

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรงและแรงตัดในกระบวนการกลึงอะลูมิเนียม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A study of relation between straightness and cutting force in aluminium turning



Miss Pannipa Puangpad

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรงและแรงตึงใน กระบวนการกลึงอะลูมิเนียม
โดย	น.ส.พรรณิภา พ่วงพัด
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์สมชาย พวงเพิกคิก)	

พรรณนิภา พ่วงพัต : การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรงและแรงตัดในกระบวนการกลึงอะลูมิเนียม. (A study of relation between straightness and cutting force in aluminium turning) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์กับอัตราส่วนแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะกลึงชิ้นงานอะลูมิเนียมโดยใช้วัสดุชิ้นงานอะลูมิเนียมเกรด Al6063 และติดตั้งไดนาโมมิเตอร์บนชุดป้อมมีดของเครื่องกลึงซีเอ็นซีเพื่อวัดแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะตัด ซึ่งความสัมพันธ์ของแรงตัด และความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน จะถูกทดสอบภายใต้เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ ดังนี้คือ ความเร็วตัดที่ 150, 200 และ 250 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัดที่ 0.100, 0.125 และ 0.150 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัดที่ 0.1, 0.2 และ 0.3 มิลลิเมตร รัศมีจุมกมิตที่ 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร และอัตราส่วนแรงตัดที่คำนวณจากแรงป้อนตัดพลวัตต่อแรงป้อนตัดสถิต จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้ความเร็วตัด และรัศมีจุมกมิตตัดมากขึ้น จะทำให้ชิ้นงานมีความตรงที่ดีขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัดพลวัต และความตรงสามารถพิจารณาได้จากสัญญาณความถี่ที่เกิดขึ้น ในโดเมนความถี่ด้วยวิธีการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform) ซึ่งสัญญาณความถี่ที่เกิดขึ้นที่ค่าเดียวกัน ดังนั้นอัตราส่วนแรงตัดจึงสามารถนำมาใช้ในการทำนายความตรงของชิ้นงานได้ในขณะตัด อัตราส่วนแรงตัดถูกนำมาใช้เพื่อทำนายความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานในขณะกลึงด้วยสมการเอกซ์โพเนนเชียล วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณถูกประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์ของสมการที่ใช้ในการทำนายความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานในขณะตัด ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากสมการพบว่าอัตราป้อนตัดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความตรงเบี่ยงเบนของชิ้นงานมากที่สุด รองลงมาคือรัศมีจุมกมิต ความลึกในการตัด ความเร็วตัด และอัตราส่วนแรงตัด ตามลำดับ และสมการที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายค่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์โดยมีระดับความแม่นยำเท่ากับ 89.13%

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

5970262821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Aluminium, Straightness, Turning Process, Cutting force ratio

Pannipa Puangpad : A study of relation between straightness and cutting force in aluminium turning. Advisor: Assoc. Prof. Somkiat Tangjitsitcharoen, Ph.D.

The objective is to study the relation between the straightness and the cutting force ratio during the aluminium turning. Aluminium grade Al6063 is used and the dynamometer is installed on the turret of CNC turning machine for monitor and obtain the cutting force. The experiment is investigated under the cutting conditions, which are the cutting speed in 150,200,250 m/min, the feed rate in 0.1,0.125,0.15 mm/rev, the depth of cut in 0.1,0.2,0.3 mm, the tool nose radius in 0.4 and 0.8 mm. The cutting force ratio is calculated by dynamic feed force per static feed force. When the cutting speed and the tool nose radius increase, the straightness will improve. The relation between the dynamic cutting force and the straightness profile can be verified in the frequency domain by using the Fast Fourier Transform (FFT). The dynamic cutting force and the straightness profile appear at the same frequency. Therefore, the cutting force ratio can predict the straightness during the turning process. The relation has been proposed and model by applying the exponential function. The multiple regression analysis is utilized to calculate the powers of the model by using the least square method at 95% confident level. From the model, the feed rate was the most significant factor affecting the straightness. The model has been verified by the cutting tests that the straightness can be predicted by the high accuracy of 89.13%

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2018

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จเสร็จสิ้นไปได้ด้วยดีเนื่องด้วยได้รับความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ ที่ได้คำแนะนำ และชี้แนะแนวทาง แก้ปัญหาต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร ประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึกษ์ กรรมการสอบภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำแนวทางในการ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่มอบความรู้เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ รวมถึง คุณครูชำนาญการประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมที่ให้ความอนุเคราะห์ในการสอนใช้เครื่องมือ และ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมที่ให้ความช่วยเหลือการดำเนินเรื่องเอกสารเกี่ยวกับ วิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุน รวมไปถึงรุ่นพี่ เพื่อน และรุ่นน้อง ที่คอย ให้คำแนะนำ และให้การช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

พรรณิภา พ่วงพัต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.1.1 การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีการผลิต.....	1
1.1.2 อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมการผลิต.....	4
1.1.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขการตัด แรงตัด และความตรงผิวชิ้นงาน	4
1.1.4 กรอบแนวคิดงานวิจัย.....	6
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	7
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	8
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	8
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1.1 อะลูมิเนียม (Aluminium).....	10
2.1.2 เครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Turning Machine)	11
2.1.3 กระบวนการตัดเฉือน (Machining Process) [6].....	12

2.1.4	กระบวนการกลึง (Turning Process).....	14
2.1.5	เครื่องมือตัดหรือมีดตัด (Cutting Tool)	16
2.1.6	เงื่อนไขในการตัด (Cutting Condition).....	21
2.1.7	การจำลองกลไกการตัดและการเกิดเศษโลหะ	25
2.1.8	แรงตัดและสัญญาณแรงตัด.....	29
2.1.9	การวิเคราะห์สัญญาณแรงตัด.....	35
2.1.10	ความตรง (Straightness) [7].....	37
2.1.11	การสันสะท้อนของมีดตัดที่มีผลต่อความตรงของชิ้นงาน	43
2.1.12	การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม [8].....	43
2.1.13	การวิเคราะห์ผลการทดลอง	45
2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46
2.2.1	งานวิจัยที่เกี่ยวกับความตรง.....	46
2.2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวกับความขรุขระ.....	49
2.2.3	งานวิจัยเกี่ยวกับวัสดุประเภทอะลูมิเนียม	52
2.2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความตรง (Straightness) ความขรุขระ (Roughness) และความกลม (Roundness) จากงานวิจัยที่ผ่านมา.....	54
บทที่ 3	วิธีดำเนินงานวิจัย	55
3.1	การออกแบบการทดลอง	55
3.1.1	ปัจจัยสำหรับการทดลอง.....	55
3.1.2	การกำหนดระดับปัจจัยสำหรับการทดลอง.....	55
3.1.3	เงื่อนไขการทดลอง	57
3.2	การดำเนินการทดลอง	59
3.2.1	เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง.....	59
3.2.2	ขั้นตอนการทดลอง.....	64

3.3 การสร้างสมการและวิเคราะห์การทดลอง	65
3.3.1 การสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความตรงของชิ้นงานในขณะตัด	65
3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	67
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง	69
4.1 ผลการทดลอง	69
4.2 การวิเคราะห์ความตรงผิวชิ้นงาน และสัญญาณแรงตัดพลวัตโดยวิธีการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว	72
4.2.1 การวิเคราะห์ความตรงผิวชิ้นงาน และสัญญาณแรงตัดพลวัตในโดเมนความถี่	72
4.2.2 การวิเคราะห์แรงตัดพลวัตและความตรงชิ้นงานในโดเมนเวลา.....	76
4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความตรงชิ้นงาน กับอัตราส่วนแรงตัด และเงื่อนไขการตัด.....	77
4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงผิวชิ้นงาน และอัตราส่วนแรงตัด.....	77
4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงของชิ้นงานกับเงื่อนไขการตัด	78
4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ	86
4.4.1 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ	86
4.4.2 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล	87
4.4.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน.....	88
4.5 การสร้างสมการทำนายความตรงผิวชิ้นงาน	89
4.5.1 การทดสอบนัยสำคัญของการถดถอย.....	89
4.5.2 การทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอยทีละตัว	90
4.5.3 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ	92
4.6 การทดสอบความแม่นยำของสมการ	93
บทที่ 5 สรุป และการอภิปรายผลการวิจัย	96
5.1 สรุปผลการวิจัย	96
5.2 การอภิปรายผลการวิจัย	97

5.3 ข้อจำกัดในการวิจัย	99
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	99
บรรณานุกรม.....	100
ประวัติผู้เขียน.....	158



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 เงื่อนไขในการตัด	8
ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Composition) [5]	10
ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties)	11
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)	11
ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการตัด	56
ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการทดลองทั้งหมด	57
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง	70
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการถดถอยของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน ..	89
ตารางที่ 4.3 การทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ละตัวของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ .	90
ตารางที่ 4.4 เงื่อนไขการทดสอบความแม่นยำของสมการ	93
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความแม่นยำของสมการ	94
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบผลการวิจัย	98

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1 การพัฒนาเทคโนโลยีของระบบการผลิตอัจฉริยะ [1].....	3
รูปที่ 1.2 การติดตั้งไดนาโมมิเตอร์บนเครื่องกลึงซีเอ็นซี.....	7
รูปที่ 1.3 กรอบแนวคิดงานวิจัย	7
รูปที่ 2.1 เครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Turning Machine).....	12
รูปที่ 2.2 การกลึง (Turning)	13
รูปที่ 2.3 การเจาะ (Drilling)	13
รูปที่ 2.4 การกัด (Milling) : (a) Peripheral milling (b) Face milling.....	14
รูปที่ 2.5 กระบวนการกลึง.....	15
รูปที่ 2.6 การกลึงประเภทต่างๆ.....	16
รูปที่ 2.7 ด้ามมีดตัด (Tool holder) และเม็ดมีด (Insert).....	17
รูปที่ 2.8 เรขาคณิตของมีดตัดคมเดียว.....	21
รูปที่ 2.9 แสดงสัญลักษณ์เงื่อนไขการตัดของกระบวนการกลึง	22
รูปที่ 2.10 การจำลองของกลไกการตัด (Orthogonal Cutting Model).....	25
รูปที่ 2.11 พื้นที่ระนาบเฉือน.....	28
รูปที่ 2.12 การเกิดเศษโลหะ 3 ประเภท (a) เศษโลหะไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous chip) (b) เศษโลหะต่อเนื่อง (Continuous chip) (c) เศษโลหะต่อเนื่องหลอมติดคมตัด (Continuous chip with built-up edge).....	29
รูปที่ 2.13 แรงบนคมตัด	30
รูปที่ 2.14 แรงเสียดทาน.....	31
รูปที่ 2.15 แรงเฉือน.....	32
รูปที่ 2.16 รูปหลายเหลี่ยมแทนแรงของการตัด	33
รูปที่ 2.17 เรขาคณิตการกลึงเพื่อแสดงแนวแรงตัด.....	34
รูปที่ 2.18 สัญญาณแรงตัด	35

รูปที่ 2.19 แบบจำลองผลการวัดค่าความตรงกับผลการวิเคราะห์แรงตัดพลวัต	35
รูปที่ 2.20 สัญญาณโดเมนเวลาและสัญญาณโดเมนความถี่	37
รูปที่ 2.21 ความตรงแบบ Endpoints.....	37
รูปที่ 2.22 ความตรงแบบ Linear Regression	38
รูปที่ 2.23 ความตรงแบบ Linear Regression ที่สร้างเส้นตรงด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square).....	38
รูปที่ 2.24 ความตรงแบบ ISO 1101 หรือแบบ Minimum Zone	39
รูปที่ 2.25 การพิจารณาความตรงแบบ N.C.....	41
รูปที่ 2.26 การพิจารณาความตรงแบบ LSC (Least square method).....	42
รูปที่ 2.27 การพิจารณาความตรงแบบ MZC (Minimum Zone Method)	42
รูปที่ 3.1 เครื่องกลึงยันทันศูนย์กลาง (Lathe Machine).....	59
รูปที่ 3.2 เครื่องกลึงซีเอ็นซีชนิด 4 แกนยี่ห้อม Mazak รุ่น Nexus 200MY/MSY	60
รูปที่ 3.3 ด้ามมีดกลึงยี่ห้อม Kyocera รหัสด้ามมีด CTGPR 2525M-16N มุมคายเศษโลหะ 11 องศา	60
รูปที่ 3.4 เม็ดมีดคาร์ไบด์เคลือบผิวยี่ห้อม Kyocera (a) รหัสเม็ดมีด TPMP 160304HQ(b) รหัสเม็ดมีด TPMP 160308HQ	61
รูปที่ 3.5 แท่งอะลูมิเนียมเกรด 6063 ทรงกระบอก (a) ก้อนปอกผิว (b) หลังปอกผิว.....	61
รูปที่ 3.6 ไดนาโมมิเตอร์ยี่ห้อม Kistler รุ่น 9121.....	62
รูปที่ 3.7 ออสซิลโลสโคปยี่ห้อม Yokogawa รุ่น DL750	62
รูปที่ 3.8 เครื่องขยายสัญญาณ (Charge Amplifier) ยี่ห้อม Kistler รุ่น 5038	63
รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความขรุขระผิว ยี่ห้อม Mitutoyo รุ่น SJ-400.....	63
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการทดลอง	65
รูปที่ 4.1 แสดงแรงตัดในโดเมนเวลาที่เงื่อนไขความเร็วตัด 250 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีงูมมีด 0.4 มิลลิเมตร	73

รูปที่ 4.2 แสดงความตรงของชิ้นงานในโดเมนเวลาที่เงื่อนไขความเร็วตัด 250 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีจุมูกมีด 0.4 มิลลิเมตร.....	73
รูปที่ 4.3 แสดงแรงตัดในโดเมนความถี่ที่เงื่อนไขความเร็วตัด 250 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีจุมูกมีด 0.4 มิลลิเมตร	75
รูปที่ 4.4 แสดงความตรงของชิ้นงานในโดเมนความถี่ที่เงื่อนไขความเร็วตัด 250 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีจุมูกมีด 0.4 มิลลิเมตร	75
รูปที่ 4.5 การคำนวณแรงป้อนตัดสถิต	76
รูปที่ 4.6 การคำนวณแรงป้อนตัดพลวัต	76
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเพียงเบนศูนย์ของชิ้นงานและอัตราส่วนแรงตัด.....	77
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเพียงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความเร็วตัดต่างๆ ที่อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.2 มิลลิเมตร และรัศมีจุมูกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร .	78
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบขนาดแรงตัดในโดเมนเวลาที่ความเร็วตัด 150 และ 250 เมตรต่อวินาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.2 มิลลิเมตร และรัศมีจุมูกมีด 0.8 มิลลิเมตร	79
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบความตรงเพียงเบนศูนย์ในโดเมนเวลาที่ความเร็วตัด 150 และ 250 เมตรต่อวินาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.2 มิลลิเมตร และรัศมีจุมูกมีด 0.8 มิลลิเมตร.....	79
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเพียงเบนศูนย์ของชิ้นงานและอัตราป้อนตัดต่างๆ ที่ความเร็วตัด 200 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร และรัศมีจุมูกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร	80
รูปที่ 4.12 แสดงขนาดแรงตัดในโดเมนเวลาระหว่างอัตราป้อนตัด 0.1 และ 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ที่ความเร็วตัด 200 เมตรต่อวินาที ความลึกตัด 0.2 มิลลิเมตร และรัศมีจุมูกมีด 0.8 มิลลิเมตร	81
รูปที่ 4.13 แสดงความเพียงเบนศูนย์ชิ้นงานในโดเมนเวลาระหว่างอัตราป้อนตัด 0.1 และ 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ที่ความเร็วตัด 200 เมตรต่อวินาที ความลึกตัด 0.2 มิลลิเมตร และรัศมีจุมูกมีด 0.8 มิลลิเมตร	81

รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความลึกตัดต่างๆ ที่ความเร็วตัด 200 มิลลิเมตรต่อรอบ อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ และรัศมีจุมูกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร.....	82
รูปที่ 4.15 แสดงขนาดแรงตัดในโดเมนเวลาระหว่างความลึกตัด 0.3 และ 0.1 มิลลิเมตร ที่ความเร็วตัด 200 เมตรต่อวินาที อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ และรัศมีจุมูกมีด 0.4 มิลลิเมตร.....	83
รูปที่ 4.16 แสดงความเบี่ยงเบนศูนย์ชิ้นงานในโดเมนเวลาระหว่างความลึกตัด 0.3 และ 0.1 มิลลิเมตร ที่ความเร็วตัด 200 เมตรต่อวินาที อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ และรัศมีจุมูกมีด 0.4 มิลลิเมตร.....	83
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและรัศมีจุมูกมีด 0.4 และ 0.8 ที่ความเร็วตัด 200 มิลลิเมตรต่อรอบ อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตร และความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร	84
รูปที่ 4.18 แสดงขนาดแรงตัดในโดเมนเวลาระหว่างรัศมีจุมูกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วตัด 200 เมตรต่อวินาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร.....	85
รูปที่ 4.19 แสดงความเบี่ยงเบนศูนย์ชิ้นงานในโดเมนเวลาระหว่างรัศมีจุมูกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วตัด 200 เมตรต่อวินาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร	85
รูปที่ 4.20 กราฟการทดสอบ Normal Probability ของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน	86
รูปที่ 4.21 กราฟการทดสอบ Residual versus Order ของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน.....	87
รูปที่ 4.22 กราฟการทดสอบ Residual versus Fits ของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน	88
รูปที่ 4.23 กราฟการทดสอบความแม่นยำของสมการความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน	95

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นงานประเภทโลหะนอกจากกลุ่มเหล็กกล้าแล้ว ปัจจุบันได้มีการใช้อะลูมิเนียมเข้ามาทดแทน เพื่อช่วยในเรื่องของการลดน้ำหนักผลิตภัณฑ์ โดยมีกรรมวิธีการผลิตหลากหลายวิธีเช่น การหล่อ และการขึ้นรูป แต่ถ้าเป็นชิ้นงานที่เป็นทรงกระบอกส่วนใหญ่ต้องอาศัยการกลึงในการผลิต ซึ่งในปัจจุบันในอุตสาหกรรมการผลิตต้องการชิ้นงานที่มีความถูกต้อง แม่นยำของรูปร่างทางเรขาคณิตของชิ้นงานเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งความตรงของชิ้นงานที่มีผลต่อความถูกต้อง และการประกอบชิ้นส่วนชิ้นงานในขั้นตอนถัดไป การกลึงนั้นจะสามารถพบได้ในอุตสาหกรรมการผลิตในหลากหลายด้าน ซึ่งในอุตสาหกรรมยานยนต์ก็มีการใช้การกลึงในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เช่นกัน โดยทั่วไปแล้วในอุตสาหกรรมยานยนต์นั้นต้องการชิ้นงานที่มีความตรงของผิวชิ้นงานเพื่อความแม่นยำถูกต้องของงาน จึงมีการนำเครื่องจักรกลที่มีความละเอียดสูงมาใช้ รวมไปถึงมีการใช้เครื่องจักรกลที่ควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (Computerized Numerical Control Machine, CNC) และระบบการผลิตในลักษณะ CIM (Computer Integrated Manufacturing) ตลอดจนระบบ Flexible Manufacturing System มาใช้ด้วย เพื่อปรับเปลี่ยนรูปแบบสินค้าและเทคโนโลยี ให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าในยุคอุตสาหกรรม 4.0 ที่จะต้องมีความเป็นอัจฉริยะมากขึ้นทั้งในด้านการทำงานด้วยตนเอง ความยืดหยุ่นและการปรับตัวให้เข้ากับเงื่อนไขการผลิต นอกจากนี้เครื่องจักรในอนาคตจะมีโปรแกรมสำหรับตรวจสอบและดูแลสุขภาพของเครื่องจักร เพื่อยืดอายุการทำงานของเครื่องจักร อันจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการวางแผนการผลิตและประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร ดังนั้นจึงถือได้ว่าการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการผลิตจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการรับมือกับการปรับเปลี่ยนในภาคอุตสาหกรรมผลิตขนาดใหญ่ในอนาคตนั่นเอง

1.1.1 การพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีการผลิต

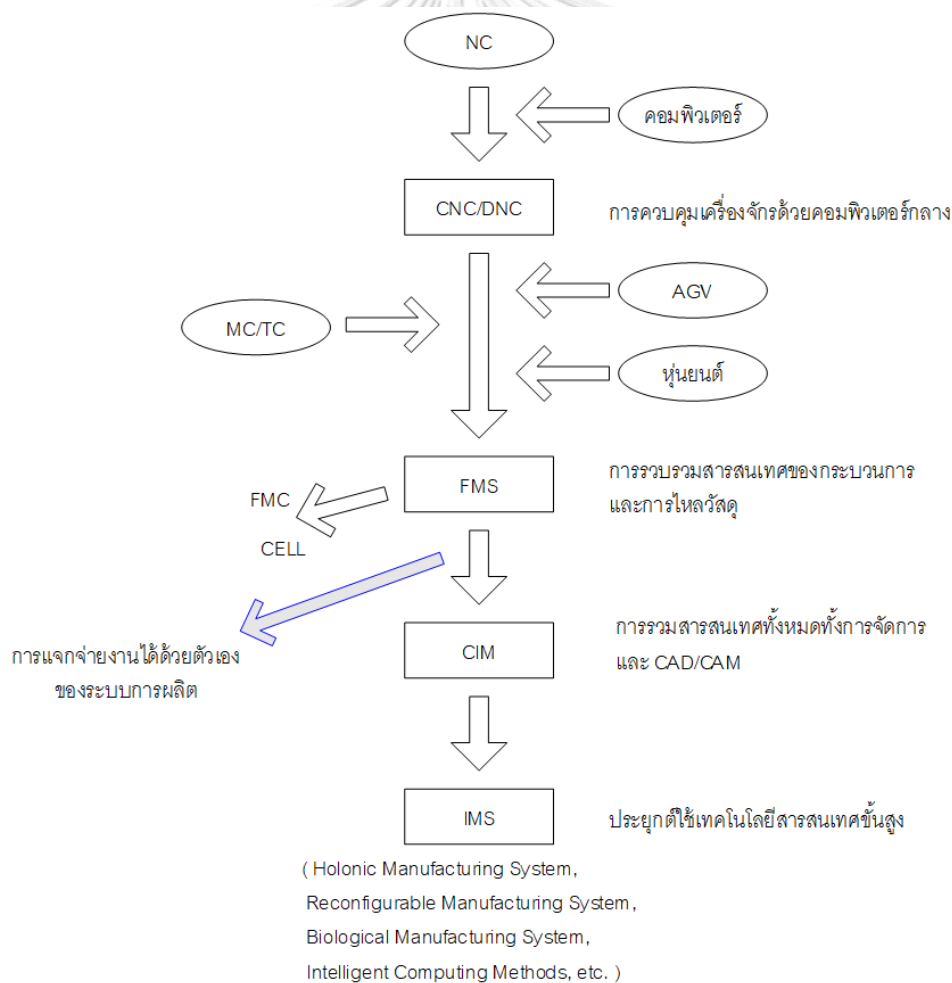
อุตสาหกรรมการผลิตตั้งแต่สมัยก่อนมีเครื่องจักรหลายชนิดที่เป็นเครื่องจักรพื้นฐาน มีความจำเป็นสำคัญใช้ในการผลิตชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ต่างๆ เครื่องกลึงเป็นเครื่องมือกลที่ใช้งานในโลหะประเภทเครื่องจักรกลกลุ่มที่ทำงานหมุนรอบตัวเอง มีความจำเป็นในโรงงานผลิตเป็นอย่างมาก แต่ในปัจจุบันกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์และชิ้นส่วนยานยนต์เป็นอุตสาหกรรมที่มียอดเติบโตสูงเป็นส่วนสำคัญในการผลักดันเศรษฐกิจของประเทศให้เติบโตอย่างต่อเนื่อง ชิ้นส่วนยานยนต์หรือแม่พิมพ์ที่ผลิตขึ้นมาแล้วยังต้องคงไว้ในเรื่องของคุณภาพ ความถูกต้อง ความเที่ยงตรง จุดที่มีการพัฒนาขึ้นเพิ่มเติมได้แก่ความเร็ว แม่นยำ เพื่อให้ทันกับการแข่งขันในตลาดโลกที่สูงขึ้น จึงมีการนำเครื่องจักรหลายๆ

ชนิดที่ถูกพัฒนาขึ้นด้วยการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมการทำงานหรือที่เรียกว่า เครื่องซีเอ็นซี (CNC) ดังนั้นเครื่องกลึงที่ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมจึงเรียกว่าเครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Turning Machine)

ระบบการผลิตอัจฉริยะ (Intelligent Manufacturing Systems, IMS) คือระบบที่สามารถควบคุมและตรวจสอบตัวเองได้ เพื่อที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของการออกแบบ ซึ่งผลิตภัณฑ์จะสามารถถูกผลิตได้ในสภาวะแวดล้อมจำลอง จำเป็นต้องมีเครื่องจักรกลอัจฉริยะช่วยในกระบวนการผลิต โดยการพัฒนาเทคโนโลยีของระบบการผลิตอัจฉริยะเริ่มต้นจากเครื่องเอ็นซี (Numerical Control, NC) คือการควบคุมเครื่องจักรกลโดยใช้ระบบตัวเลขและตัวอักษร จากนั้นได้เปลี่ยนเป็นเครื่องจักรกลที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมหรือเครื่องซีเอ็นซี (Computer Numerical Control, CNC) หรือเครื่องดีเอ็นซี (Direct Numerical Control, DNC) ที่มีคอมพิวเตอร์กลางช่วยในการติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนและกระจายข้อมูลโดยใช้โปรแกรมข้อมูลเอ็นซีกับหน่วยควบคุมเอ็นซีของเครื่องจักรกลระบบซีเอ็นซีในการรับและส่งข้อมูลให้กับเครื่องจักรกลซีเอ็นซี จากนั้นจึงมีการบูรณาการของสารสนเทศและการไหลของวัสดุในการควบคุมระบบการผลิตต่อไป นั่นก็คือระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System, FMS) โดยชิ้นงานและเครื่องมือได้ถูกป้อนและลำเลียงระหว่างคลังเก็บชิ้นงานและเครื่องจักรแบบอัตโนมัติโดยเอจีวี (Automated Guide Vehicles, AGVs) และขนถ่ายโดยหุ่นยนต์อุตสาหกรรมและอื่นๆ ซึ่งที่ผ่านมามีความเชื่อว่าระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นเพียงพอแล้วสำหรับจัดการกับความเปลี่ยนแปลงต่างๆ หรืออุปสงค์ของผู้ใช้งาน เครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่มีความซับซ้อน เช่น เครื่องซีเอ็นซีแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ (CNC Machining Center: MC) และเครื่องกลึงซีเอ็นซีเซ็นเตอร์ (CNC Turning Center, TC) ได้มีบทบาทสำคัญในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น แต่ในความเป็นจริงแล้วระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นนั้นจะยืดหยุ่นในช่วงการเปลี่ยนแปลงแคบๆ เท่านั้น โดยปกติแล้วระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นต้องการการลงทุนสูงเพื่อที่จะติดตั้ง และไม่ง่ายที่จะปรับเปลี่ยนโครงสร้างเพื่อจัดการกับการเปลี่ยนแปลงอันมากมายของปริมาณการผลิตและชนิดผลิตภัณฑ์ได้ ด้วยเหตุนี้ ระบบการผลิตแบบเซลล์ (Flexible Manufacturing Cell, FMC) จึงเป็นที่นิยมมากกว่าและได้ถูกติดตั้งไปทั่วโลกซึ่งมีขนาดเล็กกว่าแต่ประกอบด้วยฟังก์ชันที่จำเป็นของระบบการผลิต ได้แก่ การควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ การใส่งานหรืออเนกงานออกอัตโนมัติ และบางครั้งมีการตรวจสอบชิ้นงานอัตโนมัติด้วย ระบบการผลิตแบบเซลล์นั้นมีต้นทุนที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น นอกจากนี้ยังเดินเครื่องได้ง่ายและมีความยืดหยุ่นมากกว่าที่จะจัดการกับความเปลี่ยนแปลงของการสั่งซื้อของลูกค้า

การเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีซอฟต์แวร์และเทคโนโลยีการประมวลผลสารสนเทศ ร่วมกับการพัฒนาในฮาร์ดแวร์ทางการผลิตที่ได้กล่าวมาแล้วในช่วงต้น ทำให้เป็นไปได้

ที่จะบูรณาการกิจกรรมด้านอุตสาหกรรม ด้านการตลาด ด้านการวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตในขั้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์และการส่งสินค้าเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีในนามของคอมพิวเตอร์บูรณาการการผลิต (Computer Integrated Manufacturing, CIM) คอมพิวเตอร์บูรณาการการผลิตมีความสามารถในการประมวลผลสารสนเทศของอุตสาหกรรมการผลิตเพิ่มเข้ามาในขอบเขตทั้งหมดของกิจกรรมการผลิต ได้แก่ การตลาด การจัดการ การควบคุมกระบวนการผลิต และการบริการ อย่างไรก็ตาม ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องนำมาซึ่งความยืดหยุ่นและความสามารถในการผลิตที่เพิ่มขึ้นในการผลิตจริง ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้นมีความคาดหวังว่าระบบการผลิตที่แจกจ่ายงานได้ด้วยตัวเอง (Autonomous distributed manufacturing systems) ประกอบกับเทคโนโลยีสารสนเทศขั้นสูงจะเป็นคำตอบของการผลิตในอนาคตที่สามารถผลิตสินค้าที่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ใหม่ได้มาก อันเนื่องมาจากการอุปสงค์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดจากลูกค้า ระบบนี้จึงมีชื่อว่า ระบบการผลิตอัจฉริยะ (Intelligent Manufacturing System, IMS) ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การพัฒนาเทคโนโลยีของระบบการผลิตอัจฉริยะ [1]

1.1.2 อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมการผลิต

อะลูมิเนียมจัดเป็นโลหะที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท โดยสามารถพบได้ทั่วไปในชีวิตประจำวันเช่น การใช้อะลูมิเนียมทำขอบประตูหน้าต่างในงานก่อสร้าง บรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมที่ใช้ในบรรจุอาหาร สายไฟฟ้าอะลูมิเนียมซึ่งนำมาใช้ทดแทนสายทองแดงในอุตสาหกรรมยานยนต์ เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นในเรื่องของน้ำหนักที่เบากว่าเหล็ก จึงนำอะลูมิเนียมมาทำชิ้นส่วนในเครื่องบิน จรวด ขีปนาวุธ ชิ้นส่วนยานยนต์ และชิ้นส่วนในรถไฟไฟฟ้า เป็นต้น เพื่อลดน้ำหนักของรถให้น้อยลง ส่งผลให้เกิดการประหยัดเชื้อเพลิง ทำให้อะลูมิเนียมมีบทบาทในอุตสาหกรรมการผลิตเพิ่มสูงขึ้นมาโดยตลอด [2]

ปัจจุบันทั่วโลกมีการใช้งานอะลูมิเนียมกันอย่างแพร่หลาย โดยสถิติในปี พ.ศ. 2556 ที่ผ่านมา จากข้อมูลการศึกษาของต่างประเทศพบว่ามีการใช้งานอะลูมิเนียมทั่วโลกในปริมาณสูงถึง 50 ล้านตันและมีแนวโน้มการใช้งานอะลูมิเนียมในผลิตภัณฑ์ต่างๆเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 7 จนถึงปี พ.ศ.2560 สำหรับแนวโน้มการใช้งานอะลูมิเนียมของประเทศไทย นอกจากการใช้อะลูมิเนียมในอุตสาหกรรมก่อสร้างที่กำลังขยายตัวอย่างต่อเนื่องแล้ว ยังมีการใช้งานเพิ่มขึ้นในกลุ่มยานยนต์ และกลุ่มเครื่องใช้ไฟฟ้าอีกด้วย ในส่วนอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์นั้นอะลูมิเนียมเป็นวัสดุที่ใช้มากเป็นอันดับ 2 ที่อยู่ในรูปของระบบกันสะเทือน แชสซี กระจกกิ่ง และส่วนประกอบอื่นๆ อีกมากมาย โดยอะลูมิเนียมน้ำหนัก 1 กิโลกรัม สามารถเข้าทดแทนชิ้นส่วนเหล็กแบบเดียวกันที่หนัก 2 กิโลกรัมได้ ทั้งยังมีการคำนวณว่า ถ้าหากมีรถยนต์น้ำหนักเบาสัก 65 ล้านคัน จะสามารถลดปริมาณไอเสียได้ถึง 140 ล้านตันช่วยให้เครื่องยนต์มีกระบวนการเผาผลาญน้อยลงและปล่อยก๊าซ CO₂ ออกมาน้อยกว่า และสามารถลดการใช้น้ำมันได้ถึง 60,000 ล้านลิตรต่ออายุการใช้งานของรถ เมื่อเทียบกับการใช้เหล็กกล้าแบบเดิม ดังนั้นจึงทำให้การใช้อะลูมิเนียมมีความสำคัญในภาคการผลิตยานยนต์เป็นอย่างมาก

1.1.3 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเงื่อนไขการตัด แรงตัด และความตรงผิวชิ้นงาน

ในอุตสาหกรรมการผลิตมีการแข่งขันที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องพัฒนากระบวนการผลิตให้เป็นแบบสมัยใหม่ที่ใช้นวัตกรรมและเทคโนโลยีขั้นสูงมากยิ่งขึ้น เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มและความสำเร็จในการแข่งขัน โดยเฉพาะการเร่งพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพ ลดของเสีย และลดต้นทุนในกระบวนการผลิต ถ้ามองในแง่ของการพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งที่ควรคำนึงในกระบวนการผลิตนั่นก็คือขอบเขตของขนาด รูปร่าง ผิวสำเร็จ ความถูกต้องแม่นยำของชิ้นงาน เช่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter) ความขรุขระผิว (roughness) และความตรง (straightness) เพราะความถูกต้องแม่นยำของชิ้นงานนั้นมีความสำคัญอย่างมากในการประกอบชิ้นงานถัดไป ถ้า

ชิ้นงานมีความถูกต้องแม่นยำแล้วจะทำให้ไม่เกิดของเสียในกระบวนการผลิต ลดเวลา และต้นทุนได้ กล่าวได้ว่าผิวสำเร็จของชิ้นงานมีผลต่ออายุการใช้งานและต้นทุนการผลิต

ความตรง (straightness) ก็เป็นปัจจัยอย่างหนึ่งที่สำคัญมากที่ใช้กำหนดผิวชิ้นงาน ในทางวิศวกรรมที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน เนื่องจากความตรงของผิวชิ้นงานมีอิทธิพลต่อกระบวนการ ประกอบในกระบวนการถัดไปและการนำไปใช้งานจริง เช่นการผลิตลูกสูบของรถยนต์และ รถจักรยานยนต์ที่ต้องการความแม่นยำของความตรงชิ้นงานมาช่วยในการตรวจสอบว่าเป็นไปตาม เงื่อนไขการผลิตหรือไม่ เพื่อให้อายุการใช้งานนานยิ่งขึ้น ลดเวลา และลดต้นทุนการผลิต

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความตรงของชิ้นงาน กับแรงตัดในกระบวนการกลึงเหล็กกล้า โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัด และความตรงของชิ้นงาน ถูกทดสอบภายใต้เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัด รัศมี จมูกมีด และมุมคายเศษโลหะ จนสามารถสร้างสมการทำนายความตรงของชิ้นงานได้ในขณะตัดโดยใช้ อัตราส่วนแรงตัดแม้เงื่อนไขการตัดจะเปลี่ยนไป จากงานวิจัยพบว่าแรงป้อนตัดสามารถนำมาหา ความสัมพันธ์ค่าความตรงของชิ้นงานได้ เนื่องจากแรงป้อนตัดเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดรอยป้อนตัด (feed mark) ขึ้นบนผิวชิ้นงานซึ่งส่งผลกระทบต่อตรงต่อค่าของความตรงของชิ้นงาน [3] และได้มีงานวิจัย อื่นๆ [4] อีกมากมายที่ได้มีการพัฒนาการตรวจสอบความตรงและความขรุขระของชิ้นงานด้วยวิธีการ ต่างๆกันไปโดยใช้แรงตัดในการหาความสัมพันธ์พร้อมกับพิจารณาเงื่อนไขการตัดต่างๆด้วยเช่นกัน ซึ่ง ได้ผลการทดลองไปในทิศทางเดียวกันตามปัจจัยดังต่อไปนี้

1) ความเร็วตัด

ถ้าความเร็วตัดเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิในขณะตัดสูง ชิ้นงานจะอ่อน ทำให้แรงในขณะตัด น้อยลง ตัดได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้ค่าความตรงเบี่ยงหนีศูนย์ของชิ้นงานลดลง ชิ้นงานจะตรงขึ้น

2) ความลึกในการตัด

ถ้าความลึกในการตัดในการตัดเพิ่ม พื้นที่การตัดจะเพิ่มมากขึ้น ทำให้แรงตัดจึงเพิ่มสูงขึ้นด้วย ทำให้ความตรงเบี่ยงหนีศูนย์ของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น ความตรงชิ้นงานจึงลดลง

3) รัศมีจมูกมีดตัด

ถ้าใช้มีดตัดที่มีรัศมีจมูกมีดตัดใหญ่ สามารถช่วยลดรอยป้อนตัดที่ตกค้างบนผิวชิ้นงาน ความ ตรงเบี่ยงหนีศูนย์ของชิ้นงานจะมีค่าลดลงทำให้ความตรงผิวชิ้นงานดีขึ้น

4) อัตราการป้อนตัด

ถ้าเพิ่มอัตราการป้อนตัด พื้นที่การตัดจะมากขึ้น แรงตัดจะสูงขึ้น ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน ในขณะที่ค่าความตรงเบี่ยงหนีศูนย์จะสูง ความตรงของชิ้นงานจะลดลง

