กรณีศึกษาผลกระทบของตัวแปรตัวแปรที่มีต่อผิวงานกัดโลหะ

FACTOR INFLUENCE OF SURFACE MACHINING

นายสวัสดิพงษ์ วอทอง รหัส 48370709

นายอัศนัย ชื่นศิริ รหัส 48370730

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ...../...../.....
เลขทะเบียน 150697716 e.2
เลขเรียกหนังสือ ปร. ส444ก
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552

ชื่อหัวข้อโครงงาน	กรณีศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อผิวงานกัดโลหะ	
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายสวัสดิพงษ์ วอทอง	รหัส 48370709
	นายอัศนัย ชื่นศิริ	รหัส 48370747
ที่ปรึกษาโครงงาน	รศ. ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2552	

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(รศ.ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน)

.....กรรมการ

(อ. ธนา บุญฤทธิ์)

.....กรรมการ

(อ. ศรีสัจจา บุญฤทธิ์)

.....กรรมการ

(อ. เสาวลักษณ์ ตองกลิ่น)

.....กรรมการ

(อ. วัฒนชัย เยวรัตน์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	กรณีศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อผิวงานกัดโลหะ
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายสวัสดิพงษ์ วอทอง รหัส 48370709
	นายอัศนัย ชื่นศิริ รหัส 48370747
ที่ปรึกษาโครงงาน	รศ. ดร. ภวิน สนธิเพิ่มพูน
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาตัวแปร คือ ความเร็วรอบ และอัตราป้อน โดยทำการกัดชิ้นงานด้วยเครื่องกัด CNC ว่าส่งผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงานหรือไม่ เริ่มจากการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม minitab 15 ซึ่งการทดลองประกอบไปด้วยความเร็วรอบที่ 4774, 5252 และ 5727 รอบ/นาที,อัตราป้อน 0.8, 1.0, และ 1.2 มิลลิเมตร/นาทีและขนาดของชิ้นงาน 10 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบของผิวชิ้นงาน คือ ความเร็วรอบและอัตราป้อน โดยมีแนวโน้มว่าเมื่อความเร็วรอบสูงขึ้น (5727 รอบ/นาที) อัตราป้อนต่ำ (0.8 มม./นาที) จะส่งผลให้ได้ชิ้นงานที่มีความเรียบผิวที่ดี โดยสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ของการกัดชิ้นงานได้ด้วยสมการนี้ คือ

$R_a = 0.393 + 0.570\ Feed - 0.000107\ Speed$ การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณจากสมการถดถอยและค่าเฉลี่ยจากการทกลองมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10.2 %

Project title	FACTOR INFLUENCE OF SURFACE MACHINING	
Name	Mr.Sawatdipong Worthong	ID. 48370709
	Mr.Artsanai Chunesiri	ID. 48370747
Project advisor	Assoc.Prof.Dr.Kawin Sonthipermpoon	
Major	Industrial Engineering	
Department	Industrial Engineering	
Academic year	2009	

Abstract

The objective of this research was of studied the effect of the milling variable on the surface roughness. The factors studied were speed,feed rate and section area. The experimental design and analyzed data by minitab 15 computer program. The factors studied were speed.with 4774, 5252 and 5727 rpm.,feed with 0.8, 1.0 and 1.2 mm./min and diameter 10 mm. It was found form the experiment that the factors effecting surface roughnes were speed, feed rate and section area, thc result from process show that height speed, low feed rate and low section area generates a good surface roughness. Therefore ,it was possible determine a process condition by means of the equation R_a = 0.393 + 0.570 Feed - 0.000107 Speed and based test the result eror of 10.2 rercents.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน,อาจารย์ ธนา บุญฤทธิ์,อาจารย์ ไพรัช แสงผ่อง อาจารย์ประเทือง โมราราย และ ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง ที่ให้คำปรึกษาและสนับสนุนด้านต่างๆ ตลอดจนให้คำแนะนำในการทำปริญญานิพนธ์นี้

ขอบคุณ พ่อ-แม่ ที่คอยให้กำลังใจ

ขอบคุณเพื่อนๆที่ให้คำแนะนำในการทำงาน

ขอบคุณอุปสรรคต่างๆที่ทำให้เราเข้มแข็ง

ขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ที่ให้ความรู้ความสามารถแก่เรา

นายสวัสดิพงษ์ วอทอง

นายอัศนัย ชื่นศิริ

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค
กิตติกรรมประกาศ.....ง
สารบัญ.....ฉ
สารบัญรูป.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 หลักการ และเหตุผล.....1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย.....1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....1
1.5 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย.....2
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย.....2
1.7 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ (Gantt chart) ทุก 2 สัปดาห์.....2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....3
2.1 ในการวัดความเรียบของผิว (SURFACE FINIDH MEASUREMENT).....3
2.2 คำจำกัดความของความเรียบของผิว (SURFACE FINISH DIFFINITIONS).....4
2.3 การออกแบบการทดลอง.....5
2.4 หลักการพื้นฐาน.....7
2.5 แนวทางในการออกแบบการทดลอง.....8
2.6 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล.....10
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน....13

3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง....13

3.2 เตรียมชิ้นงานให้ได้ขนาดและจำนวนตามความต้องการ....13

3.3 การออกแบบการทดลอง....14

3.4 การทดสอบการวัดความเรียบผิว....15

3.5 การจดบันทึกผลการทดลอง....15

3.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง....18

3.7 สรุปผลการดำเนินการวิจัย....18

3.8 จัดพิมพ์รูปเล่มและนำเสนอผลการดำเนินงาน....18

บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผล....19

4.1 ผลการดำเนินงานวิจัย....19

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง....19

4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน....21

4.4 การวิเคราะห์การถดถอย....22

4.5 การวิเคราะห์ผลจากสมการถดถอย....24

4.6 การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณจากสมการถดถอย และค่าเฉลี่ยจากการทดลอง....26

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ....27

สรุปและข้อเสนอแนะ....27

ภาคผนวก ก....28

ภาคผนวก ข....33

ภาคผนวก ค....44

เอกสารอ้างอิง....46

ประวัติผู้วิจัย....47

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

3.1 แสดงชิ้นงานอลูมิเนียมที่จะทำการทดลอง....13

3.2 เครื่องวัดความเรียบผิว รุ่น Mitutoyo SV – 400....15

4.1 แสดงตัวอย่างชิ้นงานสำเร็จ....19

4.2 กราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลของการวัดความหยาบผิวของชิ้นงาน....20

4.3 การปฏิสัมพันธ์ของความเรียบผิว (R_a) 22

4.4 การเปลี่ยนแปลงของความเรียบผิวที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัย....22

ก-1 แสดงเครื่องวัดความเรียบผิว....29

ก-2 แสดงรูปการเซทค่า....30

ก-3 แสดงรูปการนำชิ้นงานวาง....30

ก-4 แสดงรูปการเลื่อนหูทดสอบ....31

ก-5 แสดงรูปการใช้ปุ่มการทำงาน....31

ข-1 แสดงกราฟ F =0.8 mm. / min ,S4774 rpm/min....34

ข-2 แสดงกราฟ F =0.8 mm. / min ,S =5252 rpm/min....35

ข-3 แสดงกราฟ F =0.8 mm. / min ,S =5727 rpm/min....36

ข-4 แสดงกราฟ F =1.0 mm. / min ,S =4774 rpm/min....37

ข-5 แสดงกราฟ F =1.0 mm. / min ,S =5252 rpm/min....38

ข-6 แสดงกราฟ F =1.0 mm. / min ,S =5727 rpm/min....39

ข-7 แสดงกราฟ F =1.2 mm. / min ,S =4774 rpm/min....40

ข-8 แสดงกราฟ F =1.2 mm. / min ,S =5252 rpm/min....41

ข-9 แสดงกราฟ F =1.2 mm. / min ,S =5727 rpm/min....42

ค.1 แสดงการคำนวณจากหนังสือตารางโลหะ....44

ค.2 แสดงการหาค่า ความเร็วตัดและอัตราป้อน....45

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ....2

3.1 การออกแบบการทดลอง....14

3.2 ตารางจดบันทึกการทดลอง....15

4.1 ตารางบันทึกผลความเรียบผิว....19

4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเรียบผิว (R_a) 21

4.3 การวิเคราะห์ค่าความเปลี่ยนแปลงของความเรียบผิว (R_a)....23

4.4 Regression Analysis: Ra versus Diameter,Feed,Speed....24

4.5 การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณจากสมการถดถอยและ ค่าเฉลี่ยการทดลอง....26

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการ และเหตุผล

ในช่วงเวลาหลายปีที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน อุตสาหกรรมในประเทศไทยได้มีการพัฒนาและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีการแข่งขันทางด้านคุณภาพและปริมาณการผลิตค่อนข้างสูง ถ้ามีการนำเอาเครื่องมือและวิธีการปฏิบัติงานที่มีคุณภาพและได้มาตรฐานมาใช้ในงานผลิตที่ได้มาตรฐาน และมีคุณภาพรวมทั้งเป็นการประหยัดเวลาทำให้เราสามารถลดต้นทุนได้มาก จากการศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีต่อผิวงานกัดโลหะพบว่ามีปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับความเรียบของผิวชิ้นงานเราจึงศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกัน เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตชิ้นงานในโรงงานอุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆในการกัดที่มีผลต่อความเรียบผิวชิ้นงาน

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 ทราบถึงตัวแปรในการกัดที่มีผลต่อคุณภาพผิวของชิ้นงาน

1.3.2 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองจำนวน 27 ชิ้น

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

1.4.1 ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในการกัดกับความเรียบผิวของชิ้นงาน

1.4.2 เรียนรู้เครื่องกัด CNC, การวัดความเรียบผิว และการใช้โปรแกรม MINITAB

1.5 ขอบเขต

1.5.1 เครื่องกัด CNC

1.5.2 ตัวแปรที่ศึกษา คือ ความเร็วรอบ อัตราป้อน และขนาดชิ้นงาน

1.5.3 วัสดุของชิ้นงาน อะลูมิเนียม

1.5.4 กัดเฉพาะผิวหน้า ด้านเดียว

1.5.5 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

1.5.6 ดอกกัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm.

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

เดือนกรกฎาคม 2551 ถึง เดือนมกราคม 2552

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ (GANTT CHART) ทุก 2 สัปดาห์

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินการ

ลำดับ	การดำเนินงาน	ก.ค.		ส.ค.		ก.ย.		ต.ค.		พ.ย.		ธ.ค.		ม.ค.	
1.	ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องกัด CNC														
2.	ออกแบบการทดลอง														
3.	เตรียมวัสดุอุปกรณ์														
4.	ดำเนินการทดลอง														
5.	วัดค่าความเรียบของผิวชิ้นงาน														
6.	เก็บตัวอย่างข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ตามหลักสถิติ														
7.	ตรวจสอบและแก้ไข														
8.	วิเคราะห์สรุปผลการดำเนินงานวิจัย และนำเสนองานวิจัย														
9.	จัดทำปริญญานิพนธ์และนำเสนอผลงาน														

บทที่ 2
การวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ในการวัดความเรียบของผิว (SURFACE FINIDH MEASUREMENT)

ในอดีตนั้นความเรียบของผิวไม่มีความสำคัญเท่าปัจจุบันนี้ เพราะฉะนั้นเครื่องจักรและเครื่องรถยนต์ต่างๆ จึงกำหนดขึ้นใช้ได้ทนยิ่งขึ้นเพื่อที่จะป้องกันความร้อนที่เกิดขึ้นจากความเสียดทานจะเป็นเหตุให้เกิดอันตรายกับเครื่องจักรจึงกำหนดเป็นมาตรฐานเสมอ เป็นหยาบ ปานกลาง และละเอียด ที่เป็นชนิดของความเรียบที่แสดงให้ทราบโดยใช้กรรมวิธี (คว้านด้วยดอกคว้าน(Ream) เจียรนัย (Grimo) ขัด (LAP) ฯลฯ) ดังนั้นความเรียบของผิวจึงมักจะตรวจสอบโดยใช้มือลูบไปตามผิว เพื่อแสดงถึงความไม่สม่ำเสมอ ส่วนการตรวจด้วยตาเปล่าจะใช้อีกด้วย แต่จะไม่ปฏิบัติกับผิวมันที่ไม่จำเป็นต้องแสดงให้ทราบถึงผิวละเอียด

เทคโนโลยีสมัยใหม่จึงมีความเรียบของผิวที่ทำให้ดีขึ้นตามประเภทการใช้ ลูกสูบ (Pistons) แบริ่ง (bearing) และเฟืองต่างๆ (Geara) จะขึ้นอยู่กับความเรียบของผิวที่ดีมากที่สุดสำหรับการใช้งานที่ถูกต้อง ดังนั้น จึงบังคับขึ้นเล็กน้อยหรือเวลาที่ทำไม่ลดลงมีความเรียบดีกว่าเมื่อบังคับให้ปฏิบัติเพิ่มขึ้นเสมอ เช่น การขัดด้วยแผ่นโลหะหรือสารเชิงทราย (Lapping) หรือการขัดด้วยหินหรือสารเชิงทราย (Honing) และค่าแรงในการผลิตแพงมาก เพื่อให้มีความเรียบตามความประสงค์จึงแสดงไว้บนแรงงานและแจ้งความรู้นี้กับผู้ปฏิบัติเครื่องมือกลด้วยระบบของสัญลักษณ์ที่คิดค้นขึ้นโดยสมาคมมาตรฐานของอเมริกัน (American Standard Association(ASA)) ใช้ระบบมาตรฐานนี้ขึ้นกำหนดแสดงให้ทราบถึงความเรียบของผิวขึ้นเป็นหน่วยในการวัดความเรียบของผิว คือ ไมโครนิ้ว หรือหนึ่งในล้านนิ้ว (0.000001) หรือ (ไมโครเมตร (0.000001)) เครื่องมือที่ใช่ในการวัดความเรียบของผิวโดยมาก คือ เครื่องแสดงผิว (Surface Indicator)

เครื่องนี้ประกอบด้วยเทร์สเซอร์เฮ็ด (tracer Head) และเครื่องขยาย (Amplifier) ซึ่งโครงของเทร์สเซอร์เฮ็ดเป็นลายแหลมเส้นตัดกัน (Diamond Stylus) มีรัศมีที่ปลาย 0.0005" (0.01 มม.) รองรับการเลื่อนติดอยู่กับชั้นผิวงานที่อาจจะเคลื่อนที่ไปตามผิวงานด้วยมือหรือขับด้วยมอเตอร์เมื่อปลายแหลมเคลื่อนที่ไปบ่นผิวที่ไม่สม่ำเสมอแล้วจะเปลี่ยนเป็นไฟขึ้นๆ ลงๆ โดยเทร์สเซอร์เฮ็ดสัญญาณเหล่านี้ขยายให้เห็นโดยเครื่องขยายและแสดงด้วยมิเตอร์ด้วยเข็มแล้ว อ่านจากที่แสดงที่มิเตอร์เป็นไมโครนิ้ว (ไมโครเมตร) โดยเฉลี่ยความสูงของความหยาบของผิวหรือการยื่นออกของผิวนี้จากที่เกี่ยวเส้น (ศูนย์กลาง)

การอ่านอาจจะเป็นไปได้ทั้งเฉลี่ยตัวเลข (AA) หรือรากที่สอง (Root Mean Square (RMS)) ตามปกติรูปตัดตามขวางของชิ้นงานจะขยายได้มากขึ้น เพื่อที่จะคำนวณความเรียบของผิวโดยไม่มี

