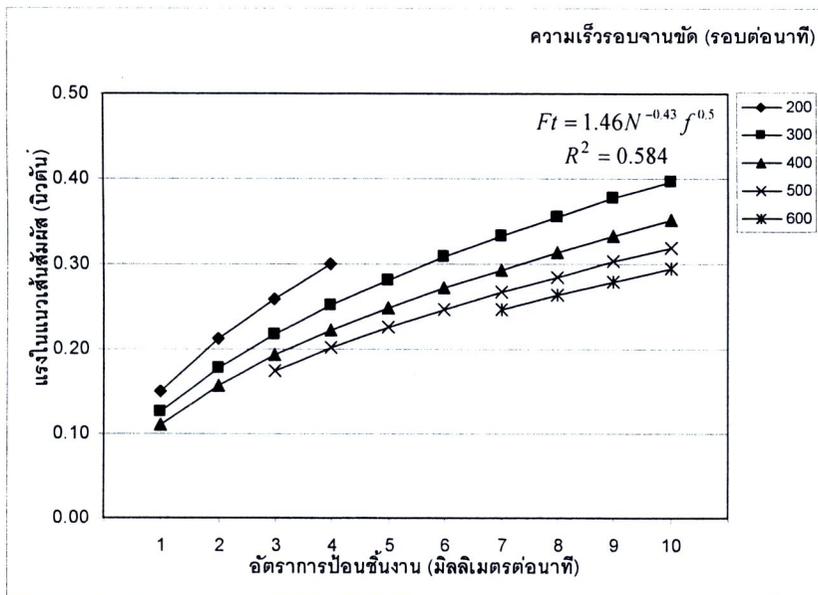
เมื่อพิจารณาสมการที่ 4.2 ภายใต้เงื่อนไขของความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานที่สามารถเจาะชิ้นงานทรงกลมให้ได้ขนาดที่ต้องการ ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.589 นั่นคือ 58.9% ของการเปลี่ยนแปลงแรงกดปกติ เป็นผลเนื่องมาจากความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงาน พบว่า ความเร็วรอบงานขัดจะมีอิทธิพลต่อแรงกด

ปกติมากกว่าอัตราการป้อนชิ้นงาน เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนชิ้นงานจะทำให้แรงกดปกติมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบงานขัดจะทำให้แรงกดปกติมีค่าลดลง

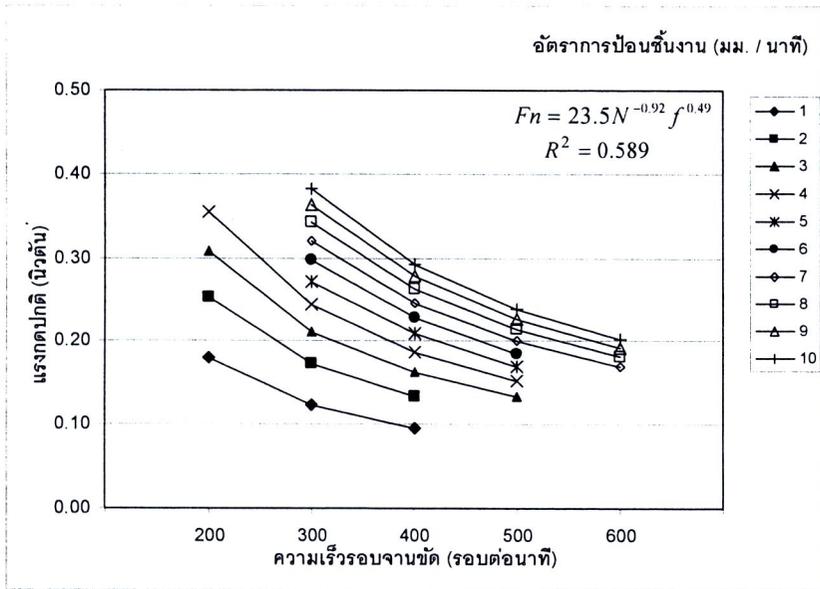
จากสมการที่ 4.1 และ 4.2 เมื่อแทนค่าด้วยความเร็วรอบงานขัดเท่ากับ 200 ถึง 500 รอบต่อนาที และอัตราการป้อนชิ้นงาน 1 ถึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที ทั้งนี้ได้เลือกเฉพาะค่าของความเร็วรอบงานขัด และอัตราการป้อนชิ้นงานที่สามารถเจียรขึ้นรูปชิ้นงานทรงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตามที่ออกแบบไว้เท่านั้น สามารถสร้างความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.21 ถึง 4.24 และพบว่า การเพิ่มความเร็วรอบงานขัดและลดอัตราการป้อนชิ้นงาน ส่งผลให้ทั้งแรงในแนวเส้นสัมผัสและแรงกดปกติมีค่าลดลง