5) มุมคายเศษวัสดุ

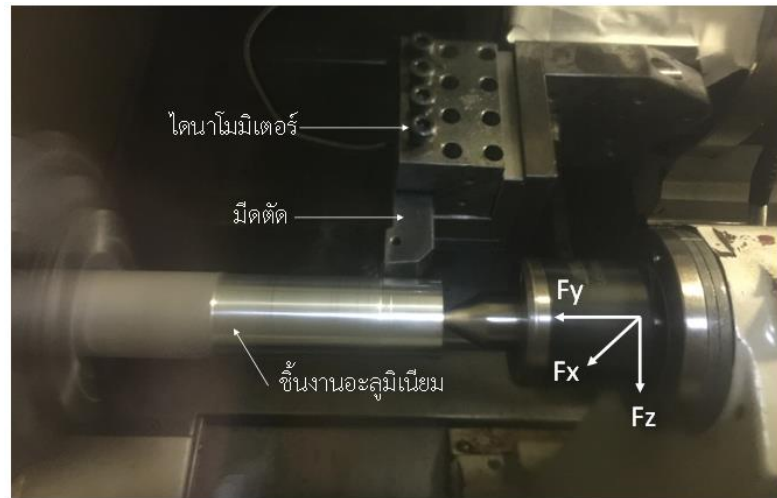
ถ้ามุมคายเศษวัสดุมาก จะทำให้เศษโลหะที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัดเคลื่อนที่ออกได้ง่าย ความต้านทานการเคลื่อนที่ของมีดตัดและเศษโลหะลดลง ดังนั้นแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะที่ตัดจึงลดลง ค่าความตรงเบี่ยงหนีศูนย์จะต่ำ ความตรงของชิ้นงานจะเพิ่มขึ้น

1.1.4 กรอบแนวคิดงานวิจัย

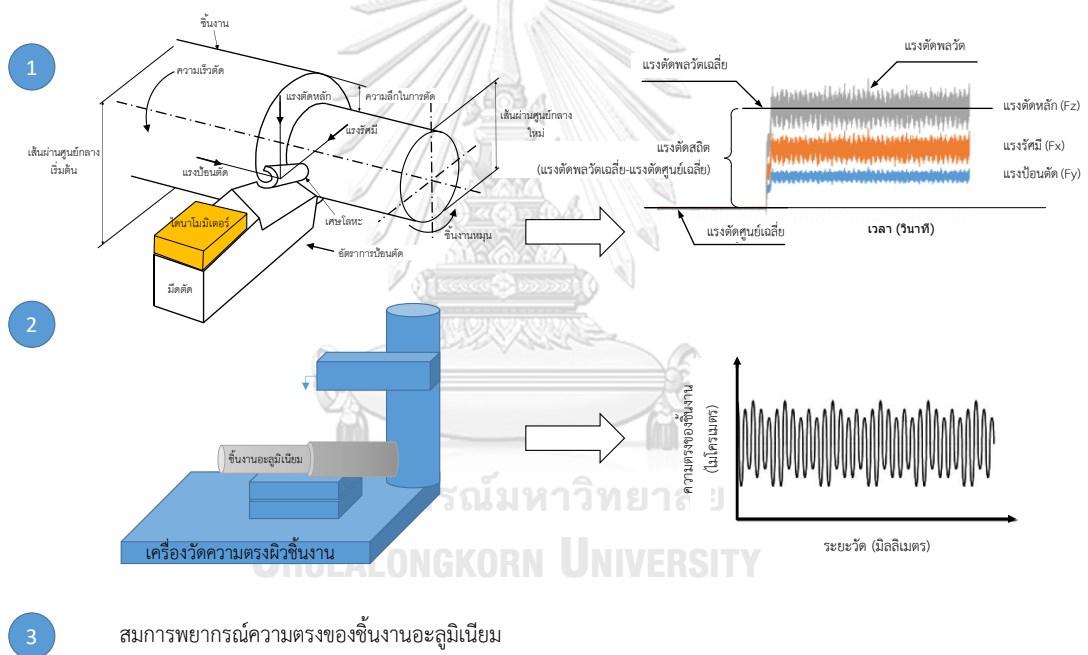
จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้นได้แสดงให้เห็นว่าความตรงของชิ้นงานมีความเกี่ยวข้องกับปัจจัยต่างๆ ซึ่งมีทั้งปัจจัยที่สามารถควบคุมได้คือ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัด ชนิดวัสดุของมีด รัศมีงูมกมิต ชนิดของวัสดุ ขนาดของชิ้นงาน ลักษณะเศษโลหะ เป็นต้น นอกเหนือปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมานี้ยังมีปัจจัยที่เกิดขึ้นขณะตัดซึ่งไม่สามารถควบคุมได้เช่น การสั่นสะเทือน อุณหภูมิ เสียง แต่สามารถใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์มาช่วยในการตรวจติดตามวัดแรงในขณะที่ตัดได้ นั่นก็คือไดนาโมมิเตอร์นั่นเองซึ่งเป็นเซนเซอร์วัดแรงที่ใช้ในเครื่องจักรกลอัจฉริยะ งานวิจัยนี้ได้ใช้เซนเซอร์เพื่อวัดแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะกลึงโดยใช้การเก็บค่าสัญญาณผ่านเครื่องออสซิลอโคป เพื่อนำมาอธิบายการเกิดความตรงผิวชิ้นงานกับแรงตัด และนำเทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมมาช่วยในการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ความตรงของชิ้นงานอะลูมิเนียมกับแรงตัดที่เกิดขึ้น

เซนเซอร์วัดแรงจะทำการตรวจติดตามแรงตัดในกระบวนการกลึงที่มีอยู่ 3 ประเภทคือ แรงตัดแนวรัศมี (Radial Force: F_x) แรงป้อนตัด (Feed Force: F_y) และแรงตัดหลัก (Main Force: F_z) ซึ่งผลวิจัยที่ผ่านมาพบว่าแรงป้อนตัดมีผลกระทบต่อความตรงของชิ้นงานเป็นอย่างมาก ในขณะที่แรงตัดหลักนั้นเกิดจากเงื่อนไขการตัดเท่านั้น เป็นเหตุผลให้ใช้แรงป้อนตัดและแรงตัดหลักมาใช้ในการหาแบบจำลองความสัมพันธ์ความตรงของผิวชิ้นงาน

งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องกลึงซีเอ็นซีที่ติดเซนเซอร์วัดแรงหรือไดนาโมมิเตอร์ในการตรวจติดตามและประมาณค่าความตรงของผิวชิ้นงานอะลูมิเนียมในขณะที่แสดงดังรูปที่ 1.2 เพื่อสามารถสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ความตรงของผิวชิ้นงานอะลูมิเนียมในขณะที่ตัดได้ โดยต้องทดสอบกับเงื่อนไขการตัดที่หลากหลายเพื่อต้องการการจัดเก็บข้อมูลที่เหมาะสมได้แก่ อัตราป้อนตัด ความเร็วตัด ความลึกในการตัด รัศมีงูมกมิต และอัตราส่วนแรงตัด ซึ่งกรอบแนวคิดงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.2 การติดตั้งไดนาโมมิเตอร์บนเครื่องกลึงซีเอ็นซี



รูปที่ 1.3 กรอบแนวคิดงานวิจัย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความตรงของชิ้นงานอะลูมิเนียมกับอัตราส่วนแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะตัดภายใต้เงื่อนไขการตัดต่างๆ บนเครื่องซีเอ็นซี

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) กระบวนการกลึงปอกผิวด้วยการตัดแบบแห้ง (Dry cutting) โดยใช้เครื่องกลึงซีเอ็นซี 4 แกน ยี่ห้อ MAZAK รุ่น NEXUS 200MY/MSY
- 2) วัดแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะตัดชิ้นงานโดยใช้เซนเซอร์วัดแรง (3-Component Dynamometer) ยี่ห้อ KISTLER รุ่น 9121 ส่งสัญญาณผ่านออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DL750 และขยายสัญญาณผ่านเครื่องขยายสัญญาณ (Charge Amplifier)
- 3) วัดความตรงชิ้นงานโดยเครื่องวัดความขรุขระผิว (Roughness tester) ยี่ห้อ MITUTOYO รุ่น SJ400
- 4) ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองเป็นวัสดุประเภทอะลูมิเนียม (Al 6063) มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 51 มิลลิเมตร และยาว 300 มิลลิเมตร
- 5) ด้ามมีดกลึง (Cutting tool holder) เบอร์ CTGPR 2525M-16N
- 6) มีดสำหรับตัดเป็นแบบคาร์ไบด์เคลือบผิว (Coated Carbide)
- 7) ปัจจัย และระดับปัจจัยสำหรับการทดลอง ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 เงื่อนไขในการตัด

ปัจจัย	ระดับปัจจัย
ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที)	150, 200 และ 250
อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตรต่อรอบ)	0.100, 0.125 และ 0.150
ความลึกตัด (มิลลิเมตร)	0.10, 0.20 และ 0.30
รัศมีจุมุมมีด (มิลลิเมตร)	0.4 และ 0.8

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สมการแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความตรงของชิ้นงานกับอัตราส่วนแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะตัดภายใต้เงื่อนไขการตัดต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความตรงของชิ้นงานในขณะตัด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพทำให้คุณภาพผิวชิ้นงานดีขึ้น เพิ่มอัตราผลผลิต ลดเวลาและลดต้นทุนการผลิตได้

- 2) สามารถนำสมการแบบจำลองไปใช้ในการควบคุมและตรวจสอบความตรงของผิวชิ้นงานในขณะตัดได้
- 3) สามารถพัฒนาเครื่องกลึงซีเอ็นซีอัจฉริยะ เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการตรวจติดตามความตรงของผิวชิ้นงานในขณะตัดสำหรับกระบวนการตัดอื่น ๆ เพื่อรองรับระบบการผลิตอัจฉริยะในอนาคต



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาปัจจัยของกระบวนการกลึงซีเอ็นซีที่มีผลต่อความความตรงผิวของอะลูมิเนียมเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ของความตรงกับแรงตัดในกระบวนการกลึงอะลูมิเนียม ซึ่งได้ค้นคว้าจากทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แนวความคิด และงานวิจัยต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในงานวิจัย ดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 อะลูมิเนียม (Aluminium)

อะลูมิเนียมจัดเป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non-ferrous metals) เป็นธาตุที่พบประมาณร้อยละ 8 ของธาตุทั้งหมด โดยเป็นธาตุที่พบบนพื้นผิวโลกมากที่สุดชนิดหนึ่ง มีคุณสมบัติหลายอย่างคือ แข็งแรง ทนทาน น้ำหนักเบา ความหนาแน่นน้อย ยืดตัวได้ง่าย มีความเหนียวมาก ทนทานต่อการเกิดสนิมและการกัดกร่อนในบรรยากาศ มีความสามารถในการสะท้อนแสงสูงมาก ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ มีค่าการนำความร้อนสูง และนำไฟฟ้าได้ดี โดยคุณสมบัติของอะลูมิเนียม (Aluminium) เกรด Al6063 ที่นำมาใช้ในงานวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Composition) [5]

ส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Composition)	
ซิลิกอน (Si)	0.20 - 0.60
เหล็ก (Fe)	0.35
ไททาเนียม (Ti)	0.10
ทองแดง (Cu)	0.10
แมกนีเซียม (Mg)	0.45 - 0.90
สังกะสี (Zn)	0.10
แมงกานีส (Mn)	0.10
โครเมียม (Cr)	0.10
อื่นๆ	0.05

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties)

คุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties)	
Tensile Strength	130 Max Mpa
Elongation A50 mm	16 Min %
Hardness	25 HB
Elongation A	18 Min %

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)

คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties)	
Density	2700 kg/m ³
Melting Point	600 °C
Modulus of Elasticity	69.5 GPa
Electrical Resistivity	0.035x10 ⁻⁶ Ω.m
Thermal Conductivity	200 W/m.K
Thermal Expansion	23.5 × 10 ⁻⁶ /K

2.1.2 เครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Turning Machine)

ในอุตสาหกรรมการผลิตที่ต้องการความเที่ยงตรง แม่นยำและความสม่ำเสมอของคุณภาพของชิ้นงาน คอมพิวเตอร์ได้มีบทบาทที่สำคัญในการควบคุมการทำงานของเครื่อง ช่วยและเพิ่มผลผลิต ในขณะที่เดียวกันความสามารถในการโปรแกรมเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เครื่องจักรทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

เครื่องจักรกลการผลิตที่มีคอมพิวเตอร์ควบคุม เรียกว่า เครื่องจักรกลซีเอ็นซี (CNC) โดยแยกตามประเภทของเครื่องได้เป็น เครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Turning Machine) และเครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine) เป็นต้น ซึ่ง CNC นั้นมาจากคำว่า Computer Numerical Control คือ เครื่องจักรกลการผลิตที่มีคอมพิวเตอร์ หรือไมโครโปรเซสเซอร์ สำหรับใช้ควบคุมการทำงาน

โดยมี C : Computer หมายถึง คอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งบนเครื่องจักร

N : Numerical หมายถึง ตัวเลข 0-9, ตัวอักษร หรือโค้ด เช่น A,B,C ถึง Z และสัญลักษณ์อื่นๆ เช่น เครื่องหมาย +,- และ %

C : Control หมายถึง การควบคุมโดยกำหนดค่า หรือตำแหน่งจริงที่ต้องการเพื่อให้เครื่องจักรทำงานให้ได้ค่าตามที่กำหนด

เครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะมีคอมพิวเตอร์ที่สามารถเข้าใจตัวเลขและอักษร หรือโปรแกรมที่ป้อนและในขณะที่เดียวกันจะใช้คอมพิวเตอร์สำหรับการควบคุมเครื่องจักรจากคำสั่ง หรือโค้ดในโปรแกรมที่ป้อนให้

ดังนั้นเครื่องจักรกลการผลิต คือเครื่องจักรที่ทำการขึ้นรูปทรงของชิ้นงาน หรือตัดเฉือน (Machining) โดยกรรมวิธีการกำจัดวัสดุออก (Material Removal) จากชิ้นงาน ซึ่งได้แก่ การกลึง (Turning) การเจาะ (Drilling) การกัด (Milling) เป็นต้น

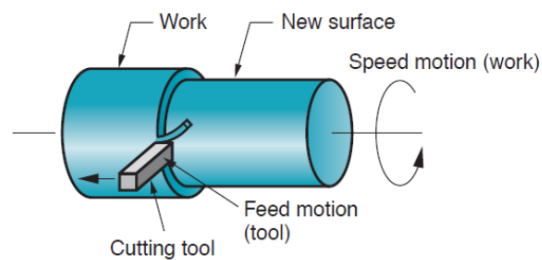


รูปที่ 2.1 เครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Turning Machine)

2.1.3 กระบวนการตัดเฉือน (Machining Process) [6]

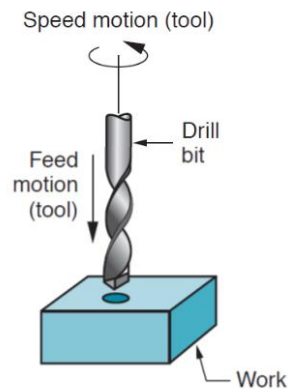
กระบวนการตัดเฉือน (Machining Process) เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้เครื่องมือตัดหรือมีดตัด (Cutting tool) ตัดเนื้อวัสดุที่ไม่ต้องการออกจากชิ้นงานซึ่งเรียกว่าเศษโลหะ (Chip) เมื่อเศษโลหะถูกตัดออกจากชิ้นงานจะเกิดผิวชิ้นงานใหม่มีรูปร่างตามที่ต้องการ กระบวนการตัดเฉือนนี้ใช้ในการผลิตชิ้นงานโลหะให้มีรูปร่างต่างๆ และถือเป็นกระบวนการผลิตที่สำคัญมากอย่างหนึ่งโดยมีอยู่ 3 ประเภทหลักๆ คือ การกลึง (Turning) การเจาะ (Drilling) และ การกัด (Milling)

1) การกลึง (Turning) ใช้เครื่องมือตัดที่มีคมตัดเดียว (Single cutting edge) ในการปอกเนื้อวัสดุจากชิ้นงานที่กำลังหมุน (Speed motion) และทำให้เกิดชิ้นงานรูปทรงกระบอก (Cylindrical shape) ความเร็วในการตัดถูกกำหนดโดยความเร็วของการหมุนชิ้นงาน ส่วนอัตราการป้อนตัด (Feed motion) คือการเคลื่อนที่ช้าๆของมีดตัดในทิศทางขนานกับแกนหมุน (Axis of rotation) ของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 2.2



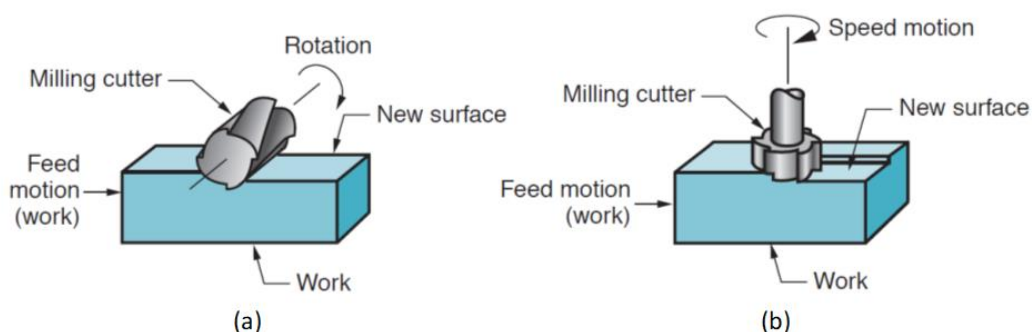
รูปที่ 2.2 การกลึง (Turning)

2) การเจาะ (Drilling) ใช้ในการผลิตรูกลม (Round hole) ซึ่งทำได้โดยการใช้เครื่องมือตัดที่มีสองคมตัด (Two cutting edges) เครื่องมือตัดจะเคลื่อนที่ในทิศทางที่ขนานกับแกนการหมุน (Rotation of axis) ของชิ้นงานและเจาะลงไปบนชิ้นงานทำให้เกิดรูกลวง ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเจาะ (Drilling)

3) การกัด (Milling) จะใช้เครื่องมือตัดที่มีหลายคมตัด (Multiple cutting edges) มีดตัดจะหมุนและเคลื่อนที่ช้าๆสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของชิ้นงานทำให้เกิดระนาบของผิวงานใหม่ ทิศทางการป้อน (Feed direction) ของชิ้นงานจะตั้งฉากกับแกนการหมุนของเครื่องมือตัด ในขณะที่การหมุนของใบมีดตัดถูกกำหนดด้วยความเร็ว (Speed) การกัดขึ้นรูปมีหลายประเภท แต่ที่นิยมใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายมี 2 วิธี ได้แก่ Peripheral milling และ Face milling ดังแสดงในรูปที่ 2.4

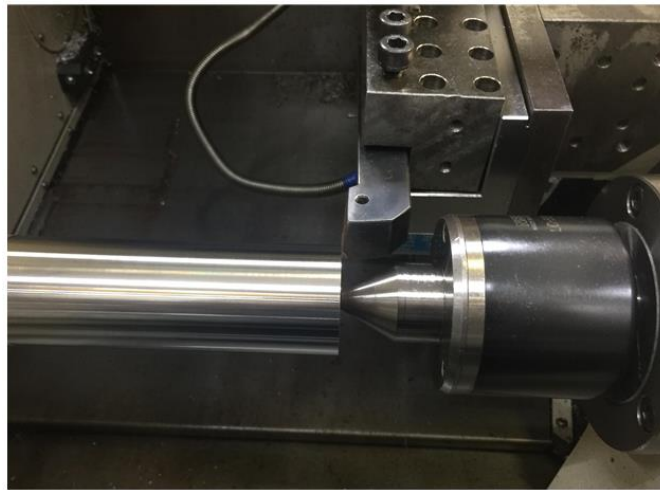


รูปที่ 2.4 การกัด (Milling) : (a) Peripheral milling (b) Face milling

นอกเหนือจากการกลึง การเจาะ และการกัดขึ้นรูปแล้ว ยังมีกระบวนการกัดรูปแบบอื่นๆ ที่เป็นพื้นฐานในงานอุตสาหกรรม เช่น การไส (Shaping and planing) การแทงขึ้นรูป (Broaching) และการเลื่อย (Sawing) รวมถึงกระบวนการที่ใช้ผงขัด (Abrasive) ในการกัดวัสดุเช่น การเจียรระไน (Grinding)

2.1.4 กระบวนการกลึง (Turning Process)

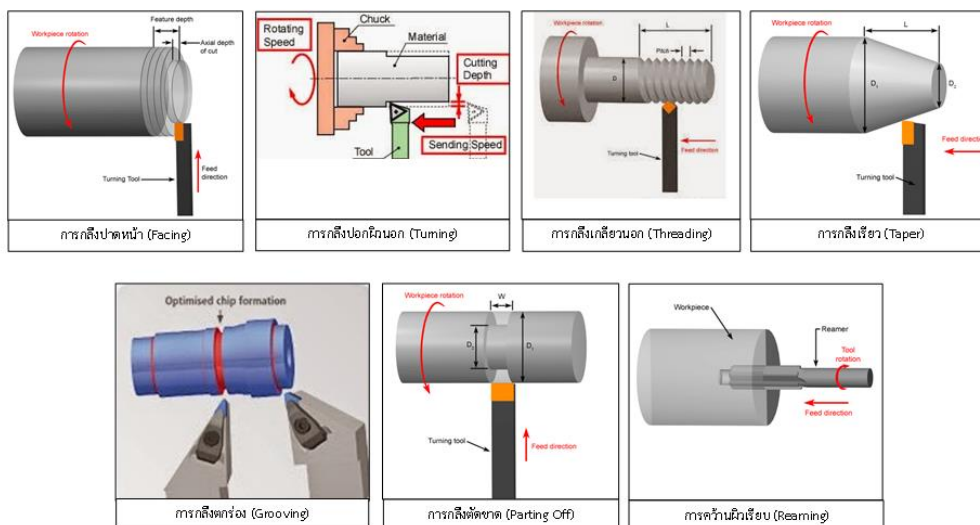
กระบวนการกลึงเป็นกระบวนการตัดแบบต่อเนื่อง (Continuous Cut) แบบใช้คมตัดเดี่ยว (Single Point Tool) โดยชิ้นงานจะเป็นทรงกระบอกหมุนรอบตัวเอง มีดตัดจะเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน และขนานไปกับแกนหมุนเพื่อตัดผิวชิ้นงานด้านนอกออกสามารถลดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานลงได้ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการของการกลึงคือ อัตราป้อน (Feed Rate), ความเร็วตัด (Cutting Speed), ระยะป้อนลึก (Depth of Cut), มีดกลึง (Cutting Tool), ชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Workpiece), ขนาดของชิ้นงาน (Workpiece Dimension), ความละเอียดของผิวชิ้นงาน (Surface Roughness), การสึกหรอของมีดกลึง (Tool Wear) และเศษโลหะ (Chip)



รูปที่ 2.5 กระบวนการกลึง

ประเภทของการกลึงแบ่งออกตามลักษณะรูปร่างและการขึ้นรูปของการกลึง แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่มดังนี้

- 1) การกลึงผิวนอก (External Cuts) เช่น การกลึงปาดหน้า (Facing) การกลึงปอกผิวนอก (Turning) การกลึงเกลียวนอก (Threading) การกลึงร่อง หรือกลึงตกร่อง (Grooving) การกลึงร่องที่ผิวหน้า (Face Grooving) การกลึงเทเปอร์ หรือกลึงเรียว (Taper)
- 2) การกลึงภายใน (Internal Cuts) เช่น การเจาะรู (Drilling) การคว้านผิวเรียบ (Reaming) การกลึงร่องใน (Recessing) การคว้านรูใหญ่ (Boring) การกลึงเกลียวใน หรือตีป (Tapping) การกลึงตัดขาด (Parting Off)
- 3) งานกลึงพิเศษ เป็นการกลึงที่มีการใช้อุปกรณ์เสริมอื่นๆ เช่น ตัวขึ้นสาย หรือกรณีที่มีงานกัด (Milling) เข้ามาผสมด้วย หรือเรียกเป็นงาน Mill-Turn โดยเครื่องกลึงและเครื่องกัด



รูปที่ 2.6 การกลึงประเภทต่างๆ

2.1.5 เครื่องมือตัดหรือมีดตัด (Cutting Tool)

กระบวนการตัดโลหะต้องอาศัยเครื่องมือตัดหรือมีดตัดในการกำจัดเนื้อโลหะออกจากชิ้นงาน แรงในการตัด และอุณหภูมิการตัดที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการตัดที่มีค่าสูงเป็นผลต่อความสามารถในการใช้งานของเครื่องมือตัด โดยถ้าค่าแรงตัดมีค่าสูงมากเกินไปจะทำให้เกิดการแตกหักของมีดตัด และถ้าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการตัดมีค่าสูงเกินไปจะมีผลให้มีดตัดอ่อนตัวลงและไม่สามารถใช้งานได้ หรือถึงแม้สภาวะทั้งสองไม่เกิดขึ้นแต่การสึกหรอของมีดตัดเนื่องจากการใช้งานต่อเนื่องเป็นเวลานานก็เป็นผลให้มีดตัดนั้นใช้งานไม่ได้เช่นกัน

การพิจารณาเทคโนโลยีการตัดจะให้ความสนใจหลักพื้นฐาน 2 อย่างคือวัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด (Tool Material) จะเน้นที่การพัฒนาวัสดุที่สามารถทนแรง อุณหภูมิ และการสึกหรอในงานกัดโลหะได้ ส่วนหลักพื้นฐานข้อที่สองคือรูปร่างของเครื่องมือตัด (Tool Geometry) จะเกี่ยวข้องกับการพิจารณารูปร่างที่เหมาะสมของเครื่องมือตัดเมื่อใช้วัสดุและกระบวนการตัดต่างๆ กัน

2.1.5.1 วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด (Tool Material)

วัสดุที่จะใช้ทำมีดตัดมีคุณสมบัติที่สำคัญ 3 ประการดังนี้

- 1) ความแกร่ง (Toughness) เป็นความสามารถของวัสดุที่จะรับพลังงานโดยไม่เกิดการพังหรือแตกหัก วัสดุที่จะใช้ทำมีดตัดควรมีลักษณะผสมระหว่างความแข็งแรง (Strength) และความเหนียว (Ductility)

2) ความแข็ง (Hot Hardness) เป็นความสามารถของวัสดุที่จะยังคงความแข็งไว้ได้ที่อุณหภูมิสูง

3) ความทนทานต่อการสึกหรอ (Wear Resistance) เป็นความสามารถของวัสดุในการต้านทานการสึกหรอ ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดในการต้านทานการสึกหรอคือ ความแข็ง

วัสดุที่ใช้ทำมีดตัดควรมีคุณสมบัติสำคัญทั้ง 3 ประการข้างต้น จะมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุที่เลือกมาใช้ วัสดุที่นิยมนำมาใช้ทำมีดตัด ได้แก่ เหล็กกล้าคาร์บอน (Plain Carbon And Low Alloy Steels) เหล็กกล้าความเร็วสูง (High-Speed Steel, HSS) โลหะผสมโคบอลท์ (Cast Cobalt Alloys) ซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cemented Carbides, Cermets) เซรามิกส์ (Ceramics) เพชร (Synthetic Diamond) เป็นต้น



รูปที่ 2.7 ต้ามีดตัด (Tool holder) และเม็ดมีด (Insert)

วัสดุที่ใช้สำหรับการทำเม็ดมีดมีดังต่อไปนี้

1) เหล็กกล้าคาร์บอน หรือเหล็กกล้าที่มีส่วนผสมของโลหะผสมอื่นๆ ต่ำ (Plain Carbon and Low-alloy Tool Steels) เป็นวัสดุชนิดแรกๆ ที่ถูกพัฒนาใช้ทำมีดตัดก่อนที่จะมีการพัฒนาเหล็กกล้าความเร็วสูง เหล็กกล้าคาร์บอนที่จะใช้ในการตัดสามารถทำให้มีความแข็งสูงถึง 60 Rockwell C แต่ในปัจจุบันไม่ค่อยนิยมใช้ในอุตสาหกรรมเนื่องจากทำงานได้ไม่ดีในสภาวะการตัดที่เกิดความร้อนสูง ยกเว้นในงานที่มีความเร็วในการตัดต่ำๆ

2) เหล็กกล้าความเร็วสูง (High-Speed Steel, HSS) จะมีส่วนผสมของโลหะผสมมากขึ้นทำให้สามารถคงความแข็งของวัสดุได้ดีที่อุณหภูมิสูงเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าคาร์บอน จึงสามารถใช้งานที่ความเร็วตัดสูงๆ ได้ เหล็กกล้าความเร็วสูงมีหลายชนิดแต่สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ โดยสถาบันเหล็กกล้าอเมริกัน (AISI) ได้แก่ ชนิดที่ผสมทังสแตน (Tungsten Type) เรียกว่า เหล็กเกรดที (T-Grades) และชนิดที่ผสมโมลิบดีนัม (Molybdenum Type) เรียกว่า เหล็กเกรดเอ็ม (M-Grades)

3) โลหะผสมโคบอลท์ (Cast Cobalt Alloys) จะประกอบไปด้วย โคบอลท์ประมาณ 40 – 50% โครเมียมประมาณ 25 -35% ทังสแตนประมาณ 15 - 20% และโลหะผสมอื่นๆ เครื่องมือ

ตัดหรือมีดตัดที่ทำจากวัสดุชนิดนี้จะถูกผลิตให้มีรูปร่างที่ต้องการด้วยกระบวนการหล่อในแม่พิมพ์กราไฟต์แล้วทำการเจียรระโนให้มีรูปร่างและความคมตามต้องการ คุณสมบัติในการทนการสึกหรอ (Wear Resistance) จะมีค่าสูงกว่าเหล็กกล้าความเร็วสูงแต่ไม่ดีเท่าซีเมนต์คาร์ไบด์ คุณสมบัติเรื่องความแกร่ง (Toughness) จะสูงกว่าซีเมนต์คาร์ไบด์แต่ไม่ดีเท่าเหล็กกล้าความเร็วสูง ส่วนค่าความแข็งในการทำงานในสภาวะที่มีความร้อนสูง (Hot Hardness) ของโลหะผสมโคบอลท์จะมีค่าอยู่ระหว่างวัสดุทั้งสอง มีดตัดที่ทำจากวัสดุชนิดนี้จะเหมาะกับการกัดหยาบ (Heavy Roughing Cuts) ที่ความเร็วสูงกว่า มีดตัดที่ทำจากเหล็กกล้าความเร็วสูงและที่อัตราการป้อนสูงกว่ามีดตัดที่ทำจากซีเมนต์คาร์ไบด์และสามารถใช้ตัดหรือกัดชิ้นงานที่ทำจากทั้งโลหะและอโลหะ รวมถึงพลาสติกและกราไฟต์ ปัจจุบันมีดตัดที่ทำจากโลหะผสมโคบอลท์มีความสำคัญน้อยกว่ามีดตัดที่ทำจากเหล็กกล้าความเร็วสูง และซีเมนต์คาร์ไบด์

4) ซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cemented Carbides) เป็นกลุ่มของวัสดุที่ทำจากทั้งสแตนคาร์ไบด์ (WC) โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปด้วยโลหะผง (Powder Metallurgy Technique) โดยมีโคบอลท์เป็นวัสดุประสาน รวมถึงอาจมีส่วนผสมอื่นๆ เช่น ไททาเนียมคาร์ไบด์ (TiC) และ แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ในช่วงแรกของการทำมีดตัดจากซีเมนต์คาร์ไบด์ส่วนผสมหลักจะเป็นทั้งสแตนคาร์ไบด์และโคบอลท์ ซึ่งสามารถใช้ในการกัดชิ้นงานเหล็กหล่อและชิ้นงานที่ไม่ใช่โลหะเพราะสามารถใช้งานที่ความเร็วตัดสูงกว่ามีดตัดที่ทำจากเหล็กกล้าความเร็วสูงและโลหะผสมโคบอลท์ แต่พบว่าการสึกหรอแบบ crater wear เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้อายุการใช้งานของมีดตัดที่ทำจากซีเมนต์คาร์ไบด์ในยุคแรกๆ ค่อนข้างสั้นและไม่เหมาะกับการตัดชิ้นงานที่ทำจากเหล็ก จากนั้นมีการค้นพบส่วนผสมที่ทำให้การสึกหรอลดลงได้แก่ การเติมไททาเนียมคาร์ไบด์ (TiC) และแทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) ซึ่งส่วนผสมใหม่นี้สามารถใช้ในการตัดหรือกัดชิ้นงานที่ทำจากเหล็กได้ด้วย ดังนั้นซีเมนต์คาร์ไบด์จึงสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

1) เกรดที่ใช้ตัดชิ้นงานที่ไม่ใช่เหล็ก (Non-Steel Cutting Grade) เช่น อะลูมิเนียม ทองเหลือง ทองแดง แมกนีเซียม เหล็กหล่อ จะมีส่วนผสมหลักคือ ทั้งสแตนคาร์ไบด์และโคบอลท์ (WC-Co)

2) เกรดที่ใช้กับชิ้นงานที่ทำจากเหล็ก (Steel Cutting Grade) เช่น เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ สแตนเลส หรือโลหะผสมกลุ่มเหล็กอื่นๆ จะเพิ่มส่วนผสมอีกสองอย่างคือ ไททาเนียมคาร์ไบด์ (TiC) และ แทนทาลัมคาร์ไบด์ (TaC) คุณสมบัติของซีเมนต์คาร์ไบด์ทั้งสองเกรดจะคล้ายๆ กัน ได้แก่

- มีค่าความทนแรงอัดสูง (High Compressive Strength) แต่มีค่าความทนแรงดึงต่ำถึงปานกลาง (Low-To-Moderate Tensile Strength)

- ความแข็งสูง (High Hardness)
- ความแข็งในการทำงานที่อุณหภูมิสูงมีค่าสูง (High Hot Hardness)
- ความทนต่อการสึกหรอสูง (High Wear Resistance)
- ค่าการนำความร้อนสูง (High Thermal Conductivity)
- ค่าโมดูลัสของอีลาสติคสูง (High Modulus Of Elasticity)
- ค่าความแกร่ง (Toughness) ต่ำกว่าเหล็กกล้าความเร็วสูง

คาร์ไบด์เคลือบผิว (Coated Carbides) เป็นซีเมนต์คาร์ไบด์ที่เคลือบผิวบางๆ ด้วยวัสดุที่ทนต่อการสึกหรอเช่นไททานเนียมคาร์ไบด์ ไททานเนียมไนไตรด์ และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ความหนาของการเคลือบจะบางมากอยู่ในช่วง 0.0001 – 0.0005 นิ้ว (2.5-13 μm) เนื่องจากพบว่า การเคลือบที่หนาเกินไปจะทำให้วัสดุเปราะและแตกง่าย มีดตัดที่ทำจากวัสดุชนิดนี้นิยมใช้กับชิ้นงานที่ทำจากเหล็กหล่อและเหล็กกล้าในกระบวนการกลึงและกระบวนการกัดโดยใช้ความเร็วสูง ในระยะหลังมีการพัฒนาวัสดุให้ใช้งานกับโลหะนอกกลุ่มเหล็กได้โดยการเคลือบด้วยวัสดุต่างชนิดกัน เช่น โครเมียมคาร์ไบด์ (CrC) เซอร์โคเนียมไนไตรด์ (ZrN) และเพชร (Diamond) ซึ่งจะช่วยให้อายุการใช้งานของมีดตัดได้

5) เซรามิกส์ (Ceramics) เป็นวัสดุที่มีส่วนผสมหลักคือ อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ที่มีเกรนละเอียดมากในปริมาณ 99% โดยประมาณ และอาจมีออกไซด์ชนิดอื่นๆ ผสมอยู่ด้วยเล็กน้อย เช่น เซอร์โคเนียมออกไซด์ (Zirconium Oxide) เซรามิกส์ถูกผลิตโดยกระบวนการกดอัดขึ้นรูปที่ความดันและอุณหภูมิสูงโดยไม่ต้องใช้วัสดุประสาน (Sintering Process) มีดตัดที่ทำจากเซรามิกส์จะใช้งานได้ดีเยี่ยมในการกลึงเหล็กหล่อและเหล็กกล้าที่ความเร็วสูง โดยเฉพาะในการกลึงละเอียดซึ่งจะให้ผิวชิ้นงานที่ดีมาก แต่ไม่เหมาะสมอย่างยิ่งในการกัดหยาบเนื่องจากมีค่าความแกร่ง (Toughness) ต่ำ นอกจากนี้มีดตัดที่มีส่วนผสมของอะลูมิเนียมออกไซด์มักถูกใช้อย่างแพร่หลายในงานขัดละเอียด (Abrasive) เช่นการเจียรระโน

6) เพชรสังเคราะห์ (Synthetic Diamonds) เพชรนับเป็นวัสดุที่มีความแข็งที่สุด จากการวัดค่าความแข็งพบว่าเพชรจะมีค่าความแข็งมากกว่าทั้งสแตนคาร์ไบด์และอะลูมิเนียมออกไซด์ประมาณ 3 – 4 เท่า เนื่องจากความแข็งเป็นคุณสมบัติสำคัญประการหนึ่งของมีดตัดที่ดีทำให้เพชรเป็นหนึ่งในวัสดุที่ถูกพิจารณานำมาใช้ งาน กระบวนการผลิตมีดตัดที่ทำจากเพชรสังเคราะห์ทำได้โดยกระบวนการกดอัดขึ้นรูปเพชรที่มีเกรนละเอียดมากที่ความดันและอุณหภูมิสูงโดยไม่ต้องใช้วัสดุประสาน สำหรับการใช้งานของมีดตัดที่ทำจากเพชรจะนิยมใช้ในการกัดชิ้นงานที่ไม่ใช่เหล็กที่ความเร็ว

สูงและใช้ในการขัดผิวชิ้นงานที่ไม่ใช่โลหะเช่น ไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) และกราไฟต์ ส่วนชิ้นงานที่ทำจากเหล็กไม่ค่อยนิยมใช้กับมิตตัดชนิดนี้เนื่องจากจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างเหล็กกับคาร์บอนในเพชร

7) คิวบิกโบรอนไนไตรด์ (Cubic Boron Nitride, CBN) เป็นวัสดุที่มีความแข็งรองลงมาจากเพชร กระบวนการผลิตจะเหมือนกันคือใช้การกดอัดที่ความดันและอุณหภูมิสูง โดยปกติมักใช้ในการเคลือบผิวมิตตัดที่ทำจากซีเมนต์คาร์ไบด์ และเนื่องจาก CBN จะไม่ทำปฏิกิริยากับเหล็กและนิกเกิลเหมือนกับเพชร ทำให้เป็นที่นิยมใช้ในการกัดชิ้นงานที่ทำจากเหล็กกล้าและโลหะผสมนิกเกิล