เครื่องแสดงผิวและความสูงของการของการเบี่ยงเบนเหล่านี้จะต้องวัดและบันทึกไว้ เป็นตัวเลขหรือรากที่สอง เป็นวิธีที่ดีที่สุดที่จะหาความหยาบของผิวดังนั้นการเบี่ยงเบนจึงมีมากเป็นพิเศษ

สำหรับการหาความเที่ยงขนาดของความเรียงของผิวด้วยเครื่องแสดงนั้น ขั้นแรกจะต้องแก้ขนาดความผิดพลาดโดยการตั้งกับผิวที่มีความเกี่ยวข้องชนิดละเอียดอยู่บนแท่งทดสอบที่แก้ขนาดความผิดพลาดกับมาตรฐาน (ASA)

2.2 คำจำกัดความของความเรียบของผิว(SURFACE FINISH DIFFINITIONS)

การเบี่ยงเบนของผิว(Surface Deviations) คือ การขึ้นจากผิวปกติเป็นรูปต่างๆ ของลูกคลื่น ความหยาบ ตำหนิ จัดคลื่น และรูปด้านข้าง

ลูกคลื่น(Wavines) เกี่ยวข้องกับความไม่สม่ำเสมอของลูกคลื่นที่เบี่ยงเบนออกจากผิวเฉลี่ยในรูปลูกคลื่น ซึ่งอาจจะเกิดจากการสั่นของเครื่องหรือชิ้นงาน โดยทั่วๆ ไป แล้วจะมีระยะขยายไปกว้าง

ความหยาบ(Roughness) มีความสัมพันธ์เฉลี่ยของระยะละเอียดที่ไม่สม่ำเสมอของลูกคลื่นและเกิดขึ้นจากเครื่องมือตัดหรือการกรรของเม็ดแกรนสารเชิงทรายด้วยความเร็วป้อนของเครื่อง ซึ่งไม่มีความสม่ำเสมอเหล่านี้จะแคบมากกว่าลูกคลื่น

ตำหนิ(Flaw) คือ ความไม่สม่ำเสมอ เช่น รอยขูด รอยแตก สัน หรือโพรงที่ไม่เป็นไปตามแบบสม่ำสมอในกรณีนี้จะเกิดขึ้นในลูกคลื่นและความหยาบ

จัดคลื่น (Lay) คือ ทิศทางของแบบผิวที่ตกลงกันไว้เกิดขึ้นจากกรรมวิธีของการใช้เครื่องทำ

รูปด้านข้าง (Profile) คือ รูปร่างที่กำหนดตลอดหน้าตัดของผิว

ไมโครนิ้ว (Microinch) คือหน่วยของการวัดที่ใช้วัดความเรียบของผิวจะเท่ากับ หนึ่งไมโครนิ้ว (0.000001) หรือ (ไมโครเมตร(0.000001))

สัญลักษณ์ที่แสดงให้ทิศทางที่จุดคลื่นดังนี้

∥	คือสัญลักษณ์ที่ขนานกับเส้นขอบเขตของผิว
⊥	คือสัญลักษณ์ที่ตั้งฉากกับเส้นขอบเขตของผิว
×	คือสัญลักษณ์ที่เป็นเชิงมุมทั้งสองทิศทางผิว
M	หลายทิศทาง
C	คือสัญลักษณ์ของวงกลมประมาณกับศูนย์กลางของผิว
R	คือสัญลักษณ์ของรัศมีที่มีประมาณสมพันธ์กับศูนย์กลางของผิว

เฉลี่ยความหยาบของผิวที่ผลิขึ้นจากกรรมวิธีการใช้เครื่องมาตรฐาน เป็นไมโครนิ้ว (ไมโครเมตร)

	ไมโครนิ้ว	ไมโครเมตร
การคลึง	100 – 250	2.54 – 6.35
การเจาะ	100 – 200	2.54 – 5.08
การคว้านด้วยดอกคว้าน	50 – 50	1.27 – 3.81
การเจียรนัย	20 – 100	0.50 – 2.54
การขัดด้วยหินขัด(Mowing)	5 – 20	0.12 – 0.50
การขัดด้วยสารเชิงทราย(Lappiwg)	1 – 10	0.02 – 0.25

2.3 การออกแบบการทดลอง

ไม่ว่าเราจะอยู่ในสาขาวิชาใดก็ตาม เราจะต้องมีวามเกี่ยวข้องกับการทดลองบ้างไม่มากก็น้อย ทั้งนี้เพื่อให้เราทราบหรือค้นพบบางสิ่งบางอย่างเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบบางอย่างโดย คำศัพท์แล้วการทดลองจะหมายถึงการทดสอบ เราอาจจะให้คำนิยามของการทดลองว่าเป็นการทดสอบหรือเป็นชุดการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงกับตัวแปลขาเข้า (Input Variable) ของกระบวนการหรือระบบเพื่อว่าเราจะสังเกต หรือบ่งชี้ถึงเหตุผลของการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับผลตอบขาออกได้

เนื้อหาของหนังสือเล่มนี้จะเกี่ยวข้องกับการออกแบบและการดำเนินการทดลอง และการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองเพื่อที่จะหาข้อสรุปที่มีเหตุผล หนังสือเล่มนี้จะเน้นไปที่การทดลองทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ฟิสิกส์ และเคมี สำหรับทางด้านวิศวกรรมศาสตร์นั้นการทดลองจะมีบทบาทที่สำคัญในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่การพัฒนากระบวนการผลิต และการปรับปรุงกระบวนการผลิตวัตถุประสงค์หลักก็ที่จะพัฒนากระบวนการที่มีความเข้มแข็ง (Robust Process) ซึ่งความแปรผันภายนอกจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการได้น้อยมาก

ตัวอย่างของการทดลองก็คือ สมมติว่าวิศวกรโลหะการคนหนึ่งต้องการศึกษาถึงผลกระทบของกระบวนการชุบแข็ง 2 วิธี ที่ใช้กับโลหะผสมอะลูมิเนียม คือ วิธีการใช้น้ำมันและวิธีการใช้น้ำเกลือในที่นี้วัตถุประสงค์ในการทดลองก็เพื่อจะหาว่าสารละลายชนิดไหนที่ทำให้เกิดความแข็งมากที่สุดต่อโลหะผสมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ วิศวกรคนนั้นก็ดำเนินการทดลองโดยใช้ตัวอย่างของโลหะผสมจำนวนหนึ่งลงในสารละลายแต่ละชนิด และหลังจากนั้นก็ทำการวัดค่าความแข็งของชิ้นงาน ค่าเฉลี่ยนของความแข็งของชิ้นงานที่ถูกจุ่มลงในสารละลายต่างชนิดกันจะนำมาใช้ในการตรวจสอบว่าสารละลายชนิดไหนดีที่สุด

หลังจากที่เราพิจารณาการทดลองง่ายๆ ตามตัวอย่างข้างต้นมาแล้ว เราอาจจะมีคำถามมากมายในใจตามมาก็ได้ เช่น

1. สารละลายสองชนิดเท่านั้นเองหรือที่เราสนใจ
2. มีปัจจัยอื่นอีกหรือไม่ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรง ซึ่งเราควรตรวจสอบหรือควบคุมในการทดลอง
3. เราควรใช้ตัวอย่างจำนวนเท่าใดในการทดลอง
4. เราจะกำหนดลำดับของชิ้นงานตัวอย่างที่จะทดสอบกับสารละลายอย่างไร
5. เราจะใช้วิธีการใดในการวิเคราะห์ผลการทดลอง
6. ค่าความแตกต่างขนาดใดของวามแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานที่จุ่มลงในสารละลายแตกต่างกันจะเรียกว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

คำถามเหล่านี้และอาจมีคำถามอื่นๆ อีก ควรมีคำตอบก่อนมีการทดลองจริง

ในการทดลองใดๆก็ตาม ผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บข้อมูล สมมติว่าวิศวกรโลหะการนำชิ้นงานตัวอย่างชิ้นหนึ่งที่ถูกเผาด้วยความร้อนค่าหนึ่งแล้วนำไปจุ่มลดความร้อนด้วยน้ำเกลือเมื่อนำเอาค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงานทั้งสองมาเปรียบเทียบกันเขาจะไม่สามารถกล่าวได้ว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้น มีขนาดเท่าใดที่เป็นผลมาจากตัวกลางที่ใช้ดับความร้อน และขนาดอีกเท่าใดที่เป็นผลมาจากความแตกต่างของความร้อนดังนั้นจะเห็นว่าวิธีการในการเก็บข้อมูลจะส่งผลอย่างมากต่อข้อสรุปที่จะเกิดขึ้นจากการทดลอง ตามปกติแล้วการทดลองถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบ

เราอาจจะมองได้ว่า กระบวนการคือ การรวมเอาคนงาน เครื่องจักร วิธีการและทรัพยากรอื่นๆ เข้าด้วยกัน เพื่อเปลี่ยนอินพุต (เช่น วัตถุดิบ) ไปสู่เอาท์พุตที่มีผลตอบออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่าซึ่งเราสามารถเห็นได้ตัวแปรกระบวนการบางชนิด $x_1, x_2, \ldots x_p$ เป็นตัวแปรที่เราสามารถควบคุมได้ ในขณะที่ตัวแปรบางตัว $z_1, z_2, \ldots z_q$ เป็นตัวแปรที่เราสามารถควบคุมได้ (ถึงแม้ว่าในบางครั้งเราอาจควบคุมตัวแปรพวกนี้ได้ในขณะทำการทดลองตาม) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดลองอาจจะเกี่ยวกับ

1. หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ y
2. หาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อทำให้ y อยู่ที่ค่าที่ต้องการ
3. หาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อทำให้ y มีค่าน้อย
4. หาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อให้ผลของตัวแปรที่เราไม่สามารถควบคุมได้

   $z_1, z_2, \ldots z_q$ มีค่าน้อยที่สุด

ดังที่กล่าวมาแล้วว่า การทดลองส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายตัว และวัตถุประสงค์ของบุคคลที่ทำการทดลอง (เรียกว่า ผู้ทดลอง) ก็คือ หาผลกระทบของปัจจัยเหล่านี้กับผลตอบของระบบ เราเรียกการวางแผนลำเนินการทดลองว่า กลยุทธ์ของการทดลอง (Strategy of Exerimentation) ซึ่งมีกลยุทธ์หลายอย่างที่ผู้ทดลองสามารถนำไปใช้ได้ เช่น แบบหนึ่งปัจจัยต่อครั้ง

(One Facter at-a-time) หรือการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) ซึ่งรายละเอียดจะ7 กล่าวถึงในบทต่อๆไป

2.4 หลักการพื้นฐาน

ถ้าต้องการให้การทดลองมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลสูงสุด เราจะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์ เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง คำว่า การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statical Design Of Experiment) หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลอง เพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองใช้เชิงสถิติเป็นสิ่งจำเป็น ถ้าเราต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เรามีอยู่ และถ้ายิ่งปัญหามีความสนใจเกี่ยวข้อกับการผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการตามสถิติเป็นเพียงวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญสองประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือการออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีการเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ เรพลิเคชัน (Replication) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) และบล็อกกิง (Blocking) ในที่นี้เรากำหนดให้ว่า เรพลิเคชัน หมายถึงทำการทดลองซ้ำ เรพลิเคชันมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรบข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองค่าเฉลี่ย (ตัวอย่างเช่น $\bar{y}$) ถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้ ตัวอย่างเช่น ถ้า σ^2 คือความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละตัว และมี n เรพลิเคต ดังนั้นค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างนี้

$$\sigma \frac{2}{y} = \frac{\sigma^2}{n} \qquad (2.1)$$

ผลในการปฏิบัติคือว่า n=1 เรพลิเคต และค่าที่ได้จากการทดลอง $y_1 = 145$ (ใช้น้ำเป็นตัวดับความร้อน) และ $y_2 = 147$ (ใช้น้ำเกลือเป็นตัวดับความร้อน) เราอาจจะไม่สามารถที่จะสรุปอะไรเกี่ยวกับผลการทดลองทั้งสองนี้ได้ นั่นคืออาจเป็นไปได้ว่าความตกต่างที่สังเกตได้อาจจะเป็นมาจากความผิดพลาดในการทดลอง ในทางตรงกันข้าม ถ้า n มีค่ามากพอเพียง และความผิดพลาดจากการทดลองมีค่าน้อย ดังนั้นถ้าเราสังเกตได้ว่า $\bar{y}_1 < \bar{y}_2$ เราก็จะสามารถสรุปได้อย่างปลอดภัยว่าการใช้น้ำเกลือเป็นตัวดับความร้อนนั้นจะทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานมากกว่าการใช้น้ำเป็นตัวดับความร้อนสำหรับโลหะผสมอะลูมิเนียม

แรนดอมไมเซชัน เป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบการทดลอง แรนดอมไมเซชัน หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การที่เราแรนดอมไมซ์การทดลอง ทำให้เราสามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

บล็อกกิง เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิง

หลักการพื้นฐานทั้งสามที่กล่าวมานี้มีความสำคัญอย่างมากในการทดลองทุกๆชนิด ดังนั้นเราอาจจะต้องกล่าวถึงหลักการทั้งสามนี้บ่อยครั้ง เพื่อเป็นการแสดงและเน้นให้เห็นถึงประโยชน์ของหลักการดังกล่าว

2.5 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองจะต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่า เรากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการอาจจะทำได้ดังต่อไปนี้

2.5.1 ทำความเข้าใจถึงปัญหา บางคนอาจคิดว่าขั้นตอนนี้ง่ายและตรงไปตรงมา แต่ในความเป็นจริงแล้วขั้นตอนนี้ไม่ได้ง่ายอย่างที่คิด ในขั้นตอนนี้เราจะต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลองและบ่อยครั้งที่เราต้องหาข้อมูลอินพุตจากข้อมูลหรือหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนกวิศวกรรม แผนกประกันคุณภาพ แผนกผลิต แผนกการตลาด ผู้บริหาร ลูกค้า และแผนกบุคคล ถ้อยแถลงของปัญหาที่มีความชัดเจนจะมีผลอย่างมาก

ต่อความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์และคำตอบสุดท้ายของปัญหานั้นๆ ด้วยเหตุนี้เองการออกแบบการทดลองทุกครั้งควรจะมีการทำงานเป็นทีม

2.5.2 เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลองจะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดให้อย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ผู้ทดลองจะมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมากซึ่งความรู้นี้อาจจะได้มาจากประสบการณ์และความรู้ทางทฤษฎี มีความจำเป็นที่เราต้องตรวจสอบดูว่า ปัจจัยที่กำหนดมาทั้งหมดนี้มีความสำคัญหรือไม่และมีวัตถุของการทดลองคือการกรองปัจจัย (Screening) เราควรกำหนดให้ระดับต่างๆที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ การเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเราควรเลือกขอบเขตที่มีความกว้างมากๆ และเมื่อเราได้เรียนรู้เพิ่มขึ้นว่า ตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เราอาจจะลดขอบเขตลงมาให้แคบลงได้

2.5.3 เลือกตัวแปรผลตอบ ในการเลือกตัวแปรผลตอบ ผู้ทดลองต้องแน่ใจว่าตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(หรือทั้งคู่) ของกระบวนการตัวแปรเป็นผลตอบ เป็นไปได้ว่าการทดลองหนึ่งอาจจะมีผลตอบหลายตัวและมีความจำเป็นอย่างมากที่เราจะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรผลตอบ และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนจะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