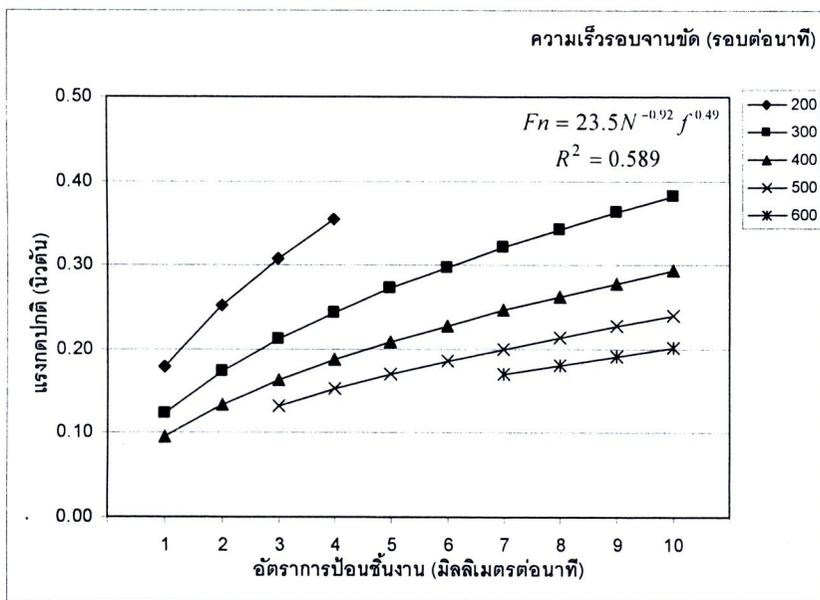
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวเส้นเอ็นที่คำนวณจาก $Ft = 1.46N^{-0.43} f^{0.5}$ กับความเร็วรอบงานซ้ำ ที่อัตราการป้อนชิ้นงานต่างๆ



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวเส้นเอ็นที่คำนวณจาก $Ft = 1.46N^{-0.43} f^{0.5}$ กับอัตราการป้อนชิ้นงาน ที่ความเร็วรอบงานซ้ำต่างๆ



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดปกติที่คำนวณจาก $F_n=23.5N^{-0.92} f^{0.49}$ กับความเร็รรอบงานขัด ที่อัตราการป้อนชิ้นงานต่างๆ



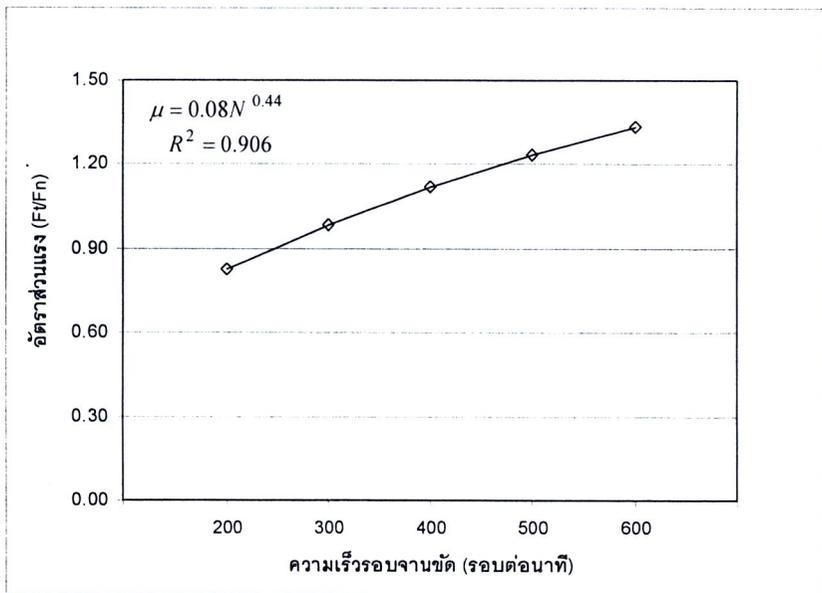
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดปกติที่คำนวณจาก $F_n=23.5N^{-0.92} f^{0.49}$ กับอัตราการป้อนชิ้นงาน ที่ความเร็รรอบงานขัดต่างๆ

สำหรับการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงาน ต่ออัตราส่วนแรง จะใช้เพียงค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนแรงในแต่ละกลุ่มความเร็วรอบงานขัด เนื่องจากได้พิสูจน์ทางสถิติแล้วว่า อัตราการป้อนชิ้นงาน ไม่มีผลต่ออัตราส่วนแรง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขอบเขตของงานวิจัยนี้ จากผลการทดลองสามารถสร้างความสัมพันธ์ ได้ดังสมการที่ 4.3 ดังนี้

$$\mu = 0.08N^{0.44} \dots\dots\dots (4.3)$$

เมื่อ μ = อัตราส่วนแรง
 N = ความเร็วรอบงานขัด (รอบต่อนาที)

จากสมการที่ 4.3 ภายใต้เงื่อนไขของความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนชิ้นงานที่สามารถเจียรขึ้นรูปชิ้นงานทรงกลมให้ได้ขนาดที่ต้องการ ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.906 นั่นคือ 90.6% ของการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนแรง เป็นผลมาจากความเร็วรอบงานขัด ซึ่งสามารถสร้างความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.25 โดยใช้ขอบเขตที่ความเร็วรอบงานขัด 200 ถึง 500 รอบต่อนาที ซึ่งพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบงานขัดทำให้อัตราส่วนแรงมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแรงที่คำนวณจาก $\mu=0.08N^{0.44}$ กับความเร็วรอบงานขัด

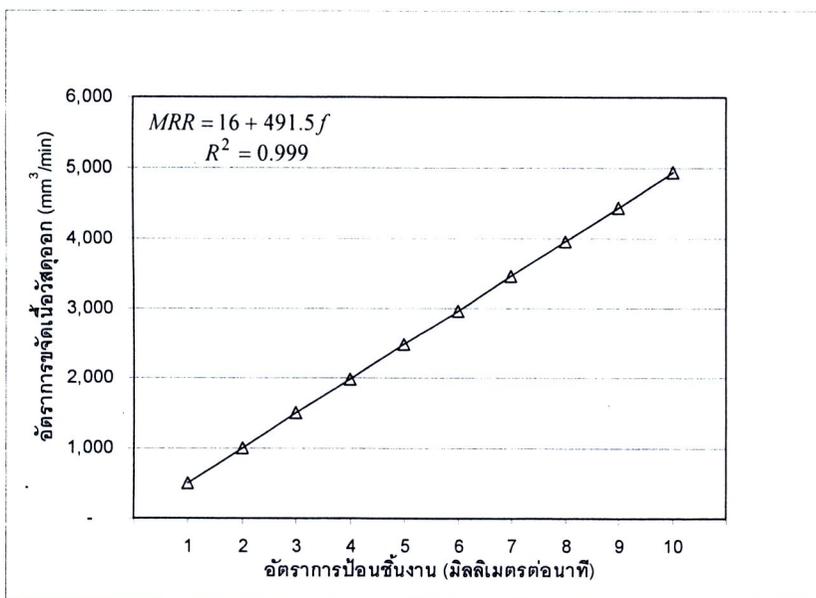
4.3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบงานขัดและอัตราการป้อนขึ้นที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก

จากผลการทดลอง พบว่า มีเพียงอัตราการป้อนขึ้นงานเท่านั้นที่มีผลต่ออัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของอัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก ในแต่ละกลุ่มอัตราการป้อนขึ้นงานเท่านั้น ที่ถูกนำมาใช้ในการประมวลผลเพื่อสร้างความสัมพันธ์ ได้ดังสมการที่ 4.4

$$MRR = 16 + 491.5f \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

เมื่อ MRR = อัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก (ลูกบาศก์เมตรต่อนาที)
 f = อัตราการป้อนขึ้นงาน (รอบต่อนาที)

จากสมการที่ 4.4 ภายใต้เงื่อนไขของความเร็วยรอบงานขัดและอัตราการป้อนขึ้นงานที่สามารถเจียรขึ้นรูปชิ้นงานทรงกลมให้ได้ขนาดที่ต้องการ ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.999 นั่นคือ 99.9% ของการเปลี่ยนแปลงอัตราการขจัดเนื้อวัสดุออก เป็นผลมาจากอัตราการป้อนขึ้นงาน ซึ่งสามารถสร้างความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.26 โดยใช้ขอบเขตที่อัตราการป้อนขึ้นงาน 1 ถึง 10 มิลลิเมตรต่อนาที



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขจัดเนื้อวัสดุออกที่คำนวณจาก $MRR=16+491.5f$ กับอัตราการป้อนขึ้นงาน