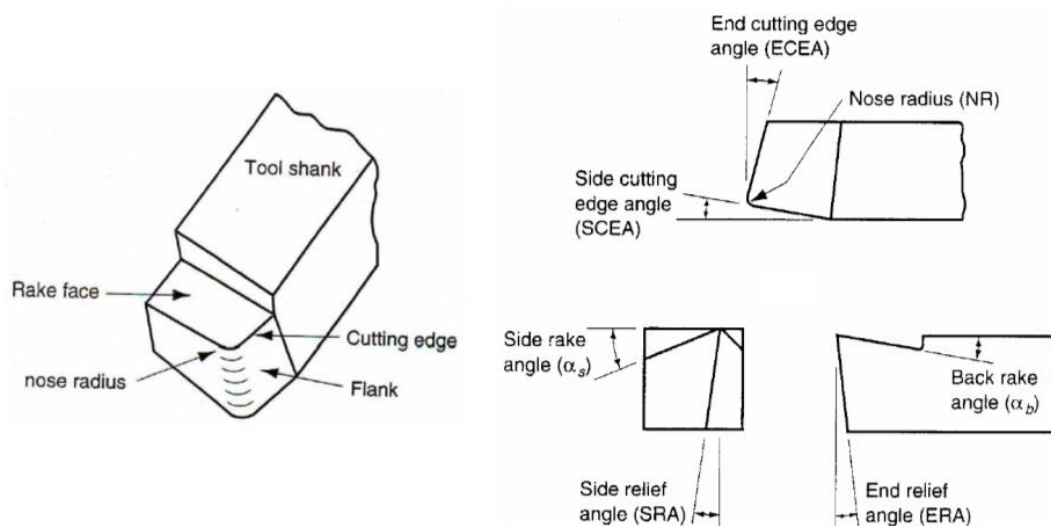
2.1.7.1 รูปร่างของเครื่องมือตัด (Tool Geometry)

มิตตัดสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ มิตตัดคมเดียว (Single-Point Tools) ใช้ในกระบวนการกลึง (Turning) การคว้าน (Boring) การไสยาว (Planing) และการไส (Shaping) และมิตตัดหลายคม (Multiple-Cutting-Edge Tools) จะใช้กับมิตตัดที่มีการหมุน เช่น การเจาะ (Drilling) การคว้านละเอียด (Reaming) การกัด (Milling) การแทงขึ้นรูป (Broaching) และการเลื่อย (Sawing) เป็นต้น

ในเรขาคณิตมิตตัดคมเดียวบริเวณบนผิวคายเศษวัสดุจะเรียกว่า Rake Face มีมุมสำคัญ 2 มุมคือมุมคายเศษวัสดุหลัง (Back Rake Angle, α_b) และมุมคายเศษวัสดุข้าง (Side Rake Angle, α_s) ซึ่งมุมทั้งสองนี้จะใช้ในการกำหนดทิศทางการไหลของเศษโลหะบนบนผิวคายเศษวัสดุ ส่วนผิวหลบของมิตตัด (flank) จะประกอบด้วยมุม 2 มุมคือมุมหลบปลาย (End Relief Angle, ERA) และมุมหลบข้าง (Side Relief Angle, SRA) ซึ่งมุมทั้งสองนี้จะใช้บอกขนาดของระยะเผื่อ (Clearance) ระหว่างมิตตัดกับผิวของชิ้นงาน มุมของคมตัดในมิตตัดคมเดียวจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือมุมข้างคมตัด (Side Cutting Edge) และมุมปลายคมตัด (End Cutting Edge) ซึ่งแยกออกจากกันที่ส่วนมุมของมิตตัด (Tool Point) ที่มีรัศมีคงที่ค่าหนึ่งเรียกว่ารัศมีจุมมิตตัด (Nose Radius, NR) สำหรับมุมที่เรียกว่า Side Cutting Edge Angle (SCEA) เป็นตัวช่วยในการลดแรงที่มีดกระทำต่อชิ้นงาน ส่วน End Cutting Edge Angle (ECEA) เป็นมุมที่ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างหน้ามิตกับผิวของชิ้นงานซึ่งช่วยลดการขัดถูและความเสียหายที่เกิดขึ้นระหว่างมิตตัดกับชิ้นงาน

เมื่อพิจารณาลักษณะการตัดที่มุมคายเศษวัสดุหลังเท่ากับศูนย์ จะมีมุมคายเศษวัสดุข้างของมิตตัดด้วยกัน 3 แบบคือ มิตตัดมุมคายบวก (Positive) เป็นกลาง (Neutral) เมื่อค่ามุมคายเศษวัสดุข้างเป็นศูนย์ หรือมิตตัดมุมคายลบ (Negative) โดยจะอ้างอิงจากหน้ามุมคายเศษวัสดุข้างเอียงทำมุมกับเส้นตั้งฉากกับคมตัดในขณะกลึง โดยมุมคายเศษวัสดุข้างที่เป็นบวก (Positive Rake Angle) จะให้มุมเฉือนที่มากกว่า ซึ่งจะช่วยให้ลดแรงในการตัดลงได้ แล้วยังทำให้ผิวของชิ้นงานสำเร็จที่ดีกว่าด้วย

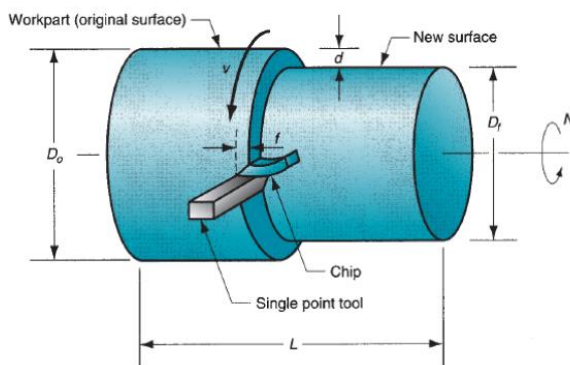
เนื่องจากทำให้เศษโลหะไหลออกจากชิ้นงานได้ดี มีดตัดที่มุมคายเศษวัสดุข้างเป็นลบ (Negative Rake Angle) แรงตัดที่เกิดขึ้นจะสูงกว่ามีดตัดแบบบวกสำหรับการตัดแบบเดียวกัน เพราะว่ามีดตัดที่มุมคายเป็นลบจะทำให้มุมเฉือนลดลง โดยรูปร่างของมีดตัดคมเดียว (Single-Point Tool Geometry) และรายละเอียดเรขาคณิตแสดงได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เรขาคณิตของมีดตัดคมเดียว

2.1.6 เงื่อนไขในการตัด (Cutting Condition)

นอกจากการคัดเลือกมีดตัดที่นำมาใช้งานที่กล่าวมานั้น ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมต่อเงื่อนไขในการตัด (Cutting Condition) ด้วย เพื่อให้กระบวนการตัดเฉือนมีประสิทธิภาพและยืดอายุการใช้งานของมีดตัด เนื่องจากวัสดุมีดหรือเม็ดมีดที่จะนำมาตัดต้องมีคุณสมบัติแข็งสูงกว่าเนื้อวัสดุชิ้นงานจึงจะทำให้ตัดเฉือนได้ รวมทั้งวัสดุของชิ้นงานก็แตกต่างกันไป นอกจากนั้นความต้องการผิวชิ้นงานก็แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของงานที่นำไปใช้ ดังนั้นความเร็วรอบการหมุนของชิ้นงานและอัตราการป้อนตัด ก็จะแตกต่างกันออกไปเพื่อจะให้งานมีคุณภาพสูง และอายุการใช้งานของมีดตัดเฉือนยาวนานทำงานได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นต้องมีการศึกษาเงื่อนไขในการตัดที่เกี่ยวกับการเลือกใช้ความเร็วตัด (Cutting Speed) อัตราป้อนตัด (Feed Rate) ความลึกในการตัด (Depth of Cut) และมุมคายเศษวัสดุ (Rake Angle) ให้ถูกต้องเหมาะสม



รูปที่ 2.9 แสดงสัญลักษณ์เงื่อนไขการตัดของกระบวนการกลึง

จากรูปที่ 2.9 สามารถศึกษาเงื่อนไขในการตัดของกระบวนการกลึงได้ดังนี้

- 1) ความเร็วตัด (Cutting Speed, v) หมายถึงความยาวของเนื้อโลหะที่ถูกตัดเฉือนผ่านปลายมีดตัดในระยะเวลา 1 นาที จะมีความยาวเป็น 1 เมตร มีหน่วยเมตรต่อนาที (m/min) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$v = \frac{\pi N D_o}{1000} \quad (2.1)$$

โดยที่	v	=	ความเร็วตัด (Cutting Speed, m/min)
	N	=	ความเร็วรอบ (Spindle Speed, rev/min)
	D_o	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานก่อนตัด (Original Diameter, mm)

องค์ประกอบที่ส่งผลต่อความเร็วตัดมีดังนี้

- วัสดุที่ทำเครื่องมือตัดเฉือน (มีดมีด)
- ชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิตชิ้นงาน ถ้าวัสดุชิ้นงานแข็งมากจะใช้ความเร็วตัดช้าวัสดุที่อ่อนกว่า
- รูปร่างของคมตัด ขึ้นอยู่กับการออกแบบว่าเหมาะสมกับงานชนิดใด เช่น มีดตัดขาด (Parting-off) จะใช้ความเร็วรอบต่ำกว่ามีดปลอกผิวงาน
- ความลึกในการตัด ถ้ากลึงผิวหน้าจะใช้ความเร็วรอบน้อยกว่ากลึงผิวตั้ง
- อัตราป้อน ในการกลึงหยาบจะใช้อัตราป้อนตัดสูง ดังนั้นความเร็วตัดที่ใช้จะต่ำ ส่วนงานกลึงละเอียดจะใช้อัตราป้อนตัดต่ำแต่จะใช้ความเร็วตัดสูง
- การระบายความร้อน ความเร็วตัดของวัสดุงานชนิดอาจเพิ่มให้สูงขึ้นได้ เมื่อมีการระบายความร้อนที่ถูกต้อง จะใช้สารระบายความร้อนซึ่งจะช่วยรักษาอุณหภูมิของคมตัดไม่ให้สูงเกินไปในขณะทำงาน

- การจับชิ้นงานที่มั่นคงแข็งแรง ชิ้นงานที่จับโผล่ออกมาสั้นๆ จะใช้ความเร็วได้สูงกว่าชิ้นงานที่ถูกจับยาว
- ความสามารถและสภาพของเครื่องจักร เครื่องจักรที่แข็งแรงมีกำลังขับสูงจะสามารถใช้ความเร็วตัดได้สูง

2) ความเร็วรอบ (Spindle Speed, n) หมายถึงจำนวนรอบที่ชิ้นงานหมุนในเวลา 1 นาที มีหน่วยเมตรต่อนาที (mm/rev) โดยคำนวณได้ดังนี้

$$\text{จาก} \quad v = \frac{\pi N D_o}{1000}$$

$$\text{จะได้} \quad N = \frac{1000v}{\pi D_o} \quad (2.2)$$

โดยที่

v	=	ความเร็วตัด (Cutting Speed, m/min)
N	=	ความเร็วรอบ (Spindle Speed, rev/min)
D_o	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานก่อนตัด (Original Diameter, mm)

3) อัตราป้อนตัด (Feed Rate, f) หมายถึงความเร็วของการเดินของมีดตัดไปตามความยาวของชิ้นงานในแต่ละรอบของการหมุนของชิ้นงาน (Spindle) เป็นความยาวต่อรอบมีหน่วยมิลลิเมตรต่อรอบ (mm/rev) หรือความเร็วการตัดเข้าชิ้นงานสำหรับเครื่องกัด มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อนาที (mm/min) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$f_r = Nf \quad (2.3)$$

โดยที่

f_r	=	อัตราป้อนตัดเชิงเส้น (Feed Rate, mm/min)
N	=	ความเร็วรอบ (Spindle Speed, rev/min)
f	=	อัตราป้อนตัด (Feed, mm/rev)

4) ความลึกในการตัด (Depth of Cut, d) หมายถึงระยะลึกในการตัดชิ้นงานในแต่ละครั้ง มีหน่วยมิลลิเมตร (mm) ในกรณีที่ใช้ความลึกในการตัดมาก และใช้อัตราป้อนตัดน้อย จะดีกว่าใช้ความลึกในการตัดน้อยและอัตราป้อนตัดสูง ถึงแม้ว่าการไหลของเศษโลหะจะเท่ากัน เนื่องจากความลึกในการตัดมาก จะทำให้คมมีดรับแรงกระจายเต็มหน้า ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับรูปทรงของเม็ดมีดด้วย แต่ตัวเครื่องจักรจะรับภาระมากตามไปด้วย สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$D_o - D_f = 2d \quad (2.4)$$

โดยที่	D_o	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานก่อนตัด (Original Diameter, mm)
	D_f	=	เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานหลังตัด (Final Diameter, mm)
	d	=	ความลึกในการตัด (Depth of Cut, mm)

นอกจากนี้สามารถคำนวณเวลาที่ใช้ในการตัดชิ้นงาน (Time of actual machining) และ อัตราการกำจัดเนื้อวัสดุ (Material Removal Rate) ได้ดังนี้

$$T_m = \frac{L}{f_r} \quad (2.5)$$

โดยที่	T_m	=	เวลาที่ใช้ในการตัดชิ้นงาน (Time of actual machining, min)
	L	=	ความยาวของชิ้นงานทรงกระบอก (Length of the Cylindrical work-part, mm)
	f_r	=	อัตราป้อนตัดเชิงเส้น (Feed Rate, mm/min)

$$MRR = vfd \quad (2.6)$$

โดยที่	MRR	=	อัตราการกำจัดเนื้อวัสดุ (Material Removal Rate, mm ³ /min)
	v	=	ความเร็วตัด (Cutting Speed, m/min)
	f	=	อัตราป้อนตัด (Feed, mm/rev)
	d	=	ความลึกในการตัด (Depth of Cut, mm)

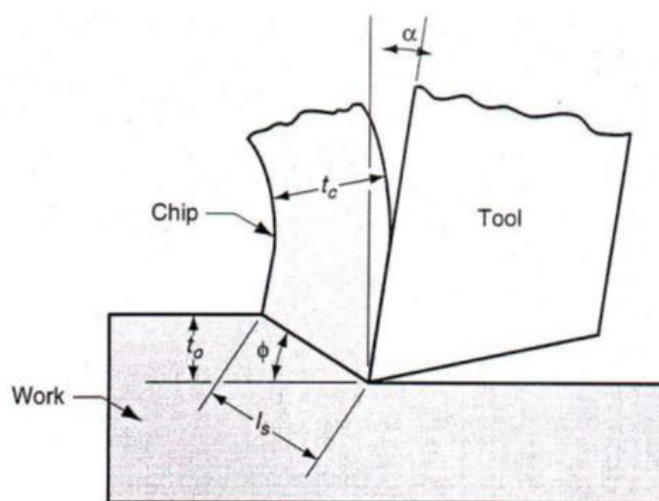
5) มุมคายเศษวัสดุ (Rake Angle) มี 2 ประเภทคือ มุมคายเศษวัสดุเป็นบวก (Positive Rake Angle) และมุมคายเศษวัสดุเป็นลบ (Negative Rake Angle) โดยมุมคายเศษวัสดุเป็นบวกจะทำให้มุมเฉือนที่มากกว่า ซึ่งจะช่วยให้ลดแรงในการตัดลงได้ และยังทำให้ผิวของชิ้นงานสำเร็จที่ดีกว่าด้วย เนื่องจากทำให้เศษโลหะไหลออกจากชิ้นงานได้ดี ส่วนมุมคายเศษวัสดุเป็นลบ (Negative Rake Angle) จะมีแรงตัดสูงกว่าแบบบวก เพราะมีดตัดที่มุมคายเป็นลบจะทำให้มุมเฉือนลดลง

เนื่องด้วยงานวิจัยนี้ชิ้นงานที่ใช้เป็นวัสดุประเภทอะลูมิเนียม ถ้าใช้มุมคายเศษวัสดุเป็นลบจะทำให้เกิด Built up edge (BUE) ได้ ดังนั้นเงื่อนไขในการตัดจึงกำหนดให้มุมคายเศษวัสดุที่เป็นบวก (Positive Rake Angle) เท่านั้น

2.1.7 การจำลองกลไกการตัดและการเกิดเศษโลหะ

2.1.7.1 การจำลองของกลไกการตัด (Orthogonal Cutting Model)

การจำลองของกลไกการตัด (Orthogonal Cutting Model) เป็นการอธิบายกลไกของกระบวนการตัดในรูปแบบสองมิติ ซึ่งเป็นการใช้มีดตัดตัดชิ้นงานโดยมีคมตัด (Cutting Edge) อยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางของความเร็วการตัด (Cutting Speed) เมื่อมีดตัดเฉือนลงไปในตัววัสดุจะเกิดเศษโลหะ (Chip) ขึ้นตามแนวระนาบเฉือน (Shear Plane) ที่ทำมุมกับผิวหน้าของชิ้นงานเท่ากับ ϕ จึงเรียกมุมนี้อีกว่า มุมเฉือน (Shear Angle) นอกจากนี้ยังมีมุมคายเศษโลหะ (Rake angle) ที่พิจารณาจากทิศทางของการไหลของเศษโลหะที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานหลัก และมุมหลบ (Relief angle) เป็นมุมระหว่างผิวหลบ (Flank Face) ของมีดตัดกับผิวหน้าใหม่ของชิ้นงาน



รูปที่ 2.10 การจำลองของกลไกการตัด (Orthogonal Cutting Model)

การตัดเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณที่คมตัดสัมผัสกับชิ้นงานและทำให้เกิดเศษโลหะจากชิ้นงานหลักในบริเวณระนาบเฉือนวัสดุจะเกิดการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Deformation) โดยระหว่างการตัดคมตัดจะอยู่ในตำแหน่งต่ำกว่าระดับผิวหน้าชิ้นงานเดิมเป็นระยะเท่ากับความหนาของการตัด (t_0) ส่วนเศษโลหะใหม่ที่เกิดขึ้นตามระนาบเฉือนจะมีความหนาเพิ่มขึ้นเป็น (t_c) ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างความหนาเริ่มต้นและความหนาสุดท้ายนี้จึงเรียกว่า อัตราส่วนเศษโลหะ (Chip Ratio, r) ดังสมการที่

2.7

$$r = \frac{t_o}{t_c} \quad (2.7)$$

โดย r = อัตราส่วนความหนาของเศษโลหะ

t_o = ความลึกของการตัด (มิลลิเมตร)

t_c = ความหนาของเศษโลหะ (มิลลิเมตร)

ค่าอัตราส่วนเศษโลหะจะมีค่าน้อยกว่า 1 เนื่องจากขนาดความหนาของเศษโลหะที่มากกว่าความลึกในการตัด แต่ถ้าค่า r ที่น้อยกว่า 1 มากๆ เช่นมีค่าประมาณ 0.3-0.4 แสดงว่ามุมเฉือนมีค่าน้อย ระบายเฉือนกว้างเกิดจากมุมคายเศษโลหะต่ำ ทำให้ความหนาของเศษโลหะมาก เศษโลหะไหลไม่ดี แรงตัดเกิดสูงในขณะตัดจริง เกิดการสั่นสะเทือนสูง ส่งผลให้ความเรียบผิวชิ้นงานต่ำ แต่ถ้าค่า r มีค่าน้อยกว่า 1 เพียงเล็กน้อยโดยมีค่าประมาณ 0.7-0.8 จะพบว่ามุมเฉือนมีค่ามาก ระบายเฉือนแคบ เกิดจากการมุมคายเศษโลหะสูง เศษโลหะจะยาวและไหลดี ความต้านทานการเคลื่อนที่ของมีดตัดต่ำ แรงตัดน้อย เกิดการสั่นสะเทือนในขณะตัดต่ำ ทำให้ได้ผิวชิ้นงานที่ดี

ถ้ากำหนดให้ l_s คือความยาวของระนาบเฉือน มุมระนาบเฉือนสามารถคำนวณค่าได้ดังนี้

$$l_s = \frac{t_o}{\sin \phi} = \frac{t_c}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (2.8)$$

จะได้ $t_o = l_s \sin \phi$

และ $t_c = l_s \cos(\phi - \alpha)$

ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง Chip thickness ratio, Rake angle และ Relief angle จะเป็น

$$r = \frac{l_s \sin \phi}{l_s \cos(\phi - \alpha)} \quad (2.9)$$

หรือ $\frac{t_o}{t_c} = \frac{\sin \phi}{\cos(\phi - \alpha)} \quad (2.10)$

จาก $\cos(\phi - \alpha) = \cos \phi \cos \alpha + \sin \phi \sin \alpha$

แทนลงในสมการ 2.10

จะได้

$$\tan \emptyset = \frac{\left(\frac{t_0}{t_c} \cos \alpha\right)}{1 - \left(\frac{t_0}{t_c}\right) \sin \alpha} \quad (2.11)$$

และแทนสมการ 2.7 ลงในสมการ 2.11 จะได้

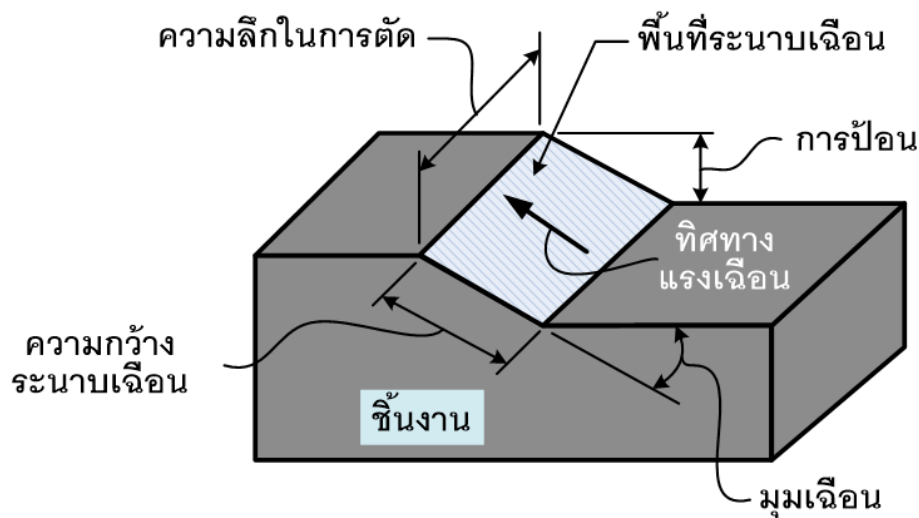
$$\tan \emptyset = \frac{r \cos \alpha}{1 - r \sin \alpha} \quad (2.12)$$

โดย	r	=	อัตราส่วนความหนาของเศษโลหะ
	l_s	=	ความยาวของระนาบเฉือน (มิลลิเมตร)
	t_0	=	ความลึกของการตัด (มิลลิเมตร)
	t_c	=	ความหนาของเศษโลหะ (มิลลิเมตร)
	\emptyset	=	มุมระนาบเฉือน (องศา)
	α	=	มุมคายเศษโลหะ (องศา)

จากสมการที่ 2.12 พบว่าถ้ามุมคายเศษวัสดุมากขึ้น มุมระนาบเฉือนก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น และเศษโลหะจะหนาตกลง ดังนั้นมุมคายเศษโลหะเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อมุมระนาบเฉือน โดยที่มุมระนาบเฉือนสามารถใช้คำนวณหาพื้นที่ระนาบเฉือนได้ดังนี้

$$A_s = \frac{t_0 b}{\sin \emptyset} \quad (2.13)$$

โดย	A_s	=	พื้นที่ระนาบเฉือน (ตารางมิลลิเมตร)
	b	=	ความกว้างของการตัด (มิลลิเมตร)



รูปที่ 2.11 พื้นที่ระนาบเฉือน

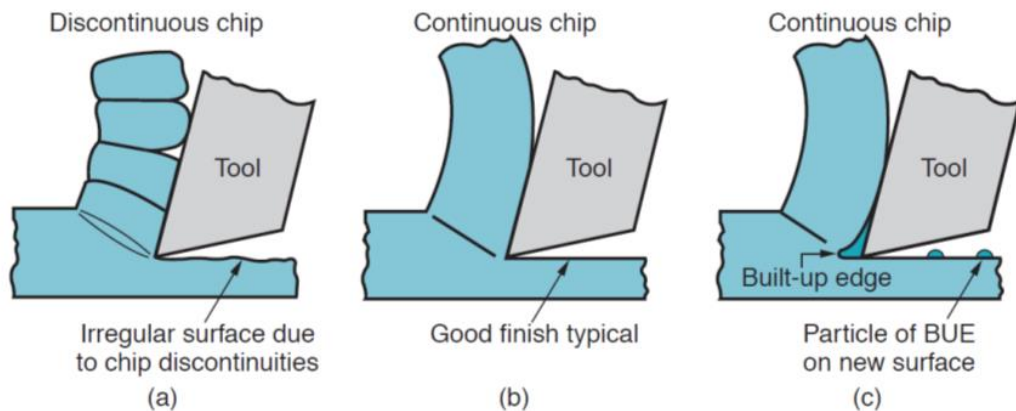
2.1.7.2 การเกิดเศษโลหะ (Formation of the chip)

เศษโลหะสามารถแยกได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

1) เศษโลหะไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous chip) เกิดเมื่อใช้วัสดุเปราะ (Brittle materials) เช่น เหล็กหล่อ (Cast irons) ถูกตัดด้วยความเร็วตัดต่ำ ความเสียดทานระหว่างมีดตัดกับชิ้นงานมีค่าสูง (High tool-chip friction) และอัตราการป้อนตัดและความลึกการตัดมีค่าสูง เศษโลหะที่เกิดขึ้นจะแยกตัวเป็นส่วนๆ (Separated segments) ส่งผลให้ผิวชิ้นงานไม่เรียบ

2) เศษโลหะต่อเนื่อง (Continuous chip) เกิดเมื่อใช้วัสดุเหนียว (Ductile materials) ถูกตัดด้วยความเร็วสูง อัตราการป้อนตัดและความลึกการตัดค่อนข้างต่ำ มักเกิดขึ้นในกรณีที่มีดตัดมีความคมและมีความเสียดทานระหว่างมีดตัดและชิ้นงานต่ำ ส่งผลให้เศษโลหะจะมีลักษณะยาวต่อเนื่องกันและผิวชิ้นงานที่ได้จะเรียบ

3) เศษโลหะต่อเนื่องหลอมติดคมตัด (Continuous chip with built-up edge) เกิดขึ้นเมื่อวัสดุเหนียวถูกตัดด้วยความเร็วต่ำถึงปานกลาง ความเสียดทานระหว่างมีดตัดและชิ้นงานทำให้เนื้อวัสดุบางส่วนเกาะติดกับผิวหน้าชิ้นงาน (Rake face) ของมีดตัด ลักษณะนี้จึงเรียกว่า Built-up edge (BUE) ซึ่ง BUE ส่วนใหญ่จะถูกกำจัดออกไปกับเศษโลหะแต่ส่วนที่เหลืออยู่และเกาะติดกับผิวหน้าของชิ้นงานจะทำให้ผิวชิ้นงานมีลักษณะขรุขระ ไม่เรียบ



รูปที่ 2.12 การเกิดเศษโลหะ 3 ประเภท

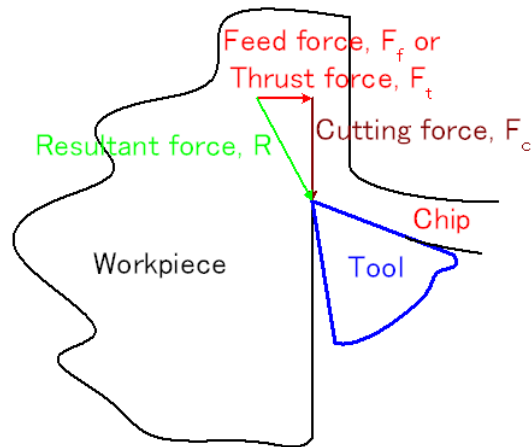
- (a) เศษโลหะไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous chip) (b) เศษโลหะต่อเนื่อง (Continuous chip)
 (c) เศษโลหะต่อเนื่องหลอมติดคมตัด (Continuous chip with built-up edge)

2.1.8 แรงตัดและสัญญาณแรงตัด

2.1.8.1 แรงตัด

1) แรงบนคมตัด

แรงบนคมตัด หมายถึง แรงที่กระทำบนคมตัดของมีดตัดในขณะที่เกิดการตัดเฉือนเนื้อโลหะ โดยจะเปลี่ยนรูปเป็นเศษโลหะบนระนาบเฉือนและเคลื่อนที่ไหลผ่านหน้ามุมคานเศษวัสดุข้างหรือฝิวคานเศษวัสดุออกจากพื้นที่การตัด จากแบบจำลองของการตัดฉาก (Orthogonal Cutting) พบว่าแรงลัพธ์ (Resultant force) สามารถแยกออกเป็น 2 ประเภทคือแรงตัด (Cutting force) เป็นแรงในทิศขนานกับทิศของความเร็วดัด และแรงป้อน (Feed force) เป็นแรงในทิศขนานกับทิศของการป้อน ซึ่งแรงตัดและแรงป้อนนี้สามารถวัดได้โดยใช้ไดนาโมมิเตอร์วัดแรงตัด ทำให้สามารถคำนวณแรงลัพธ์ได้จากสมการ 2.14



รูปที่ 2.13 แรงบนคมตัด

$$R = \sqrt{F_c^2 - F_f^2} \quad (2.14)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \frac{F_f}{F_c} \quad (2.15)$$

โดยที่

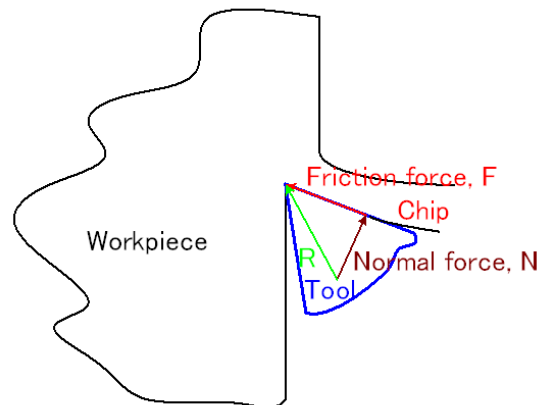
R = แรงลัพธ์ (Resultant force)

F_c = แรงตัด (Cutting force)

F_f = แรงป้อน (Feed force)

2) แรงเสียดทาน

แรงเสียดทาน (Friction force) เกิดจากเศษโลหะเคลื่อนที่ผ่านผิวคายเศษโลหะของมีดตัด ทำให้เกิดแรงเสียดทานกดบนผิวคายเศษโลหะของมีดตัด ซึ่งแรงกดนี้เรียกว่าแรงกดบนผิวคายเศษโลหะ (Normal force to friction) และสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของเศษโลหะและผิวคายเศษโลหะได้จากสมการ 2.16



รูปที่ 2.14 แรงเสียดทาน

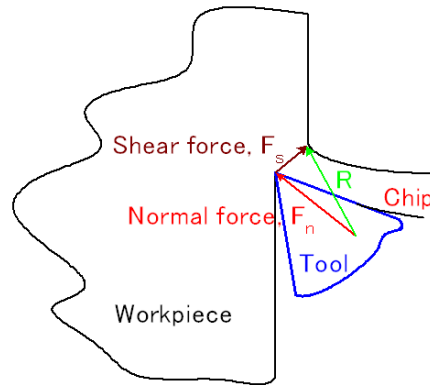
$$\mu = \frac{F}{N} = \tan\beta \quad (2.16)$$

โดย	μ	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
	F	=	แรงเสียดทาน (นิวตัน)
	N	=	แรงกดบนผิวคายเศษโลหะ (นิวตัน)
	β	=	มุมเสียดทาน (องศา)

3) แรงเฉือน

แรงเฉือน (Shear force) คือแรงกระทำบนระนาบเฉือนเป็นแรงที่ทำให้วัสดุเกิด

การเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรกลายเป็นเศษโลหะ สามารถคำนวณหาแรงลัพธ์ได้ดังสมการ 2.17



รูปที่ 2.15 แรงเฉือน

$$R = \sqrt{F_s^2 + F_n^2} \quad (2.17)$$

โดย R = แรงลัพธ์ (นิวตัน)
 F_s = แรงเฉือน (นิวตัน)
 F_n = แรงกดบนระนาบเฉือน (นิวตัน)

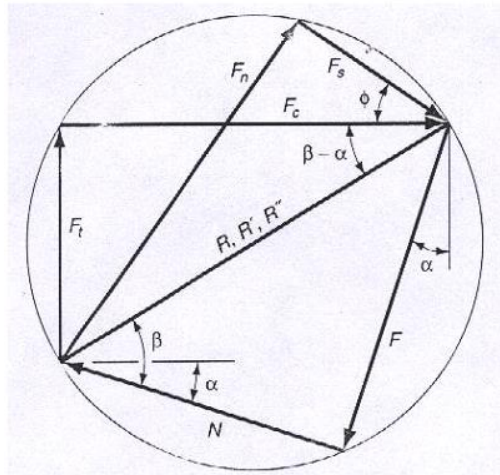
4) รูปหลายเหลี่ยมแทนแรงของการตัด

รูปหลายเหลี่ยมสามารถนำมาช่วยในการคำนวณแรงตัดได้ โดยประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ให้แรงลัพธ์คือเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมและลากเส้นต่อจากผิวคายเศษโลหะให้ตัดกับวงกลม จะได้แรงเสียดทานและแรงกดผิวคายเศษโลหะ

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณมุมระนาบเฉือน จากนั้นกำหนดมุมจากจุดตัดของมุมนี้กับวงกลมจะได้แรงเฉือนและแรงกดบนระนาบเฉือน

ขั้นตอนที่ 3 วัดขนาดของแรงได้จากรูปที่สร้างขึ้นเทียบกับมาตราส่วนที่กำหนด



รูปที่ 2.16 รูปหลายเหลี่ยมแทนแรงของการตัด

จากรูปที่ 2.16 รูปหลายเหลี่ยมแทนแรงของการตัด รูปหลายเหลี่ยมแทนแรงของการตัดแสดงความสัมพันธ์ของแรงตัดโลหะต่างๆ ทำให้สามารถคำนวณค่าของแรง F , N , F_s และ F_n ได้ โดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ของตรีโกณมิติสามารถวัดค่า F_c , F_t ได้ ซึ่งจะได้ค่าของแรงต่าง ๆ ดังสมการ

$$F = F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha \quad (2.18)$$

$$N = F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha \quad (2.19)$$

$$F_s = F_c \cos \phi - F_t \sin \phi \quad (2.20)$$

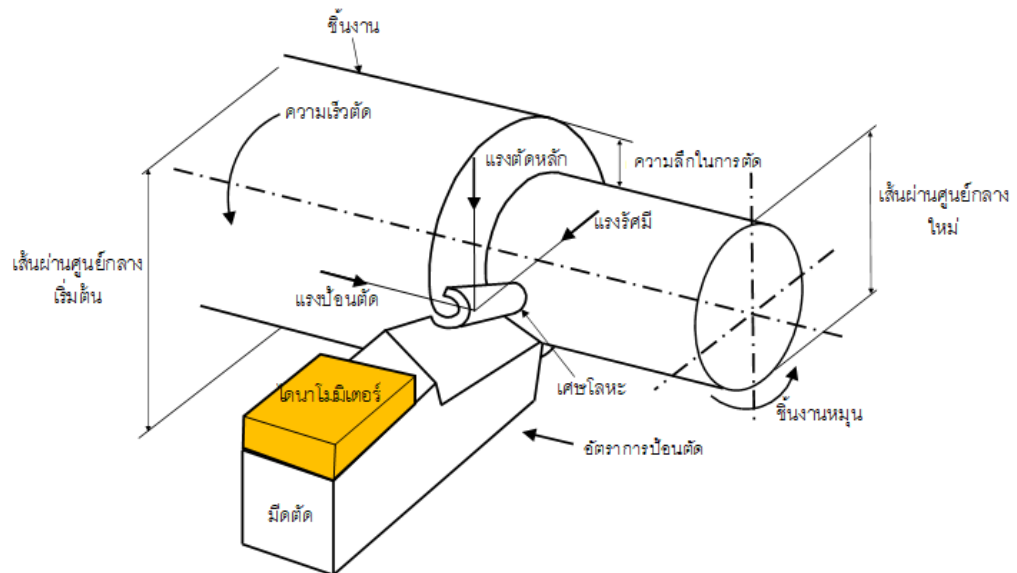
$$F_n = F_c \sin \phi + F_t \cos \phi \quad (2.21)$$

2.1.8.2 สัญญาณแรงตัด

สัญญาณแรงตัดสามารถวัดได้จากเครื่องมือวัดแรงที่เรียกว่า ไดนาโมมิเตอร์หรือเซนเซอร์วัดแรง โดยจะถูกติดตั้งอยู่บนป้อมเครื่องมือตัดในขณะที่กำลังเพื่อวัดแรงตัดที่เกิดขึ้น ผ่านเครื่องขยายสัญญาณ โดยแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังจะประกอบด้วยแรงตัด 3 แรงคือ

- 1) แรงตัดหลัก (Main Force, F_z) อยู่ในทิศทางเดียวกับความเร็วตัดซึ่งบอกถึงภาระตัดชิ้นงานและกำลังของเครื่องจักรกลที่ใช้ในการตัดชิ้นงาน
- 2) แรงป้อนตัด (Feed Force, F_y) อยู่ในทิศทางเดียวกับอัตราการป้อนตัดบอกถึงภาระในการป้อนตัดชิ้นงานเพื่อนำมาคำนวณหา กำลังในการป้อนตัดชิ้นงานของเครื่องจักรกล

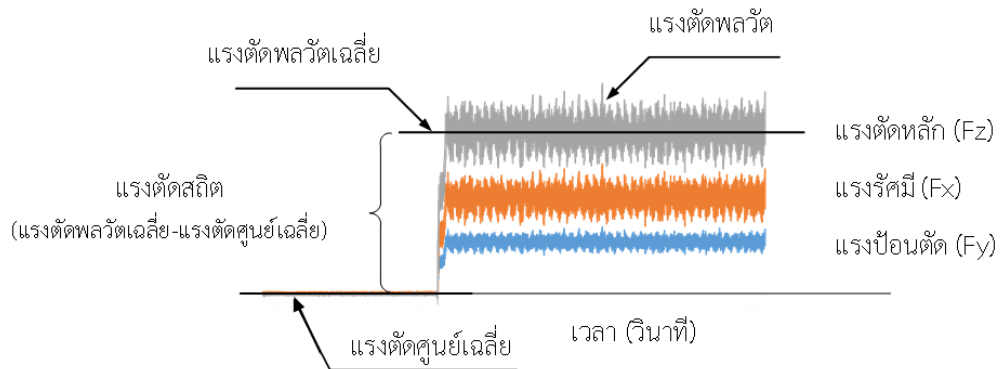
3) แรงรัศมี (Radial Force, F_x) อยู่ในทิศทางเดียวกับความลึกในการตัดหรือทิศรัศมีของชิ้นงาน เป็นแรงที่ชิ้นงานทำกับมีดตัดในแนวรัศมีชิ้นงานซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาระยะการชดเชยการแอ่นตัวของชิ้นงานในขณะตัด