2.5.4 เลือกการออกแบบการทดลอง ถ้ากิจกรรมการวางแผนก่อนการทดลองทำได้อย่างถูกต้อง ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ง่ายมาก การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (จำนวนเรพลิเคต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมกับการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่าควรจะใช้วิธีบล็อกหรือการใช้แรมดอมไมเซชันอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ในการเลือกการออกแบบ เราจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองตลอดเวลา ในการทดลองวิศวกรรมศาสตร์ส่วนมาก เราจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวมีผลต่อผลตอบที่เกิดขึ้น ดังนั้นเราจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่างและประมาณความแตกต่างที่เกิดขึ้น

2.5.5 ทำการทดลอง เมื่อทำการทดลองเราจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับการทดลองในครั้งนี้ จะทำให้การทดลองในครั้งนี้ใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในขั้นแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่เกิดขึ้น

2.5.6 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เราควรจะนำวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้าเราทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติก็คือ ทำให้ผู้มีอำนาจทางการตัดสินใจมีเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ และถ้านำวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ และสามัญสำนึก จะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

2.5.7 สรุปและข้อเสนอแนะ เมื่อเราได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในการปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้เราจะนำวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเราต้องการนำเสนอผลงานนี้ให้ผู้อื่นฟัง นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

2.6 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

การทดลองส่วนมากในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลของปัจจัย (Factor) ตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไป ในกรณีเช่นนี้ การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมตัวของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เรพลิเคต (Replicate) จะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบเชิงแฟคทอเรียล เราจะกล่าวปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน

ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) เนื่องจากว่ามันเกี่ยวข้องกับปัจจัยเบื้องต้นของการทดลอง

ในการทดลองบางอย่าง เราอาจจะพบว่าความแตกต่างของผลที่เกิดขึ้นตามระดับต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งมีค่าเท่ากัน ที่ระดับอื่นๆ ทั้งหมดของปัจจัยอื่น ซึ่งหมายความว่า ผลกระทบของปัจจัยหนึ่งกับระดับของปัจจัยอื่นๆนั่นเอง และเราเรียกเหตุการณ์นี้ว่า มีอันตรกริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 หัวข้อโครงงาน : อิทธิพลของอัตราการป้อนและความเร็วรอบของชิ้นงานในแต่ละขั้นตอนย่อย ของการเจียระไนทรงกระบอก (แบบยันศูนย์) ที่มีผลต่อความหยาบผิว

บทคัดย่อ : ศึกษาอิทธิพลของสภาวะการตัดในแต่ละขั้นตอนย่อย สำหรับกระบอกการเจียระไนทรงกระบอก (แบบยันศูนย์) ที่มีผลต่อความหยาบผิว (ในที่นี้คือ คือ ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra)) โดยอาศัยหลักการออกแบบการทดลองทางสถิติ ซึ่งเมื่อทดลองการวิเคราะห์การแปรปรวนแล้ว พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวเฉลี่ย คือ อัตราการป้อนล้อหินเจียระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษ (D) เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียระไนในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษ (E) และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้งสอง (DE) ที่ระดับในสำคัญ 0.05 โดย E มีอิทธิพลสูงที่สุดจากค่า F0 = 29.76 เมื่อใช้ค่า E ในระดับต่ำ หรือใช้เวลาหยุดนิ่งหลังการเจียระไนในช่วงการเจียระไนพิเศษนานขึ้น ส่งผลให้ได้ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยต่ำลง และ D มีผลกระทบต่อร่องรอยการตัดของผิวสุดท้ายก่อนช่วงเวลาหยุดนิ่ง หลังการเจียระไนในช่วงเจียระไนละเอียดพิเศษ นั่นคือ หากอัตราป้อนล้อหินเจียระไนเข้าหาชิ้นงาน ในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษมีค่าสูง หรือป้อนหนัก (เร็ว) จะทำให้ร่องรอยการตัด ซึ่งเกิดจากเม็ดขัดมีลักษณะลึก (หรือมียอดสูง) หากเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียระไนในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษไม่นานพอที่จะให้เม็ดขัดเม็ดอื่นๆ เข้ามากำจัดยอดของรอยตัด ส่งผลให้ผิวของชิ้นงานมีลักษณะหยาบ หรือมีค่าความหยาบผิวสูง จากการวิจัย เมื่อควบคุมเพียงแต่อัตราการป้อนล้อหินเจียระไนเข้าหาชิ้นงานในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษและเวลาหยุดนิ่งหลังการเจียระไน ในช่วงการเจียระไนละเอียดพิเศษ ให้มีค่าที่เหมาะสม นั้นคือ 0.699 เส้นผ่านศูนย์กลางมิลลิเมตรต่อนาที และ 2.8326 วินาที ตามลำดับ สามารถลดเวลาในการเจียระไนสำหรับชิ้นงานตัวอย่างลงได้ถึง 31.58 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากสมการถดถอย พบว่า มีความถูกต้องถึง 95.24 เปอร์เซ็นต์

2.7.2 หัวข้อโครงงาน : การทำนายความเรียบผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซี

บทคัดย่อ : เนื่องจากการประกอบอุตสาหกรรมเกี่ยวกับการทำแม่พิมพ์ และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ สิ่งที่มีความสำคัญอย่างมากคือความเรียบผิวของชิ้นงานหลังจากการขึ้นรูป แต่เนื่องจากการทำแม่พิมพ์ยังไม่ประสบความสำเร็จเท่าที่ควรในการกำหนดค่าความเรียบผิวที่ต้องการ และจากทบความ Int . J. Mach. Tools Manufact ของ N .H. LOH , S.C. TAM and S.MIYAZAVA กล่าวว่าปัจจัยที่มีผลกับความเรียบผิว คือ ความเร็วรอบ , การป้อน และระยะกินลึก ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความเรียบผิวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัย 3 ชนิด ได้แก่ ความเร็วรอบ , การป้องกัน , ระยะกินลึก เพื่อให้ทราบความเรียบผิวชิ้นงานก่อนที่จะมีการขึ้นรูปจริง โดยนำชิ้นงานตัวอย่างมาขึ้นรูปด้วยเครื่องกัด ตามแบบการทดลองที่ออกแบบด้วยวิธีทางสถิติจากนั้นนำไปวัดความละเอียดของผิวชิ้นงาน โดยเครื่องวัดความเรียบผิว

และนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลหาความสัมพันธ์ของความเรียบผิวกับความเร็วรอบ, ระยะกินลึกและการป้อน ด้วยละมุนภัณฑ์ SPSS for Windows ซึ่งใช้การทดสอบ 3 แบบ ประกอบด้วย สมการแบบเชิงเส้น (Linear) , สมการแบบพหุนาม (Polynomial) และ เลขชี้กำลัง (Exponential) แล้วทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จนได้สมการเพื่อใช้ในการทำนายความเรียบผิว โดยเลือกสมการแบบ Polynomial เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภัณฑ์เพื่อใช้ในการทำนายความเรียบผิวโดยใช้ชื่อว่าโปรแกรมทำนายความเรียบผิวเหล็กเหนียว

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความเรียบผิวและการมดสอบความเรียบผิว

3.1.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ

3.1.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับโปรแกรม CNC

3.1.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการใช้เครื่องวัดความเรียบผิว

3.2 เตรียมชิ้นงานให้ได้ขนาดและจำนวนตามความต้องการ

รูปที่ 3.1 แสดงชิ้นงานอลูมิเนียมที่จะทำการทดลอง

ชิ้นงานขนาด 20 × 60 × 20 mm จำนวน 27 ชิ้น

3.3 การออกแบบการทดลอง

โดยตัวแปรเครื่องกัดที่ศึกษา ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ออกแบบการทดลองเป็นแฟกเตอร์เรียล 3 แฟกเตอร์เรียล(ขนาดของชิ้นงานคงที่)แฟกเตอร์เรียลละ 3 ระดับ ทำซ้ำการทดลอง 3 ครั้ง ดังนั้น จะมีการทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง ดังตาราง 3.2.1

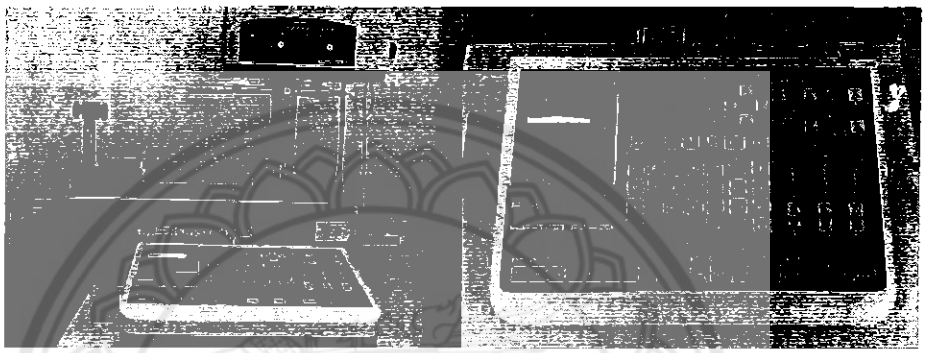
ตารางที่ 3.1 การออกแบบการทดลอง

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Feed (mm.)	Speed (rpm)	Result
27	1	1	1	1.2	5727	
25	2	1	1	1.2	4774	
8	3	1	1	1.2	5252	
13	4	1	1	1	4774	
2	5	1	1	0.8	5252	
18	6	1	1	1.2	5727	
20	7	1	1	0.8	5252	
21	8	1	1	0.8	5727	
15	9	1	1	1	5727	
22	10	1	1	1	4774	
11	11	1	1	0.8	5252	
14	12	1	1	1	5252	
12	13	1	1	0.8	5727	
10	14	1	1	0.8	4774	
7	15	1	1	1.2	4774	
4	16	1	1	1	4774	
9	17	1	1	1.2	5727	
19	18	1	1	0.8	4774	
16	19	1	1	1.2	4774	
23	20	1	1	1	5252	
3	21	1	1	0.8	5727	
1	22	1	1	0.8	4774	
24	23	1	1	1	5727	
17	24	1	1	1.2	5252	
6	25	1	1	1	5727	
5	26	1	1	1	5252	
26	27	1	1	1.2	5252	

3.4 การทดสอบการวัดความหยาบผิว

3.4.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องวัดความหยาบผิวของชิ้นงาน

เป็นการศึกษาวิธีการทำงานการวัดความหยาบผิวของชิ้นงาน (Surface Roughness Measuring System Surface Texture Parameters) รุ่น SV – 400 ที่ถูกต้องและเหมาะสม เพื่อไม่ให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดที่ผิดพลาด ที่มีอยู่ใน ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดความเรียบผิว รุ่น Mitutoyo SV – 400

3.5 การจดบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 3.2 ตารางจดบันทึกการทดลอง

Speed (rpm.)	Feed (mm.)	Ra (μ m)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
4777	0.8			
	1			
	1.2			
5252	0.8			
	1			
	1.2			
5727	0.8			
	1			
	1.2			

สามารถอธิบายตารางที่ 3.2 ได้ดังนี้

จากสูตร $n = \frac{V}{\pi.D}$

เมื่อ V = อัตราป้อนกัด (m/min.)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (mm.)

n = ความเร็วรอบ (รอบ/min.)

ทำการหาค่า Speed โดยกำหนดค่า D = 10 mm. V_{min} = 150 m/min.

แทนค่าในสมการ $n = \frac{V}{\pi.D}$

$$= \frac{150}{\pi.0.01} \text{ m/min}$$

$$= 4774 \text{ rpm./min}$$

ทำการหาค่า Speed โดยกำหนดค่า D = 10 mm. V_{mean} = 165 m/min.

แทนค่าในสมการ $n = \frac{V}{\pi.D}$

$$= \frac{165}{\pi.0.01} \text{ m/min}$$

$$= 5252 \text{ rpm./min}$$

ทำการหาค่า Speed โดยกำหนดค่า D = 10 mm. V_{max} = 180 m/min.

แทนค่าในสมการ $n = \frac{V}{\pi.D}$

$$= \frac{180}{\pi.0.01} \text{ m/min}$$

$$= 5727 \text{ rpm./min}$$

หมายเหตุ ค่า V นำมาจากการเปิดหาค่าในหนังสือ ตารางงานโลหะ

จากสูตร $S = S_z.Z$

เมื่อ S = อัตราป้อนกัดต่อรอบการหมุนกัด

S_z = อัตราป้อนกัดต่อฟัน (mm.)

Z = จำนวนฟัน

ทำการหาค่า Feed โดยกำหนดค่า $S_{z(min)}$ = 0.2 mm. Z = 4 ฟัน

แทนค่าในสมการ $S = S_z.Z$

$= 0.2 \times 4$

$= 0.8$ mm.

ทำการหาค่า Feed โดยกำหนดค่า $S_{z(mean)}$ = 0.25 mm Z = 4 ฟัน

แทนค่าในสมการ $S = S_z.Z$

$= 0.25 \times 4$

$= 1$ mm.

ทำการหาค่า Feed โดยกำหนดค่า $S_{z(max)}$ = 0.3 mm. Z = 4 ฟัน

แทนค่าในสมการ $S = S_z.Z$

$= 0.3 \times 4$

$= 1.2$ mm.

หมายเหตุ ค่า S_z นำมาจากการเปิดหาค่าในหนังสือ ตารางงานโลหะ

ความเร็วป้อนกัดที่ใช้ในการทดลอง

ความเร็วป้อนกัด$_{min}$ = 40 mm/รอบ

ความเร็วป้อนกัด$_{mean}$ = 45 mm/รอบ

ความเร็วป้อนกัด$_{max}$ = 50 mm/รอบ

หมายเหตุ ความเร็วป้อนกัดหาได้จาก การเปิดหาค่าในหนังสือตารางงานโลหะ

3.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ใช้โปรแกรม Minitab เพื่อใช้ในการคำนวณ และวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.7 สรุปผลการดำเนินการวิจัย

นำผลการดำเนินการวิจัยมาวิเคราะห์ถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงานเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้งานต่อไปในอนาคต

3.8 จัดพิมพ์รูปเล่มและนำเสนอผลการดำเนินงาน

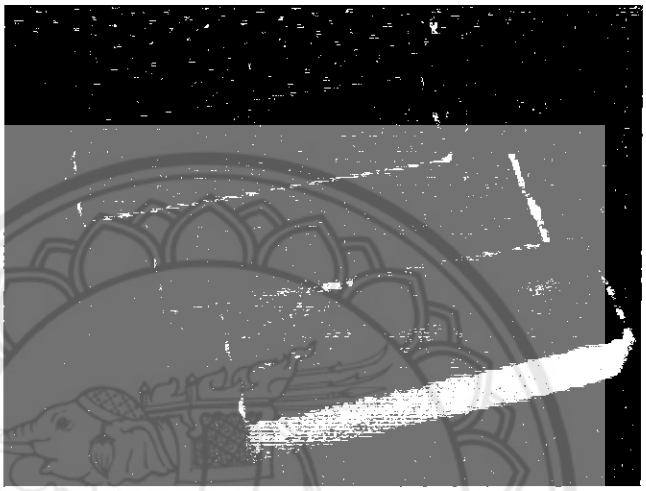
ทำการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดในการดำเนินการวิจัยมาจัดพิมพ์รูปเล่มและนำเสนอ