รูปที่ 2.17 เรขาคณิตการกลึงเพื่อแสดงแนวแรงตัด

หลังจากวัดแรงตัด 3 แรงแนี้ผ่านไดนาโมมิเตอร์และประมวลผลผ่านเครื่องขยายสัญญาณนั้น จะได้สัญญาณแรง 3 ส่วนสำคัญดังนี้

- 1) แรงตัดศูนย์ เป็นแรงที่ยังไม่เกิดการตัดจริง
- 2) แรงตัดพลวัต เป็นแรงตัดที่เกิดขึ้นจริงขณะตัด
- 3) แรงตัดสถิต เป็นแรงตัดเฉลี่ยที่เกิดจากผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยแรงตัดพลวัตและค่าเฉลี่ยแรงตัดศูนย์



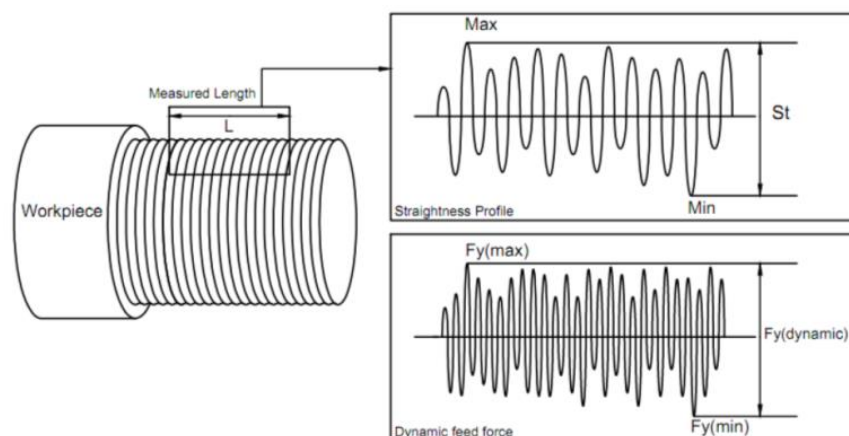
รูปที่ 2.18 สัญญาณแรงตัด

2.1.9 การวิเคราะห์สัญญาณแรงตัด

ข้อมูลแรงตัดที่ได้จากเซนเซอร์วัดแรงตัดนั้นต้องนำมาพิจารณาการคำนวณอัตราส่วนแรงตัดเพื่อใช้สำหรับสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความตรงของชิ้นงาน แต่ข้อมูลแรงตัดที่ได้นั้นอยู่ในโดเมนเวลา (Time domain) ที่ต้องแสดงในโดเมนความถี่ (Frequency domain) จึงต้องนำมาแปลงค่าโดยผ่านการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform)

2.1.9.1 การคำนวณแรงตัด

การคำนวณแรงตัดจากโดเมนเวลานั้นจะพิจารณาจากผลต่างของแรงตัดพลวัตที่มากที่สุด ($F_{y(max)}$) กับแรงตัดพลวัตที่น้อยที่สุด ($F_{y(min)}$) มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับค่าความตรงของผิวชิ้นงานที่สูงที่สุด (St_{max}) กับค่าความตรงของผิวชิ้นงานที่ต่ำที่สุด (St_{min}) ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แบบจำลองผลการวัดค่าความตรงกับผลการวิเคราะห์แรงตัดพลวัต

แต่อย่างไรก็ตามแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะตัดจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการตัด เช่น ความแข็งของวัสดุชิ้นงาน และเพื่อเป็นการกำจัดอิทธิพลของเงื่อนไขการตัดที่เกิดขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงคำนวณอัตราส่วนแรงตัดจากผลต่างของแรงตัดพลวัตที่มากที่สุด ($F_{y(max)}$) กับแรงตัดพลวัตที่น้อยที่สุด ($F_{y(min)}$) เทียบกับแรงป้อนตัดสถิต เพื่อสร้างสมการสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความตรงของชิ้นงานกับแรงตัดในขณะตัด ภายใต้เงื่อนไขต่างๆที่มีความสัมพันธ์กันดังนี้

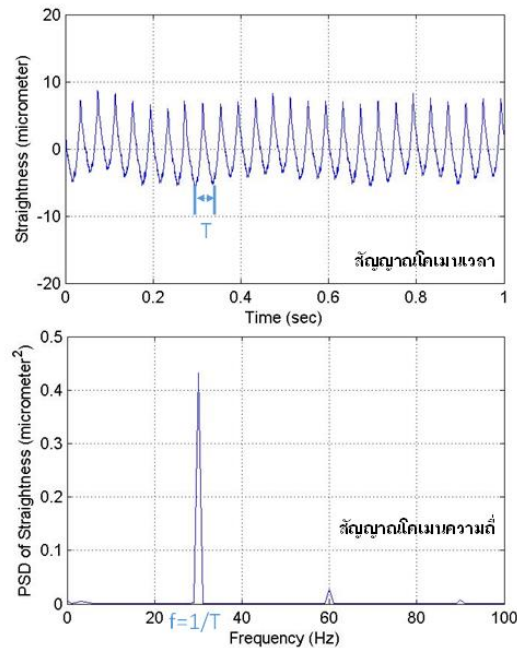
$$S_t \propto V, f, D, R_n, \left(\frac{F_{y(max)} - F_{y(min)}}{F_{y(s)}} \right) \quad (2.22)$$

โดยที่	S_t	=	ความตรงของชิ้นงาน (ไมโครเมตร)
	V	=	ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที)
	f	=	อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตรต่อรอบ)
	D	=	ความลึกตัด (มิลลิเมตร)
	R_n	=	รัศมีจุ่มกมิต (มิลลิเมตร)
	$\left(\frac{F_{y(max)} - F_{y(min)}}{F_{y(s)}} \right)$	=	อัตราส่วนแรงตัดพลวัตต่อแรงตัดสถิต

2.1.9.2 การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform)

การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform) คือการแปลงข้อมูลแรงตัดในโดเมนเวลา (Time domain) ให้อยู่ในรูปของสัญญาณในโดเมนความถี่ (Frequency domain) หรือสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันของความถี่ ซึ่งจะเรียกกันทั่วไปว่า สเปกตรัม (Spectrum) การวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่จะวิเคราะห์ได้ง่ายกว่าการวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนเวลา รวมทั้งสัญญาณในโดเมนความถี่ยังบอกให้ทราบถึงแบนด์วิดท์ (bandwidth) และรูปร่างสเปกตรัมของสัญญาณ ซึ่งช่วยให้เข้าใจคุณสมบัติต่างๆ ของสัญญาณเหล่านั้นมากยิ่งขึ้น

โดยเริ่มจากการนำข้อมูลสัญญาณแรงตัดมาพล็อตเทียบกับเวลาจะได้รูปแบบของข้อมูลที่อยู่ในลักษณะของคลื่นไซน์ (Sine wave) จะเห็นได้ว่าข้อมูลเกิดการแกว่งขึ้นลง โดยรูปแบบที่แกว่งขึ้นลงครบหนึ่งรอบใช้เวลา T ซึ่งเรียกว่าคาบ คาบมีความสัมพันธ์กับความถี่คือ $f = 1/T$ หมายถึงจำนวนของคาบคลื่นใน 1 วินาที โดยข้อมูลดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ในเชิงความถี่ได้ดังรูป



รูปที่ 2.20 สัญญาณโดเมนเวลาและสัญญาณโดเมนความถี่

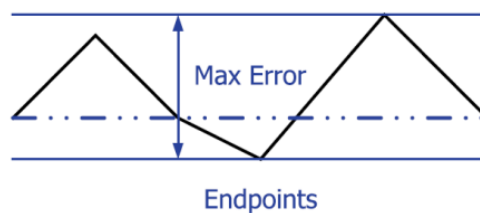
2.1.10 ความตรง (Straightness) [7]

2.1.10.1 ความตรง

ความตรง (Straightness) คือระยะระหว่างเส้นที่ขนานกันสองเส้นที่ครอบคลุมจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดของเส้นที่พิจารณา ในปัจจุบันลักษณะความตรงที่นิยมใช้กันมีอยู่ด้วยกันสามแบบ ได้แก่ แบบ Endpoints แบบ Linear Regression และแบบ ISO 1101 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) แบบ Endpoints

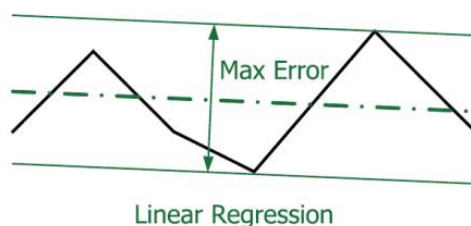
ความตรงแบบ Endpoints เกิดจากการลากเส้นประจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดสุดท้ายตั้งรูปเป็นค่าระยะระหว่างเส้นคู่ขนานที่ขนานกับเส้นประ โดยเส้นหนึ่งลากผ่านจุดสูงสุดและอีกเส้นหนึ่งลากผ่านจุดต่ำสุด



รูปที่ 2.21 ความตรงแบบ Endpoints

2) แบบ Linear Regression

ความตรงแบบ Linear Regression เกิดจากการสร้างเส้นประด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square) เป็นค่าระยะระหว่างเส้นขนานที่ขนานกับเส้นประ โดยเส้นหนึ่งลากผ่านจุดสูงสุดและอีกเส้นหนึ่งลากผ่านจุดต่ำสุด



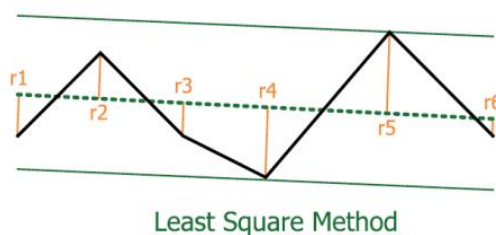
รูปที่ 2.22 ความตรงแบบ Linear Regression

โดยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square) เป็นวิธีการสร้างเส้นตรงให้เป็นตัวแทนของข้อมูลโดยการเฉลี่ย โดยตั้งสมมติฐานว่าเส้นประนั้นมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้น (X แปรผันตรงกับ Y) สามารถอธิบายแบบง่ายๆ ว่าขนาดของ $(r1)^2 - (r2)^2 + (r3)^2 + (r4)^2 - (r5)^2 + (r6)^2$ มีค่าน้อยที่สุด ถ้ากรณีค่าน้อยที่สุดมีค่าเป็นศูนย์จะได้ว่า

$$(r1)^2 - (r2)^2 + (r3)^2 + (r4)^2 - (r5)^2 + (r6)^2 = 0$$

หรือ

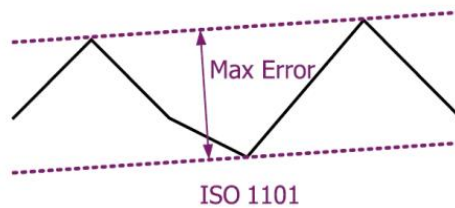
$$(r1)^2 + (r3)^2 + (r4)^2 + (r6)^2 = (r2)^2 + (r5)^2$$



รูปที่ 2.23 ความตรงแบบ Linear Regression ที่สร้างเส้นตรงด้วยวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square)

3) แบบ ISO 1101 (Minimum Zone)

ความตรงแบบ ISO 1101 หรือแบบ Minimum Zone เกิดจากการสร้างเส้นตรงคู่ขนาน (เส้นประ) โดยให้เส้นที่เราพิจารณานั้น อยู่ภายในเส้นคู่ขนานดังรูป เป็นค่าระยะระหว่างเส้นขนานที่สั้นที่สุด



รูปที่ 2.24 ความตรงแบบ ISO 1101 หรือแบบ Minimum Zone

2.1.10.2 การวัดความตรง

การวัดความตรงสามารถวัดได้หลายวิธีโดยแบ่งได้ดังนี้

1) การวัดโดยตรง (Direct Method) เป็นการวัดความตรงที่ต้องมีเส้นอ้างอิงที่ทราบค่าแล้ว เส้นอ้างอิงอาจจะเป็นวัตถุจริงที่จับต้องได้เช่น แท่งความตรงมาตรฐาน หรือเป็นวัตถุที่จับต้องไม่ได้เช่น กล้อง Telescope หรือ Laser เป็นต้น

2) การวัดแบบหาผลต่าง (Differential Method) เป็นการวัดความตรงที่อ้างอิงกับจุดคงที่จุดหนึ่ง วิธีนี้ไม่จำเป็นต้องทราบค่าจุดอ้างอิงถือว่าเป็นการวัดความตรงแบบสัมพัทธ์ อุปกรณ์ที่นำมาวัดจะทำการตั้งค่าที่ตำแหน่งอ้างอิงค่าหนึ่งในตอนเริ่มต้นแล้ววัดค่าความตรงจากค่าที่เบี่ยงเบนไปจากค่าเริ่มต้น อุปกรณ์ที่ใช้หลักการนี้ได้แก่ Autocollimator, Electronic Level และ Laser Interferometer เป็นต้น ซึ่งวิธีการวัดแบบหาผลต่างจะให้ความเที่ยงตรงสูง พิสัยการวัดกว้างสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย และสะดวกต่อการใช้งาน

2.1.10.3 พิกัดความเฝือของความตรง (Straightness tolerance)

การผลิตชิ้นงานจำนวนมากที่ต้องประกอบกัน ค่าความเฝือของขนาดเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถพอเพียง เมื่อจำเป็นเราจำเป็นต้องให้ค่าความเฝือของรูปร่างของชิ้นงานด้วย ตัวอย่างเช่น ถ้าเราให้ขนาดเฝือสำหรับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกเพียงอย่างเดียว ชิ้นงานอาจผลิตออกมาคดหรือโก่ง แต่ก็สามารถมีขนาดตรงตามแบบได้ เพราะการกำหนดขนาดแบบนี้ เราควบคุมเฉพาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละตำแหน่งเท่านั้น แต่ไม่สนใจรูปร่างโดยรวมของ

ชิ้นงาน ดังนั้นจำเป็นต้องกำหนดความเผื่อสำหรับรูปร่างของชิ้นงานด้วย ซึ่งสามารถใช้ความเป็นเส้นตรงในการกำหนดค่าความเผื่อสำหรับ

- 1) ความเป็นเส้นตรงของเส้น
- 2) ความเป็นเส้นตรงของแกนในระนาบ
- 3) ความเป็นเส้นตรงของแกนรูปทรงกระบอกแบบต่างๆ (solids of revolution)

2.1.10.4 ความตรงของพื้นผิวทรงกระบอก (Straightness of a cylindrical surface)

ความตรงถูกนำไปใช้กับพื้นผิวของรูปทรงกระบอก ซึ่งคล้ายกับพื้นผิวเรียบพร้อมกับข้อยกเว้นอีกอย่างหนึ่ง นับตั้งแต่พื้นผิวที่กลม องค์ประกอบของเส้นของพื้นผิวตรงข้ามจะต้องได้รับการพิจารณาเมื่อตรวจสอบความตรง พิกัดความเผื่อของความตรงแบบเต็มรูปแบบอาจไม่สามารถใช้ได้ สำหรับองค์ประกอบเหล่านี้ เนื่องจากเงื่อนไขเช่น การสูญเสียนอกจากนี้พิกัดความเผื่อของความตรงไม่ได้เป็นตัวเพิ่มพิกัดความเผื่อของขนาด

พิจารณาเส้นตรงบนผิวงานทรงกระบอกทั้ง 3 แบบ ที่พื้นผิวของทรงกระบอกในแนวตั้งพบว่าสามารถเกิดลักษณะของเส้นตรงได้ดังต่อไปนี้

- 1) เกิดจากเส้นตรงในแนวตั้ง (Vertical Generators are straight)
- 2) เกิดจากวงกลมเสมือนเป็นเส้นตรง (Generating circles are intrinsically straight)
- 3) เกิดจากเกลียวขดเป็นเส้นตรง (Helixes are intrinsically straight)

2.1.10.5 การตรวจสอบความตรงของชิ้นงาน

เครื่องวัด 3 มิติ หรือที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือเครื่อง CMM (Coordinate Measuring Machine) เป็นเครื่องมือวัดละเอียดที่สามารถวัดชิ้นงานที่มีรูปร่างสลับซับซ้อนด้วยเครื่องเพียงเครื่องเดียว มีโปรแกรมที่มีความสามารถขั้นสูง ผู้ใช้สามารถออกแบบลักษณะการวัดได้เองปัจจุบันมีฟังก์ชันที่สามารถวิเคราะห์ผลการวัดที่ตอบสนองลักษณะของชิ้นงานที่เป็นไปตามเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตและมิติ (Geometry Dimensional and Tolerance, GD&T) อีกทั้งยังสามารถนำผลการวัดที่ได้จากเครื่อง CMM ไปเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้ใน CAD ไฟล์ และยังสามารถแสดงค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่อ่านได้จากเครื่อง CMM กับค่าจาก CAD ไฟล์รวมถึงสามารถตั้งโปรแกรมให้สามารถตรวจสอบชิ้นงานแบบอัตโนมัติ ดังนั้นเครื่อง CMM เพียงเครื่องเดียวสามารถทดแทนการวัดชิ้นงานด้วยเครื่องมือวัดละเอียด (Hand tool) จำนวนมาก ช่วยลดเวลาในการวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลได้ ซึ่งในปัจจุบัน CMM แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1) เครื่อง CMM การวัดแบบสัมผัส (Contact Coordinate Measurement Machine) สัมผัสได้จากเครื่อง CMM จะมีหัววัด (Probe) ที่สัมผัสกับชิ้นงาน ณ ตำแหน่งที่ต้องการวัด

2) เครื่อง CMM การวัดแบบไม่สัมผัส (Non-Contact Coordinate Measurement Machine) สัมผัสได้จากเครื่อง CMM จะมีกล้อง (CCD camera) ส่องไปที่ชิ้นงาน หรืออาจจะเป็น เลเซอร์สแกน (Laser Scan)

CMM แต่ละชนิดจะมีรูปร่างที่แตกต่างกัน เครื่อง CMM ที่มีความถูกต้องที่สุดจะเป็นชนิด Fixed Bridge เนื่องจากออกแบบให้โต๊ะของเครื่อง CMM เคลื่อนที่ด้วยบอลสกรู (Ball Screw) ช่วยให้ความคลาดเคลื่อนจากการเคลื่อนที่ลดลงกว่าแบบอื่นๆ ทั้งนี้เครื่อง CMM ชนิดต่างๆ จะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้ใช้งานจะต้องรู้ว่าต้องการค่าความถูกต้องของการวัดที่เหมาะสมกับลักษณะของชิ้นงาน จากนั้นถึงค่อยมาเลือกชนิดของเครื่อง CMM ซึ่งแต่ละชนิดแต่ละรุ่นก็จะมีความสามารถในการวัดที่ต่างกัน

การพิจารณาความตรงนั้นมี 3 วิธีการดังต่อไปนี้

1) การพิจารณาความตรงแบบ N.C.

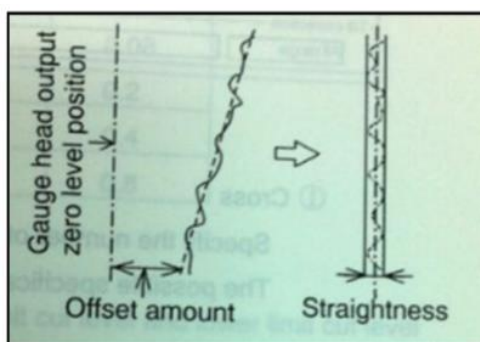
การพิจารณาความตรงแบบ N.C. นั้นความตรงจะถูกแทนด้วยผลต่างของระยะทางจากระนาบเรียบ ซึ่งเป็นการยอมรับค่า P-P จากข้อมูลการวัด ข้อมูลที่วัดจะอยู่ระหว่างระนาบที่ขนานกับแกน Z จะไม่มีการคำนวณเพื่อแก้ไขข้อมูลที่วัด ข้อผิดพลาดจากการเอียงของชิ้นงานจะรวมอยู่กับค่าความตรง ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าความตรงที่ถูกต้องแม่นยำ ต้องอ่านด้วยสายตาโดยการประยุกต์ใช้กับข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้



รูปที่ 2.25 การพิจารณาความตรงแบบ N.C.

2) การพิจารณาความตรงแบบ LSC (Least square method)

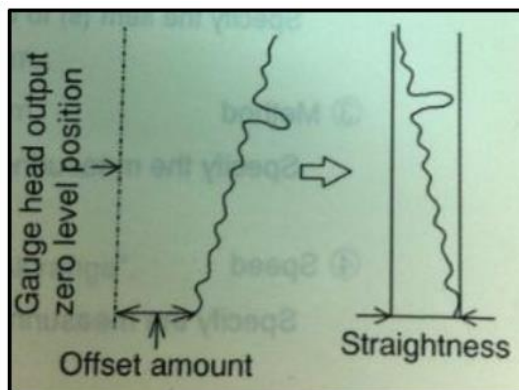
การพิจารณาความตรงแบบ LSC (Least square method) เป็นการคำนวณการเอียงจากข้อมูลที่วัดโดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) จะได้ความตรงเมื่อค่าที่วัดอยู่ระหว่างระนาบ 2 ระนาบที่ขนานไปกับการเอียง เมื่อนำวิธีดังกล่าวมาใช้จะพบว่าข้อผิดพลาดที่เกิดจากการเอียงของชิ้นงานสามารถถูกกำจัดออกไป และยังสามารถกำจัดปัจจัยที่เป็นระยะ offset ซึ่งเกิดจากการดันหัวเกจไปยังชิ้นงานเพื่อให้ง่ายต่อการอ่านรายละเอียดที่บันทึกไว้ และมีการแสดงข้อมูลให้เห็นอีกด้วย



รูปที่ 2.26 การพิจารณาความตรงแบบ LSC (Least square method)

3) การพิจารณาความตรงแบบ MZC (Minimum Zone Method)

การพิจารณาความตรงแบบ MZC (Minimum Zone Method) เป็นการหาค่าที่ทำให้ได้ระยะทางที่น้อยที่สุดระหว่างระนาบ 2 ระนาบ เมื่อข้อมูลอยู่ระหว่าง 2 ระนาบที่ขนานกันและถือว่าเป็นตรง ข้อมูลจะถูกเก็บหลังจากการเอียงของระนาบนั้นมีการแก้ไขให้ถูกต้อง สิ่งนี้จะสามารถกำจัดความผิดปกติที่เกิดจากการเอียงของชิ้นงาน และกำจัดระยะ offset ที่เกิดจากการกดหัวเกจไปยังชิ้นงานจะถูกกำจัดออกเพื่อให้ง่ายต่อการดูรายละเอียดที่บันทึกไว้



รูปที่ 2.27 การพิจารณาความตรงแบบ MZC (Minimum Zone Method)

2.1.11 การสั่นสะเทือนของมิตัดที่มีผลต่อความตรงของชิ้นงาน

การสั่นสะเทือนหรือแฉดเตอร์เป็นสาเหตุหนึ่งส่งผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงาน ความถูกต้องของขนาดชิ้นงาน อายุมิตัด และอายุเครื่องกลึง ซึ่งการสั่นสะเทือนนั้นอาจเกิดจากมิตัด อุปกรณ์จับยึดมิตัด หรือหัวจับชิ้นงาน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องลดการสั่นสะเทือนในกระบวนการกลึง

การสั่นสะเทือนในขณะตัดอาจจะเกิดได้จาก 2 สาเหตุคือ

1. การสั่นสะเทือนจากชิ้นส่วนในเครื่องจักรกลส่งผลกระทบต่อชิ้นงานหรือมิตัดทำให้เกิดแฉดเตอร์ในขณะตัด เป็นค่าความถี่เดียวกับระบบการตัด
2. การสั่นสะเทือนจากแรงตัดที่มากเกิดจากความลึกในการตัดมากประกอบกับความเร็วรอบที่สูง ทำให้มิตัด ชิ้นงาน หรือเครื่องจักรกลจะสั่นที่ความถี่ธรรมชาติค่าหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับว่าความถี่ที่เกิดขึ้นจะพ้องกับความถี่ใดของมิตัด ชิ้นงานหรือเครื่องจักรกล

การหลีกเลี่ยงการเกิดแฉดเตอร์โดยทั่วไปการลดการสั่นสะเทือนสามารถทำได้โดยการลดอัตราการป้อนตัด ความลึกในการตัด และใช้ความเร็วในการตัดต่ำเพื่อให้เกิดความเสถียรในการตัดส่วนใหญ่แล้วจะลดความลึกในการตัดก่อน แล้วค่อยทำการเปลี่ยนความเร็วรอบตัด เพราะความลึกในการตัดส่งผลโดยตรงต่อแรงตัดที่เกิดขึ้น ส่วนความเร็วรอบส่งผลต่อความเสถียรของระบบการตัด เนื่องมาจากการสั่นในขณะหมุนชิ้นงานหรือมิตัด ซึ่งหากกำหนดเงื่อนไขต่างๆภายใต้คุณสมบัติที่เหมาะสมจะส่งผลให้ลดการสั่นสะเทือนและได้ผิวชิ้นงานที่ดีด้วย

2.1.12 การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม [8]

2.1.12.1 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experimental)

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experimental) หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อที่จะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ทำให้สามารถหาข้อสรุปอย่างสมเหตุสมผลได้ เป็นการทดลองที่เกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด สิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาเกี่ยวกับการทดลองก็คือ การออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ โดยหลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองก็คือ เรพลีเคชั่น (Replication), แรนดอมไมเซชัน (Randomization) และบล็อกกิ้ง (Blocking)

- 1) เรพลีเคชั่น (Replication) หมายถึงการทำการทดลองซ้ำ ทำให้สามารถค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ และถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยการทดลองเรพลีเคชั่นจะทำให้สามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นได้

2) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) หมายถึงการทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) ซึ่งเป็นหลักพื้นฐานสำหรับการใช้วิธีทางสถิติในการออกแบบการทดลอง ทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่เกิดในการทดลองได้

3) บล็อกกิ้ง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับความเที่ยงตรง (Precision) ให้การทดลอง บล็อกหนึ่ง หมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ทดลองที่ควรรวมกันได้ การเปรียบเทียบเงื่อนไขต่างๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดจากการทำบล็อกกิ้ง

การใช้วิธีทางสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการทำทดลอง ซึ่งขั้นตอนในการดำเนินการอาจจะทำได้ดังนี้

- 1) ทำความเข้าใจปัญหา
- 2) เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต
- 3) เลือกตัวแปรผลตอบ
- 4) เลือกการออกแบบการทดลอง
- 5) ทำการทดลอง
- 6) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ
- 7) สรุปผลการทดลอง

2.1.12.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design)

ในการทดลองส่วนใหญ่จะศึกษาผลของปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ดังนั้นการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial design) จะเป็นการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึงการทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น เช่นกรณีที่ปัจจัย A มีจำนวนระดับเท่ากับ a ปัจจัย B มีจำนวนระดับเท่ากับ b ในการทดลอง 1 เปรสิเคด (Replicate) จะประกอบไปด้วยการทดลองทั้ง ab การทดลอง โดยการทดลองทั้งหมดจะถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลนั่นเอง

2.1.12.3 การสร้างแบบจำลองการถดถอย (Regression Model)

ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป ควรสร้างแบบจำลองในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการดำเนินกระบวนการ หรือควบคุมกระบวนการ โดยหาความสัมพันธ์ของตัวแปร ถ้ามีตัวแปรตาม (Dependent variable) อยู่เพียงตัวเดียวหรือผลตอบ (Respond) y ที่ขึ้นกับค่าตัว

แปรอิสระ (Independent variable) จำนวน k ตัว ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้ถูกกำหนดโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ แบบจำลองการถดถอย (Regression model)

แบบจำลองการถดถอยแบบเชิงเส้นพหุคูณที่มีตัวแปรถดถอย k ตัว (Multiple linear regression model with k regressor variables) โดยจะเรียกตัวแปรอิสระว่า ตัวแปรทำนาย (Predictor Variable) หรือตัวถดถอย (Regressor) และคำว่าเชิงเส้นถูกนำมาใช้เนื่องจากสมการเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า β_j โดยที่ $j = 0, 1, \dots, k$ ถูกเรียกว่าสัมประสิทธิ์การถดถอย แบบจำลองนี้แสดงระนาบเกิน (Hyperplane) ที่มีมิติ k ของตัวแปรถดถอย x_j พารามิเตอร์ β_j แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับตัวแปรผลตอบ y ต่อหนึ่งหน่วยของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับ x_j เมื่อตัวแปรอิสระที่เหลือทั้งหมด x_i ($i \neq j$) มีค่าคงตัว ดังสมการ

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon \quad (2.23)$$

2.1.13 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

2.1.13.1 การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบนัยสำคัญของการถดถอย คือการทดสอบเพื่อจะตรวจสอบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผลตอบ y และเซตย่อยของตัวแปรถดถอย x_1, x_2, \dots, x_k หรือไม่ โดยสมมติค่าความผิดพลาดในแบบจำลองเป็น $\epsilon \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ ซึ่งหมายความว่า ϵ มีการกระจายแบบปกติและเป็นอิสระ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีความแปรปรวนเท่ากับ σ^2

การแสดงว่าสมมติฐานหลักจะถูกปฏิเสธหรือไม่ที่ระดับนัยสำคัญ (α) ที่กำหนด สามารถพิจารณาได้จากค่า P-Value ซึ่งเป็นค่าความน่าจะเป็นที่ค่าทดสอบทางสถิติเป็นค่าที่น้อยที่สุดของระดับนัยสำคัญซึ่งนำไปสู่การปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 ดังนั้นค่าทดสอบทางสถิติมีนัยสำคัญก็ต่อเมื่อสมมติฐานหลัก H_0 ถูกปฏิเสธ

2.1.13.2 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination: R^2) เป็นการวิเคราะห์ค่าที่ใช้อธิบายความสามารถของสมการถดถอยหรือตัวแปรอิสระในสมการถดถอย ว่าสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าผลตอบ (y) หรือตัวแปรตามได้ในสัดส่วนเท่าใด

ถ้าค่า R^2 หากมีค่าสูง แสดงว่าสมการถดถอยมีความเหมาะสมมาก แต่ค่า R^2 จะเปลี่ยนแปลงเมื่อเปลี่ยนจำนวนตัวแปรอิสระในสมการถดถอยทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

เปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังนั้นจึงนิยมใช้ค่า R^2_{adj} แทน หรือใช้ทั้งค่า R^2 และ R^2_{adj} ในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของสมการถดถอยร่วมกัน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการวิจัยในหลากหลายด้านที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกลึง โดยศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของแรงตัด และเงื่อนไขในการตัดชิ้นงานเพื่อนำมาศึกษาความสัมพันธ์ที่มีผลต่อคุณภาพผิวชิ้นงานเช่น ความเรียบผิว ความขรุขระ ความกลม และความตรงของผิวชิ้นงาน เป็นต้น รวมถึงการใช้วัสดุชิ้นงานที่หลากหลายเช่น เหล็กกล้า และอะลูมิเนียม เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ และพัฒนาเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการบอกแนวโน้มของคุณภาพผิวชิ้นงานต่อไปได้

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับความตรง

งานวิจัยที่ผ่านมาที่มีความเกี่ยวข้องกับการศึกษาความตรงของชิ้นงานมีดังนี้

ธรรารัตน์ ชาญสูงเนิน (2557) [3]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรงของชิ้นงานเหล็กกล้ากับอัตราส่วนแรงตัดที่ภายใต้เงื่อนไขการตัดต่างๆ ในกระบวนการกลึงซึ่งประกอบด้วย ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัด รัศมีจุมกมีด และมุมคายเศษโลหะ โดยวัดแรงในขณะตัดผ่านไดนาโมมิเตอร์ และพิจารณาแรงตัดในโดเมนความถี่ด้วยวิธีการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform) ความถี่ของสัญญาณของแรงตัดและความตรงได้เกิดขึ้นที่ค่าเดียวกัน ให้ข้อสรุปได้ว่าเมื่อใช้ความเร็วตัด รัศมีจุมกมีด และมุมคายเศษโลหะมากขึ้นส่งผลให้ความตรงของชิ้นงานมีแนวโน้มดีขึ้น ดังนั้นจึงนำอัตราส่วนแรงตัดมาใช้ในการทำนายความตรงของชิ้นงานได้ในขณะตัดในรูปของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล และวิเคราะห์แบบการถดถอยพหุคูณ คำนวณหาสัมประสิทธิ์การถดถอยพหุคูณของแบบจำลองที่ใช้ในการพยากรณ์ความตรงของชิ้นงานในขณะตัด ด้วยวิธีการสองน้อยที่สุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองได้ผลการทดลองที่เงื่อนไขการตัดใหม่ พบว่าแบบจำลองสามารถพยากรณ์ค่าความตรงได้อย่างแม่นยำภายใน $\pm 10\%$ ของค่าความตรงที่วัดได้ โดยค่าความแม่นยำของการทำนายความตรงของชิ้นงานเท่ากับ 91.85 %

มู่อมิน ศาสน์สันติวงศ์ (2558) [4]

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรงและความกลมของเหล็กกล้าคาร์บอน (S45C) กับแรงตัดภายใต้เงื่อนไขการตัดต่างๆ ในกระบวนการกลึงซึ่งประกอบด้วย ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัด รัศมีจุมกมีด และมุมคายเศษโลหะ โดยวัดแรงในขณะตัดผ่านไดนาโมมิเตอร์และใช้การแปลงเวฟเลทตอบเบซีสวีวิเคราะห์แรงตัด พบว่าความถี่ของการแตกหักเศษโลหะจะสูง

และเกิดในระดับชั้นเวฟเลทที่ต่ำกว่าแรง ส่วนความถี่ที่สัมพันธ์กับความตรงความถี่จะต่ำและถูกแยกอยู่ในระดับที่ 8 จากการแปลงเวฟเลท วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้ใช้เพื่อสร้างสมการทำนายความตรงและความกลมโดยนำแรงตัดในระดับที่ 8 ของการแปลงเวฟเลทมาใช้ในการสร้างสมการ และจากการวิเคราะห์พบว่าสมการทำนายค่าความตรงและความกลมของชิ้นงานมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 92.14% และ 95.51% ตามลำดับ

Salah Hamed Ramadan Ali, Hassan Hassan Mohamed and Mohamed Kamal Bedewy (2009) [9]

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการนำเครื่อง CMM (Coordinate measuring machine) มาใช้ตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของความกลม (Roundness), ความตรง (Straightness) และจุดร่วมศูนย์กลาง (Concentricity) ในรูกะบอกสูบเครื่องยนต์แบบ Air-Cooled Automotive Diesel เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างรูปร่างของชิ้นงานที่บิดเบี้ยวกับการออกแบบซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ติดตามของเขตความรุนแรงของการสึกหรอซึ่งเกิดจากรูกะบอกสูบบิดเบี้ยวในทิศทางขวาง (การไม่เป็นทรงกลมและการใช้จุดศูนย์กลางร่วม) และในทิศทางตามยาว (การไม่เป็นเส้นตรง) โดยอาศัยการวัดขนาดรูปทรงเรขาคณิตในรูกะบอกสูบระดับไมโครทั้งความตรง, ความกลม, เส้นผ่านศูนย์กลางของรู และความเป็นศูนย์กลางร่วมของผิวภายใน และนำค่าที่ได้มาประยุกต์ในการออกแบบเพื่อยืดอายุของเครื่องยนต์

Bugra Kilic, Juan A. Aguirre-Cruz, Shivakumar Raman (2007) [10]

บทความนี้ได้ทำการทดลองกลึงชิ้นงานทรงกระบอก เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดด้วยอัตราการป้อน (feed rate), รัศมีของชิ้นงานแบบแท่ง และมุมคาย (rake angle) โดยแรงตัดในแนวรัศมีและแนวเส้นสัมผัสรอบวงก็มีผลต่อการโก่งของชิ้นงานและความลึกของการตัด (depth of cut) และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยมีการเก็บค่าแรงตัดและวัดค่าจุดเบี่ยงเบนแต่ละจุดบนผิวชิ้นงาน เพื่อนำมาคำนวณตามแบบจำลองค่าการโก่งตัว

F. J. Trujillo, L. Sevilla, and M. Marcos (2014) [11]

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความเร็วในการตัดและอัตราป้อนตัดของการเบี่ยงเบนทางเรขาคณิตที่ต่างกัน (ความตรง ความขนาน ความกลม และความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนในแต่ละระนาบ) ของบาร์เหล็กทรงกระบอก UNS A97075 (Al-Zn) โดยใช้วิธีการตัดแบบแห้งจากการทดลองเมื่อเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ซึ่งได้แก่ ความเร็วตัด และอัตราป้อนตัดให้อยู่ในเงื่อนไขการ

ตัดที่กำหนด จะเห็นได้ว่าค่าเบี่ยงเบนทางเรขาคณิตมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาแบบจำลองพาราเมตริกหลายรูปแบบ จากผลการทดลองแบบจำลองสามารถทำนายความเบี่ยงเบนทางเรขาคณิตจากพารามิเตอร์ที่ใช้ สำหรับการวิเคราะห์ความเบี่ยงเบนทางเรขาคณิตทั้งหมดได้ใช้แบบจำลองเอ็กโปเนนเชียลพาราเมตริกที่มีความเหมาะสมกับข้อมูลการทดลองมากที่สุด

ผลการทดลองพบว่าอัตราการป้อนตัดมีอิทธิพลต่อค่าความขรุขระผิวเป็นอย่างมาก แต่นอกจากอัตราป้อนแล้วความเร็วตัดก็มีความตรงและความขนานเช่นกัน เนื่องจากมีการวัดตามยาวดังนั้นค่าที่วัดได้จะมีค่าเบี่ยงเบนมากขึ้นโดยเกิดจากการสั่นสะเทือนและการกระจายตัวของเศษโลหะ รวมถึงการเกิด BUE ซึ่งทั้งหมดจะเกิดขึ้นเมื่อใช้ความเร็วตัดที่สูงขึ้น ในทางกลับกันความกลมและความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนในแต่ละระนาบจะไม่ได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ดังกล่าวเนื่องจากเป็นการวัดตามแนวขวาง จึงกล่าวได้ว่าความกลมและความเบี่ยงเบนเนื่องจากการหมุนในแต่ละระนาบจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราป้อนตัด

José Miguel Sánchez-Sola, Moisés Batista, Jorge Salguero, Álvaro Gómez^{1,d} and Mariano Marcos (2012) [12]

งานวิจัยเกี่ยวกับผลของการศึกษาความเบี่ยงเบนทางเรขาคณิตแบบต่างๆ เช่น ความตรง (Straightness, SD), ความขนาน (Parallelism, PD) และความกลม (Circularity, CD) ในรูปของความเร็วในการตัด (v) และอัตราป้อนตัด (f) ของลูกกลิ้งรูปทรงกระบอก UNS A92024 (Al-Cu) แบบแห้ง จากการทดลองสามารถสร้างแบบจำลองเอ็กโปเนนเชียลเพื่อคาดการณ์ความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจากการตั้งค่าพารามิเตอร์การตัดที่ประกอบไปด้วยความเร็วในการตัด (v) และอัตราป้อนตัด (f) มีอิทธิพลส่งผลกระทบต่อพื้นผิวชิ้นงานทั้งความตรง, ความขนาน และความกลม ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าความเบี่ยงเบนของความกว้างของเส้นผ่าศูนย์กลางสามารถคาดการณ์ได้จากแบบจำลองนี้โดยพิจารณาจากความเร็วตัด และอัตราป้อนตัด ผลลัพธ์ที่ได้จาก SD (f, v), PD (f, v) และ CD (f, v) พบว่าเงื่อนไขที่แย่ที่สุดจะพบเมื่อใช้อัตราป้อนสูงสุดและความเร็วตัดต่ำสุด แต่ในทางกลับกันค่าความเร็วในการตัดที่สูงที่สุดจะช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับพื้นผิวชิ้นงาน

Jorge Salguero, Julia Gerez, Moisés Batista, J. Enrique Garófano and Mariano Marcos (2012) [13]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงคุณภาพผิวสำเร็จของไททาเนียมอัลลอย UNS R56400 Ti ที่ผ่านกระบวนการกลึงแบบแห้ง โดยทำการวิเคราะห์ค่าการเบี่ยงเบนความตรงและความ

ขนานในรูปของฟังก์ชัน ค่าพารามิเตอร์ของการตัดเช่น ความเร็วในการตัดและอัตราการป้อนตัด มีอิทธิพลต่อค่าการเบี่ยงเบนความตรงและความขนาน

Bugra Kilic, Juan A. Aguirre-Cruz, Shivakumar Raman (2007) [10]

งานวิจัยนี้ทำการหาแบบจำลองของชิ้นงานทรงกระบอกซึ่งขึ้นกับตัวแปรในกระบวนการกลึง ถูกกำหนดด้วยอัตราการป้อน (feed rate) รัศมีของชิ้นงานแบบแท่ง และมุมคาย (rake angle) นอกจากนี้แรงตัดในแนวรัศมีและแนวเส้นสัมผัสรอบวงมีผลต่อการโก่งของชิ้นงานและความลึกของการตัด (depth of cut) ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยมีการเก็บค่าแรงตัดและวัดค่าจุดเบี่ยงเบนแต่ละจุดบนผิวชิ้นงาน เพื่อนำมาคำนวณตามแบบจำลองค่าการโก่งตัวของชิ้นงาน

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับความขรุขระ

นอกจากความตรงของชิ้นงานที่ใช้ตรวจสอบคุณภาพผิวชิ้นงานแล้วยังมีความขรุขระผิวชิ้นงานที่สามารถตรวจสอบคุณภาพผิวชิ้นงานได้อีกเช่นกัน เนื่องด้วยขั้นตอนการศึกษาวิจัยและกระบวนการนั้นมีความคล้ายคลึงกันจะแตกต่างที่การเลือกค่าในการวัด ดังนั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความขรุขระผิวชิ้นงานจึงถูกนำมาศึกษาเพื่อประกอบงานวิจัยนี้เช่นกัน

S. Tangitsitcharoen (2011) [14]

งานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวและสัดส่วนแรงตัดพลวัตขณะตัดชิ้นงานบนเครื่องกลึง CNC โดยค่าความขรุขระแสดงในรูปสมการถดถอยพหุคูณ เพื่อหาสัมประสิทธิ์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดของสัดส่วนแรงตัดพลวัต มีเงื่อนไขการตัด ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด รัศมีจุมุมิต และความลึกตัด โดยใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% ใช้ไดนาโมมิเตอร์วัดแรงพลวัต จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนของแรงตัด, รัศมีจุมุมิตและความเร็วในการตัดสูงขึ้น ค่าความขรุขระผิวลดลง ในขณะที่อัตราป้อนตัดและความลึกตัดมากขึ้น ค่าความขรุขระมากขึ้นเนื่องจากแรงสั่นสะเทือนของมีดตัด เมื่อพิจารณาค่าความขรุขระที่ได้จากสมการเทียบกับค่าจริงพบว่ามีค่าแม่นยำเฉลี่ยอยู่ที่ 87.3% สูงสุดที่ 86.5% สรุปได้ว่าสมการดังกล่าวสามารถนำมาใช้ได้

S. Tangitsitcharoen (2012) [15]

งานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความขรุขระผิวและสัดส่วนแรงตัดพลวัตขณะตัดชิ้นงานบนเครื่องกลึง CNC โดยค่าความขรุขระแสดงในรูปสมการถดถอยพหุคูณ เพื่อหาสัมประสิทธิ์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดของสัดส่วนแรงตัดพลวัต มีเงื่อนไขการตัด ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด รัศมีจุมุมิต และความลึกตัด โดยใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% ใช้ไดนาโมมิเตอร์วัดแรงพลวัต เมื่อ

พิจารณาค่าความขรุขระจากการตัดกับค่าในโมเดลความถี่ พบว่าค่าทั้งสองมีความสอดคล้องกัน จึงนำมาวิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ในโมเดลเวลา คำนวณพื้นที่แรงตัดพลวัตโดยใช้กฎสี่เหลี่ยมคางหมูและสร้างเป็นแบบจำลองความขรุขระของชิ้นงานขณะตัด ความแม่นยำอยู่ที่ 90.3%

Somkiat Tangjitsitcharoen and Siripong Damrongthaveesak(2013) [16]

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการตรวจติดตามและกระบวนการควบคุมความขรุขระผิวชิ้นงานในกระบวนการกลึงและการกัด รวมถึงการบูรณาการตรวจติดตามในขณะตัด วัตถุประสงค์เพื่อตรวจติดตามและควบคุมความขรุขระผิวของชิ้นงานในขณะตัด โดยนำอัตราส่วนแรงตัดมาใช้ในการประมาณค่าความขรุขระผิวชิ้นงาน และไดนามิเตอร์ถูกนำมาใช้ติดตั้งกับป้อมมีดของเครื่องกัดซีเอ็นซี 5 แกน และเครื่องซีเอ็นซี เพื่อวัดแรงในขณะตัด สำหรับกระบวนการกลึง วัสดุที่ใช้คือเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1045 และมีดตัดคาร์ไบด์เคลือบผิว (Coated carbide tool) ส่วนกระบวนการกัดเครื่องมือตัดที่ใช้ คือใบมีดกัดหัวบอล งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกลึงและกัดชิ้นงาน ประกอบด้วย ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกในการตัด แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ส่วนกระบวนการการกัดใช้ความเร็วรอบที่ 3 ระดับ ผลลัพธ์ที่ได้คือ สมการพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) และสมการพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวสูงสุด (Rz) ในขณะตัด ประกอบด้วยปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยดังที่กล่าวข้างต้นโดยค่าที่ยอมรับได้จะอยู่ในช่วงขอบเขตล่าง (Upper specification limit: USL) และขอบเขตบน (Lower specification limit: USL) ต้องไม่น้อยกว่าหรือมากกว่า 10% ระบบจะทำการคำนวณค่าความขรุขระผิวชิ้นงาน หากมีค่าความขรุขระผิวชิ้นงานไม่อยู่ในขอบเขตที่ยอมรับได้ ระบบจะส่งสัญญาณเตือนเพื่อตรวจสอบและปรับเปลี่ยนเงื่อนไขในการตัด

สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ ศักดิ์िता ศรีอนุศาสตร์ และดวงตา ละเอียดดี (2553) [17]

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวชิ้นงานขณะตัดสำหรับกระบวนการกลึง CNC ด้วยอัตราส่วนแรงตัด วัตถุประสงค์เพื่อเสนอสมการพยากรณ์ความขรุขระผิวชิ้นงานขณะตัดในกระบวนการกลึงโดยประยุกต์ใช้อัตราส่วนแรงตัดเพื่อใช้กับเครื่องจักรกลอัจฉริยะ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าความขรุขระผิวชิ้นงานได้แก่ อัตราป้อนตัด รัศมีงูมกมิต ความลึกในการตัด และอัตราส่วนแรงตัด มีดตัดเป็นชนิดคาร์ไบด์เคลือบผิว ได้ทำการติดตั้งไดนามิเตอร์เข้าที่ป้อมมีดกลึง CNC เพื่อวัดแรงตัด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนแรงตัดมีผลต่อความขรุขระผิวของชิ้นงาน นำมาใช้อ้างอิงเพื่อประมาณค่าความขรุขระผิวของชิ้นงานขณะตัด นอกจากนี้ยังพบว่าค่าความขรุขระผิวชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นแปรผันตามอัตราป้อนตัด และความลึกในการตัด ในทางตรงกันข้ามค่าความขรุขระผิวจะลดลงเป็นสัดส่วนต่อค่าความเร็วตัด ค่ารัศมีงูมกมิต และอัตราส่วนแรงตัด จากข้างต้นผลลัพธ์ที่ได้คือสมการพยากรณ์ค่าเฉลี่ยความขรุขระผิวชิ้นงาน และค่าความขรุขระผิวสูงสุด

ในขณะที่ตัดได้ โดยที่มีความแม่นยำของสมการเท่ากับ 87.3% และ 86.5% ตามลำดับ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Somkiat Tangjitsitcharoen (2010) [18]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างโมเดลสมการพยากรณ์ความขรุขระผิวชิ้นงานขณะตัดในกระบวนการกลึง โดยใช้อัตราส่วนแรงตัด ซึ่งโมเดลสมการพยากรณ์ความขรุขระถูกพัฒนามาจากรูปแบบของฟังก์ชันเอ็กโปเนนเชียลประกอบด้วยห้าตัวแปร ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด รัศมีงูมูมิต ความลึกในการตัด และอัตราส่วนแรงตัด ค่าสัมประสิทธิ์ในฟังก์ชันเอ็กโปเนนเชียลสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการถดถอยพหุคูณด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ชิ้นงาน คือ เหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1045 มีดตัดเป็นชนิดคาร์ไบด์เคลือบผิว และปัจจัยนำมาวิเคราะห์ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกในการตัด ทั้งนี้แต่ละปัจจัยมีสองระดับและขอบเขตการพยากรณ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากผลการทดลองพบว่าค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย และค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยสลิปจุด มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราป้อนตัด และความลึกในการตัดเพิ่มขึ้น ประกอบกับความเร็วตัด รัศมีงูมูมิต และอัตราส่วนแรงตัดมีค่าลดลง ได้ทำการตรวจสอบความแม่นยำของสมการที่ได้โดยการออกแบบการทดลองโดยใช้เงื่อนไขการตัดใหม่ พบว่าสมการพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย และค่าความขรุขระผิวเฉลี่ยสลิปจุด มีความแม่นยำเท่ากับ 87.8% และ 86.5% ตามลำดับ สรุปได้ว่าอัตราส่วนแรงตัด นั่นคือแรงป้อนตัดต่อแรงตัดหลัก สามารถใช้ประมาณค่าความขรุขระผิวในขณะที่ตัดได้ แม้ว่าเงื่อนไขการตัดจะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งมีประโยชน์ในการตรวจติดตามและควบคุมค่าความขรุขระผิวชิ้นงานในระหว่างกลึงชิ้นงาน

Thamizhmanii, Saparudin and Hasan (2007) [19]

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการวิเคราะห์ความขรุขระผิวชิ้นงานในการกลึงของเหล็กผสมอัลลอยด์ SCM 440 เพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดความขรุขระผิวชิ้นงานที่น้อยที่สุดโดยใช้วิธีทากูชิ ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ประกอบไปอัตราป้อนตัดและความเร็วตัดประกอบไปด้วยปัจจัยละ 2 ระดับ และความลึกในการตัดมีทั้งหมด 3 ระดับจากนั้นวิเคราะห์ผลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน จากการทดลองพบว่า ความลึกในการตัดและอัตราป้อนตัดส่งผลต่อความขรุขระผิวชิ้นงานซึ่งแปรผันตามกัน ส่วนความเร็วตัดส่งผลเล็กน้อย ผลลัพธ์ที่ได้คือ สมการความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ทั้งสามปัจจัยต่อค่าความขรุขระผิวชิ้นงานเฉลี่ย

Dr. Roa, Dr. Nageswara และ Srihari (2013) [20]

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการศึกษาอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อแรงตัดในทิศทาง (Trust force) และความเรียบผิวสำเร็จในกระบวนการกลึงเหล็ก AISI 1050 โดยศึกษาอิทธิพลของ

ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด และความลึกในการตัดบนแรงตัดและความเรียบผิวสำเร็จของชิ้นงานด้วยวิธีทาคุชิ (Taguchi method) แต่ละปัจจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ และนำความรู้ทางสถิติในการวิเคราะห์ความแปรปรวนมาใช้ จากการทดลองพบว่า อัตราป้อนตัดส่งผลต่อแรงตัดและความเรียบผิวสำเร็จของชิ้นงาน ส่วนความลึกในการตัดส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงตัด แต่ส่งผลอย่างไม่มีนัยสำคัญต่อความเรียบผิวสำเร็จ ส่วนอันตรกิริยาระหว่างอัตราป้อนตัด และความลึกในการตัด และอันตรกิริยาของทั้งความเร็วตัด อัตราป้อนตัด และความลึกในการตัดส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงตัด แต่อย่างไรก็ตามอันตรกิริยาของทั้งสามปัจจัยนี้ไม่ส่งผลอย่างมีนัยความสำคัญต่อความเรียบผิวของชิ้นงาน ผลลัพธ์ที่ได้คือสมการพยากรณ์แรงตัด และความขรุขระผิวเฉลี่ย วัดจากค่า R-square และ R-square adjust โดยมีระดับความแม่นยำมากกว่า 75%

2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับวัสดุประเภทอะลูมิเนียม

วัสดุประเภทอะลูมิเนียมได้ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษางานวิจัยที่ใช้อะลูมิเนียมในการกลึงเช่นกัน ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

อาทิตยา ชัยจรีนนท์ (2560) [21]

งานวิจัยนี้ศึกษาความสัมพันธ์ความขรุขระผิวชิ้นงานอะลูมิเนียมกับอัตราส่วนแรงตัด ในขณะที่ตัดภายใต้เงื่อนไขการตัดต่างๆ ดังนี้คือ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด รัศมีงูมกมิต ความลึกในการตัด และอัตราส่วนแรงตัด โดยเริ่มจากตัดชิ้นงานโดยเครื่องซีเอ็นซีที่ติดตั้งไดนาโมมิเตอร์วัดสัญญาณแรงตัดผ่านเครื่องขยายสัญญาณ และวัดค่าความขรุขระผิวชิ้นงานอะลูมิเนียมด้วยเครื่องวัดความขรุขระ โดยทำการวิเคราะห์แรงตัดที่ได้จากเครื่องขยายสัญญาณและเครื่องวัดความขรุขระด้วยการใช้การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว พบว่าแรงตัดพลวัตและความขรุขระผิวชิ้นงานมีความถี่ตรงกัน ดังนั้นพิสูจน์ได้ว่าอัตราส่วนแรงตัดสามารถใช้พยากรณ์ความขรุขระผิวชิ้นงานในขณะที่ตัดได้ โดยคำนวณอัตราส่วนแรงตัดจากอัตราส่วนแรงป้อนตัดต่อแรงตัดหลัก ผลการทดลองพบว่าถ้าอัตราป้อนตัด ความลึกในการตัดต่ำ และความเร็วตัด รัศมีงูมกมิตมีค่าสูง จะส่งผลให้ความขรุขระผิวชิ้นงานจะมีค่าลดลง

สมการพยากรณ์ความขรุขระผิวชิ้นงานอยู่ในรูปของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล ค่าสัมประสิทธิ์ในฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียลสามารถคำนวณได้จากการใช้สมการถดถอยพหุคูณด้วยวิธีการสองน้อยที่สุดที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถใช้พยากรณ์ความขรุขระผิวชิ้นงานในขณะที่ตัดได้ โดยมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 88.03% และ 89.55% ตามลำดับ

Sarun Thongprapai and Attakorn Anupongsirisakul (2011) [22]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาสมการพยากรณ์ความขรุขระผิวและแรงตัด และเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกลึงอะลูมิเนียม Al 6063 ให้ได้ค่าความขรุขระผิวน้อยที่สุด โดยใช้มีดตัดคาร์ไบด์เคลือบผิว เป็นการตัดแบบแห้ง การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เป็นเคน ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยพื้นผิวตอบสนอง ปัจจัยที่นำมาศึกษาคือ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกในการตัด และรัศมีงูมกมิต แรงตัดที่ได้จากการทดลองถูกนำมาใช้ในการพยากรณ์ความขรุขระผิวชิ้นงาน ตรวจสอบความสัมพันธ์ของเงื่อนไขในการตัดและความขรุขระผิวของชิ้นงาน ส่วนในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลนั้นใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ผลการทดลองพบว่าถ้าความเร็วตัดเพิ่มมากขึ้น ความขรุขระผิวของชิ้นงานมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่ออัตราป้อนตัด และความลึกในการตัดเพิ่มขึ้น ค่าความขรุขระผิวชิ้นงานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิวและแรงตัดมากที่สุดคือ อัตราป้อนตัด คือเมื่ออัตราป้อนตัดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าความขรุขระผิว แรงตัดหลัก และแรงในแนวรัศมีมีค่าเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้คือ แบบจำลองสมการพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย และแบบจำลองสมการพยากรณ์แรงตัดหลักและแรงป้อนตัด โดยที่มีความแม่นยำเท่ากับ 80.75% 91.15% และ 92.48% ตามลำดับ เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการกลึงอะลูมิเนียม คือที่ความเร็วตัด 400 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.2 มิลลิเมตร และรัศมีงูมกมิต 0.8 มิลลิเมตร

วัชรพงษ์ พุประทีป (2553) [23]

งานวิจัยนี้เพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมในกระบวนการกลึงชิ้นงานอะลูมิเนียม Al 6063 ระหว่างแบบแห้ง แบบเปียก และแบบล่องของสารหล่อเย็นตัวแปรได้แก่ ความเร็วตัด 200-400 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.10-0.30 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกในการตัด 0.4-1.2 มิลลิเมตร โดยพิจารณาจากความขรุขระผิวและอัตราส่วนแรงตัดระหว่างแรงป้อนตัดและแรงตัดหลัก ใช้การวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองซึ่งประกอบด้วย การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เป็นเคน และการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับความเชื่อมั่น 95% งานวิจัยนี้ทำการติดตั้งไดนาโมมิเตอร์ในเครื่องกลึง CNC เพื่อเก็บค่าแรงตัดในกระบวนการกลึง และสร้างแบบจำลองสมการพยากรณ์ความขรุขระผิวชิ้นงานจากข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ผลการทดลองพบว่าอัตราป้อนตัดส่งผลต่อความขรุขระผิวมากที่สุด ผลลัพธ์ที่คือสมการพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวเฉลี่ย และสมการพยากรณ์อัตราส่วนแรงของการตัดแบบเปียก

แบบแห้ง และแบบละอองของสารหล่อเย็น เงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมได้แก่การตัดแบบเปียกที่ความเร็วตัด 200 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.10 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกในการตัด 0.4 มิลลิเมตร

2.2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรง (Straightness) ความขรุขระ (Roughness) และความกลม (Roundness) จากงานวิจัยที่ผ่านมา

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ของแรงตัดกับความตรง (Straightness) ความขรุขระ (Roughness) และความกลม (Roundness) ซึ่งต่างก็เป็นคุณสมบัติรูปร่างทางเรขาคณิตของชิ้นงาน ที่ถูกนำมาพิจารณาคุณภาพผิวชิ้นงานทั้งสิ้น เนื่องจากข้อมูลความตรงมีลักษณะคล้ายกับความขรุขระผิวและความกลมของชิ้นงาน จึงอาศัยทฤษฎีความสัมพันธ์ของความขรุขระผิวและความกลม เพื่อหาความสัมพันธ์ของความตรงกับแรงป้อนตัด และเงื่อนไขการตัด

งานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติรูปร่างทางเรขาคณิตเหล่านี้เช่นกัน เพื่อแสดงถึงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น และสามารถดูแนวโน้มได้ว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ โดยแนวโน้มของคุณภาพผิวชิ้นงานที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ดังนี้

ความตรง (Straightness) ความตรงของชิ้นงานมีแนวโน้มที่ดีขึ้นทำให้ค่าความตรงเบี่ยงหนีศูนย์ของชิ้นงานลดลง ก็ต่อเมื่อใช้ความเร็วตัด รัศมีจุมกมิต มุมคายเศษโลหะมากขึ้น และอัตราป้อนตัด ความลึกในการตัดต่ำ

ความขรุขระ (Roughness) ความขรุขระผิวชิ้นงานจะมีค่าลดลงถ้าความเร็วตัด รัศมีจุมกมิตมีค่าสูง รวมถึงมุมคายเศษโลหะที่มากขึ้น และอัตราป้อนตัด ความลึกในการตัดต่ำ

ความกลม (Roundness) ความกลมที่ดีนั้นจะสังเกตได้จากพิสัยเส้นผ่านศูนย์กลางที่ลดลง โดยจะได้รับการเพิ่มความเร็วตัด เพิ่มขนาดรัศมีจุมกมิต ใช้มุมคายเศษโลหะที่มีค่ามาก และลดอัตราการป้อน ลดความลึกตัด

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยในบทที่ 3 นี้จะนำเสนอเกี่ยวกับวิธีการดำเนินงานในการวิจัย เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรงของชิ้นงานอะลูมิเนียมกับอัตราส่วนแรงตัด รวมถึงเงื่อนไขการตัดต่างๆ โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง การกำหนดเงื่อนไขต่างๆ จนไปถึงการพัฒนาสมการเพื่อสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ความตรงของชิ้นงานในกระบวนการกลึง

3.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) ได้ถูกนำมาใช้ในการงานวิจัยนี้ เนื่องจากเป็นการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป สามารถดูอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ได้พร้อมกัน โดยจะทำการเลือกเงื่อนไขการตัดที่ทำให้ชิ้นงานอะลูมิเนียมมีความตรงเพื่อหาจำนวนการทดลองทั้งหมดตามหลักการของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่นำจำนวนระดับปัจจัยในแต่ละปัจจัยมาคูณกัน เพื่อนำมาสู่การสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความตรงผิวชิ้นงานอะลูมิเนียมในกระบวนการตัด

3.1.1 ปัจจัยสำหรับการทดลอง

เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมา [3, 4] มีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความตรงชิ้นงานในกระบวนการกลึง และตามหลักทฤษฎีที่มีผลต่อความเรียบผิวชิ้นงานนั้น ทำให้สามารถเลือกปัจจัยสำหรับการพิจารณาซึ่งมีดังนี้คือ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกในการตัด และรัศมีงูมกมิต เพื่อใช้สำหรับศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีต่อความตรงผิวชิ้นงาน และสามารถประยุกต์ใช้อัตราส่วนแรงตัดเพื่อสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความตรงชิ้นงานของกระบวนการกลึงอะลูมิเนียม

3.1.2 การกำหนดระดับปัจจัยสำหรับการทดลอง

ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเบื้องต้นสำหรับการเลือกระดับปัจจัยต่างๆ โดยกำหนดขอบเขตระดับการทดลองจากการศึกษาจากคู่มือคำแนะนำของผู้ผลิตเครื่องมือตัด พร้อมทั้งการพิจารณาผิวสำเร็จของชิ้นงานอะลูมิเนียมให้อยู่ในช่วงที่ได้ความตรงของชิ้นงานที่ดี รวมไปถึงการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อกำหนดระดับปัจจัยสำหรับการทดลองที่เหมาะสมได้ดังนี้

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการตัด

ปัจจัย	ระดับปัจจัย			หน่วย
ความเร็วตัด (v)	150	200	250	เมตรต่อนาที
อัตราป้อนตัด (f)	0.100	0.125	0.150	มิลลิเมตรต่อรอบ
ความลึกตัด (D)	0.10	0.20	0.30	มิลลิเมตร
รัศมีจุมูกมีต (R_n)	0.4	0.8	-	มิลลิเมตร

จากตารางที่ 3.1 สาเหตุในการเลือกปัจจัยและระดับปัจจัยต่างๆ มีดังต่อไปนี้คือ

- 1) ความเร็วตัด (v) ได้กำหนดระดับปัจจัย 3 ระดับคือ 150 200 และ 250 เมตรต่อ นาทีเป็นค่าความเร็วตัดที่อยู่ในช่วง 70 - 290 เมตรต่อ นาที ซึ่งเป็นช่วงความเร็วตัดที่ใช้สำหรับเม็ดมีด कारไบต์เคลือบผิว และเนื่องจากวัสดุประเภทอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติความแข็ง และจุดหลอมเหลวต่ำ ส่งผลให้มีความอ่อนตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนจากการตัด ถ้าใช้ความเร็วในการตัดที่สูงเกินไป อุณหภูมิในการตัดจะสูงตามไปด้วย ส่งผลทำให้เกิดเศษโลหะหลอมติดกับเม็ดมีด และทำให้ผิวสำเร็จ ชิ้นงานมีรอยที่เกิดจากเศษโลหะ ทำให้ค่าความตรงชิ้นงานต่ำ
- 2) อัตราการป้อนตัด (f) ได้กำหนดระดับปัจจัย 3 ระดับคือ 0.10 0.125 และ 0.150 มิลลิเมตรต่อรอบ เนื่องจากการทดลองเบื้องต้นและการศึกษาความรู้เชิงทฤษฎีพบว่าถ้าอัตราการป้อน ตัดต่ำ จะทำให้ผิวชิ้นงานมีค่าความตรงสูง และระดับปัจจัยของอัตราป้อนตัดก็อยู่ในช่วงอัตราป้อนตัด ที่ผู้ผลิตเม็ดมีดได้แนะนำอีกด้วย ซึ่งมีช่วงอัตราป้อนตัด 0.08 - 0.20 มิลลิเมตรต่อรอบ
- 3) ความลึกตัด (D) ได้กำหนดระดับปัจจัย 3 ระดับคือ 0.10 0.20 และ 0.30 มิลลิเมตร การใช้ความลึกตัดที่น้อยส่งผลให้ได้ผิวชิ้นงานมีค่าความตรงสูงกว่าการใช้ความลึกตัดมาก แต่ไม่ควรใช้ ความลึกตัดที่น้อยเกินไปเพราะจะถูกอิทธิพลของรัศมีจุมูกมีตมาดบัง
- 4) รัศมีจุมูกมีต (R_n) ได้กำหนดระดับปัจจัยที่ 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร เนื่องจากต้องการ แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของรัศมีจุมูกมีตที่ส่งผลต่อความตรงของชิ้นงาน ถ้ารัศมีจุมูกมีตมากจะส่งผลให้ ชิ้นงานมีคุณภาพผิวที่ดี แต่ถ้าหากรัศมีจุมูกมีตมีค่ามากเกินไป จะทำให้เกิดการสันสะท้อนในขณะตัด ส่งผลให้คุณภาพผิวชิ้นงานไม่ดี

นอกจากนี้ยังมีมุกคายเศษโลหะบวกลบซึ่งปัจจัยต่อคุณภาพชิ้นงานอีกด้วย แต่ในงานวิจัย นี้จะกำหนดมุกคายเศษโลหะเป็นบวกลบเท่านั้น เพราะจากทฤษฎีมุกคายเศษโลหะที่เป็นบวกลบ จะช่วยให้ เศษโลหะไหลออกดีทำให้เศษโลหะไม่พันกับชิ้นงานและเม็ดมีด ทำให้ไม่เกิดรอยที่เกิดจากเศษโลหะที่

ชิ้นงาน และมุมคายเศษโลหะที่เป็นมุมบวกทำให้มุมระนาบเฉือนเพิ่มขึ้น ระนาบเฉือนสั้นลง ทำให้ลดแรงในการตัดได้ ทำให้คุณภาพผิวสำเร็จของชิ้นงานดี

3.1.3 เงื่อนไขการทดลอง

- 1) การทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial design)
- 2) ปัจจัย 4 ปัจจัยคือ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกในการตัด และรัศมีจุมุมมีด
- 3) ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด และความลึกในการตัด มีระดับปัจจัย 3 ระดับ
- 4) รัศมีจุมุมมีด มีระดับปัจจัย 2 ระดับ
- 5) การทดลองจะมีทั้งหมด 54 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการทดลองทั้งหมด

การทดลองที่	ความเร็วตัด (v) (เมตรต่อนาที)	อัตราป้อนตัด (f) (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (D) (มิลลิเมตร)	รัศมีจุมุมมีด (R _n) (มิลลิเมตร)
1	150	0.1	0.1	0.4
2	150	0.1	0.1	0.8
3	150	0.1	0.2	0.4
4	150	0.1	0.2	0.8
5	150	0.1	0.3	0.4
6	150	0.1	0.3	0.8
7	150	0.125	0.1	0.4
8	150	0.125	0.1	0.8
9	150	0.125	0.2	0.4
10	150	0.125	0.2	0.8
11	150	0.125	0.3	0.4
12	150	0.125	0.3	0.8
13	150	0.15	0.1	0.4
14	150	0.15	0.1	0.8
15	150	0.15	0.2	0.4
16	150	0.15	0.2	0.8
17	150	0.15	0.3	0.4

การทดลองที่	ความเร็วตัด (v) (เมตรต่อนาที)	อัตราป้อนตัด (f) (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (D) (มิลลิเมตร)	รัศมีจุ่มมีด (R_n) (มิลลิเมตร)
18	150	0.15	0.3	0.8
19	200	0.1	0.1	0.4
20	200	0.1	0.1	0.8
21	200	0.1	0.2	0.4
22	200	0.1	0.2	0.8
23	200	0.1	0.3	0.4
24	200	0.1	0.3	0.8
25	200	0.125	0.1	0.4
26	200	0.125	0.1	0.8
27	200	0.125	0.2	0.4
28	200	0.125	0.2	0.8
29	200	0.125	0.3	0.4
30	200	0.125	0.3	0.8
31	200	0.15	0.1	0.4
32	200	0.15	0.1	0.8
33	200	0.15	0.2	0.4
34	200	0.15	0.2	0.8
35	200	0.15	0.3	0.4
36	200	0.15	0.3	0.8
37	250	0.1	0.1	0.4
38	250	0.1	0.1	0.8
39	250	0.1	0.2	0.4
40	250	0.1	0.2	0.8
41	250	0.1	0.3	0.4
42	250	0.1	0.3	0.8
43	250	0.125	0.1	0.4
44	250	0.125	0.1	0.8
45	250	0.125	0.2	0.4

การทดลองที่	ความเร็วตัด (v) (เมตรต่อนาที)	อัตราป้อนตัด (f) (มิลลิเมตร/รอบ)	ความลึกในการตัด (D) (มิลลิเมตร)	รัศมีจุกมิด (R_n) (มิลลิเมตร)
46	250	0.125	0.2	0.8
47	250	0.125	0.3	0.4
48	250	0.125	0.3	0.8
49	250	0.15	0.1	0.4
50	250	0.15	0.1	0.8
51	250	0.15	0.2	0.4
52	250	0.15	0.2	0.8
53	250	0.15	0.3	0.4
54	250	0.15	0.3	0.8

3.2 การดำเนินการทดลอง

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

- 1) เครื่องกลึงขั้นศูนย์ (Lathe Machine) สำหรับกลึงทำจุดขั้นศูนย์ชิ้นงาน



รูปที่ 3.1 เครื่องกลึงขั้นศูนย์ (Lathe Machine)

- 2) เครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC Turning Machine) ชนิด 4 แกนยี่ห้อม Mazak รุ่น Nexus 200MY/MSY



รูปที่ 3.2 เครื่องกลึงซีเอ็นซีชนิด 4 แกนยี่ห้อม Mazak รุ่น Nexus 200MY/MSY

- 3) ด้ามมีดกลึง (Tool Holder) ยี่ห้อ Kyocera รหัสด้ามมีด CTGPR 2525M-16N มุมคายเศษโลหะ 11 องศาเป็นบวก



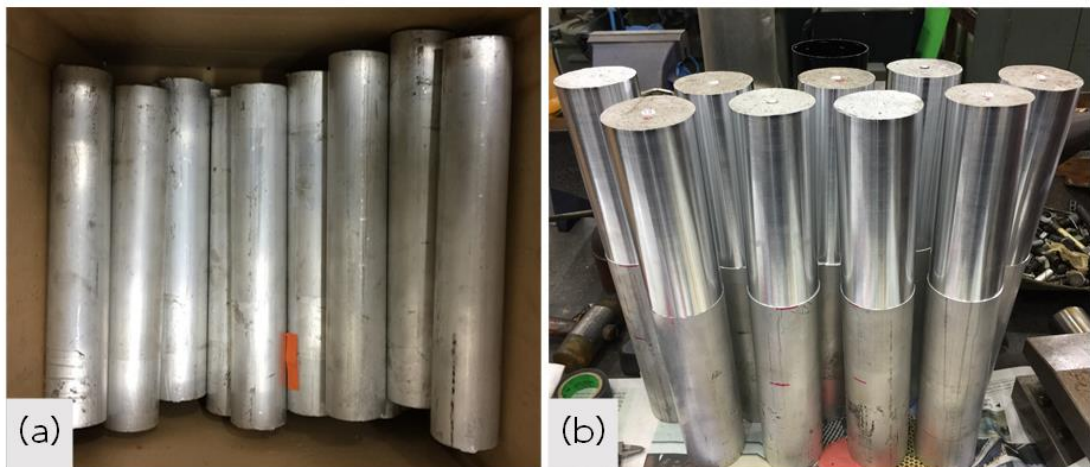
รูปที่ 3.3 ด้ามมีดกลึงยี่ห้อ Kyocera รหัสด้ามมีด CTGPR 2525M-16N มุมคายเศษโลหะ 11 องศา

- 4) เม็ดมีด (Insert) คาร์ไบด์เคลือบผิวยี่ห้อ Kyocera มีรหัสเม็ดมีด 2 รหัสคือ TPMR 160304HQ ที่มีรัศมีงมุกมีดขนาด 0.4 มิลลิเมตร และรหัส TPMR 160308HQ ที่มีรัศมีงมุกมีดขนาด 0.8 มิลลิเมตร และทั้ง 2 เม็ดมีดมีมุมคายเศษโลหะ 11 องศาเป็นบวก



รูปที่ 3.4 เม็ดเม็ดคาร์ไบด์เคลือบผิวยี่ห้อ Kyocera (a) รหัสเม็ดมีด TPR160304HQ (b) รหัสเม็ดมีด TPR160308HQ

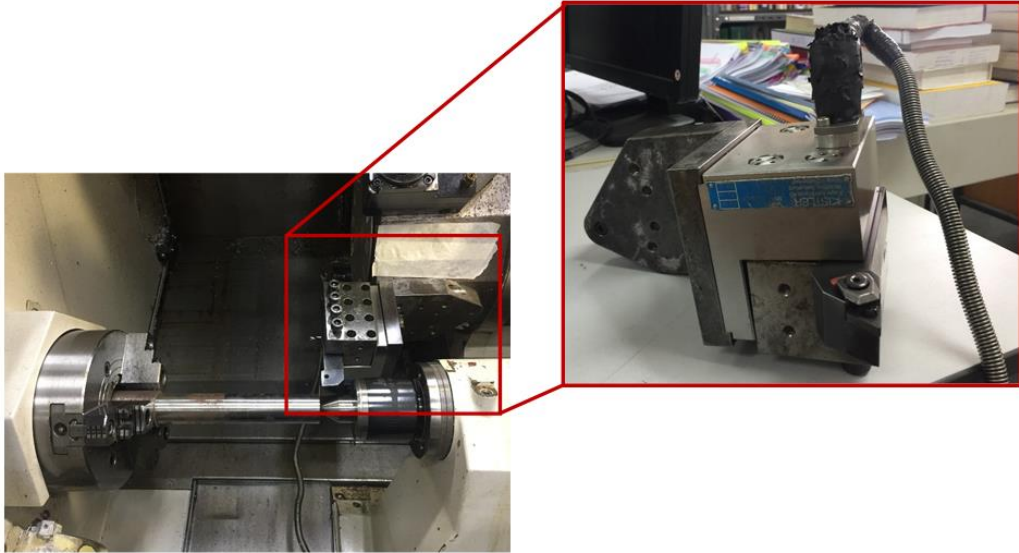
- 5) ชิ้นงาน (Workpiece) ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองใช้วัสดุประเภทอะลูมิเนียมเกรด 6063 รูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 52 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตร หลังจากปอกผิวชิ้นงานจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 49.8 – 50.2 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.5 แท่งอะลูมิเนียมเกรด 6063 ทรงกระบอก (a) ก่อนปอกผิว (b) หลังปอกผิว

อะลูมิเนียมเกรด 6063 เป็นเกรดอุตสาหกรรมที่นิยมใช้กันทั่วไป เช่น งานกลึงชิ้นส่วนต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น อะไหล่รถยนต์ ส่วนประกอบในเครื่องจักร อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ เครื่องประดับ ตกแต่ง งานปั๊มขึ้นรูป งานแม่พิมพ์ เป็นต้น มีส่วนประกอบคือ ซิลิคอน และแมกนีเซียม ในปริมาณที่มากพอในการขึ้นรูป Magnesium Silicide (Mg_2Si) สามารถทำกระบวนการอบร้อนได้ แต่ไม่แข็งเท่ากับประเภท 2xxx และ 7xxx โดยประเภท 6xxx นี้จะสามารถทำการขึ้นรูปได้ดี เชื่อมง่าย แปรรูปง่าย และต้านทานการกัดกร่อนได้ดี ด้วยความแข็งแรงปาน

- 6) ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) ยี่ห้อ Kistler รุ่น 9121 ใช้วัดแรงตัดในขณะตัด



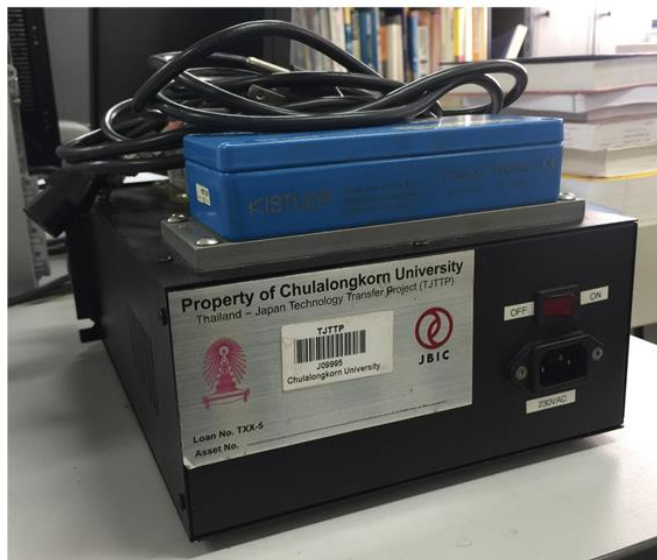
รูปที่ 3.6 ไดนาโมมิเตอร์ยี่ห้อ Kistler รุ่น 9121