บทที่ 4

การทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1.1 ชิ้นงานสำเร็จ



รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างชิ้นงานสำเร็จ

4.1.2 ตารางบันทึกผลความเรียบผิว

ค่าที่นำมาวิเคราะห์ความเรียบผิว คือ ค่า R_a มีหน่วยเป็น m ซึ่งได้ดังตารางที่ 4.1

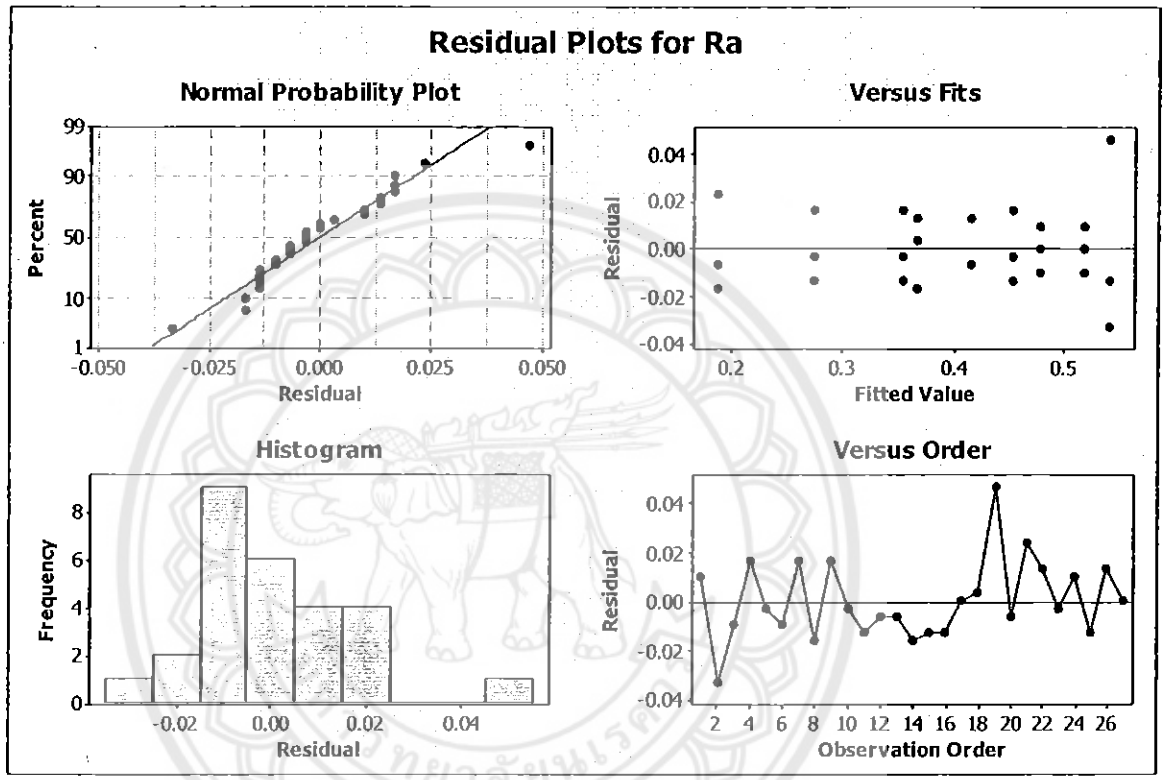
ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลความเรียบผิว

Speed (rpm.)	Feed (mm.)	R_a			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	R_a เฉลี่ย
4774	0.8	0.35	0.37	0.38	0.36
	1	0.47	0.45	0.44	0.45
	1.2	0.51	0.53	0.59	0.54
5252	0.8	0.27	0.29	0.26	0.27
	1	0.41	0.41	0.43	0.41
	1.2	0.51	0.53	0.52	0.52
5727	0.8	0.17	0.18	0.21	0.18
	1	0.37	0.35	0.34	0.35
	1.2	0.49	0.47	0.48	0.48

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่เก็บมาได้นั้น จะวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งจะได้ผลดังแผนภูมิรูปภาพ ดังต่อไปนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ผลจากกราฟ



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงส่วนตกค้างของข้อมูลของการวัดความหยาบผิวของชิ้นงาน

รูปที่ 4.2 เป็นการนำส่วนตกค้างของข้อมูลของการวัดความหยาบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการเก็บข้อมูลนำมาวิเคราะห์ดูว่า ข้อมูลที่ได้เก็บมานั้นมีความแม่นยำน่าเชื่อถือหรือว่าพอเพียงต่อการวิเคราะห์โดยวิธีการปกติ หรือว่าจะต้องทำการวิเคราะห์โดยใช้วิธีชั้นสูงกว่า ซึ่งในรูปที่ 4.2 นี้ จะแสดงถึงการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ซึ่งแบ่งออกได้ 4 ขั้นตอน คือ

4.2.1.1 Normal Probability Plot of the Residuals เป็นกราฟที่แสดงค่ากระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residuals) ว่ามีการกระจายตัวเป็นปกติหรือไม่ ซึ่งจะเห็นได้จากการที่จุดกราฟเรียงตัวกันเป็นลักษณะเส้นตรง และมีการกระจายตัวที่หน้าแน่นบริเวณใกล้ๆ ศูนย์

4.2.1.2 Residuals Versus the Fitted Values เป็นกราฟที่ใช้ตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้เก็บมานั้นมีการกระจายตัวของส่วนตกค้างในแต่ละช่วงของข้อมูลนั้นควรมีการกระจายตัวใกล้ๆกันและลักษณะของกราฟควรมีการกระจายตัวแบบสุ่มรอบค่า 0

4.2.1.3 Histogram of the Residuals เป็นกราฟที่ใช้ตรวจสอบว่าส่วนตกค้างนั้นมีการกระจายตัวเป็นปกติหรือไม่ ซึ่งกราฟฮิทโตแกรมนั้นควรจะมีรูปทรงสมมาตรเป็นรูประฆังคว่ำ และมีการกระจายตัวแบบสุ่มรอบค่า 0

4.2.1.4 Residuals Versus the Oder of the Data เป็นกราฟที่ใช้ตรวจสอบดูว่าส่วนตกค้างนั้นขึ้นอยู่กับเวลาที่เปลี่ยนไปในการเก็บข้อมูลหรือไม่ ซึ่งบนกราฟนี้ไม่ควรปรากฏลักษณะของแนวโน้มหรือรูปแบบใด ๆ อย่างชัดเจนควรจะมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

ดังนั้น จากกราฟ รูปที่ 4.2 สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์นั้น สามารถให้ผลการวิเคราะห์ที่เชื่อถือได้

4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การปรับตัวแปรเพื่อหาค่าความเรียบผิว เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิวของอลูมิเนียม คือ อัตราป้อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความเร็วรอบ ดังนั้นในการทดลองนี้ได้กำหนด อัตราป้อน 3 ระดับ คือ 0.8 , 1 และ 1.2 mm. ขนาดส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความเร็วรอบ 3 ระดับ คือ 4774 , 5252 และ 5727 rpm./min

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองของการทดสอบวัดความเรียบผิว ด้วยการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน จากการทดลองวัดความเรียบผิว (R_a) ตามที่ออกแบบไว้ได้ผลว่า $R^2 = 97.95\%$ และค่า Adjust $R^2 = 97.04\%$ ซึ่งหมายความว่าถ้าหากความผันแปรในข้อมูลมี 100 μm^2 แล้วความผันแปร 97.95 μm^2 สามารถอธิบายด้วยตัวแบบถดถอย ส่วนปริมาณที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้เนื่องจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้

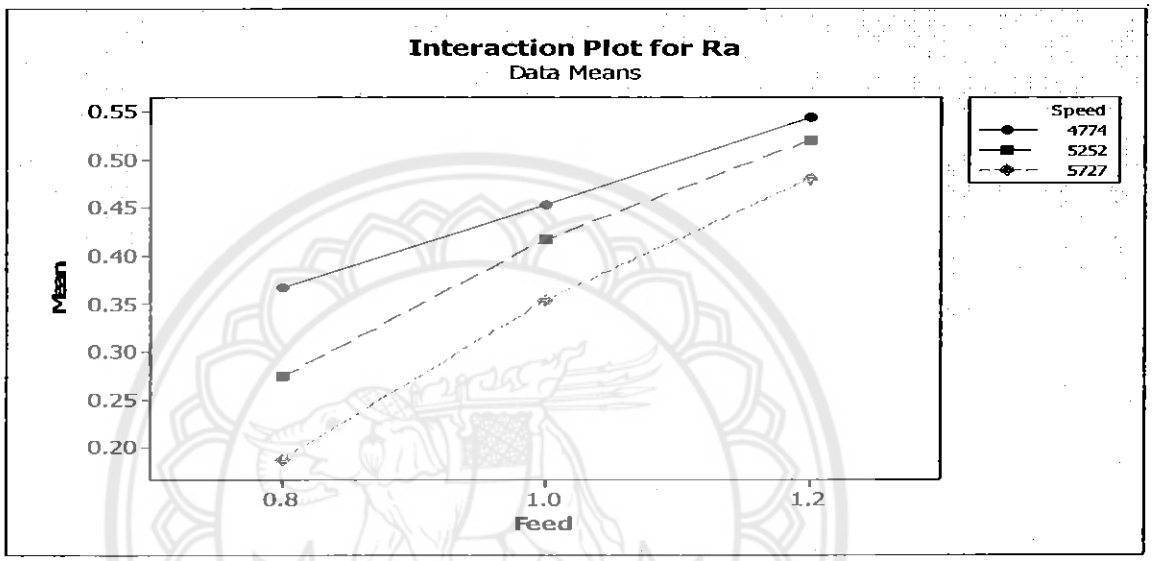
ดังนั้นจะได้ค่าความผันแปรของข้อมูลวัดความเรียบผิว (R_a) ส่วนใหญ่สามารถอธิบายได้ด้วย อัตราป้อน และ ความเร็วรอบ แสดงว่าการออกแบบการทดลองนี้มีความเหมาะสม จึงสามารถวิเคราะห์ต่อไปได้ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเรียบผิว (R_a)

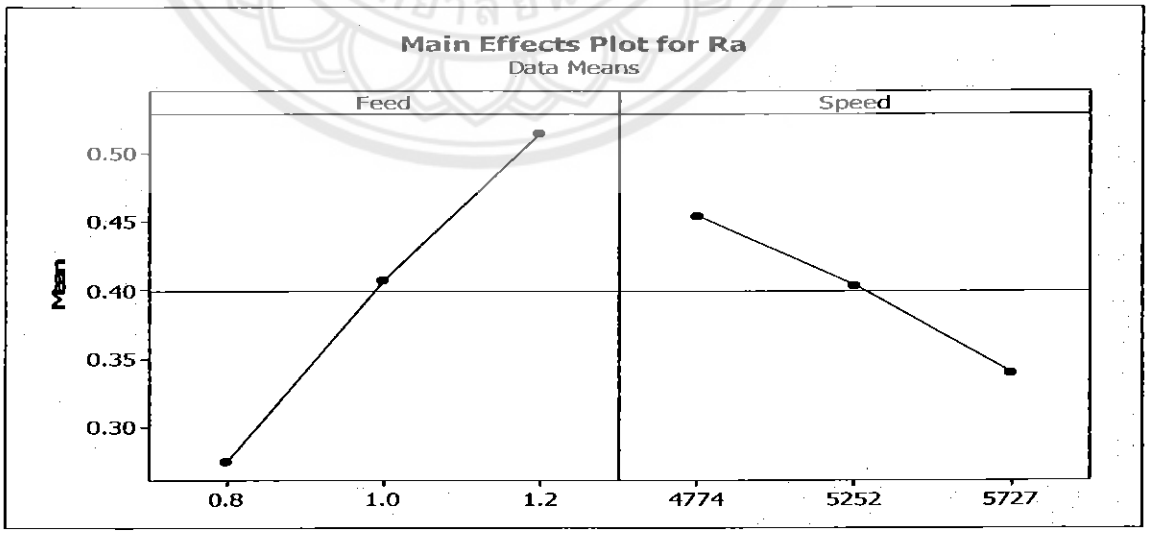
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Feed	2	0.257785	0.257785	0.128893	337.87	0.00
Speed	2	0.059163	0.059163	0.029581	77.54	0.00
Feed*Speed	4	0.010970	0.010970	0.002743	7.19	0.01
Error	18	0.006867	0.006867	0.000233		
Total	26	0.334785				
S = 0.0195316 R-Sq = 97.95% R-Sq(adj) = 97.04%						

ตารางที่ 4.2 วิเคราะห์ได้ว่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอัตราป้อนกับความเร็วรอบไม่มีผลต่อความเรียบผิว ซึ่งพิจารณาจากค่า P ที่มีค่าไม่เกิน 0.05 ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิว (R_a) มากที่สุดคือ อัตราป้อน รองลงมาคือ ความเร็วรอบ ตามลำดับ ซึ่งพิจารณาได้จากค่า F (ค่า F มีค่ามากแสดงว่ามีผลต่อความเรียบผิว (R_a) มาก)

จากรูปที่ 4.2 พบว่าค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอัตราป้อนกับความเร็วรอบไม่มีผลต่อค่าความเรียบผิว (R_a)



รูปที่ 4.3 การปฏิสัมพันธ์ของความเรียบผิว (R_a)



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของความเรียบผิวที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัย

จากรูปที่ 4.4 ผลของปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิว (R_a) โดยมีแนวโน้ม ดังนี้คือเมื่อกำหนดให้อัตราป้อนกัดของเครื่องกัดเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ความเรียบผิวของชิ้นงานมีค่าน้อยลง จึงสรุปได้ว่า อัตราป้อนกัดนั้นเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน

เมื่อเรากำหนดความเร็วรอบของเครื่องกัดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความเรียบผิวของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น สรุปได้ว่า ความเร็วรอบเป็นปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวชิ้นงาน และ ที่ อัตราป้อน 0.8 mm. ความเร็วรอบ 5727 rpm. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ให้ค่า (R_a) ต่ำสุด จึงทำให้มีความเรียบของผิวชิ้นงานมากที่สุด

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ค่าความเปลี่ยนแปลงของความเรียบผิว (R_a)

	Mean	SE Mean
Feed		
0.8	0.2756	0.006511
1	0.4078	0.006511
1.2	0.5144	0.006511
Speed		
4774	0.4544	0.006511
5252	0.4033	0.006511
5727	0.3400	0.006511
Feed*Speed		
0.8 4774	0.3667	0.011277
0.8 5252	0.2733	0.011277
0.8 5727	0.1867	0.011277
1.0 4774	0.4533	0.011277
1.0 5252	0.4167	0.011277
1.0 5727	0.3533	0.011277
1.2 4774	0.5433	0.011277
1.2 5252	0.5200	0.011277
1.2 5727	0.4800	0.011277

ตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ค่าความเปลี่ยนแปลงของความเรียบผิว (R_a) พบว่า

อัตราป้อน 0.8 mm. ค่าความเรียบผิวเท่ากับ 0.2756 μm

อัตราป้อน 1 mm. ค่าความเรียบผิวเท่ากับ 0.4078 μm

อัตราป้อน 1.2 mm. ค่าความเรียบผิวเท่ากับ 0.5144 μm

ซึ่งพบว่าแตกต่างกัน และผลของความเร็วรอบ พบว่า

ความเร็วรอบ 4774 rpm. ค่าความเรียบผิวเท่ากับ 0.4544 μm.

ความเร็วรอบ 5252 rpm. ค่าความเรียบผิวเท่ากับ 0.4033 μm.

ความเร็วรอบ 5727 rpm. ค่าความเรียบผิวเท่ากับ 0.3400 μm.

สำหรับผลของ Feed*Speed พบว่า

ที่อัตราป้อน 0.8 mm. ความเร็วรอบที่ 5727 rpm. ค่าความเรียบผิวเท่ากับ 0.1867 μm

ซึ่งให้ค่า (R_a) ต่ำที่สุด แสดงว่าให้ความเรียบผิวสูงสุด

4.4 การวิเคราะห์การถดถอย

พบว่าสภาวะที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับ อัตราป้อน และความเร็วรอบ โดยวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab R.14

ตารางที่ 4.4 Regression Analysis: Ra versus Diameter, Feed, Speed

R_a = 0.393 + 0.570 Feed - 0.000107 Speed					
Predictor	**Coef**	**SE Coef**	**T**	**P**	
Constant	0.3927	0.07531	5.21	0.00	
Feed	0.5696	0.03281	17.36	0.00	
Speed	-0.00010565	0.0000134	-7.95	0.00	
S = 0.0169044 R-Sq = 93.5% R-Sq(adj) = 92.9%					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	0.098469	0.049234	172.29	0.00
Residual Error	24	0.006858	0.000286		
Lack of Fit	6	0.003760	0.000627	3.64	0.015
Pure Error	18	0.003098	0.000172		
Total	26	0.105327			

จากตารางที่ 4.4 อธิบายได้ว่าความแปรผันของข้อมูลค่าความเรียบผิว (R_a) 100 μm^2 อธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของความเรียบผิว (R_a) กับความเร็วรอบ และอัตราป้อน เท่ากับ 93.5% โดยปริมาณที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้ว่ามาจากแหล่งความแปรผันใดแสดงว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันในการวิเคราะห์ และ R-Sq(adj.) มีค่าใกล้กับ R-Sq แสดงว่าข้อมูลมีความเหมาะสม

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์จากการวิเคราะห์การถดถอย สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักแล้วตัวแปรตามในรูปสมการเชิงเส้นจองค่าความเรียบผิวกับ ความเร็วและอัตราการป้อน โดยสามารถแสดงได้ดังนี้

$R_a = 0.393 + 0.570\ Feed - 0.000107\ Speed$

เมื่อ R_a = ความเรียบผิว มีหน่วยเป็น μ m.

F = อัตราป้อนตัด มีหน่วยเป็น mm.

S = ความเร็วรอบ มีหน่วยเป็น rpm.

4.5 การวิเคราะห์ผลจากสมการถดถอย

เป็นการทดลองเพื่อยืนยันผลที่ได้สอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมา โดยนำสมการเชิงเส้นมาพยากรณ์ความเรียบผิว แล้วนำผลที่ได้จากการพยากรณ์มาเปรียบเทียบค่าจริง

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

แทนค่า S = 5727 , F = 0.8

ในสมการ $R_a = 0.393 + 0.570\ Feed - 0.000107\ Speed$

จะได้ $R_a = 0.393 + (0.570 \times 0.8) - (0.000107 \times 5727)$

$R_a = 0.236211\ \mu$ m.

แทนค่า S = 5252 , F = 1

ในสมการ $R_a = 0.393 + 0.570\ Feed - 0.000107\ Speed$

จะได้ $R_a = 0.393 + (0.570 \times 1) - (0.000107 \times 5252)$

$R_a = 0.401036\ \mu$ m.

แทนค่า S = 4774 , F = 1.2

ในสมการ $R_a = 0.393 + 0.570\ Feed - 0.000107\ Speed$

จะได้ $R_a = 0.393 + (0.570 \times 1.2) - (0.000107 \times 4774)$

$R_a = 0.566182\ \mu$ m.

R_a(เฉลี่ย) = 0.401143 μ m.

พบว่าที่ความเร็วรอบ 5727 rpm. อัตราป้อนกัด 0.8 mm. ให้ผลของค่า R_a ต่ำที่สุด นั่นคือให้ค่าความเรียบผิวดีที่สุด ซึ่งสัมพันธ์กับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

4.6 การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณจากสมการถดถอยและค่าเฉลี่ยจากการทดลอง

ตารางที่ 4.5 การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณจากสมการถดถอยและค่าเฉลี่ยการทดลอง

ค่าจากการคำนวณสมการถดถอย (μ m)	ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง (μ m)	ความคลาดเคลื่อน %
0.236211	0.18	23.8
0.401036	0.41	2.2
0.566182	0.54	4.6
	เฉลี่ย	10.2

หมายเหตุ ความคลาดเคลื่อน 10.2 % อาจมีสาเหตุจากตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากการกัดอาจมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการกัดที่ไม่ได้ใช้มาเป็นปัจจัยร่วมในการศึกษาครั้งนี้จึงทำให้สมการที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไป

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทดลองการกัดอลูมิเนียมด้วยเครื่องกัด CNC เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน การศึกษาพบว่า

5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความเรียบผิวของอลูมิเนียมในการกัดด้วยเครื่องกัด CNC คือ ความเร็วรอบและอัตราป้อนกัด ซึ่งได้ความสัมพันธ์ดังนี้ คือ

5.1.1 ถ้ากำหนดให้เครื่องกัด CNC มีอัตราป้อนกัดต่ำจะส่งผลให้มีความเรียบผิวของชิ้นงานมากขึ้น

5.1.2 ถ้ากำหนดให้เครื่องกัด CNC มีความเร็วรอบสูงจะส่งผลให้มีความเรียบผิวของชิ้นงานมากขึ้น

ที่อัตราป้อนตัด 0.8 mm. ความเร็วรอบ 5727 rpm./min ให้ค่า R_a ต่ำที่สุด นั่นก็คือ มีความเรียบผิวของชิ้นงานมากที่สุด

5.2 จากการทดลองได้สมการเชิงเส้น ดังนี้

$$R_a = 0.393 + 0.570 \text{ Feed} - 0.000107 \text{ Speed} \qquad (5.1)$$

ซึ่งสมการที่ได้ให้ผลสอดคล้องกับสรุปผลในข้อ 5.1

ดังนั้นผลการดำเนินวิจัยจึงสามารถเชื่อถือได้ เนื่องจากผลที่ได้มีค่าความจริงสอดคล้องกับทฤษฎีบทที่ 2

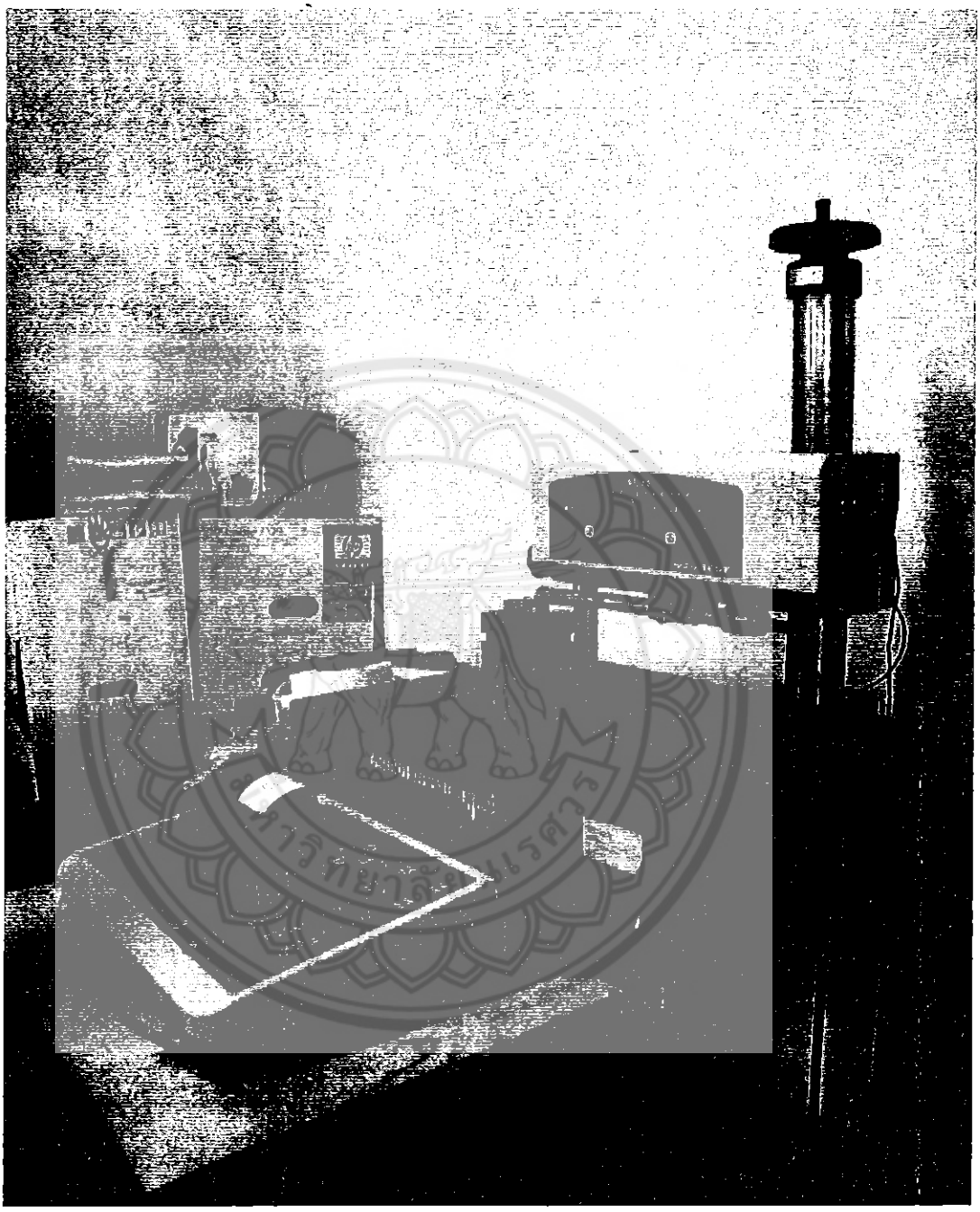
5.3 การวิเคราะห์ผลค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณจากสมการถดถอยและค่าเฉลี่ยจากการทดลอง มีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 10.2 %

5.4 ข้อเสนอแนะ

อาจมีปัจจัยอื่นที่มีผลกระทบต่อความเรียบผิวของชิ้นงานได้ เนื่องจากการทดลองครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเพียง 2 ตัวแปร

ภาคผนวก ก

วัดความเรียบผิวโดยเครื่องวัดความเรียบผิวแบบเข็ม MITUTOYO SV-400

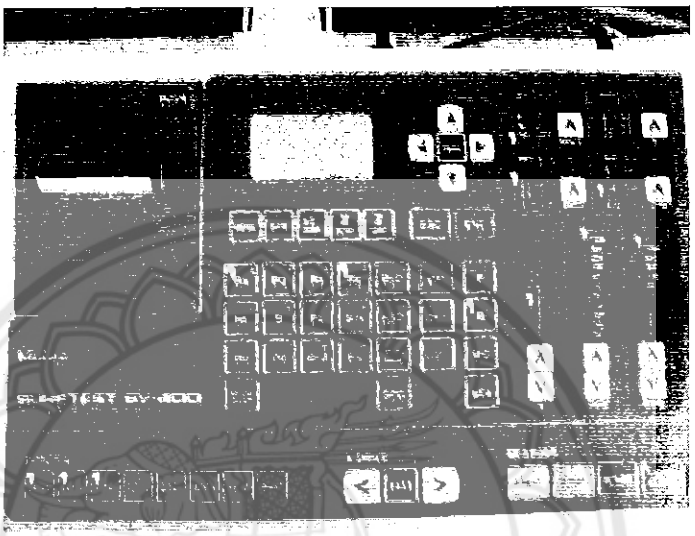


รูปที่ ก.1 แสดงเครื่องวัดความเรียบผิว

ขั้นตอนการวัดความเรียบผิว

1.ทำการเซทค่าคำสั่งดังนี้

- เลือกการวัดความเรียบผิวแบบ R-PROFILE โดยตั้งระยะวัดผิวชิ้นงานยาว 4 cm
- เลือกชนิดของ FILTER แบบ PC50
- ความละเอียดที่วัด 600 μm



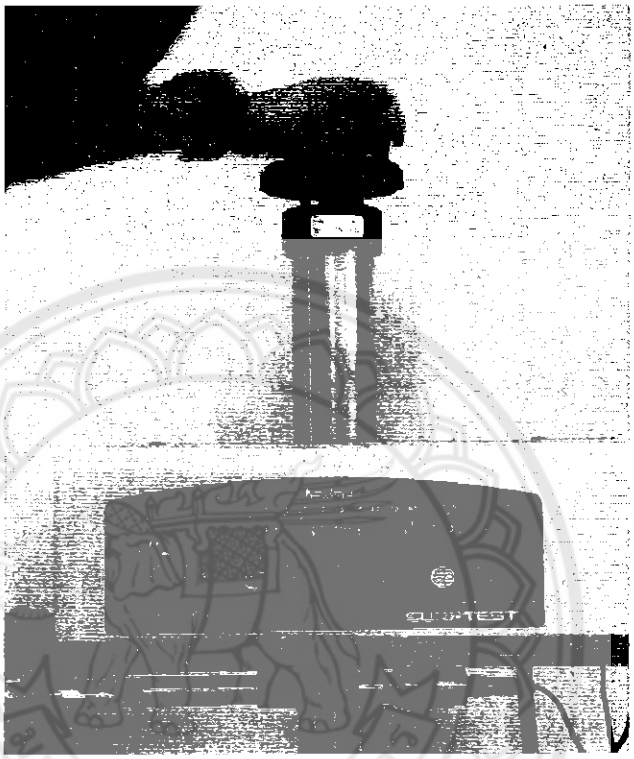
รูปที่ ก.2 แสดงรูปการเซทค่า

2. นำชิ้นงานวางบน V-BOX ปลายหูทดสอบมีมาร์ค เวลาว่างควรเอามือบังไว้ กับชิ้นงานควรวางให้ตรง ถ้าวางเอียง เวลาลากจะตก

รูปที่ ก.3 แสดงรูปการนำชิ้นงานวาง

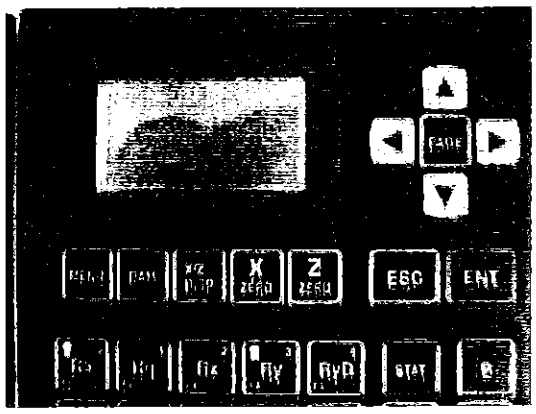
3. เลื่อนหูทดสอบลง ดูปลาย 4 เหลี่ยม เมื่อแตะชิ้นงานดูที่ไฟสีแดง แล้วค่อยเลื่อนลง จนแสงสีเขียว อยู่เลข 0

(ถ้าเลยต้องหมุนขึ้นแล้วลงมาใหม่)



รูปที่ ก.4 แสดงรูปการเลื่อนหูทดสอบ

4. กด x/z DISP แล้วเครื่องจะบอกค่า x และ z ให้ค่าเป็น 0 ถ้าค่าไม่เป็น 0 ให้กด x zero และ z zero แล้วกด ESC พร้อมทดสอบ แล้วกด STAT