- 7) ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DL750 สำหรับบันทึกและแสดงผลค่าแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะตัด



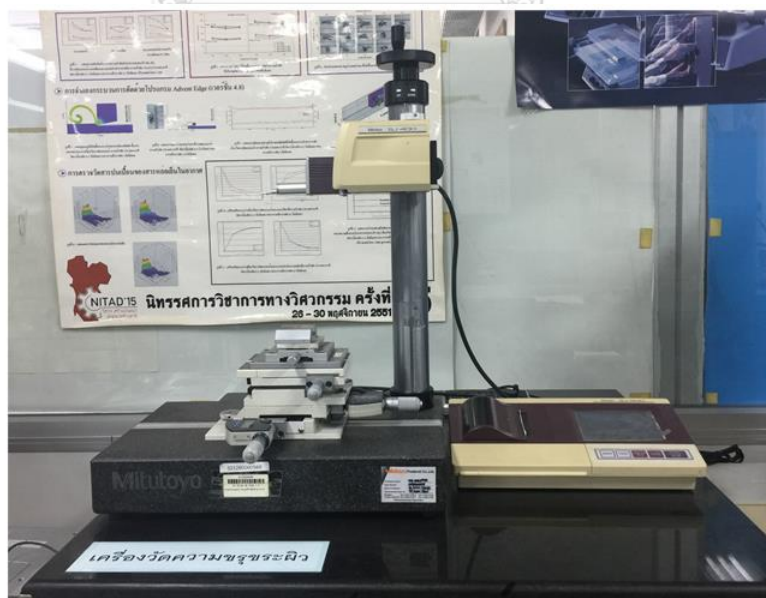
รูปที่ 3.7 ออสซิลโลสโคปยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DL750

- 8) เครื่องขยายสัญญาณ (Charge Amplifier) ยี่ห้อ Kistler รุ่น 5038 สำหรับขยายสัญญาณแรงตักจากไดนาโมมิเตอร์ที่วัดแรงตักในขณะตัก



รูปที่ 3.8 เครื่องขยายสัญญาณ (Charge Amplifier) ยี่ห้อ Kistler รุ่น 5038

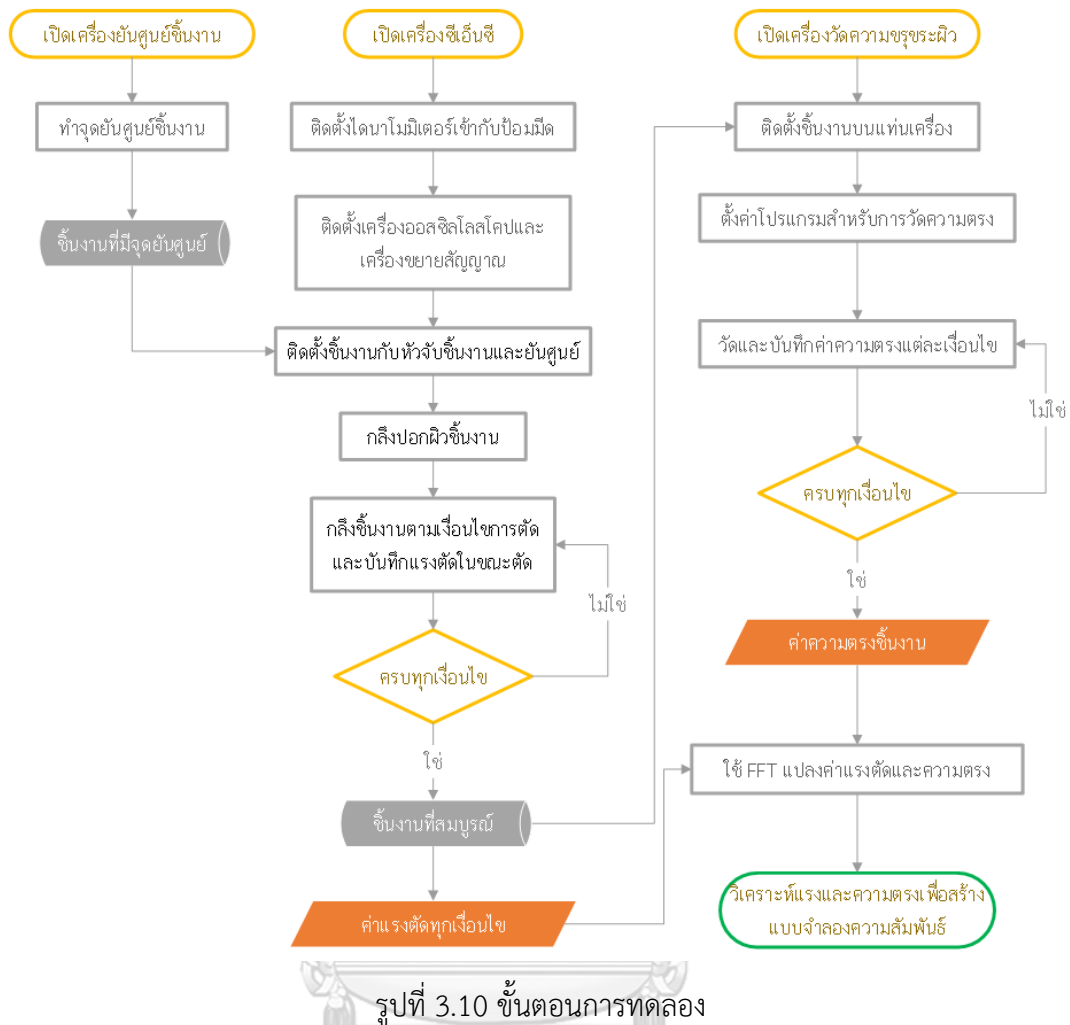
- 9) เครื่องวัดความขรุขระผิวชิ้นงาน (Roughness Tester) ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-400 ใช้สำหรับวัดความตรงชิ้นงาน



รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความขรุขระผิว ยี่ห้อ Mitutoyo รุ่น SJ-400

3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

- 1) เตรียมชิ้นงานอะลูมิเนียมทรงกระบอกโดยการทำย่นศูนย์ที่ตัวชิ้นงาน เพื่อสามารถติดตั้งในเครื่องกลึงซีเอ็นซีได้
- 2) เปิดเครื่องกลึงซีเอ็นซี พร้อมตรวจสอบวาล์วแรงดัน
- 3) นำไดนาโมมิเตอร์ติดตั้งเข้ากับชุดป้อมมีดของเครื่องกลึงซีเอ็นซี และต่อสายสัญญาณของไดนาโมมิเตอร์เข้ากับเครื่องขยายสัญญาณ
- 4) นำสายสัญญาณของเครื่องออสซิลโลสโคปต่อเข้ากับเครื่องขยายสัญญาณซึ่งมีทั้งหมด 3 เส้นคือเส้นของแรงในแนวรัศมี (F_x) เส้นของแรงป้อนตัด (F_y) และเส้นของแรงตัดหลัก (F_z)
- 5) เปิดเครื่องขยายสัญญาณ รวมทั้งเปิดและตั้งค่าเครื่องออสซิลโลสโคปที่ Low-Pass Filter 500 Hz Sampling Rate 1 Ks/s และ Record Length 10 K
- 6) ติดตั้งชิ้นงานอะลูมิเนียมทรงกระบอกกับหัวจับชิ้นงาน (Chuck) ที่ระยะจับ 100 มิลลิเมตร พร้อมทั้งย่นศูนย์ชิ้นงาน เพื่อไม่ให้ชิ้นงานสั่นสะเทือนขณะตัด
- 7) กลึงปอกผิวชิ้นงานอะลูมิเนียมเพื่อเตรียมผิวชิ้นงานที่มีความยาว 130 มิลลิเมตร
- 8) กลึงชิ้นงานตามเงื่อนไขดังตารางที่ 3.2 โดยกลึงความยาว 30 มิลลิเมตรต่อ 1 เงื่อนไขการทดลอง
- 9) บันทึกแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะตัดผ่านเครื่องออสซิลโลสโคปในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ไดนาโมมิเตอร์จะส่งสัญญาณแรงตัดพลวัตไปยังเครื่องขยายสัญญาณเพื่อทำการขยายสัญญาณแรงตัด และเก็บข้อมูลที่ 10,000 ค่าต่อวินาที
- 10) สังเกตลักษณะของผิวชิ้นงานหลังการตัด ตรวจสอบสภาพการสึกหรอของเม็ดมีดพร้อมบันทึกผล และเก็บตัวอย่างเศษโลหะที่เกิดในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง
- 11) ใช้เครื่องวัดความขรุขระผิวชิ้นงานวัดค่าความตรงของชิ้นงาน ตั้งค่าระยะการลากหัวเข็มเท่ากับ 12.5 มิลลิเมตร ความเร็วในการลากเข็ม 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และอัตราการสุ่มเท่ากับ 400 ข้อมูลต่อวินาที โดยวัดแบบทำซ้ำ 3 ครั้งต่อหนึ่งเงื่อนไขการทดลอง
- 12) ใช้การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) วิเคราะห์สัญญาณแรงตัดที่ได้จากไดนาโมมิเตอร์ และความตรงของชิ้นงานที่ได้จากเครื่องวัดความขรุขระชิ้นงาน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การสร้างสมการและวิเคราะห์การทดลอง

3.3.1 การสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความตรงของชิ้นงานในขณะตัด

จากความสัมพันธ์ของความตรงของชิ้นงานกับเงื่อนไขต่างๆ ในบทที่ผ่านมา ความตรงของชิ้นงานจะขึ้นอยู่กับความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกในการตัด และรัศมีจุ่มกมิต ซึ่งเป็นปัจจัยที่นำมาพิจารณาและกำหนดเงื่อนไขในการทดลองเพื่อสร้างสมการในรูปแบบฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียลตามทฤษฎีของความขรุขระผิว แต่การคำนวณอัตราส่วนแรงตัดของการหาความสัมพันธ์ความตรงของชิ้นงานจะใช้อัตราส่วนของผลต่างค่าความขรุขระผิวสูงสุด (Max) กับค่าที่น้อยที่สุด (Min) ต่อแรงตัดสถิต ดังนั้นจะได้สมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความตรงของชิ้นงานในขณะตัดซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแรงตัดพลวัตและแรงตัดสถิตในทิศทางป้อนตัด และเงื่อนไขการตัดดังต่อไปนี้

$$S_t = C_1 \cdot (V)^{a_1} \cdot (f)^{a_2} \cdot (D)^{a_3} \cdot (R_n)^{a_4} \cdot \left(\frac{F_{y(max)} - F_{y(min)}}{F_{y(s)}} \right)^{a_5} \quad (3.1)$$

โดย	S_t	=	ความตรงของชิ้นงาน (ไมโครเมตร)
	V	=	ความเร็วตัดชิ้นงานใน (เมตรต่อนาที)
	f	=	อัตราการป้อนตัด (มิลลิเมตรต่อรอบ)
	D	=	ความลึกในการตัด (มิลลิเมตร)
	R_n	=	รัศมีจุกมิต (มิลลิเมตร)
	$\left(\frac{F_{y(max)} - F_{y(min)}}{F_{y(s)}} \right)$	=	อัตราส่วนแรงป้อนตัดพลวัตต่อแรงป้อนตัดสถิต
	$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, C_1$	=	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ

จากสมการ 3.1 นั้นอยู่ในรูปของฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียลสามารถแปลงลอการิทึมให้เปลี่ยนเป็นสมการถดถอยพหุคูณได้ดังนี้

$$\ln S_t = \ln C_1 + a_1 \ln V + a_2 \ln f + a_3 \ln D + a_4 \ln R_n + a_5 \ln \left(\frac{F_{y(max)} - F_{y(min)}}{F_{y(s)}} \right) \quad (3.2)$$

จากสมการ 3.2 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการอย่างได้ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5 \quad (3.3)$$

โดย	y	=	$\ln S_t$
	x_1	=	$\ln V$
	x_2	=	$\ln f$
	x_3	=	$\ln D$
	x_4	=	$\ln R_n$
	x_5	=	$\ln \left(\frac{F_{y(max)} - F_{y(min)}}{F_{y(s)}} \right)$

และ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ คือค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ ที่ได้มาจากการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงพหุคูณ โดยประมาณค่าด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Method)

ในขั้นสุดท้ายจะทำการคำนวณขอบเขตการพยากรณ์ (Prediction interval, PI) โดยตั้งระดับความเชื่อมั่นที่ 95% เพื่อสร้างขอบเขตความเป็นไปได้ที่ค่าความตรงผิวชิ้นงานที่ได้จากการใช้งานจริงจะตกอยู่ในช่วงขอบเขตนั้น

3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ข้อมูลจากการทดลองได้แก่ ความตรงของชิ้นงาน สัญญาณแรงตัดพลวัตและสัญญาณแรงตัดสถิต จะถูกนำมาแปลงสัญญาณจากโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ ผ่านการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform, FFT)

2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงของชิ้นงาน และแรงตัดพลวัตในโดเมนความถี่ โดยผลการทดลองในเงื่อนไขการตัดนั้น ๆ จะถูกนำมาใช้วิเคราะห์ต่อไปก็ต่อเมื่อข้อมูลที่ได้ให้ผลลัพธ์ไปในทิศทางเดียวกัน

3. ทำการคำนวณค่าอัตราส่วนของแรง ซึ่งจะอยู่ในรูปของอัตราส่วนแรงป้อนตัดพลวัตต่อแรงป้อนตัดสถิต โดยแรงป้อนตัดพลวัตจะถูกคำนวณจากค่าแอมพลิจูดของสัญญาณแรงป้อนตัด (Peak to Valley) ในโดเมนเวลา เพื่อนำไปสู่การสร้างสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความตรงของชิ้นงาน

4. การทดสอบสมมุติฐานของการถดถอยพหุคูณนั้นทำเพื่อที่จะพิสูจน์ว่าสมการแบบจำลองความสัมพันธ์ความตรงของชิ้นงานนั้นมีความเหมาะสม หรือค่า y ในสมการมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ซึ่งมีการทดสอบดังนี้

1) การแจกแจงแบบปกติ (Normality) เป็นการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อน (Residual, ϵ) ของตัวแปรตอบว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยจะนำค่าความคลาดเคลื่อนของความตรงของชิ้นงานมาสร้าง Normal Probability Plot และแนวโน้มของกราฟที่ได้ควรเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวเป็นแบบปกตินั่นเอง

2) ความเป็นอิสระ (Independent) เป็นการทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของ (Residual, ϵ) ตัวแปรผลตอบว่าเป็นอิสระต่อกันหรือไม่ โดยจะนำค่าความคลาดเคลื่อนของความตรงของชิ้นงานมาสร้างกราฟข้อมูลเทียบกับลำดับเวลาการเก็บข้อมูล (Observation order) การที่

ข้อมูลจะเป็นอิสระต่อกันนั้นจะต้องไม่มีแนวโน้มใดๆ เกิดขึ้น เช่นค่าคลาดเคลื่อนต้องไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลง

3) ความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance stability) เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อน (Residual, ϵ) กับค่าที่ฟิต (Fitted Value) ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 ความแปรปรวนจะมีเสถียรภาพได้นั้นเกิดจากการกระจายที่ไม่มีแนวโน้ม



บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงของชิ้นงานอะลูมิเนียมกับอัตราส่วนแรงตัดที่เกิดขึ้นในขณะตัดจะได้จากผลการทดลองและการวิเคราะห์การทดลองที่จะกล่าวไว้ในบทนี้ โดยมีปัจจัยที่นำมาพิจารณาซึ่งได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกกัด และรัศมีจุมุมกัด ซึ่งถูกนำมาใช้ในการพัฒนาสมการทำนายความตรงผิวชิ้นงานให้อยู่ในรูปฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล และใช้สมการถดถอยเชิงพหุคูณมาใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุด

4.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 3.2 สามารถบันทึกผลได้ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยที่ใช้ในการทดลองดังต่อไปนี้

- 1) ความเร็วตัด (V) หน่วย เมตรต่อนาที
- 2) อัตราป้อนตัด (f) หน่วย มิลลิเมตรต่อรอบ
- 3) ความลึกในการตัด (D) หน่วย มิลลิเมตร
- 4) รัศมีจุมุมกัด (R_n) หน่วย มิลลิเมตร
- 5) ความตรงเบี่ยงหนีศูนย์กลางของชิ้นงาน (S_r) หน่วย ไมโครเมตร
- 6) อัตราส่วนแรงป้อนตัดพลวัตต่อแรงตัดสถิต $\left(\frac{F_y(\max) - F_y(\min)}{F_y(s)} \right)$

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง

Run Order	V (m/min)	F (mm/rev)	D (mm)	R_n	$\left(\frac{F_{y(\max)} - F_{y(\min)}}{F_{y(s)}}\right)$	S_t
1	250	0.1	0.2	0.8	1.059	6.857
2	250	0.1	0.3	0.8	0.882	6.724
3	250	0.125	0.3	0.4	1.375	7.697
4	150	0.1	0.2	0.8	0.609	5.265
5	250	0.1	0.1	0.4	0.792	6.647
6	250	0.125	0.1	0.8	1.267	5.296
7	250	0.15	0.2	0.8	1.153	9.581
8	200	0.1	0.1	0.8	1.128	4.265
9	250	0.1	0.3	0.4	1.056	8.467
10	250	0.15	0.3	0.8	1.122	9.107
11	150	0.15	0.1	0.4	0.709	9.085
12	150	0.1	0.1	0.4	0.943	6.342
13	150	0.125	0.1	0.4	2.447	9.035
14	200	0.15	0.2	0.8	1.073	7.227
15	200	0.15	0.3	0.8	1.049	10.494
16	250	0.15	0.1	0.4	0.841	10.635
17	250	0.1	0.1	0.8	1.184	4.861
18	200	0.15	0.2	0.4	1.636	14.239
19	250	0.125	0.3	0.8	1.207	6.674
20	150	0.125	0.2	0.8	1.080	8.285
21	250	0.1	0.2	0.4	1.012	6.217
22	150	0.1	0.1	0.8	1.247	5.715
23	150	0.125	0.3	0.8	1.427	10.421
24	150	0.1	0.2	0.4	0.650	8.434

Run Order	V (m/min)	F (mm/rev)	D (mm)	Rn	$\left(\frac{F_{y(\max)}-F_{y(\min)}}{F_{y(s)}}\right)$	St
25	150	0.125	0.1	0.8	0.971	6.135
26	150	0.125	0.3	0.4	2.852	14.141
27	200	0.125	0.1	0.8	1.203	6.390
28	150	0.15	0.2	0.4	0.630	10.202
29	150	0.15	0.3	0.8	1.084	9.936
30	150	0.15	0.2	0.8	0.820	9.242
31	200	0.1	0.2	0.8	0.719	4.312
32	200	0.1	0.3	0.4	0.997	9.207
33	150	0.15	0.3	0.4	1.498	11.261
34	200	0.1	0.1	0.4	0.763	6.532
35	150	0.1	0.3	0.8	1.462	8.312
36	200	0.1	0.3	0.8	1.385	6.014
37	200	0.125	0.3	0.8	0.998	9.668
38	200	0.15	0.1	0.4	1.042	10.553
39	200	0.15	0.3	0.4	2.370	19.130
40	150	0.1	0.3	0.4	2.847	14.257
41	200	0.125	0.2	0.4	1.348	8.881
42	200	0.1	0.2	0.4	0.985	6.978
43	200	0.15	0.1	0.8	1.957	6.775
44	200	0.125	0.2	0.8	1.148	7.003
45	200	0.125	0.1	0.4	1.265	6.956
46	250	0.125	0.2	0.4	1.057	7.571
47	250	0.125	0.1	0.4	1.424	6.108
48	250	0.125	0.2	0.8	0.962	5.589
49	250	0.15	0.1	0.8	0.939	8.826
50	150	0.125	0.2	0.4	1.888	11.653

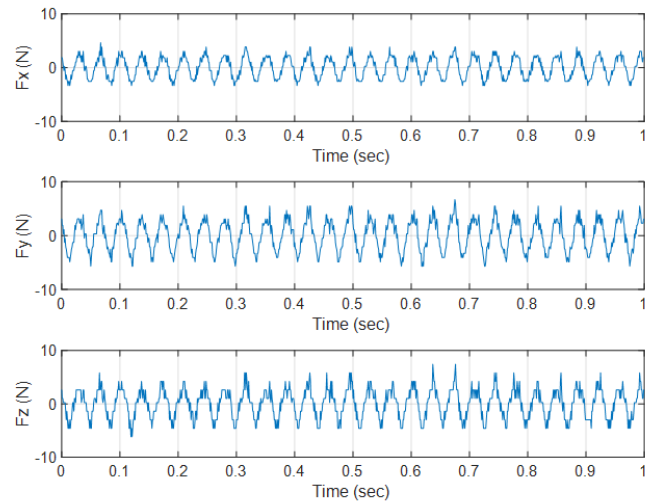
Run Order	V (m/min)	F (mm/rev)	D (mm)	Rn	$\left(\frac{F_y(\max)-F_y(\min)}{F_y(s)}\right)$	St
51	250	0.15	0.2	0.4	1.022	12.294
52	250	0.15	0.3	0.4	0.905	11.150
53	200	0.125	0.3	0.4	2.625	16.706
54	150	0.15	0.1	0.8	1.114	8.202

4.2 การวิเคราะห์ความตรงผิวชิ้นงาน และสัญญาณแรงตัดพลวัตโดยวิธีการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว

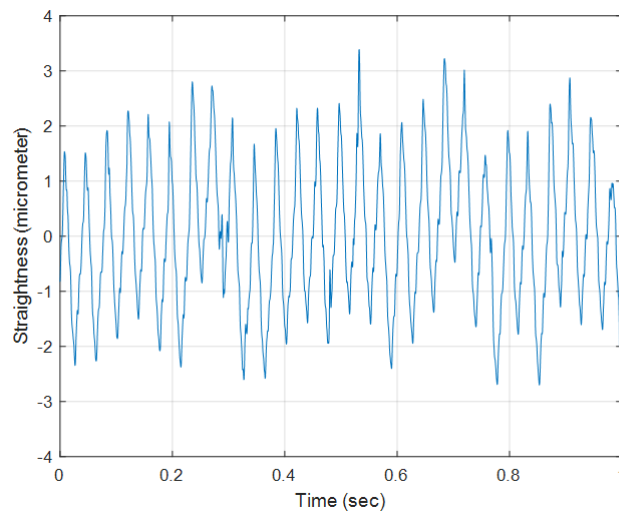
4.2.1 การวิเคราะห์ความตรงผิวชิ้นงาน และสัญญาณแรงตัดพลวัตในโดเมนความถี่

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแรงตัดกับความตรงผิวชิ้นงานจะถูกอธิบายได้โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในโดเมนความถี่ของแรงตัดพลวัตและความตรงผิวชิ้นงาน โดยอาศัยการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform: FFT) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่แปลงข้อมูลสัญญาณในโดเมนเวลา (Time Domain) ให้เป็นโดเมนความถี่ (Frequency Domain) โดยการวิเคราะห์ข้อมูลในโดเมนความถี่จะสามารถแยกความถี่ที่อยู่บนโดเมนเวลาให้อยู่บนกราฟโดเมนความถี่ได้ เมื่อนำข้อมูลสัญญาณมาพล็อตเทียบกับเวลา ข้อมูลจะเป็นคลื่นไซน์ (Sine wave) ส่งผลทำให้การประมวลผลข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตั้งตัวอย่างเงื่อนไขการตัดต่อไปนี้ ความเร็วตัด 250 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีจุมุมิต 0.4 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.1 แสดงแรงตัดในโดเมนเวลาที่เงื่อนไขความเร็วตัด 250 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีจุมุมมีด 0.4 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.2 แสดงความตรงของชิ้นงานในโดเมนเวลาที่เงื่อนไขความเร็วตัด 250 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีจุมุมมีด 0.4 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นได้ว่าการวิเคราะห์ข้อมูลแรงตัดในโดเมนเวลาและความตรงของชิ้นงานในโดเมนเวลานั้นมีลักษณะลูกคลื่นที่คล้ายคลึงกัน และจำนวนลูกคลื่นที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นการวิเคราะห์สัญญาณแรงตัดพลวัตและความตรงของชิ้นงานจะพิจารณาจากจุดเดียวกัน รวมถึงระยะของการตัดก็จะเลือกเท่ากันด้วย ซึ่งวิธีการคำนวณระยะทางในการตัดชิ้นงานมีดังนี้

1. การคำนวณระยะทางการกลิ้งชิ้นงานในเวลา 1 วินาที

- 1) การคำนวณความเร็วรอบ (N) เพื่อที่จะหาอัตราป้อนตัดเชิงเส้น (fr) โดยที่ v คือ ความเร็วตัด (เมตรต่อนาที) และ D_0 คือเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน (มิลลิเมตร) จะได้ดังสมการ 4.1

$$N = \frac{1000v}{\pi D_0} \quad (4.1)$$

แทนค่าได้ดังนี้ $N = \frac{1000 \times 250}{\pi \times 49.8} = 1597.94$ รอบต่อนาที

- 2) การคำนวณอัตราป้อนตัดเชิงเส้น (fr) เพื่อที่จะหาระยะทางการตัด โดยที่ f คือ อัตราป้อนตัด (มิลลิเมตรต่อรอบ) จะได้ดังสมการ 4.2

$$fr = Nf \quad (4.2)$$

แทนค่าได้ดังนี้ $fr = 1,597.94 \times 0.125 = 199.74$ มิลลิเมตรต่อนาที

- 3) การคำนวณระยะทางการตัด (S) เพื่อที่จะหาจำนวนข้อมูลในระยะเวลาการตัด 1 วินาที จะได้ดังสมการ 4.3

$$s = \frac{fr}{60} \quad (4.3)$$

แทนค่าได้ดังนี้ $s = \frac{199.74}{60} = 3.33$ มิลลิเมตร

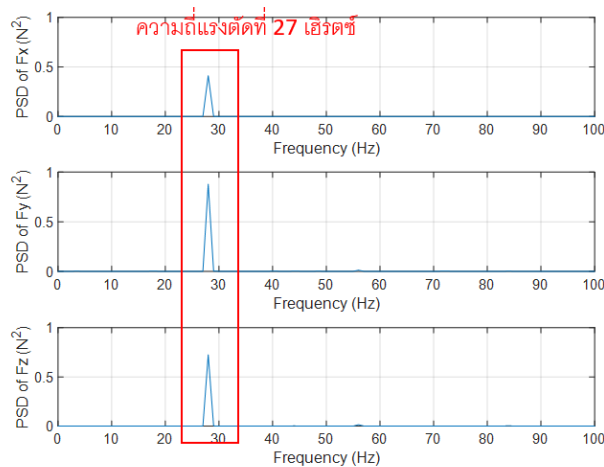
2. การคำนวณจำนวนข้อมูลความตรงชิ้นงาน

อัตราสູ່ของการเก็บข้อมูลแรงตັດนั้นมืค่าเท่ากับ 1,000 ข้อมูลตอวินาที แต่อัตราสູ່ของการเก็บข้อมูลวัดความตรงชิ้นงานมืค่าเท่ากับ 400 ข้อมูลตอวินาที ดังนั้นจึงตองคำนวณจำนวนข้อมูลของความตรงชิ้นงานเพื่อหาจำนวนข้อมูลที่เท่ากับระยะการกลิ้งใน 1 วินาที โดยมืการตั้งค่าวัดความตรงชิ้นงานให้ใช้ความเร็วหัวเข็มเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรตอวินาที ระยะทางในการวัดเท่ากับ 12.5 มิลลิเมตร ดังนั้นการคำนวณจำนวนข้อมูลในระยะเวลาการกลิ้ง 1 วินาที จะแสดงได้ดังนี้

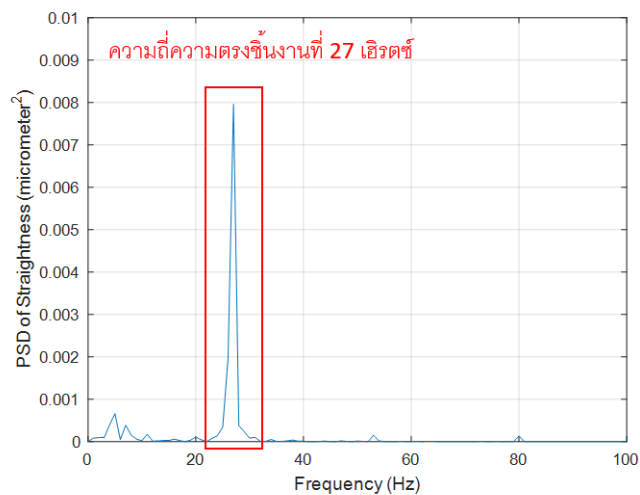
$$\text{จำนวนข้อมูล} = \frac{\text{ระยะทางการตัด 1 วินาที}}{0.5} \times 400 = \frac{3.33}{0.5} \times 400 = 2,663.23 \text{ ข้อมูล} \quad (4.4)$$

จากรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าในระยะเวลาที่เท่ากัน จำนวนลูกคลื่นของสัญญาณแรงตັดพลวัตกับความตรงชิ้นงานในโดเมนเวลามืจำนวนประมาณ 27 ลูกคลื่นซึ่งเป็นจำนวน

ที่สอดคล้องกัน จึงมีความเป็นไปได้ว่าสัญญาณทั้งสองน่าจะมีค่าที่สอดคล้องกัน ดังนั้นจึงนำข้อมูลทั้งสองมาทำการวิเคราะห์ในโดเมนความถี่เพื่อแยกสัญญาณที่เกิดขึ้นด้วยการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว และพบว่าสัญญาณแรงตัดพลวัตและความตรงชิ้นงานในโดเมนความถี่เกิดขึ้นที่ความถี่ที่ 27 เฮิร์ตซ์เหมือนกันดังรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 แสดงแรงตัดในโดเมนความถี่ที่เงื่อนไขความเร็วตัด 250 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีงูมมีด 0.4 มิลลิเมตร

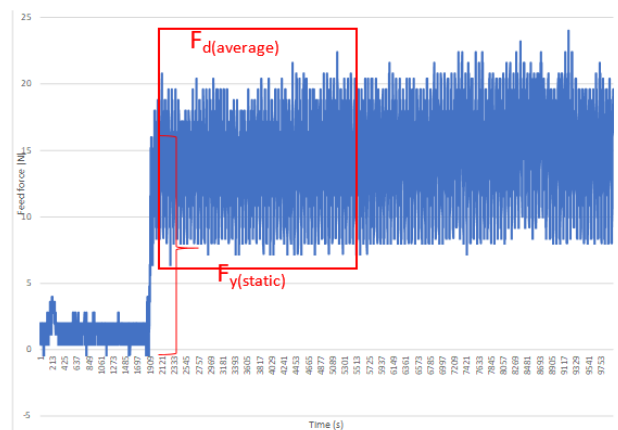


รูปที่ 4.4 แสดงความตรงของชิ้นงานในโดเมนความถี่ที่เงื่อนไขความเร็วตัด 250 เมตรต่อนาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกในการตัด 0.1 มิลลิเมตร และรัศมีงูมมีด 0.4 มิลลิเมตร

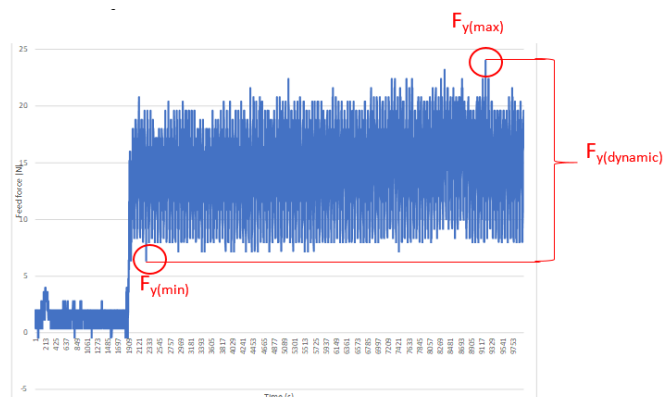
4.2.2 การวิเคราะห์แรงตัดพลวัตและความตรงขึ้นงานในโดเมนเวลา

เนื่องจากความตรงขึ้นงานและสัญญาณแรงตัดพลวัตในโดเมนความถี่ที่เกิดขึ้นในขณะตัดมีความสัมพันธ์กัน จึงสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในโดเมนเวลาเพื่อนำมาคำนวณอัตราส่วนแรงตัดจากสัญญาณแรงตัด ดังนั้นอัตราส่วนแรงตัดจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อทำนายความตรงขึ้นงานในกระบวนการกลึงอะลูมิเนียมในขณะตัด

การคำนวณแรงตัดในโดเมนเวลาจะพิจารณาจากผลต่างของค่าแรงป้อนตัดพลวัตที่มากที่สุด ($F_{y(max)}$) กับค่าแรงป้อนตัดพลวัตที่น้อยที่สุด ($F_{y(min)}$) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความตรงขึ้นงานเบี่ยงเบนจากศูนย์ที่สูงที่สุด (Max) กับค่าที่น้อยที่สุด (Min) โดยวิธีการคำนวณแรงตัดเพื่อหาอัตราส่วนแรงตัดแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 การคำนวณแรงป้อนตัดสถิต



รูปที่ 4.6 การคำนวณแรงป้อนตัดพลวัต

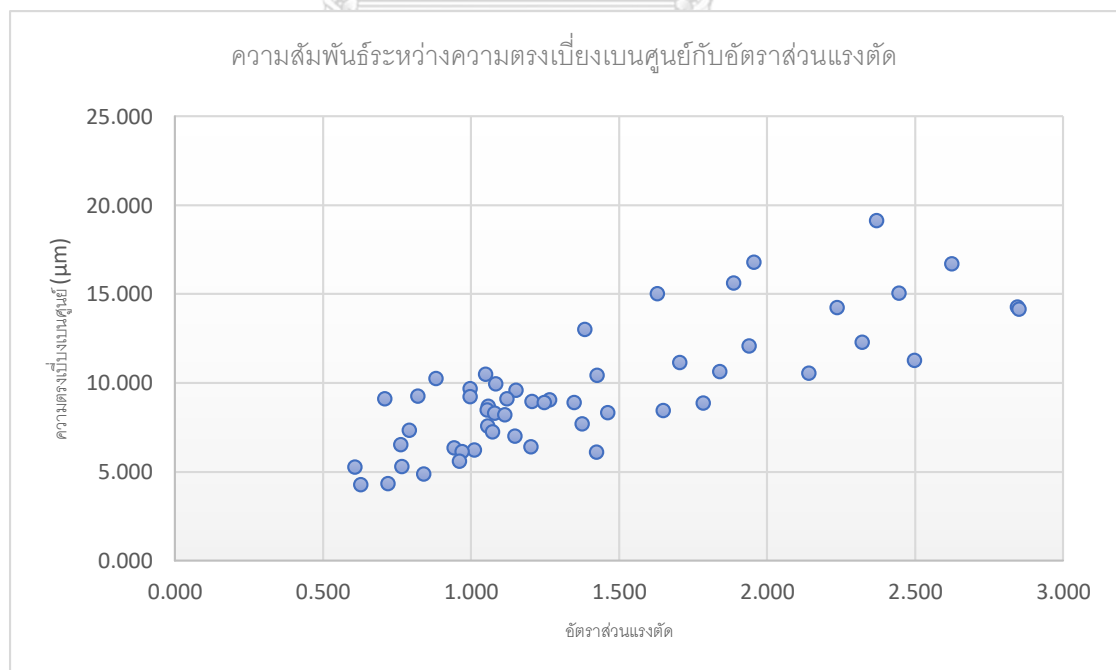
แต่แรงตัดพลวัตอาจแปรผันไปตามเงื่อนไขการตัดต่างๆ ดังนั้นอัตราส่วนแรงป้อนตัดพลวัต และแรงป้อนตัดสถิต จึงนำมาใช้เพื่อประมาณค่าความตรงของชิ้นงาน โดยพิจารณาได้ว่าอัตราส่วนแรงตัดสามารถคำนวณความตรงของชิ้นงานได้โดยไม่แปรเปลี่ยนไปตามเงื่อนไขการตัด ทำให้สามารถทำนายความตรงของชิ้นงานได้เมื่อเงื่อนไขการตัดเปลี่ยนแปลง

4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ความตรงชิ้นงาน กับอัตราส่วนแรงตัด และเงื่อนไขการตัด

จากผลการทดลองตามเงื่อนไขการทดลองทั้งหมด สามารถทำการวิเคราะห์สัญญาณแรงตัดที่ได้จากไดนาโมมิเตอร์ และความตรงของชิ้นงานที่ได้จากเครื่องวัดความขรุขระชิ้นงาน จะได้ผลของความสัมพันธ์ดังนี้

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงผิวชิ้นงาน และอัตราส่วนแรงตัด

จากผลการทดลองตามตารางที่ 4.1 เมื่อนำมาพิจารณาความสัมพันธ์พบว่าถ้าอัตราส่วนแรงป้อนตัดเพิ่มขึ้น ค่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทำให้ผิวชิ้นงานมีความตรงน้อยลง โดยความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานจะแปรผันตามอัตราส่วนแรงป้อนตัด จึงสามารถกล่าวได้ว่าภายใต้เงื่อนไขการตัดต่างๆ ค่าอัตราส่วนแรงป้อนตัดจะมีอิทธิพลต่อความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานเสมอ ดังแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.7

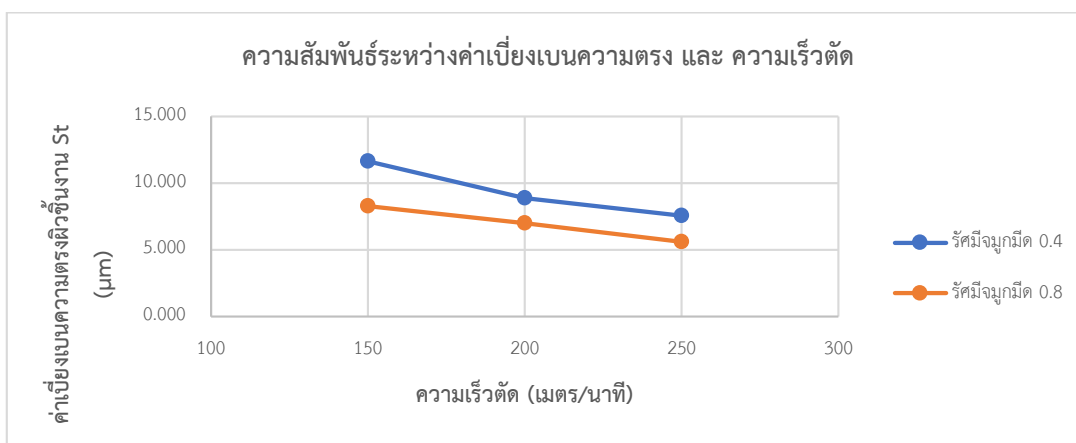


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและอัตราส่วนแรงตัด

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงของชิ้นงานกับเงื่อนไขการตัด