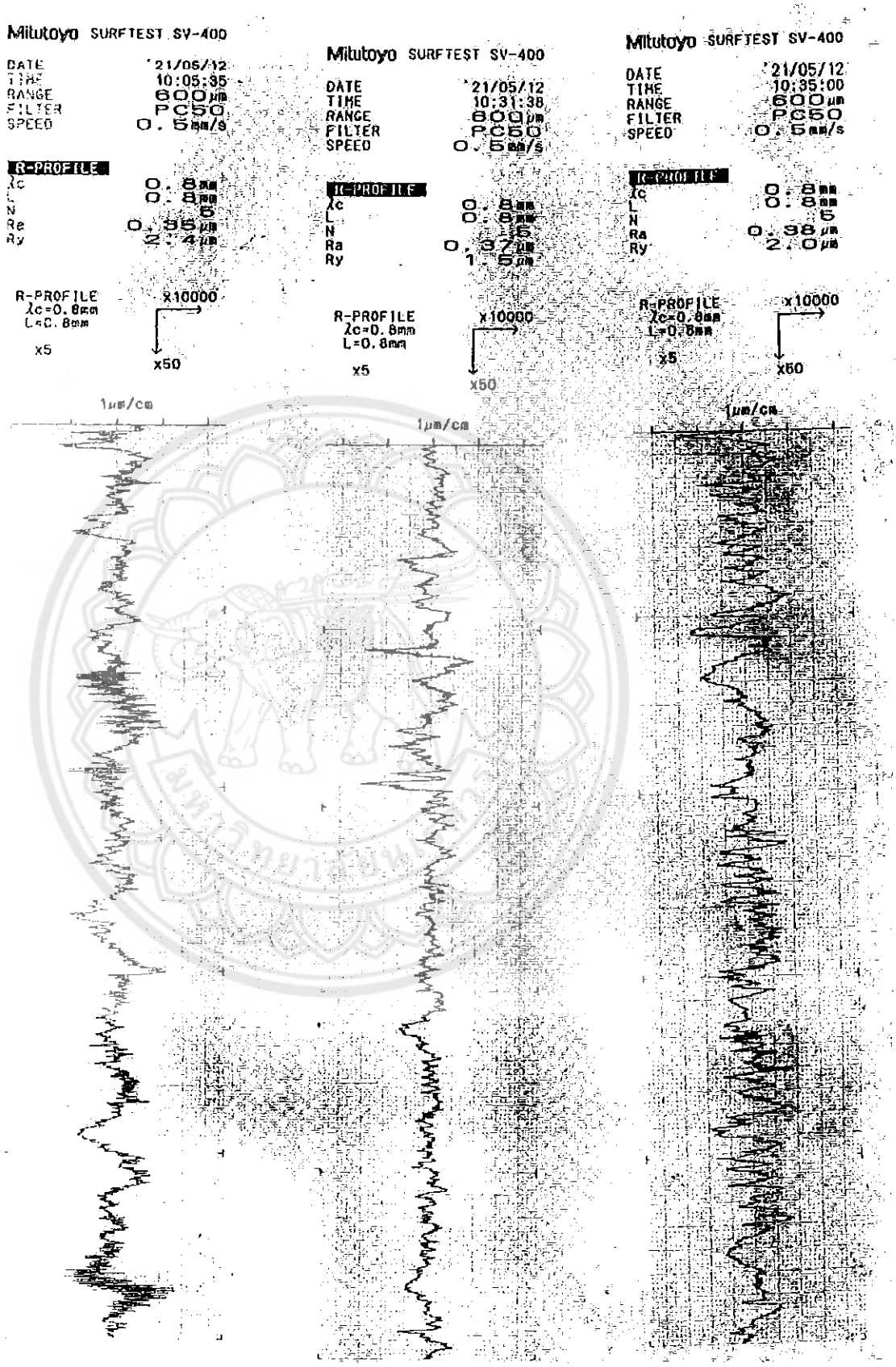


รูปที่ ก.5 แสดงรูปการใช้ปุ่มการทำงาน

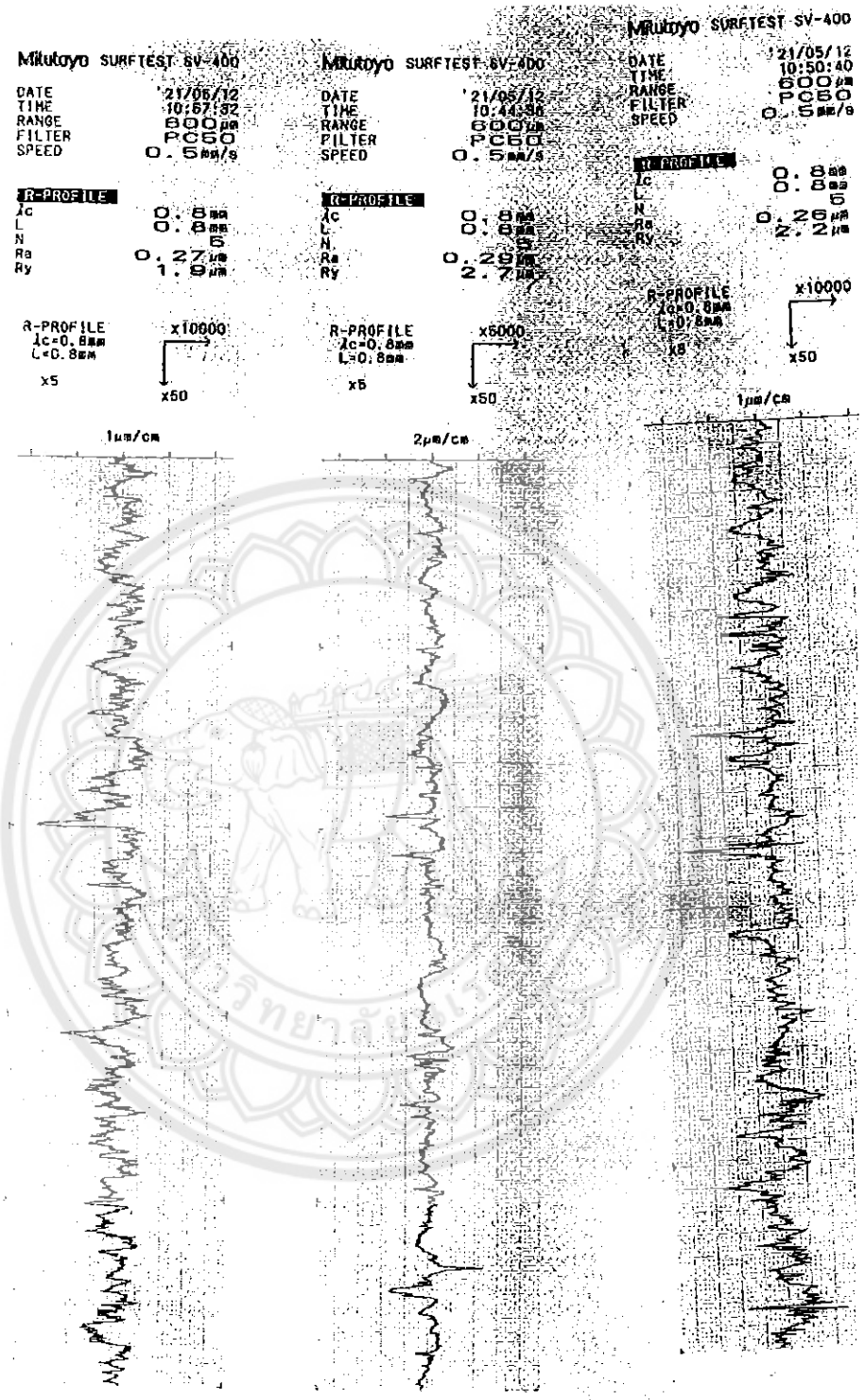
5. เมื่อกด STAT แล้ว แสดงผลแล้วกด PRINT ในส่วนด้านล่างซ้าย (ส่วน PRINTER) แล้วกด FEED ผลทดสอบจะเลื่อนออกมาแล้วจึงฉีกออก

**ข้อควรระวัง ควรถ่ายเอกสารเก็บผลทดสอบไว้

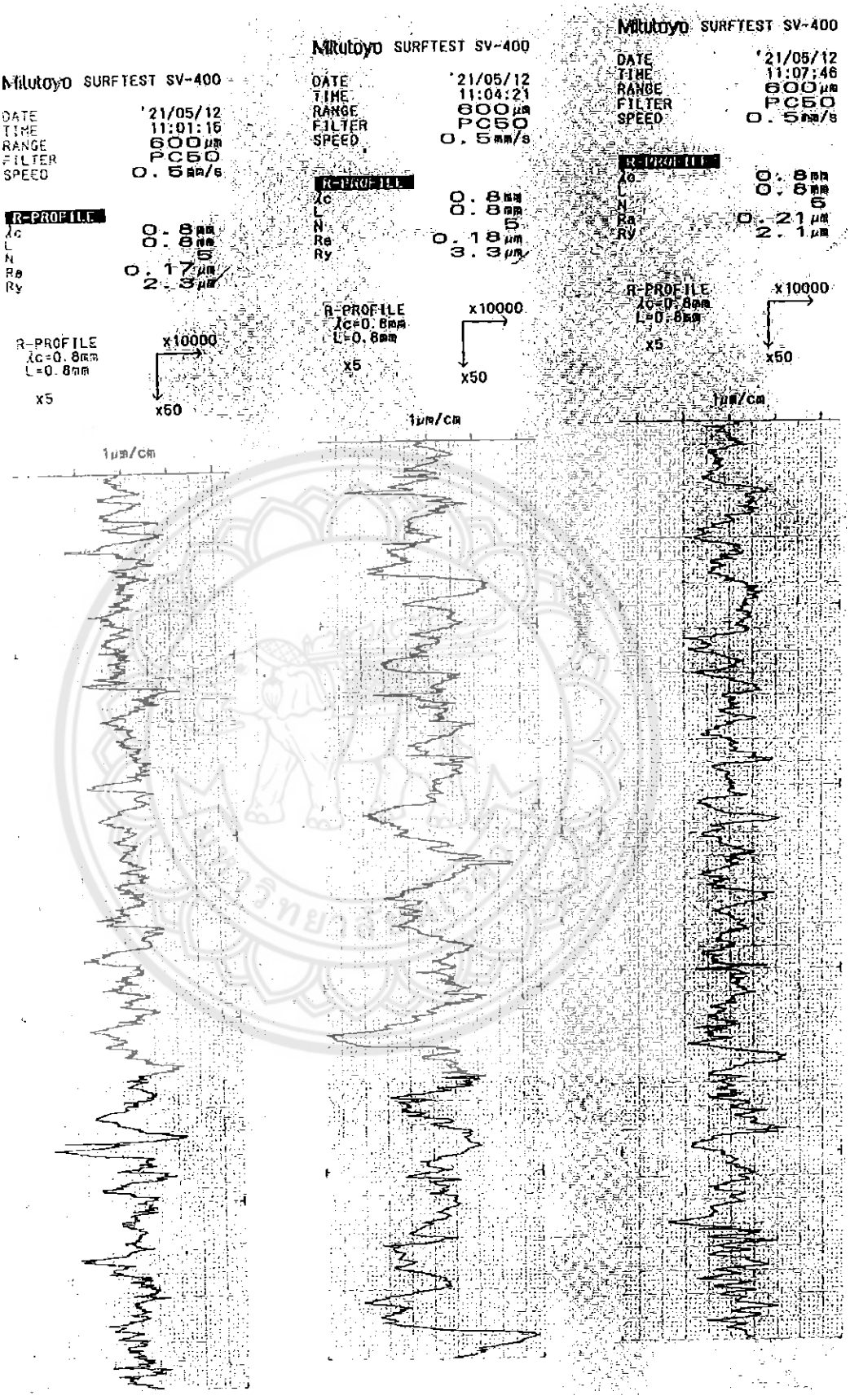
ภาคผนวก ข



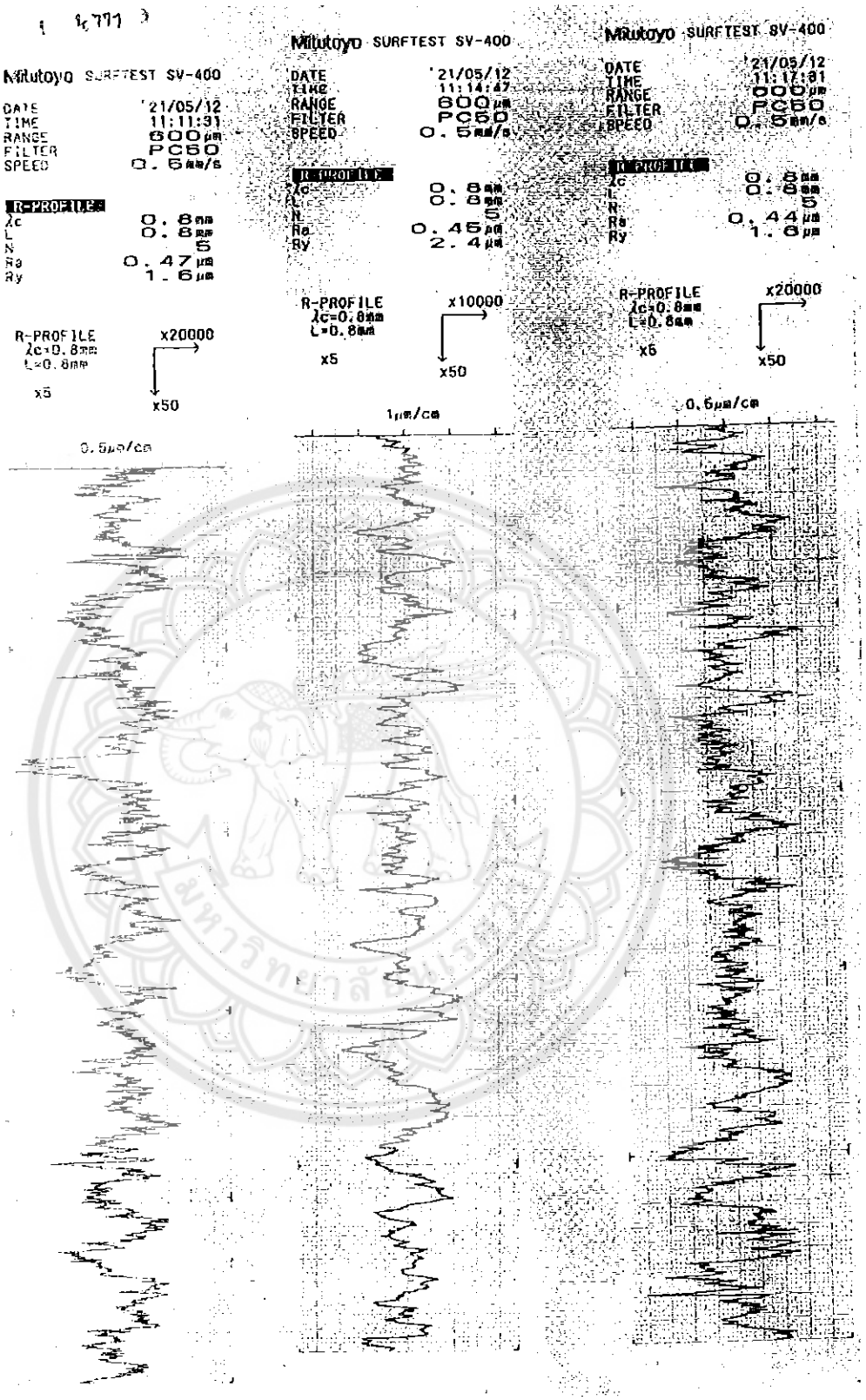
รูปที่ ข.1 แสดงกราฟ F =0.8 mm. / min ,S =4774 rpm/min