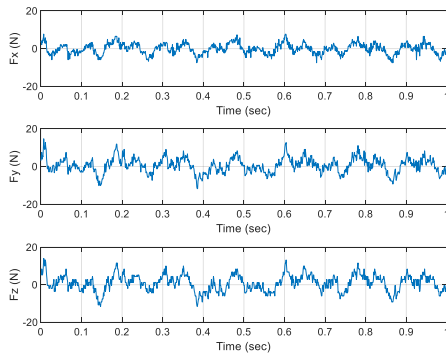
ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน ที่ได้รับอิทธิพลจากเงื่อนไขการตัดต่าง ๆ ประกอบด้วย ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัด และรัศมีจุกมีด แสดงได้ดังต่อไปนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความเร็วตัด

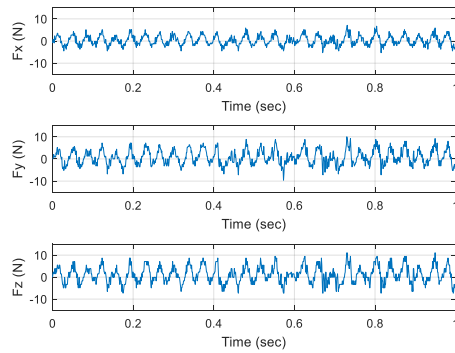


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความเร็วตัดต่างๆ ที่อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.2 มิลลิเมตร และรัศมีจุกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.8 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความเร็วตัดที่เงื่อนไขการตัดต่าง ๆ อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.2 มิลลิเมตร และรัศมีจุกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร เมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้นความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานจะลดลง แสดงว่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความเร็วตัดมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม ความตรงของชิ้นงานจะมีแนวโน้มดีขึ้น เนื่องจากความเร็วตัดที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้อุณหภูมิในขณะตัดสูงขึ้น ชิ้นงานจะมีความร้อนสะสมและอ่อนตัวลง ทำให้ง่ายต่อการตัด ส่งผลให้แรงที่ใช้ในการตัดน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบเมื่อใช้แรงตัด 150 เมตรต่อวินาทีจะมีขนาดแรงตัดที่มากกว่าแรงตัด 250 เมตรต่อวินาที และส่งผลให้ค่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์น้อยลงเมื่อใช้แรงตัดมากขึ้นเป็น 250 เมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 4.10

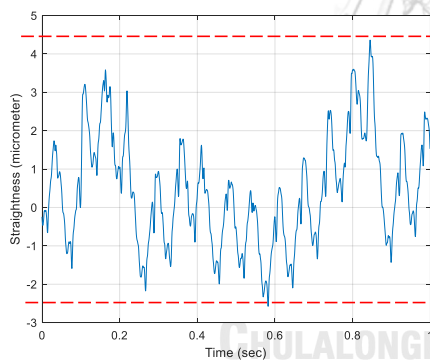


(ก) ความเร็วตัด 150 เมตรต่อวินาที

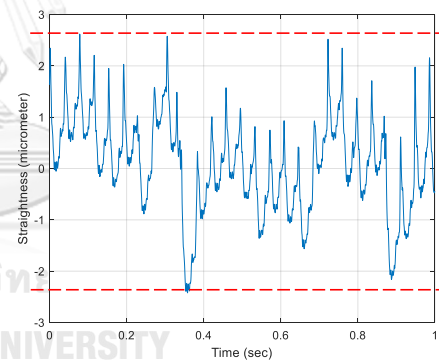


(ข) ความเร็วตัด 250 เมตรต่อวินาที

รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบขนาดแรงตัดในโดเมนเวลาที่ความเร็วตัด 150 และ 250 เมตรต่อวินาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.2 มิลลิเมตร และรัศมีจุกมีด 0.8 มิลลิเมตร



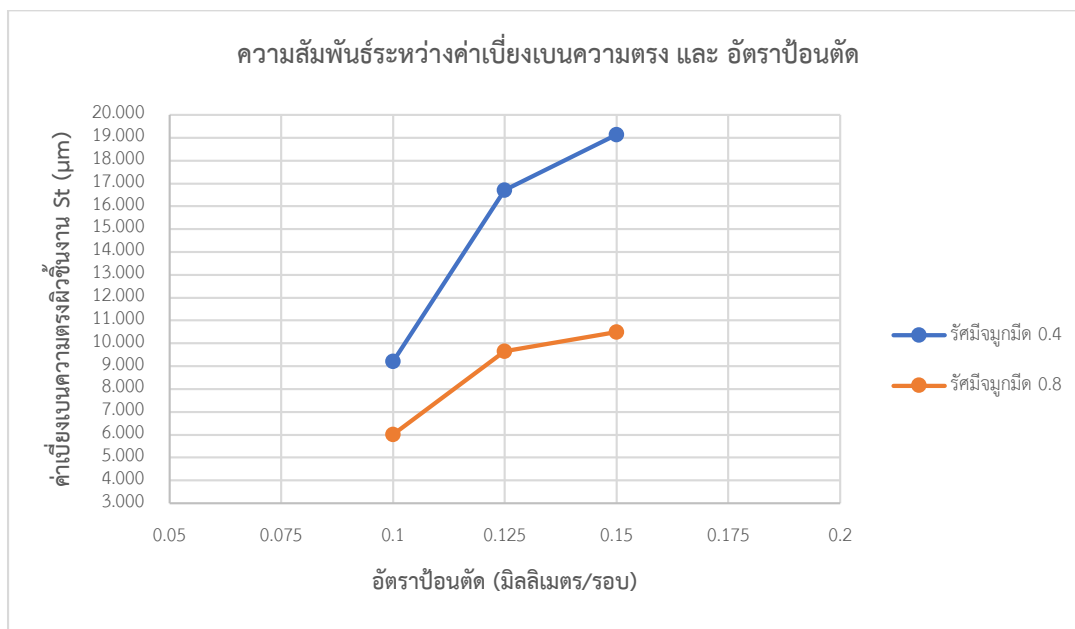
(ก) ความเร็วตัด 150 เมตรต่อวินาที



(ข) ความเร็วตัด 250 เมตรต่อวินาที

รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ในโดเมนเวลาที่ความเร็วตัด 150 และ 250 เมตรต่อวินาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.2 มิลลิเมตร และรัศมีจุกมีด 0.8 มิลลิเมตร

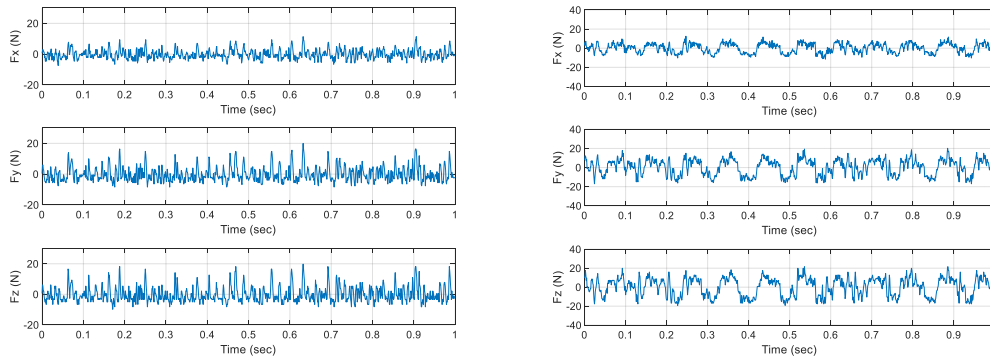
2. ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและอัตราป้อนตัด



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและอัตราป้อนตัดต่างๆ ที่ความเร็วตัด 200 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร และรัศมีจุมูกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.11 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานกับอัตราป้อนตัดต่าง ๆ ที่ความเร็วตัด 200 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร และรัศมีจุมูกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร โดยความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานกับอัตราป้อนตัดมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันคือ เมื่อเพิ่มอัตราป้อนตัด ค่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานจะมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าความตรงของชิ้นงานมีแนวโน้มลดลง

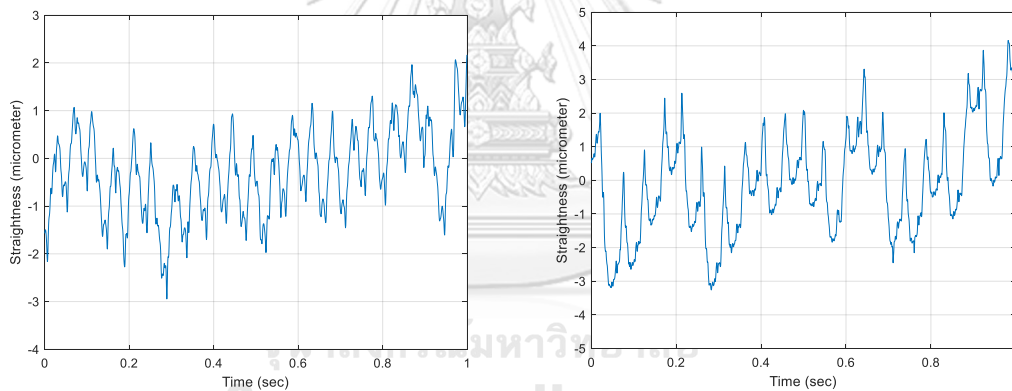
จากการเพิ่มอัตราป้อนตัดจะทำให้พื้นที่การตัดเพิ่มขึ้น และทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนในขณะตัด ส่งผลให้แรงตัดเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าแรงตัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มอัตราป้อนตัด และยังสอดคล้องกับความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ชิ้นงานที่เพิ่มขึ้นด้วยดังรูปที่ 4.13



(ก) อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ

(ข) อัตราป้อนตัด 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ

รูปที่ 4.12 แสดงขนาดแรงตัดในโดเมนเวลาระหว่างอัตราป้อนตัด 0.1 และ 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ที่ความเร็วตัด 200 เมตรต่อวินาที ความลึกตัด 0.2 มิลลิเมตร และรัศมีจุมุมมีด 0.8 มิลลิเมตร

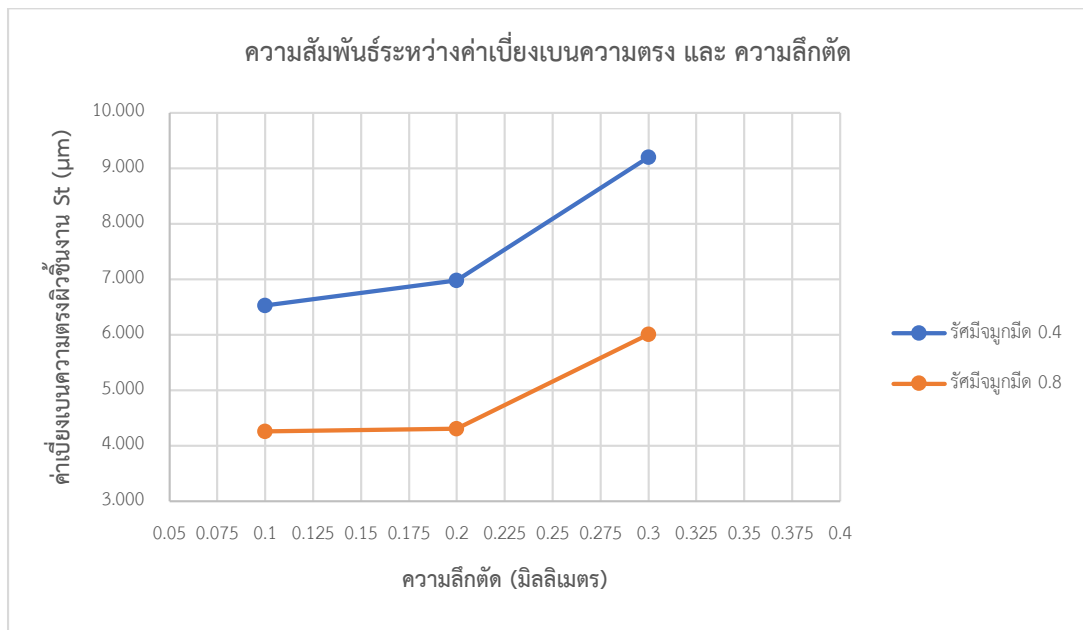


(ก) อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ

(ข) อัตราป้อนตัด 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ

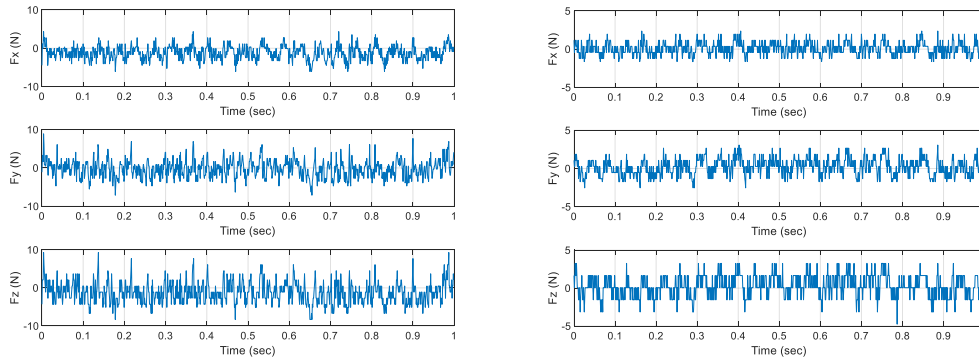
รูปที่ 4.13 แสดงความเบี่ยงเบนศูนย์ชิ้นงานในโดเมนเวลาระหว่างอัตราป้อนตัด 0.1 และ 0.15 มิลลิเมตรต่อรอบ ที่ความเร็วตัด 200 เมตรต่อวินาที ความลึกตัด 0.2 มิลลิเมตร และรัศมีจุมุมมีด 0.8 มิลลิเมตร

3. ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความลึกตัด



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความลึกตัดต่างๆ ที่ความเร็วตัด 200 มิลลิเมตรต่อรอบ อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ และรัศมีจุมูกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร

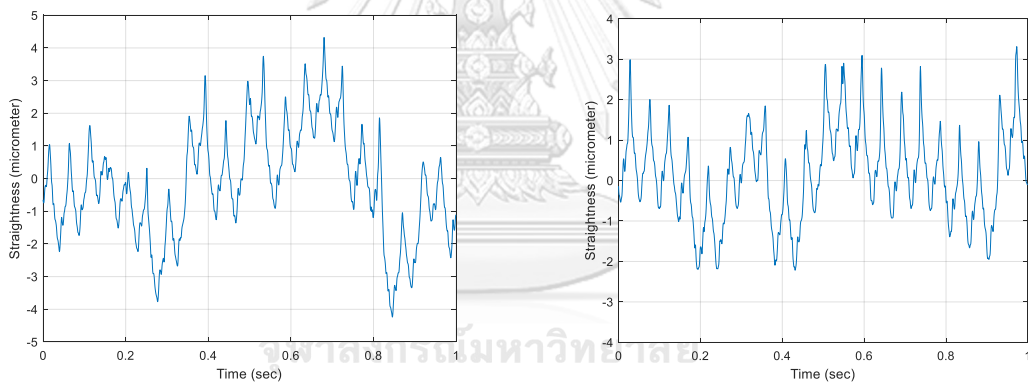
จากรูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความลึกตัดต่างๆ พบว่าถ้าความลึกตัดเพิ่มขึ้น จะทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน แสดงให้เห็นได้ว่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและความลึกตัดมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการใช้ความลึกตัดที่มีค่าสูงขึ้น จะเกิดการสั่นสะเทือนขึ้นในขณะตัด เพราะพื้นที่ในการตัดเพิ่มมากขึ้น แรงตัดจึงเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ชิ้นงานที่ได้จึงมีแนวโน้มของความตรงของชิ้นงานลดลง ซึ่งสอดคล้องกันกับแรงตัดและความเบี่ยงเบนศูนย์ชิ้นงานในโดเมนเวลาแสดงได้ดังรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.16



(ก) ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

(ข) ความลึกตัด 0.1 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.15 แสดงขนาดแรงตัดในโดเมนเวลาระหว่างความลึกตัด 0.3 และ 0.1 มิลลิเมตร ที่ความเร็วตัด 200 เมตรต่อวินาที อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ และรัศมีจุกมีด 0.4 มิลลิเมตร

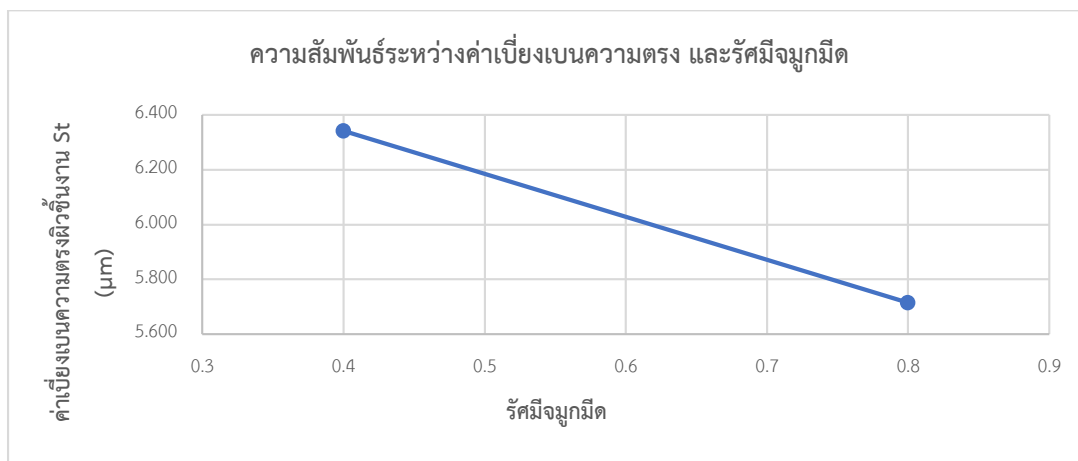


(ก) ความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

(ข) ความลึกตัด 0.1 มิลลิเมตร

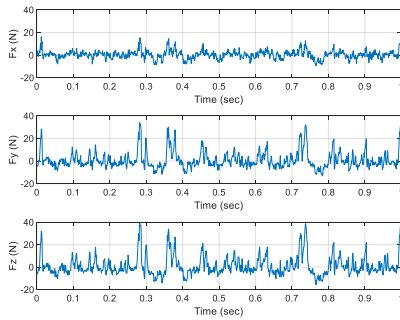
รูปที่ 4.16 แสดงความเบี่ยงเบนศูนย์ชิ้นงานในโดเมนเวลาระหว่างความลึกตัด 0.3 และ 0.1 มิลลิเมตร ที่ความเร็วตัด 200 เมตรต่อวินาที อัตราป้อนตัด 0.1 มิลลิเมตรต่อรอบ และรัศมีจุกมีด 0.4 มิลลิเมตร

4. ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงหนีศูนย์ของชิ้นงานและรัศมีจุกมิด

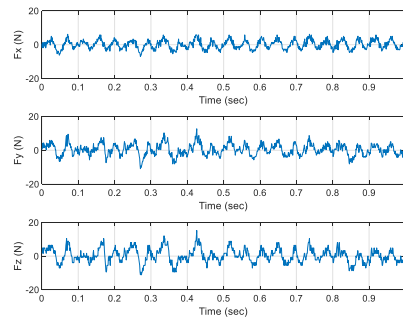


รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและรัศมีจุกมิด 0.4 และ 0.8 ที่ความเร็วตัด 200 มิลลิเมตรต่อรอบ อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตร และความลึกตัด 0.3 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและรัศมีจุกมิด 0.4 และ 0.8 พบว่ารัศมีจุกมิด 0.8 ทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานต่ำกว่ารัศมีจุกมิด 0.4 จึงสามารถสรุปได้ว่าถ้ารัศมีจุกมิดเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความตรงเบี่ยงหนีศูนย์ของชิ้นงานมีแนวโน้มลดลง นั่นคือผิวชิ้นงานจะดีขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแรงตัดและค่าเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานในโดเมนเวลาดังแสดงในรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19

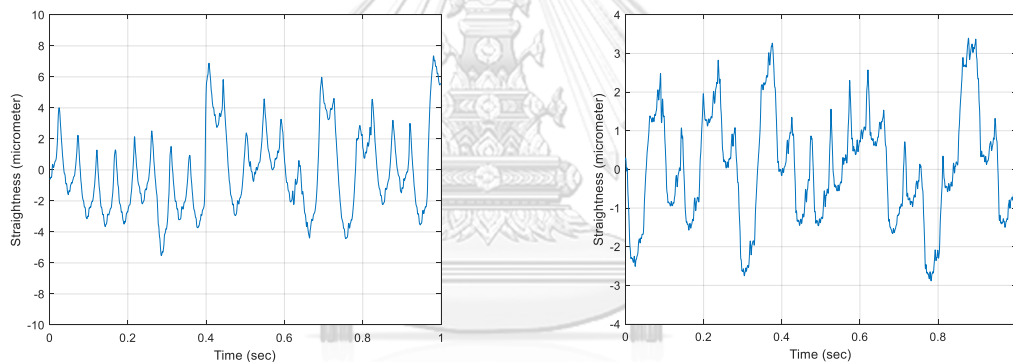


(ก) รัศมีจุกมีด 0.4 มิลลิเมตร



(ข) รัศมีจุกมีด 0.8 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.18 แสดงขนาดแรงตัดในโดเมนเวลาระหว่างรัศมีจุกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วตัด 200 เมตรต่อวินาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ ความลึกกัด 0.3 มิลลิเมตร



(ก) รัศมีจุกมีด 0.4 มิลลิเมตร

(ข) รัศมีจุกมีด 0.8 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.19 แสดงความเบี่ยงเบนศูนย์ชิ้นงานในโดเมนเวลาระหว่างรัศมีจุกมีด 0.4 และ 0.8 มิลลิเมตร ที่ความเร็วตัด 200 เมตรต่อวินาที อัตราป้อนตัด 0.125 มิลลิเมตรต่อรอบ และความลึกกัด 0.3 มิลลิเมตร

4.4 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในหัวข้อที่ผ่านมาแสดงให้เห็นได้ว่าความตรงขึ้นงานมีความสัมพันธ์กับเงื่อนไขการตัด และอัตราส่วนแรงตัด ดังนั้นจึงสามารถนำตัวแปรเหล่านี้มาทำการสร้างสมการทำนายความตรงขึ้นงานได้

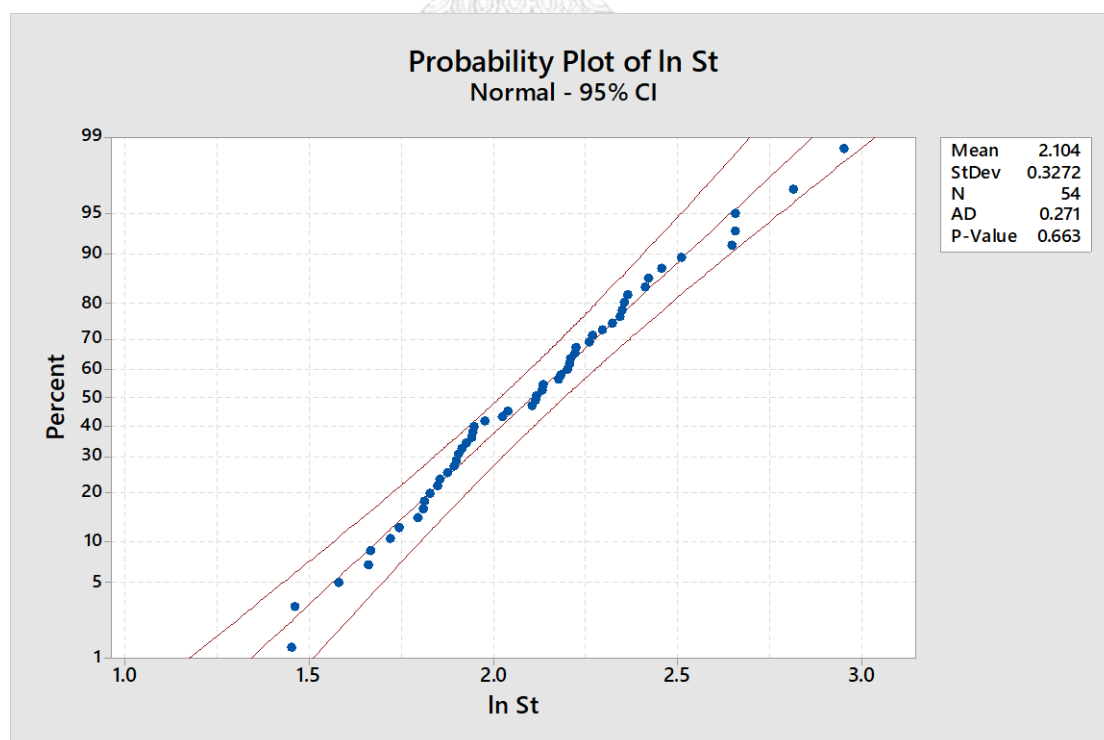
ในการการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติที่มีความจำเป็นต้องทดสอบข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับสมการ โดยจะมีการทดสอบสมมติฐานดังต่อไปนี้คือ การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล และการทดสอบความมีเสถียรภาพความแปรปรวน

4.4.1 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ โดยการใช้ Normal probability plot ว่ามีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดสมมติฐานดังนี้

H_0 : ข้อมูลความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของขึ้นงานมีการแจกแจงแบบปกติ

H_a : ข้อมูลความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของขึ้นงานไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

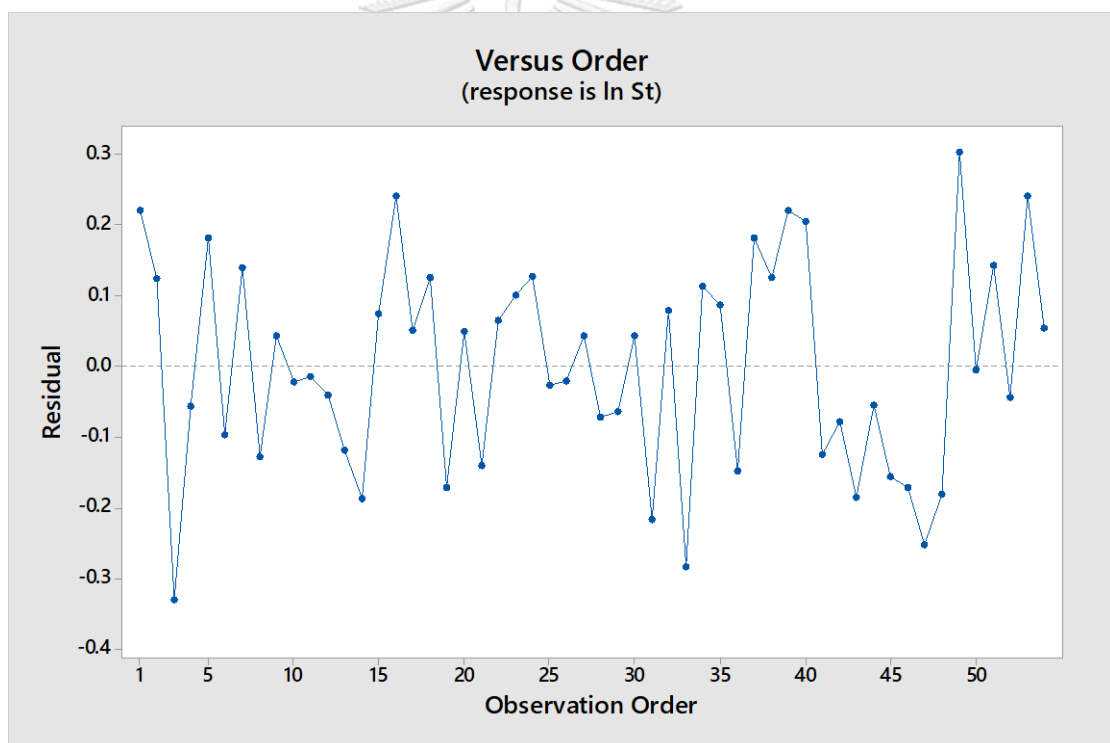


รูปที่ 4.20 กราฟการทดสอบ Normal Probability ของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของขึ้นงาน

จากรูปที่ 4.20 แสดงการทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูล พบว่ากราฟความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน มีลักษณะมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง โดยมีค่า P-value เท่ากับ 0.663 และมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ($\alpha=0.05$) ดังนั้นผลการทดสอบสมมติฐานจึงสรุปได้ว่าข้อมูลความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมีการแจกแจงแบบปกติ

4.4.2 การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล

การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาหรือไม่ เนื่องจากในการทำการทดลองอาจเกิดการพัฒนาที่ขณะขณะการทดลองทำให้เวลาเปลี่ยนแปลง และสามารถยืนยันได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

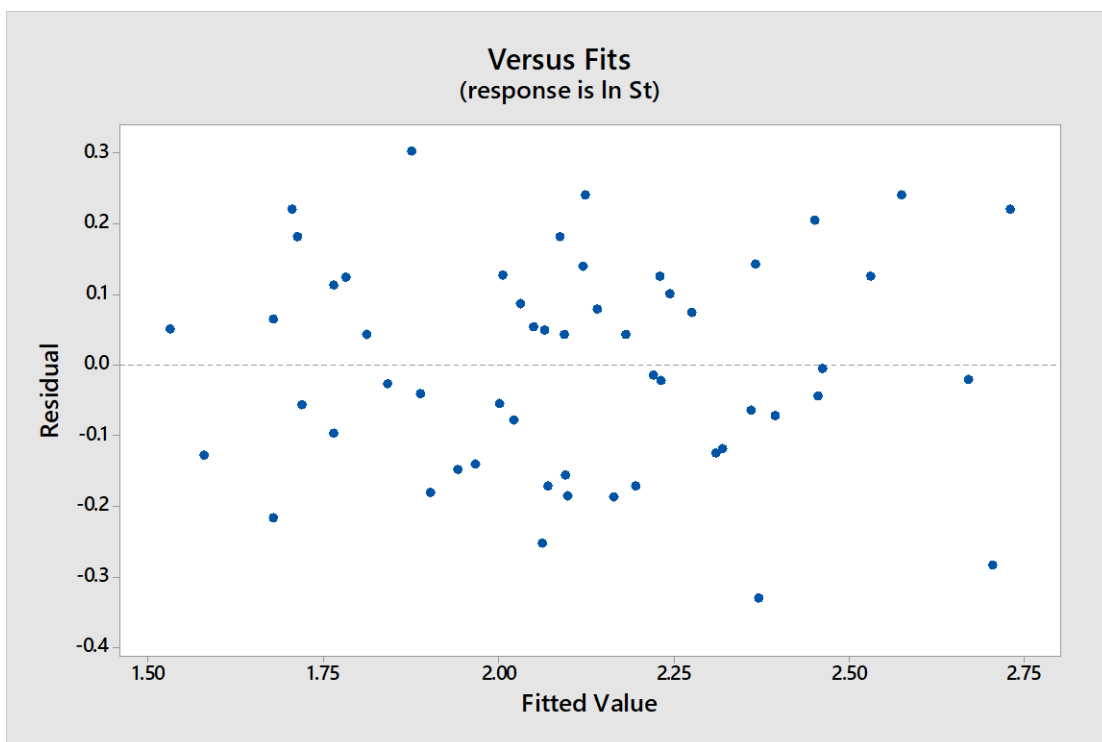


รูปที่ 4.21 กราฟการทดสอบ Residual versus Order ของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน

จากรูปที่ 4.21 กราฟ Residual versus Order ของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานที่แสดงค่าความคลาดเคลื่อนและลำดับการทดลอง มีลักษณะกระจายตัวขึ้นลง รวมถึงไม่มีแนวโน้มเป็นรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าข้อมูลความตรงเบี่ยงเบนศูนย์มีความเป็นอิสระต่อกัน

4.4.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน

การทดสอบความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อนกับค่าที่ถูกฟิต (Fitted value) ว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และมีความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 หรือไม่



รูปที่ 4.22 กราฟการทดสอบ Residual versus Fits ของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรูปที่ 4.22 กราฟ Residual versus Fits ของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน แสดงให้เห็นว่าข้อมูลกระจายตัวรอบศูนย์ใกล้เคียงกัน และไม่มีแนวโน้มเป็นรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลมีค่าคงที่ที่ค่าใดค่าหนึ่ง

4.5 การสร้างสมการทำนายความตรงผิวชิ้นงาน

จากผลการทดลองตารางที่ 4.1 และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความตรงชิ้นงานกับอัตราส่วนแรงตัด และเงื่อนไขการตัดต่างๆ สามารถนำมาพัฒนาสมการทำนายค่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน โดยมีตัวแปรคือความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกในการตัด รัศมีจุมุมิต และอัตราส่วนแรงตัด ผ่านการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple linear regression analysis) และประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของการถดถอยด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) โดยจะได้สมการดังนี้

$$\ln S_c = 5.7970 - 0.2670 \ln V + 0.9780 \ln f + 0.2883 \ln D - 0.3926 \ln R_n + 0.2234 \ln \left(\frac{F_{y(\max)} - F_{y(\min)}}{F_{y(s)}} \right) \quad (4.5)$$

4.5.1 การทดสอบนัยสำคัญของการถดถอย

การทดสอบนัยสำคัญของการถดถอย เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมของสมการถดถอย โดยเป็นการทดสอบว่ามีตัวแปรอิสระตัวใดในสมการที่ไม่เท่ากับ 0 และเป็นการทดสอบว่าตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งตัวแปรตอบสนองในที่นี้คือความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน และตัวแปรอิสระคือ ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกในการตัด รัศมีจุมุมิต และอัตราส่วนแรงตัด โดยการทดสอบสมมติฐานมีดังนี้

$$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$$

$$H_a : \beta_j \text{ อย่างน้อย 1 ตัว } \neq 0$$

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการถดถอยของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	4.4872	0.89745	36.33	0.000
ln V	1	0.1656	0.16556	6.70	0.013
ln F	1	1.4040	1.40402	56.84	0.000
ln D	1	0.8838	0.88382	35.78	0.000
ln Rn	1	0.9695	0.96947	39.25	0.000
ln [(Fy (max) - Fy (min)) / Fy (s)]	1	0.3107	0.31065	12.58	0.001
Error	48	1.1856	0.02470		
Total	53	5.6729			

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการถดถอยของความตรง เบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน โดยค่า P-value ของสมการถดถอยพหุคูณมีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า α ที่มีค่าเท่ากับ 0.05 ดังนั้นจึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ จึงสามารถสรุปได้ว่ามีตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัวที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการถดถอยได้

4.5.2 การทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอยทีละตัว

การทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอยทีละตัว เป็นการทดสอบตัวแปรอิสระ (X) แต่ละตัวประกอบด้วย $\ln V$, $\ln f$, $\ln D$, $\ln R_n$ และ $\ln [(F_y(\max) - F_y(\min)) / F_y(s)]$ ว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนอง $\ln S_t$ อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยทำการทดสอบได้ดังนี้

$$H_0 : \beta_j = 0$$

$$H_a : \beta_j \neq 0$$

ตารางที่ 4.3 การทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอยทีละตัวของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์

Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0.157166	79.10%	76.92%	73.54%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	5.797	0.623	9.31	0.000
$\ln V$	-0.267	0.103	-2.59	0.013
$\ln f$	0.978	0.130	7.54	0.000
$\ln D$	0.2883	0.0482	5.98	0.000
$\ln R_n$	-0.3926	0.0627	-6.26	0.000
$\ln [(F_y(\max) - F_y(\min)) / F_y(s)]$	0.2234	0.0630	3.55	0.001

Regression Equation

$$\ln S_t = 5.7970 - 0.2670 \ln V + 0.9780 \ln f + 0.2883 \ln D - 0.3926 \ln R_n + 0.2234 \ln [(F_y(\max) - F_y(\min)) / F_y(s)]$$

จากตารางที่ 4.3 แสดงการทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอยทีละตัวของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน โดยค่า P-value ของ $\ln f$, $\ln D$ และ $\ln R_n$ มีค่าเท่ากับ 0.000 ส่วน $\ln V$ และ $\ln [(F_y(\max) - F_y(\min)) / F_y(s)]$ มีค่า P-value เท่ากับ 0.001 และ 0.013 ตามลำดับ ซึ่งค่า P-value ของสัมประสิทธิ์แต่ละตัวมีค่าน้อยกว่า α ที่มีค่าเท่ากับ 0.05 ดังนั้นจึงสามารถปฏิเสธ

สมมติฐานหลัก (H_0) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าตัวแปรทุกตัวมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน ดังนั้นตัวแปรทั้งหมดที่ประกอบด้วยความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกในการตัด รัศมีจุมกมิต และอัตราส่วนแรงตัด มีความเหมาะสมที่จะใช้อธิบายความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน และควรอยู่ในสมการถดถอย

จากการทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอยทีละตัวของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรแต่ละตัวมีค่าสัมประสิทธิ์และเครื่องหมายแตกต่างกัน ซึ่งเครื่องหมายบวกและลบสามารถบอกทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระแต่ละตัวว่ามีผลกับตัวแปรตอบสนองอย่างไร ถ้าเครื่องหมายของสัมประสิทธิ์ของการถดถอยมีเครื่องหมายบวก จะแสดงได้ว่าตัวแปรนั้นแปรผันตรงกับความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน และถ้าเครื่องหมายของสัมประสิทธิ์การถดถอยมีเครื่องหมายเป็นลบ แสดงว่าตัวแปรนั้นแปรผกผันกับความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและตัวแปรต่างๆได้ดังนี้

1. ความเร็วตัด มีสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นลบ แสดงได้ว่าความเร็วตัด และความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานแปรผกผันกัน ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อความเร็วตัดเพิ่มขึ้น จะเกิดความร้อนทำให้วัสดุชิ้นงานอ่อน ทำให้ตัดได้ง่าย และใช้แรงตัดลดลง ทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานลดลง หรือผิวชิ้นงานมีความตรงมากขึ้น