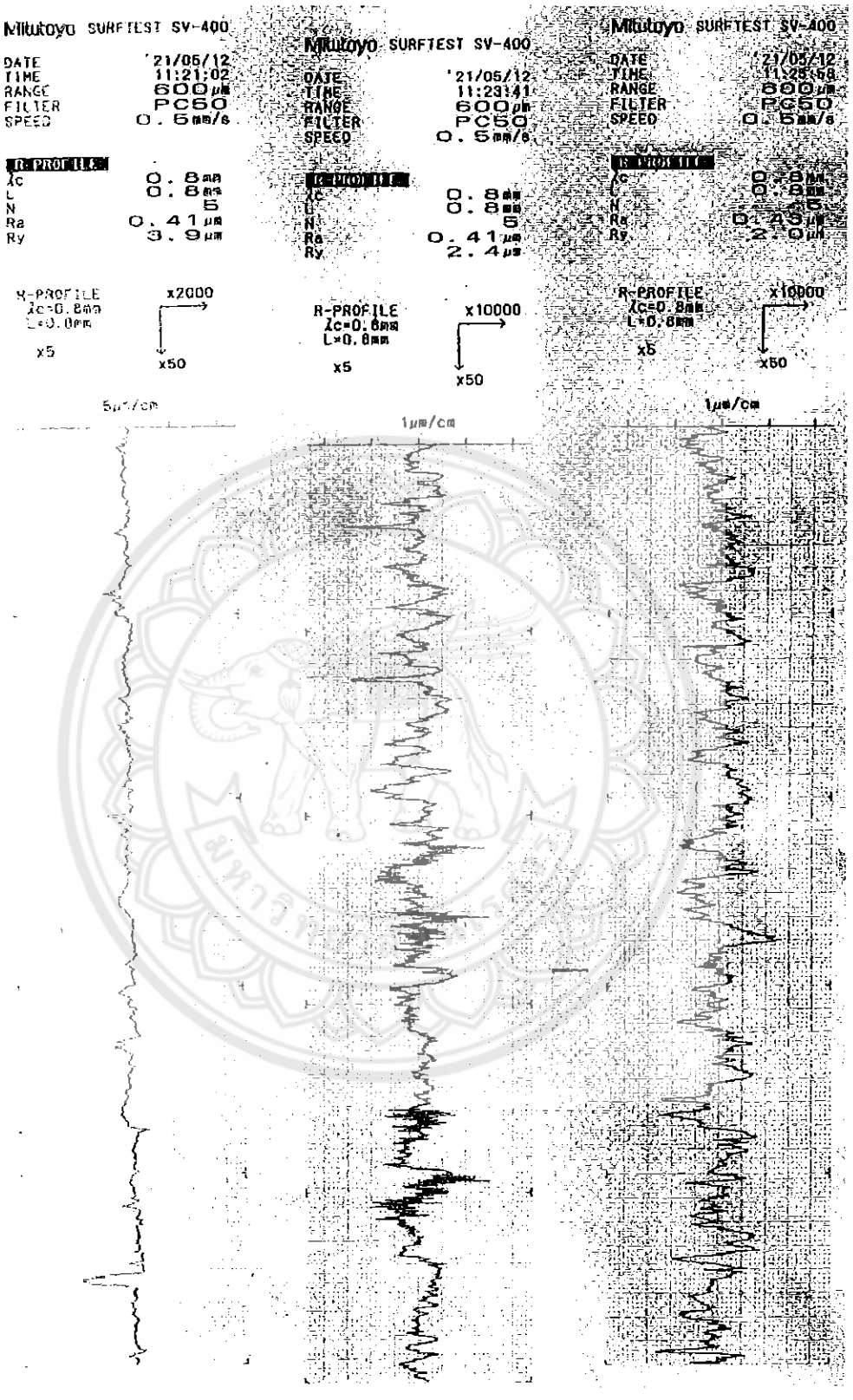
รูปที่ ข.2 แสดงกราฟ F =0.8 mm. / min ,S =5252 rpm/min



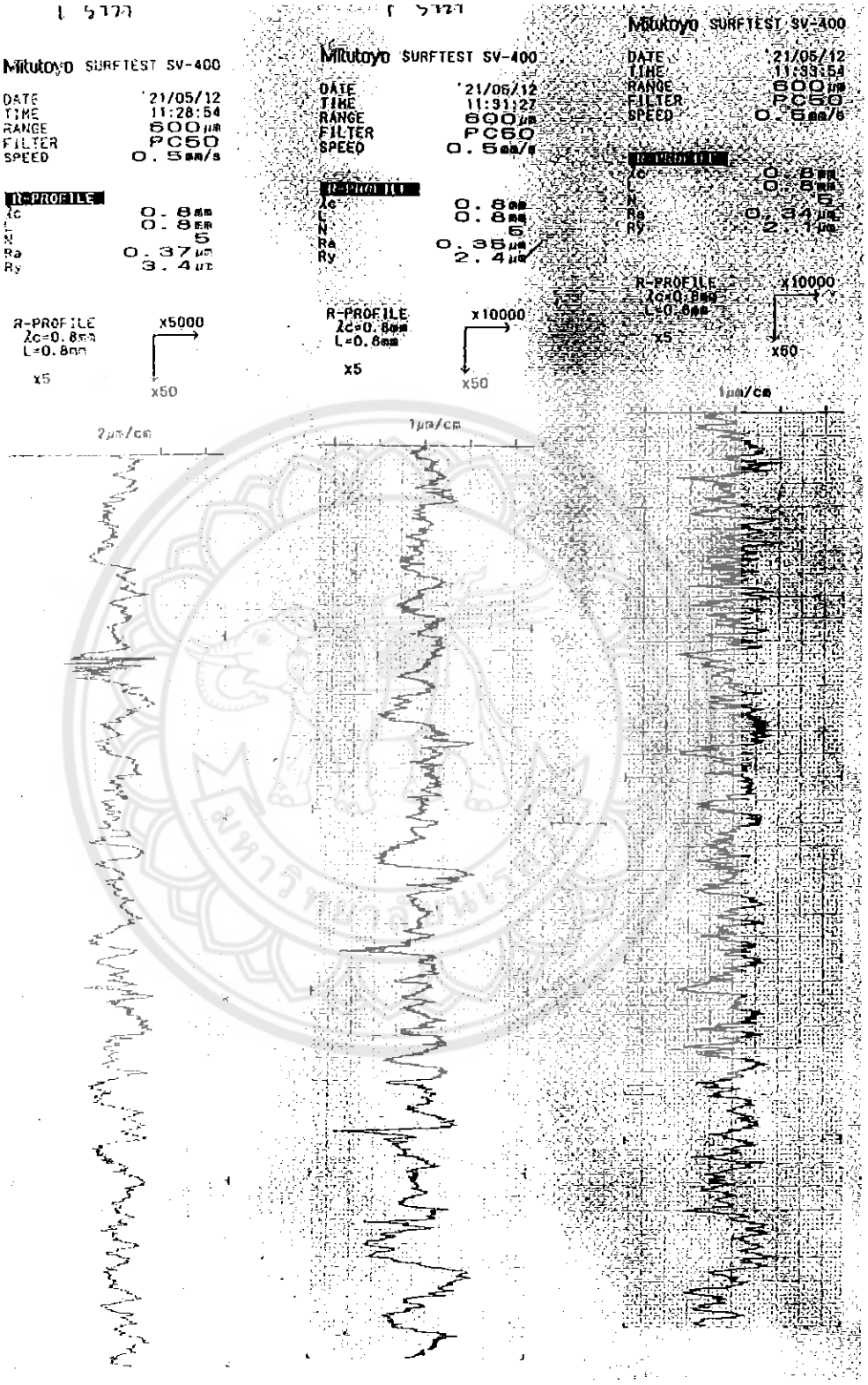
รูปที่ ข.3 แสดงกราฟ F =0.8 mm. / min ,S =5727 rpm /min



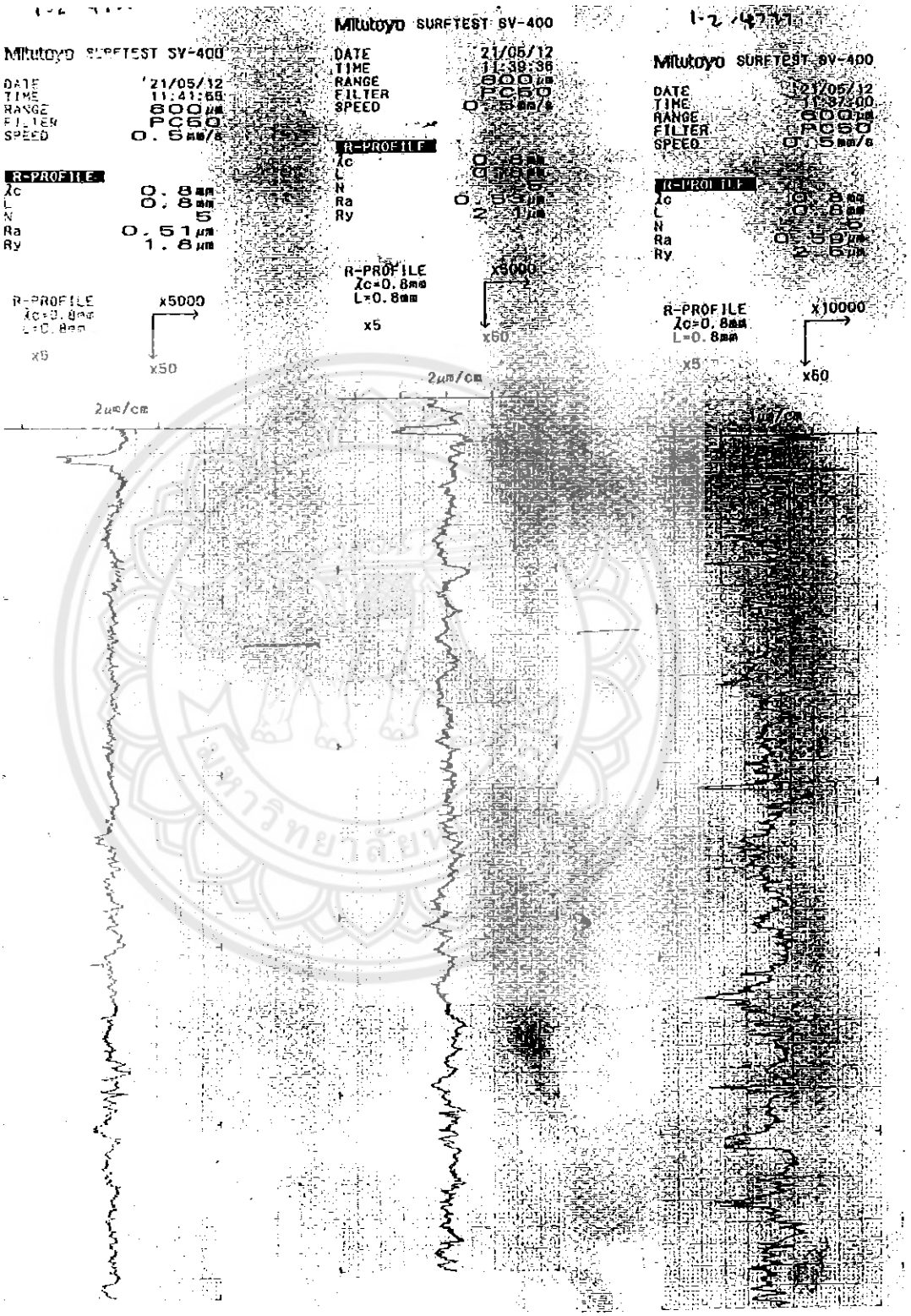
รูปที่ ข.4 แสดงกราฟ F = 1.0mm. / min ,S =4774 rpm /min



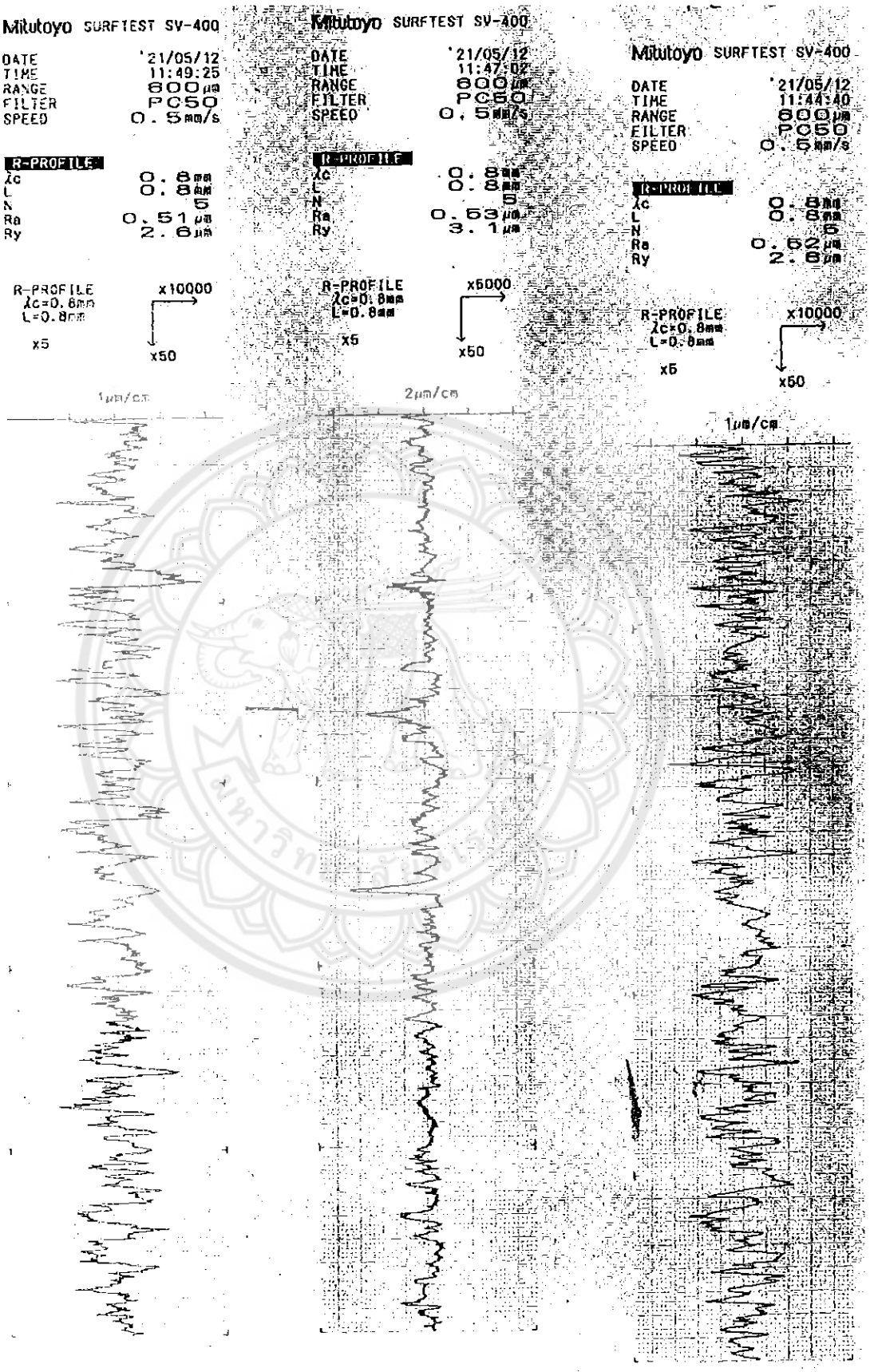
รูปที่ ข.5 แสดงกราฟ F = 1.0mm. / min ,S =5252 rpm /min



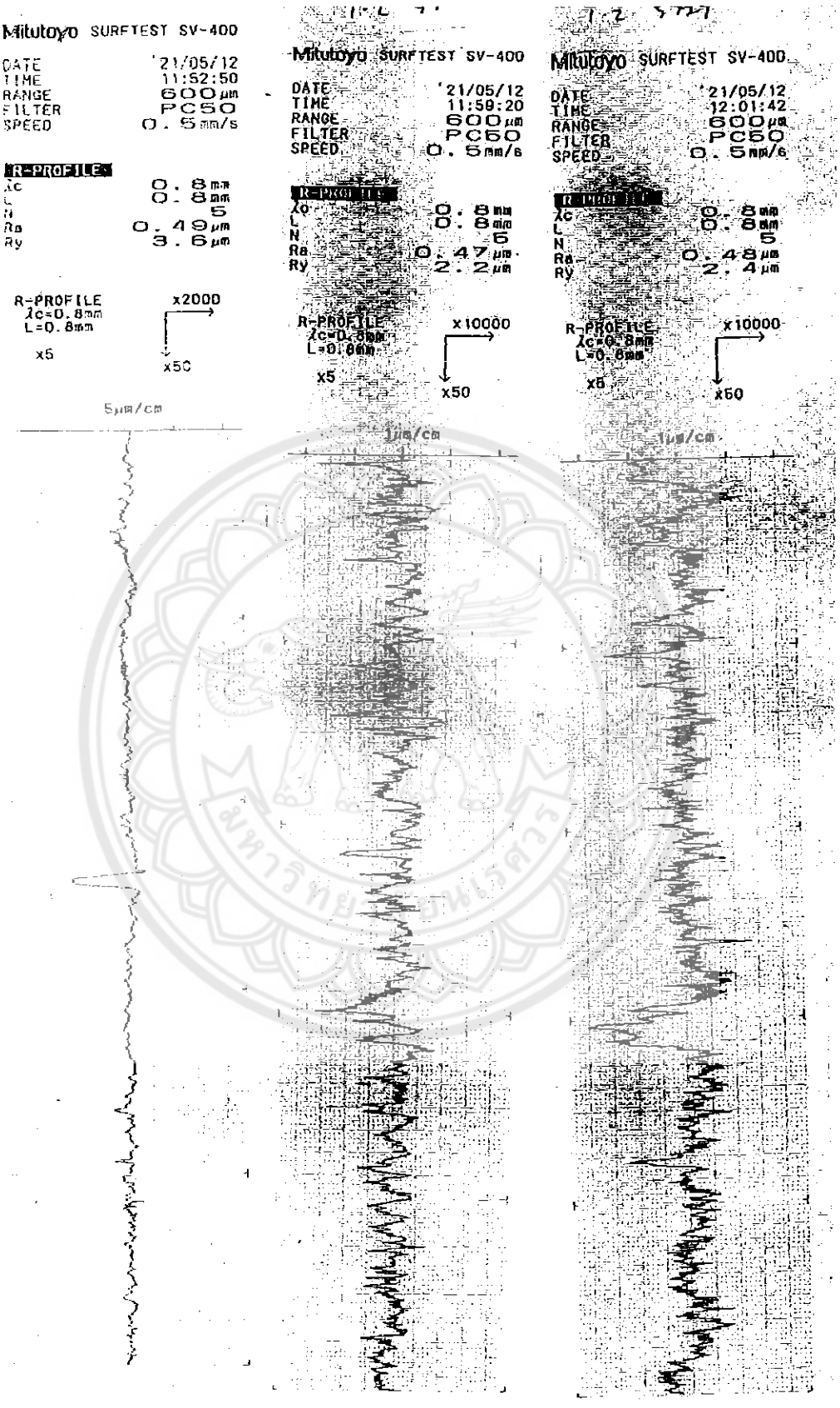
รูปที่ ข.6 แสดงกราฟ F = 1.0mm. / min ,S =5727 rpm /min



รูปที่ ข.7 แสดงกราฟ F = 1.2mm. / min ,S =4774 rpm /min



รูปที่ ข.8 แสดงกราฟ F = 1.2mm. / min ,S =5252 rpm /min

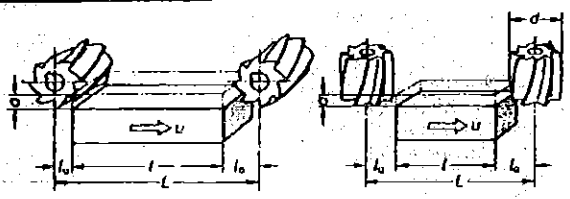


รูปที่ ข.9 แสดงกราฟ F = 1.2mm. / min ,S =5727 rpm /min

ภาคผนวก ค

เวลางานหลัก

เวลางานหลักในงานกัด



t_h เวลางานหลัก (เวลางานกัด) เป็น นาที
d เส้นผ่าศูนย์กลางมีดกัด
v ความเร็วกัด (ม/นาที)
n ความเร็วรอบแกนมีดกัด (1/นาที)
v ความเร็วป้อนกัด (มม./นาที)
L ความยาวกัด (มม.)
l ความยาวกัดที่ชิ้นงาน (มม.)
l_a ระยะก่อนมีดกัด (มม.)
l_u ระยะกัดผ่านเลยออกไป (มม.)
i จำนวนชิ้นงานกัด
a ความลึกรอยกัด เป็น มม.

z จำนวนฟันมีดกัด
s อัตราป้อน (มม./รอบ)
s_z อัตราป้อน (มม./ฟัน)

ตารางค่าขนาดระยะ l_a และ l_u

ความลึกรอยกัด a	ขนาดมีดกัดนอนและเซาะร่อง 2	4	5	8	10	16	20	32	40	50	63	80	100	125	160	200	มีดกัดปีนก้านขยุมมีดกัด
	ระยะ l_a																
1	2	3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	16	18	20	กัดละเอียด l_a+l_u =
3	—	3	4	5	6	8	9	11	13	14	16	18	20	23	26	29	$a+3$ มม.
5	—	—	3	5	6	9	10	13	15	17	19	22	24	27	31	35	
8	—	—	—	5	6	9	11	15	18	20	23	26	29	33	37	42	กัดหยาบ :
10	—	—	—	—	6	9	11	16	19	22	25	28	32	36	41	46	l_a+l_u =
16	—	—	—	—	—	9	11	17	21	25	29	34	38	44	50	56	$0,5\,a+3$ มม.
20	—	—	—	—	—	—	11	17	21	26	31	36	42	48	55	62	

ระยะกัดลึก ▽ และ ▽▽ สำหรับมีดกัดนอน ▽ สำหรับมีดกัดร่อง l_u = 1 มม. ▽▽ มีดกัดร่อง $l_u = l_a$

ระยะกัด L = ความยาวชิ้นงาน + ระยะก่อนและหลังมีดกัด

$$L = l + l_a + l_u$$

ตัวอย่างที่ 1 : ชิ้นงานยาว 180 มม. ถูกกัดด้วยมีดกัดนอน d = 80 มม. รอยกัด a ลึก = 16 มม.
จงหาขนาด l_a l_u L

เฉลย : l_a จากตาราง = 34 มม. l_u = 1 มม. $L = l + l_a + l_u$ = 180 มม. + 34 มม. + 1 มม. = **215** (มม.)

ความเร็วรอบเพลากัด $n = \frac{\text{ความเร็วกัด}}{\text{เส้นรอบวงมีดกัด}}$

$$n = \frac{v}{\pi \cdot d}$$

ตัวอย่างที่ 2 : มีดกัดเซาะร่อง d = 125 มม. ทำงานกัดด้วยความเร็วกัด v = 14 ม/นาที จงหา

เฉลย : $n = \frac{v}{\pi \cdot d} = \frac{14\ \text{ม/นาที}}{\pi \times 0,125\ \text{ม}} = 35\ 1/n$ เลือกใช้จากตารางเครื่อง n = 31,5 รอบ/นาที

อัตราป้อนต่อรอบการหมุนกัด s = อัตราป้อนต่อฟัน × จำนวนฟัน

$$s = s_z \cdot z$$

ตัวอย่างที่ 3 : สำหรับงานกัดงานหนึ่งควรใช้ s_z = 0,2 มม. มีดกัดมีจำนวนฟัน z = 24 ฟัน
จงหา s

เฉลย : $s = s_z \cdot z = 0,2$ มม. $\cdot 24 = 4,8$ มม.

ความเร็วป้อนกัด v = อัตราป้อนกัดต่อฟัน × จำนวนฟัน × จำนวนรอบ

$$v = s_z \cdot z \cdot n$$

ตัวอย่างที่ 4 : มีดกัดมีฟัน z = 18 ฟัน กัดชิ้นงานด้วย s_z = 0,15 มม./ฟัน ความเร็วรอบ n = 63/รอบ
จงหา v :

เฉลย : $v = s_z \cdot z \cdot n = 0,15$ มม. $\cdot 18 \cdot 63$ นาที = **170** มม./รอบ

เวลางานหลัก $t_h = \frac{\text{ระยะกัด} \times \text{จำนวนชิ้นงานกัด}}{\text{ความเร็วป้อนกัด}}$

$$t_h = \frac{L \cdot i}{v}$$

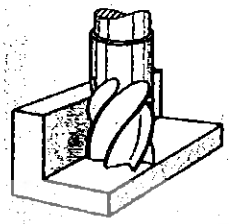
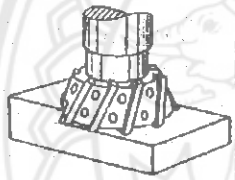
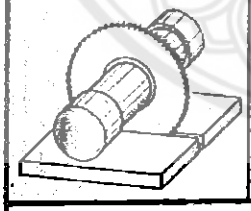
ตัวอย่างที่ 5 : ชิ้นงานแบนจากเหล็กหล่อยาว 176 มม. ควรถูกกัดด้วยมีดกัดดิ้ง ϕ 125 มม. ชิ้นเดียว ด้วยความลึกรอยกัด a = 8 มม. ความเร็วกัด v = 180 มม./นาที
จงหา L และ t_h

เฉลย : $L = l + l_a + l_u = 176$ มม. $+63$ มม. $+3$ มม. = **242** มม. $t_h = \frac{L \cdot i}{v} = \frac{242\ \text{มม.} \cdot 1}{180\ \text{มม./นาที}} = 1,34$ นาที

รูปที่ ค.1 แสดงการคำนวณจากหนังสือตารางโลหะ

งานกัด

ความเร็วตัด v (ม/นาที) อัตราป้อน s (มม./นาที) และ s_z เป็น มม./ฟันมีดกัด

ชนิดมีดกัด	ชนิดของงานกัด		เหล็กไม่ผสม ถึง 700 N/มม²	เหล็กผสม ถึง 750 N/มม²	เหล็กผสม ถึง 1000 N/มม²	เหล็กหล่อ ถึง 180 HB	โลหะเบา	ทองแดงผสม
มีดกัดตั้ง ถึงความกว้างรอยกัด 60 มม. 	งานปาดผิวละเอียด ความลึกถึง 1 มม.		มีดกัดจากเหล็กรอบสูง					
		v	22...24	18...20	16...18	18...20	160...180	50...60
		s	80...100	60...80	45...55	90...110	80...100	110...140
		s_z	0,04...0,1	0,04...0,1	0,02...0,1	0,07...0,2	0,04...0,2	0,05...0,2
	▽ ปาดหยาบ ความลึกถึง 8 มม.	v	16...18	14...16	12...14	14...16	150...180	30...40
		s	22...30	20...25	10...15	30...40	40...50	45...60
		s_z	0,1...0,2	0,1...0,15	0,05...0,1	0,15...0,3	0,2...0,3	0,2...0,3
	▽▽ ปาดผิวละเอียด ความลึกถึง 1 มม.		มีดกัดจากโลหะแข็ง					
		v	180...240	140...170	90...110	150...180	1200	170...240
		s	240...280	180...240	150...180	270...330	240...300	330...420
		s_z	0,01	0,01	0,01	0,05	0,03	0,03
	▽ ปาดหยาบ ความลึกถึง 8 มม.	v	130...170	110...130	70...90	110...140	500...900	90...160
		s	90...120	80...100	40...60	120...160	160...200	180...240
		s_z	0,05	0,05	0,05	0,1	0,15	0,15
ก้านชุดมีดกัดถึง ความกว้างรอยกัด 200 มม. 	▽▽ ปาดละเอียด ความลึกถึง 1 มม.		มีดกัดจากเหล็กรอบสูง					
		v	25...30	20...25	16...20	20...25	220...400	60...80
		s	50...70	40...60	22...35	50...80	90...150	100...160
		s_z	0,1...0,2	0,1...0,15	0,05...0,1	0,1...0,2	0,1...0,2	0,1...0,2
	▽ ปาดหยาบ ความลึกถึง 8 มม.	v	15...20	12...15	10...12	12...18	200...300	45...60
		s	40...50	30...40	18...25	50...60	80...160	100...120
		s_z	0,2...0,3	0,15...0,2	0,1...0,15	0,2...0,3	0,2...0,3	0,2...0,3
	▽▽ ปาดละเอียด ความลึก ถึง 1 มม.		มีดกัดจากโลหะแข็ง					
		v	180...250	150...180	100...120	150...200	1800	200...260
		s	100...150	90...130	80...120	140...220	100...180	140...180
		s_z	0,06	0,06	0,03	0,08	0,08	0,1
	▽ ปาดหยาบ ความลึกถึง 1 มม.	v	150...200	120...150	75...100	120...150	1200	120...200
		s	250...300	200...250	160...200	220...280	450...900	350...450
		s_z	0,09	0,08	0,06	0,15	0,1	0,12
มีดกัดเซาะร่อง (แบบเลื่อยวงเดือน) ถึงความกว้างของร่อง 3 มม. 	ความลึก ถึง 4 มม.		มีดกัดจากเหล็กรอบสูง					
		v	45...50	35...40	24...30	30...40	300...400	300...400
		s	60...75	50...60	30...40	65...80	250...400	300...500
	ความลึกถึง 8 มม.	v	40...45	30...35	22...25	30...35	300...350	300...400
		s	50...60	40...50	22...30	50...60	160...200	200...300
	ความลึกถึง 20 มม.	v	35...40	25...30	15...20	20...30	200...300	300...350
		s	25...30	20...25	12...15	30...35	100...150	100...190

ค่าต่างๆ ที่มีในตารางเป็นค่าคร่าวๆ สำหรับ HM. เศษที่ตัดมากให้ใช้ค่าน้อยสำหรับ HM. เศษตัดน้อยใช้ค่าสูง ค่าเฉลี่ยกลาง ใช้สำหรับกัดนอน ถึงความลึกรอยกัดประมาณ 4 มม. สำหรับมีดกัดแบนใช้ความลึกถึงประมาณเท่ากับความกว้างของมีดกัด และสำหรับมีดกัดตั้งใช้ความลึกได้ถึงประมาณเท่าเส้นผ่าศูนย์กลางมีดกัด มีดกัดฟอร์ม (Form cutter) สามารถที่จะเป็นมีดกัดนอนกัดเซาะร่อง หรือกัดตั้งได้ ซึ่งโดยทั่วไปใช้ค่าต่ำของตารางในการทำงาน

รูปที่ ค.2 แสดงการหาค่า ความเร็วตัดและอัตราป้อน

เอกสารอ้างอิง

[1] ปารเมศ ชุติมา. "การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม".พิมพ์ครั้งที่ 1 .กรุงเทพมมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] รศ.บรรเลง ศรนิล,ผศ.ประเสริฐ ก๊วยสมบูรณ์.ตารางงานโลหะ.ศูนย์ผลิตตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,หน้า 189,199

[3] นางสาวปัทมา กางถัน.นางสาวรุ่งนภา ร่องจิก. "การศึกษาตัวแปรของเครื่องกลึงที่มีผลต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน". วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์.มหาวิทยาลัยนเรศวร 2550

[4] ต้นฉบับภาษาไทยคู่มือMINITAB."MINITAB". โดย บริษัท เทรดอน จำกัด.กันยายน 2549