2. อัตราป้อนตัด มีสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นบวก แสดงว่าอัตราป้อนตัด และความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานแปรผันตรงกัน ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่ออัตราป้อนตัดเพิ่มขึ้น จะใช้แรงตัดมาก ทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมากขึ้น หรือผิวชิ้นงานมีความตรงน้อยลง

3. ความลึกในการตัด มีสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นบวก แสดงว่าความลึกในการตัด และความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานแปรผันตรงกัน ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อความลึกในการตัดเพิ่ม ทำให้พื้นที่ในการตัดลึกมากขึ้น ต้องใช้แรงในการตัดมาก ทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมากขึ้น หรือผิวชิ้นงานมีความตรงน้อยลง

4. รัศมีจุมกมิต มีสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นลบ แสดงว่ารัศมีจุมกมิต และความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานแปรผกผันกัน ซึ่งอธิบายได้ว่ารัศมีจุมกมิต ขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าความขรุขระผิวลดลง หรือมีความเรียบมากขึ้นนั่นเอง ซึ่งอธิบายได้ว่าถ้ารัศมีจุมกมิตขนาดใหญ่ จะลดรอยป้อนตัดได้ ทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานลดลง หรือผิวชิ้นงานมีความตรงมากขึ้น

5. อัตราส่วนแรงตัด มีสัมประสิทธิ์การถดถอยเป็นบวก แสดงว่าอัตราส่วนแรงตัด และความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานแปรผันตรงกัน ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่ออัตราส่วนแรงตัดเพิ่มขึ้น จะทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมากขึ้น หรือผิวชิ้นงานมีความตรงน้อยลง

และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรแต่ละตัวจะเห็นได้ว่าอัตราป้อนตัดมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยมากที่สุด ดังนั้นตัวแปรที่มีผลต่อความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมากที่สุดก็คืออัตราป้อนตัด รองลงมาก็คือ รัศมีจุมูกมีด ความลึกในการตัด ความเร็วตัด และอัตราส่วนแรงตัด ตามลำดับ

4.5.3 การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination : R^2) คือสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ที่ตัวแปรอิสระ สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองได้ หรืออาจกล่าวได้ว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็นสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์ของความผันแปรตัวแปรตอบสนอง โดยที่ค่า R^2 ที่เข้าใกล้ 1 หรือใกล้ 100% นั้นหมายความว่าตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนองมาก

จากตารางที่ 4.3 เป็นการวิเคราะห์การถดถอยที่มีค่า R^2 เท่ากับ 79.10 % และค่า R^2_{adj} เท่ากับ 76.92 % อธิบายได้ว่าตัวแปรอิสระสามารถบอกการเปลี่ยนแปลงของความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานได้ดีพอควร

จากสมการ 4.5 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การถดถอย จะสามารถถูกแปลงรูปแบบลอกการีทิมจาก

$$\ln S_t = 5.7970 - 0.2670 \ln V + 0.9780 \ln f + 0.2883 \ln D - 0.3926 \ln R_n + 0.2234 \ln \left(\frac{F_{y(\max)} - F_{y(\min)}}{F_{y(s)}} \right)$$

ให้อยู่ในรูปของเอกซ์โพเนนเชียลได้ดังนี้

$$S_t = e^{5.7970} \cdot V^{-0.2670} \cdot F^{0.9780} \cdot D^{0.2883} \cdot R_n^{-0.3926} \cdot \frac{F_{y(\max)} - F_{y(\min)}}{F_{y(s)}}^{0.2234} \quad (4.6)$$

$$\text{หรือ } S_t = 329.3101 \cdot V^{-0.2670} \cdot F^{0.9780} \cdot D^{0.2883} \cdot R_n^{-0.3926} \cdot \frac{F_{y(\max)} - F_{y(\min)}}{F_{y(s)}}^{0.2234} \quad (4.7)$$

4.6 การทดสอบความแม่นยำของสมการ

จากหัวข้อที่ผ่านมาทำให้สามารถสร้างสมการทำนายความตรงเปียงเบนศูนย์ของชิ้นงานได้แล้วนั้น เพื่อเป็นการตรวจสอบความแม่นยำของการทำนายความตรงเปียงเบนศูนย์ของชิ้นงาน จึงทำให้ต้องมีการทดสอบความแม่นยำของสมการเกิดขึ้น ซึ่งได้อุปกรณ์ วัสดุชิ้นงานเหมือนเดิม เพียงแต่ทำการกำหนดเงื่อนไขการทดสอบความแม่นยำของสมการเพิ่มเติมดังนี้

ตารางที่ 4.4 เงื่อนไขการทดสอบความแม่นยำของสมการ

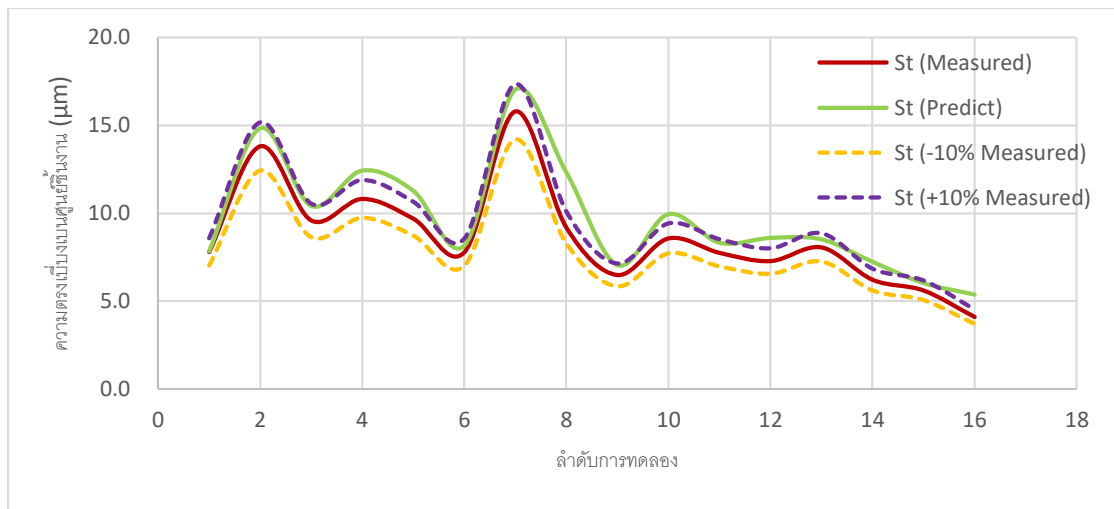
ปัจจัย	ระดับปัจจัย		หน่วย
ความเร็วตัด (v)	180	260	เมตรต่อนาที
อัตราป้อนตัด (f)	0.1	0.15	มิลลิเมตรต่อรอบ
ความลึกตัด (D)	0.1	0.3	มิลลิเมตร
รัศมีจุมุมิต (R_n)	0.4	0.8	มิลลิเมตร

เงื่อนไขการทดสอบความแม่นยำของสมการทั้งหมด 16 เงื่อนไข จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความแม่นยำของสมการ

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความแม่นยำของสมการ

Run order	V	F	D	R _n	$\frac{F_{y(max)} - F_{y(min)}}{F_{y(s)}}$	S _t (วัดจริง)	S _t (สมการ)
1	180	0.15	0.1	0.8	1.437	7.8	7.845
2	260	0.15	0.3	0.4	2.757	13.798	14.821
3	260	0.15	0.3	0.8	1.918	9.591	10.412
4	180	0.15	0.3	0.8	2.720	10.811	12.418
5	260	0.15	0.1	0.4	3.342	9.692	11.272
6	260	0.1	0.1	0.4	4.641	7.781	8.159
7	180	0.15	0.3	0.4	3.296	15.776	17.016
8	180	0.15	0.1	0.4	3.202	9.189	12.317
9	260	0.1	0.3	0.8	1.977	6.492	7.050
10	180	0.1	0.3	0.4	1.758	8.568	9.946
11	180	0.1	0.1	0.4	3.270	7.752	8.324
12	260	0.1	0.3	0.4	1.419	7.282	8.594
13	260	0.15	0.1	0.8	3.215	8.059	8.513
14	180	0.1	0.3	0.8	1.433	6.224	7.239
15	180	0.1	0.1	0.8	2.615	5.614	6.032
16	260	0.1	0.1	0.8	2.431	4.113	5.380

จากผลการทดลองค่าเบี่ยงเบนความตรงของชิ้นงาน (S_t) ที่ได้จากเครื่องวัดความขรุขระผิวชิ้นงาน และค่าที่ได้จากสมการการทำนายค่าเบี่ยงเบนความตรงของชิ้นงาน นั้นมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน มีบางเงื่อนไขที่มีค่าแตกต่างออกไป ดังแสดงได้จากรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 กราฟการทดสอบความแม่นยำของสมการความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน

จากผลการทดลองจะสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \frac{|f_t - a_t|}{a_t} \quad (4.8)$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ} = 100\% - \text{ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน} \quad (4.9)$$

เมื่อ f = ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานที่ได้จากการทำนาย

a = ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานที่ได้จากการวัดจริง

โดยที่ $t = 1, 2, \dots, n$

จากนั้นได้มีการคำนวณค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนตามสมการข้างต้น ซึ่งได้ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนที่ 10.87% หมายความว่า สมการทำนายความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานจะมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 89.13% ซึ่งถือว่าสมการสามารถทำนายความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานได้เป็นอย่างดี

บทที่ 5

สรุป และการอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความตรงของชิ้นงานอะลูมิเนียมกับอัตราส่วนแรงป้อนตัดในขณะตัดภายใต้เงื่อนไขการตัดต่างๆ บนเครื่องกลึงซีเอ็นซี โดยใช้วัสดุชิ้นงานประเภทอะลูมิเนียม เกรด AL6063 และตัดด้วยด้วยเม็ดเม็ดคาร์ไบด์เคลือบผิว ด้วยเงื่อนไขการตัดต่างๆ จนสามารถพัฒนาเป็นสมการสำหรับทำนายความตรงของชิ้นงานได้ ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปและการอภิปรายผลการวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะต่างๆ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองที่ผ่านมาได้ทำการกลึงอะลูมิเนียมด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซีภายใต้เงื่อนไขการตัดที่ประกอบด้วย ความเร็วตัด อัตราป้อนตัด ความลึกในการตัด และรัศมีจุ่มกมิต โดยเก็บค่าแรงตัดโดยใช้ไดนาโมมิเตอร์ติดตั้งที่ป้อมมีดของเครื่องกลึงซีเอ็นซีเพื่อวัดสัญญาณแรงตัด ค่าแรงตัดจะส่งผ่านเครื่องขยายสัญญาณ และส่งไปยังเครื่องออสซิลอสโคปเพื่อให้สัญญาณถูกแปลงแสดงผลออกมาเป็นข้อมูลค่าแรงตัด หลังจากนั้นได้มีการนำชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ผ่านการกลึงในแต่ละเงื่อนไขไปวัดค่าเบี่ยงเบนความตรง และได้นำผลการทดลองทั้งหมดมาสร้างสมการทำนายความตรงเบี่ยงเบนของชิ้นงานในการกลึงอะลูมิเนียมในรูปแบบฟังก์ชันเอกโพเนนเชียลได้ดังนี้

$$S_t = e^{5.797} \cdot V^{-0.267} \cdot F^{0.978} \cdot D^{0.2883} \cdot R_n^{-0.3926} \cdot \frac{F_{y(\max)} - F_{y(\min)}}{F_{y(s)}}^{0.2234}$$

จากการทดลองการวิจัยสามารถระบุได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความตรงเบี่ยงเบนของชิ้นงานมากที่สุดก็คือ อัตราป้อนตัด โดยสามารถอธิบายความตรงเบี่ยงเบนของชิ้นงานได้อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปัจจัยอื่นๆ คือ รัศมีจุ่มกมิต ความลึกในการตัด ความเร็วตัด และอัตราส่วนแรงตัด เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความตรงเบี่ยงเบนของชิ้นงานรองลงมาตามลำดับ โดยถ้าใช้ความเร็วตัด และรัศมีจุ่มกมิตเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความตรงเบี่ยงเบนของชิ้นงานจะน้อยลง ทำให้ความตรงชิ้นดีขึ้น และได้ทำการตรวจสอบความแม่นยำของสมการโดยสร้างเงื่อนไขใหม่ขึ้น พบว่าสมการทำนายความตรงเบี่ยงเบนของชิ้นงานมีความแม่นยำถึง 89.13%

งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีขนาดเล็ก และต้องการความตรงของชิ้นงานเพื่อการประกอบในกระบวนการถัดไปได้ ชิ้นงานที่ได้จะมีคุณภาพ ชิ้นงานที่ตรงตามแบบที่ระบุไว้ สามารถลดอัตราของเสียในการผลิต ลดเวลาและต้นทุนในการผลิต เมื่อไม่มีของเสียในกระบวนการเกิดขึ้น และสุดท้ายสามารถนำไปพัฒนาระบบติดตามความตรงของ ชิ้นงานในขณะตัดเพื่อรองรับระบบเครื่องจักรอัจฉริยะในอนาคตได้อีกด้วย

5.2 การอภิปรายผลการวิจัย

1) การวิเคราะห์ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานและสัญญาณแรงตัดในโดเมนความถี่และ โดเมนเวลานั้น จะมีความคลาดเคลื่อนกันบ้าง เนื่องจากตำแหน่งอ้างอิงการตัดชิ้นงานและตำแหน่ง การวัดความตรงเบี่ยงเบนชิ้นงานมีค่าความคลาดเคลื่อนกันเล็กน้อย แต่ยังสามารถอยู่ในขอบเขตที่รับ ได้ สามารถนำผลการวิเคราะห์มาพัฒนาต่อเพื่อสร้างเป็นสมการได้

2) จากสมการทำนายความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน สามารถนำมาปรับใช้ได้กับทุก เงื่อนไขการตัด โดยปัจจัยที่มีผลต่อความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมากที่สุดคือ อัตราป้อนตัด เมื่อ อัตราป้อนตัดเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานมากขึ้นด้วย นั่นคือความตรง ของชิ้นงานจะลดลง คุณภาพชิ้นงานต่ำลง เพราะรอยป้อนตัดมีผลต่อระยะความตรงเบี่ยงเบนชิ้นงาน ที่ระยะมากที่สุดก็ระยะน้อยที่สุด

3) ถ้าต้องการชิ้นงานที่มีความตรงผิวชิ้นงานที่ดี ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานต้องน้อย ซึ่งต้องทำให้เงื่อนไขการตัดที่มีรัศมีจุมกมิตที่ใหญ่ขึ้นและความเร็วในการตัดที่เพิ่มขึ้น เพราะรัศมีจุมกมิตสามารถช่วยลบรอยป้อนตัดที่ตกค้างบนผิวชิ้นงาน ส่วนความเร็วในการตัดจะทำให้อุณหภูมิการตัด เพิ่มขึ้น ชิ้นงานจะอ่อนจะทำให้แรงในขณะตัดน้อยลง ส่วนความลึกในการตัดและอัตราการป้อนตัด นั้นต้องมีค่าน้อยลง จะทำให้พื้นที่การตัดจะน้อยลง แรงตัดจะน้อยลง ส่งผลทำให้ความตรงเบี่ยงเบน ศูนย์ของชิ้นงานมีค่าน้อยลง ความตรงชิ้นงานจึงดีขึ้น

4) สมการมีความแม่นยำเท่ากับ 89.13% ทั้งนี้ยังพบว่ามีความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.01 ไมครอน เนื่องมาจากขณะวัดค่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงาน รวมไปถึงเศษโลหะที่พันเข้า ในขณะตัดชิ้นงาน แต่ถือว่ายังเป็นระดับที่ยอมรับได้

5) งานวิจัยนี้สามารถนำผลการวิจัยมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของความ ตรงชิ้นงาน ความกลม ความขรุขระชิ้นงาน และอัตราส่วนการตัดในขณะกลึงชิ้นงานได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบผลการวิจัย

งานวิจัย	วัสดุชิ้นงาน	เงื่อนไขการตัด					ผลการวิจัย
		V	F	D	Rn	γ	
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความตรงและแรงตัดในกระบวนการกลึงอะลูมิเนียม	อะลูมิเนียม (Al6063)	150	0.1	0.1	0.4	+11	- อัตราป้อนตัด เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความตรงของชิ้นงานมากที่สุด
		200	0.125	0.2	0.8		- การเพิ่มความเร็วตัด รัศมีจุมูกมิต และลดอัตราป้อนตัด กับความลึกให้น้อยลงจะทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานลดลง ทำให้มีความตรงชิ้นงานมากขึ้น
		250	0.15	0.3			
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความตรงของชิ้นงานกับแรงตัดในกระบวนการกลึง	เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด S455	100	0.15	0.4	0.4	-6	- อัตราการป้อนตัด และอัตราส่วนแรงตัดเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความตรงของชิ้นงานมากที่สุด
		150	0.2	0.6	0.8	+11	- ความตรงของชิ้นงานดีขึ้นเมื่อใช้ความเร็วตัด รัศมีจุมูกมิต และมุมคายเคสโลหะที่มีค่ามาก ส่วนอัตราส่วนแรงตัด อัตราป้อนตัด ความลึกตัดต่อน้อย
		200	0.25	0.8			
การพัฒนาการทำนายค่าความตรงและความกลมของชิ้นงานในกระบวนการกลึงซีเอ็นซีโดยใช้การแปลงเวฟเลท	เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด S455	100	0.15	0.4	0.4	-6	- อัตราป้อนตัด มีอิทธิพลต่อค่าความตรงของชิ้นงานมากที่สุด เมื่อเพิ่มอัตราป้อนตัดพบว่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์มีค่ามากขึ้น
		150	0.2	0.6	0.8	+11	- การเพิ่มความเร็วตัด รัศมีจุมูกมิต และมุมคายเคสโลหะ ในขณะที่ใช้อัตราการป้อนตัด และความลึกตัดที่น้อยๆ ความตรงของชิ้นงานจะมีแนวโน้มที่ดีขึ้น
		200	0.25	0.8			- อัตราส่วนค่าเฉลี่ยความแปรปรวนแรงตัดพลวัต มีอิทธิพลความกลมมากที่สุด เมื่ออัตราส่วนค่าเฉลี่ยความแปรปรวนแรงตัดพลวัตเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความกลมที่ได้เพิ่มขึ้น
การพยากรณ์ในกระบวนการสำหรับความขรุขระผิวชิ้นงานในการกลึงอะลูมิเนียม	อะลูมิเนียม (Al6063)	150	0.1	0.1	0.4	+11	- อัตราป้อนตัดมีอิทธิพลต่อความขรุขระผิวเฉลี่ย (Ra) และความขรุขระผิวสูงสุด (Rz) มากที่สุด
		200	0.125	0.2	0.8		- ความขรุขระผิวเฉลี่ยและความขรุขระผิวสูงสุด จะมีค่าลดลงเมื่อใช้อัตราป้อนตัด และความลึกในการตัดต่ำ ในขณะที่ใช้ความเร็วตัดและรัศมีจุมูกมิตที่มาก
		250	0.15	0.3			

จากการเปรียบเทียบผลการวิจัยในเรื่องของความตรงกับอัตราส่วนแรงตัดนั้นจะเห็นได้ว่า ทั้งวัสดุชนิดเหล็กกล้าและอะลูมิเนียมมีผลการวิจัยที่สอดคล้องกันคือ อัตราป้อนตัดได้เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตรงของชิ้นงานมากที่สุดไม่ว่าเงื่อนไขจะเปลี่ยนไปอย่างไรก็ตาม และการเพิ่มความเร็วตัด รัศมีจุมูกมิต และลดอัตราป้อนตัด กับความลึกให้น้อยลงจะทำให้ความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ของชิ้นงานลดลง ทำให้มีความตรงชิ้นงานมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับความขรุขระ และความกลมของชิ้นงานเช่นกัน

5.3 ข้อจำกัดในการวิจัย

1) ในทุกครั้งที่เริ่มทำการทดลองจำเป็นต้องทำการตั้งค่าเครื่องซีเอ็นซี ออสซิลอสโคป และติดตั้งไดนาโมมิเตอร์ และป้อนมิติใหม่ทุกครั้ง ทำให้ใช้ระยะเวลาในการติดตั้งนาน และอาจเกิดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของมิติตัดในแต่ละครั้งที่ทำการทดลอง

2) วัสดุชิ้นงานประเภทอะลูมิเนียมเมื่อมีความร้อนสะสม จะเกิดการอ่อนตัวได้ ในขณะที่ตัดอาจทำให้เกิดเศษโลหะหลอมละลายติดเม็ดมีด ส่งผลทำให้เกิดรอยบนผิวชิ้นงานได้

3) ในขณะที่ตัดชิ้นงานมีสั่นสะเทือนของเครื่องกลึงซีเอ็นซี ทำให้ส่งผลต่อแรงตัด และความตรงผิวชิ้นงาน และเศษโลหะเกิดขึ้น จะพันเข้าชิ้นงาน จนเกิดรอยที่ผิวชิ้นงาน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้

4) ชิ้นงานจะถูกวัดความตรงเบี่ยงเบนศูนย์จากเครื่องวัดความขรุขระผิวที่มีแท่นจับชิ้นงานไม่เหมาะสมกับชิ้นงานทรงกระบอก ทำให้ต้องใช้ความระมัดระวังอย่างสูงเพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานกระดกชนหัวเข็มของเครื่องวัดเพราะอาจทำให้หัวเข็มแตกเสียหายได้ และในแต่ละครั้งที่ทำการวัดชิ้นงานนั้น ต้องยึดชิ้นงานกับแท่นจับให้เหมาะสม เพราะจะทำให้ค่าความตรงเบี่ยงเบนศูนย์เป็นกราฟเอียงได้

5.4 ข้อเสนอแนะ

1) การที่แท่นยึดจับชิ้นงานของเครื่องวัดความขรุขระชิ้นงานสามารถยึดจับชิ้นงานรูปร่างทรงกระบอกได้ จะส่งผลให้ค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดชิ้นงานน้อยลง

2) การสอบเทียบเครื่องกลึงซีเอ็นซีก่อนทำการกลึง และสอบเทียบเครื่องมือวัดด้วยแผ่นทดสอบ ก่อนทำการวัดความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ชิ้นงาน จะส่งผลให้ได้ค่าที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

3) ในการวัดความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ชิ้นงานด้วยเครื่องวัดความขรุขระควรวัดอย่างน้อย 3 ครั้งต่อเงื่อนไขทดลอง เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น

4) การเปลี่ยนวัสดุชิ้นงาน เม็ดมีด และเงื่อนไขการตัดต่างๆ จะช่วยให้สามารถพัฒนาสมการการทำนาย และประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆ อีกได้

5) การพัฒนาสมการการทำนายความตรงเบี่ยงเบนศูนย์ชิ้นงานร่วมกับการสีกหรือของมิติตัด รวมถึงการประยุกต์ใช้การแปลงเวฟเลขร่วมด้วยเพื่อแยกสัญญาณรบกวนออกจากสัญญาณแรงตัดจะส่งผลให้สมการมีความแม่นยำเพิ่มขึ้น

บรรณานุกรม

1. สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ, วิศวกรรมการผลิตขั้นสูง. 2555, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, การสำรวจสถานภาพอุตสาหกรรมโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (*Non-ferrous metals*) อะลูมิเนียม. 2557.
3. ชารารัตน์ ชาญสูงเนิน, การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความตรงของชิ้นงานกับแรงตัดในกระบวนการกลึง, in สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2557, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
4. มุอ์มิน ศาสน์สันติวงศ์, การพัฒนาการทำนายค่าความตรงและความกลมของชิ้นงานในกระบวนการกลึงซีเอ็นซีโดยใช้การแปลงเวฟเลท, in สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2558, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. Aalco. *Aluminium Alloys - Aluminium 6063/6063A Properties, Fabrication and Applications*. 2005; Available from: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2812>.
6. Groover, M.P., *Fundamentals of Modern Manufacturing : Materials, Processes, and Systems*. Second ed. 2004, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
7. วัชรินทร์ สามิตร, ความตรง (*STRAIGHTNESS*). วารสาร Metrology Info, 2554. **63**(กรกฎาคม-สิงหาคม 2554): p. 18-22.
8. ปารเมศ ชุตินา, การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. Vol. 1. 2545, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
9. Ali, S.H.R., H.H. Mohamed, and M.K. Bedewy, *Identifying cylinder liner wear using precise coordinate measurement*. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2009. **10**(5): p. 19-25.
10. Kilic, B., J.A. Aguirre-Cruz, and S. Raman, *Inspection of the cylindrical surface feature after turning using coordinate metrology*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2007. **47**: p. 1893-1903.
11. Trujillo, F.J., L. Sevilla, and M. Marcos, *Cutting Speed-Feed Coupled Experimental Model for Geometric Deviations in the Dry Turning of UNS A97075 Al-Zn Alloys*. Advances in Mechanical Engineering, 2014: p. 1-11.

12. Sánchez-Sola, J.M., et al., *Cutting Speed-Feed based Parametric Model for Macro-Geometrical Deviations in the Dry Turning of UNS A92024 Al-Cu Alloys*. Key Engineering Materials, 2012. **504-506**(1662-9795): p. 1311-1316.
13. Salguero, J., et al., *A Study of Macrogeometrical Deviations in the Dry Turning of UNS R56400 Ti Alloy*. Applied Mechanics and Materials, 2012. **152-154**: p. 613-617.
14. Tangjitsitcharoen, S., *In-process monitoring and prediction of surface roughness in CNC turning process*. Advanced Materials Research, 2011. **199-200**: p. 1958-1966.
15. Tangjitsitcharoen, S., *Advanced prediction of surface roughness by monitoring of dynamic cutting forces in cnc turning process*. Applied Mechanics and Materials, 2012. **239-240**: p. 661-669.
16. Tangjitsitcharoen, S. and S. Damrongthaveesak, *Advance in monitoring and process control of surface roughness*. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2013. **7**: p. 7-29.
17. สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ, ศักดิ์ดีดา ศรีอนุศาสตร์, and ดวงตา ละเอียดดี, การพยากรณ์ค่าความขรุขระผิวชิ้นงานขณะตัดสำหรับกระบวนการกลึงซีเอ็นซีด้วยอัตราส่วนแรงตัด (*IN-PROCESS PREDICTION OF SURFACE ROUGHNESS FOR CNC TURNING PROCESS BY USING THE CUTTING FORCE RATIO*). Journal of Science and Technology, 2553. **2**(4): p. 93-105.
18. Tangjitsitcharoen, S., *In-process prediction of surface roughness by utilizing the cutting force ratio*. Trans NAMRI/SME, 2010. **38**: p. 307-315.
19. Thamizhmanii, Saparudin, and Hasan, *Analyses of surface roughness by turning process using Taguchi method*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 2007. **20**(1-2): p. 503-506.
20. Rao, C.J., D.N. Rao, and P. Srihari, *Influence of Cutting Parameters on Cutting Force and Surface Finish in Turning Operation*. Procedia Engineering, 2013. **64**: p. 1405-1415.
21. อาทิตยา ชัยจรีนนท์, การพยากรณ์ในกระบวนการสำหรับความขรุขระผิวชิ้นงานในการกลึงอะลูมิเนียม (*In-Process Prediction of Surface Roughness in Aluminium Turning*), in

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2560, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

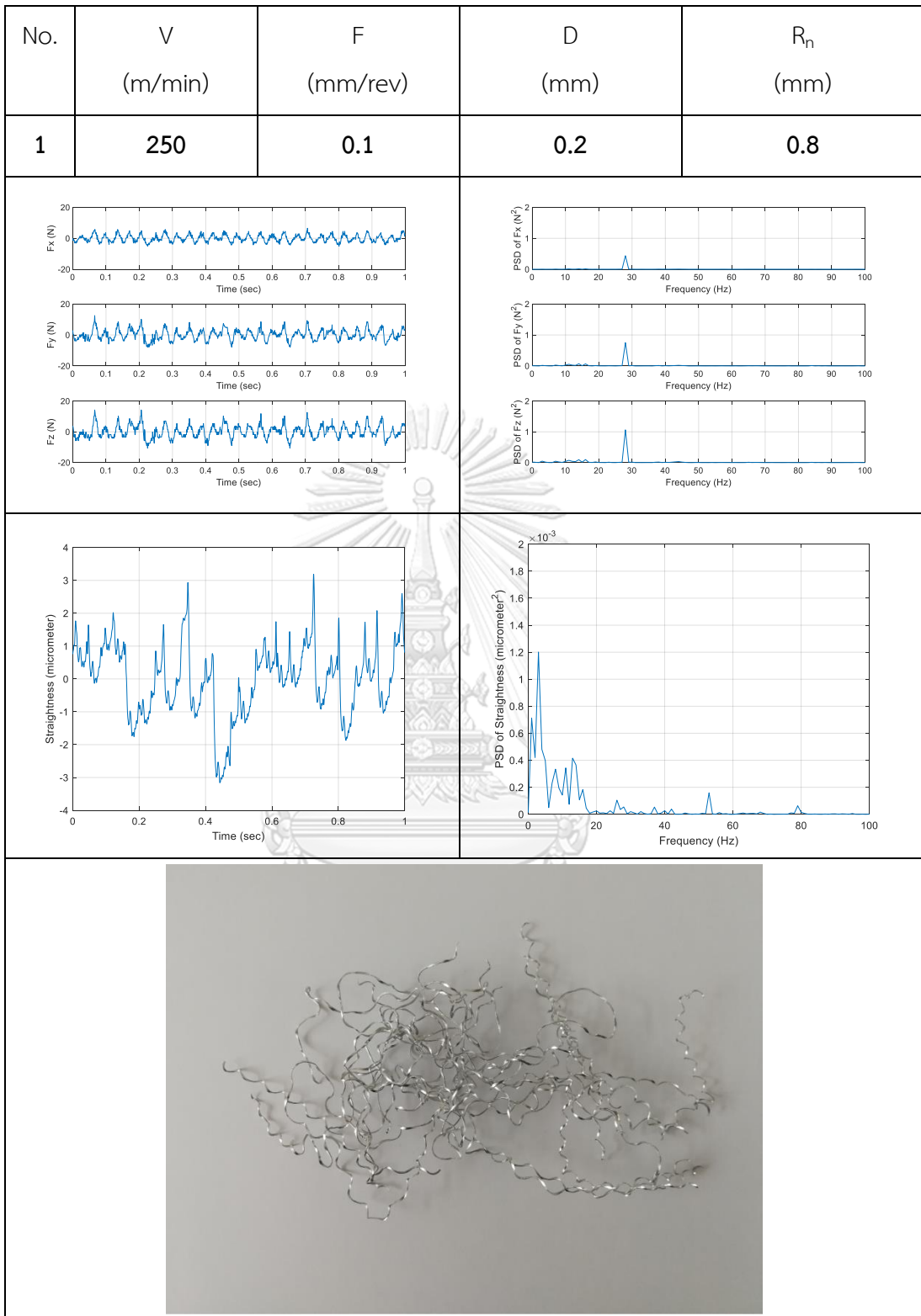
22. Thongprapai, S. and A. Anupongsirisakul, *Investigation of cutting conditions for aluminium by using response surface analysis*, in *International school of Engineering*. 2011, Chulalongkorn University.
23. วัชรพงษ์ พุประทีป, การหาเงื่อนไขการตัดที่เหมาะสมในกระบวนการกลึงอลูมิเนียมโดยใช้การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนอง, in ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2553, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

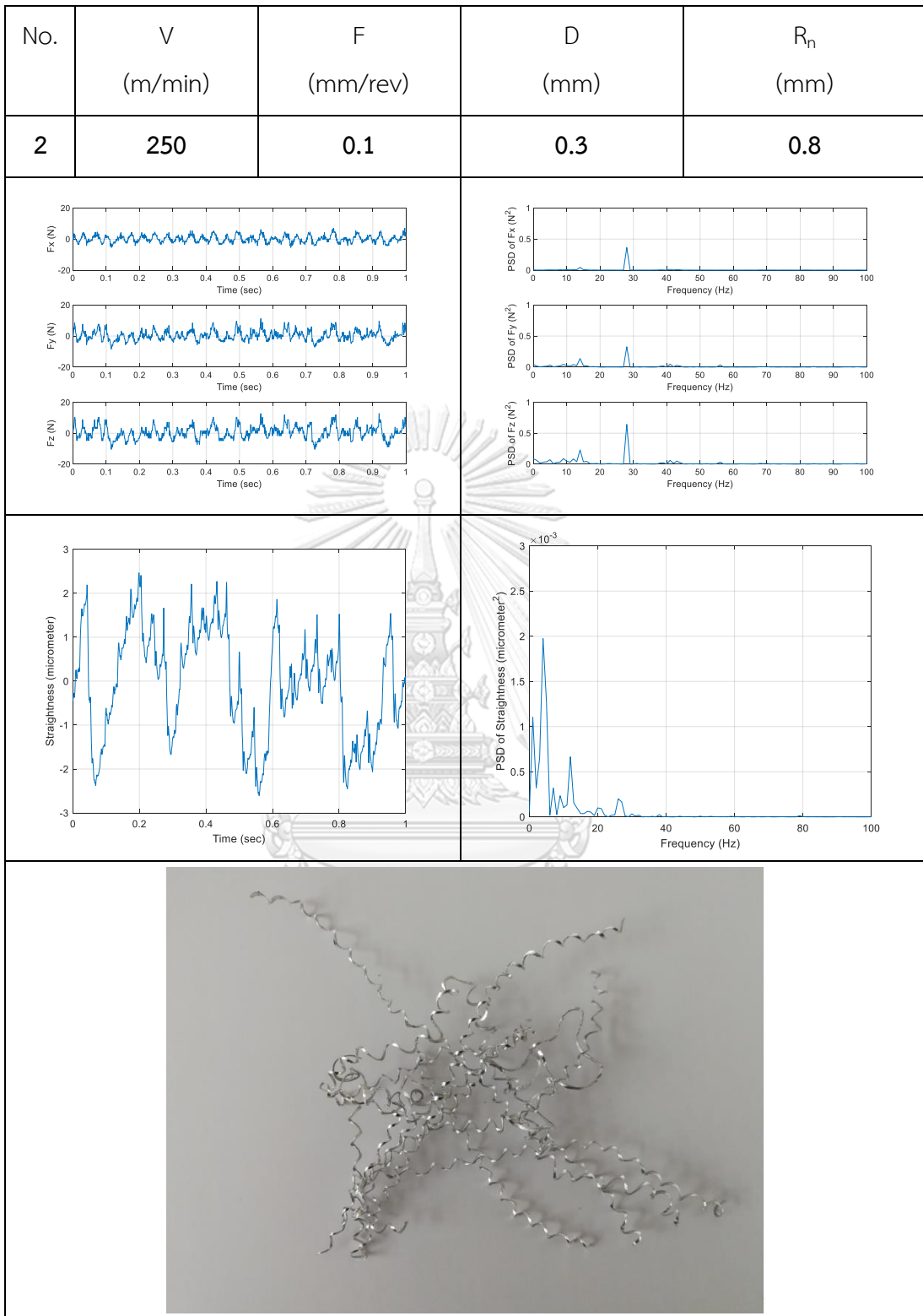


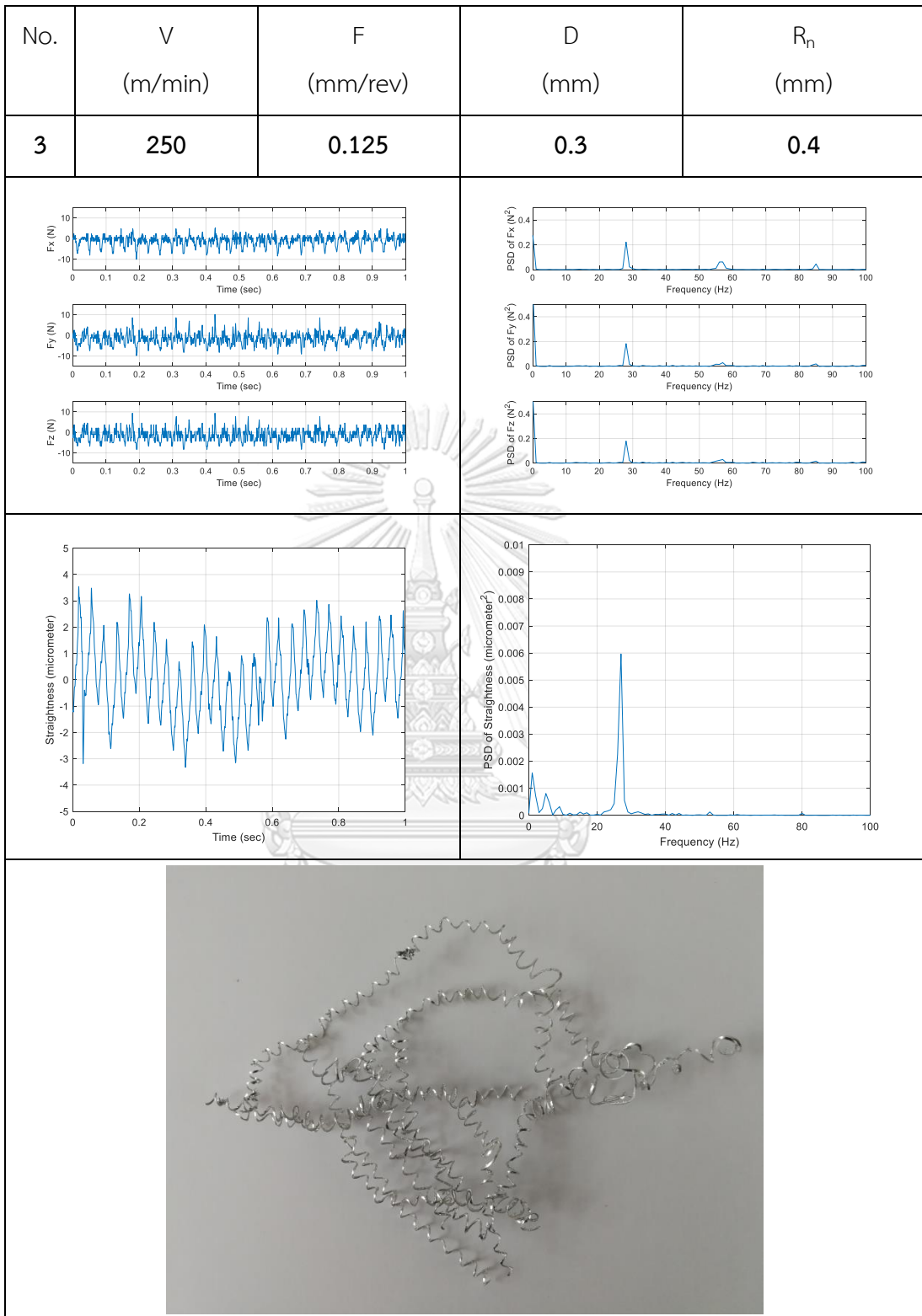


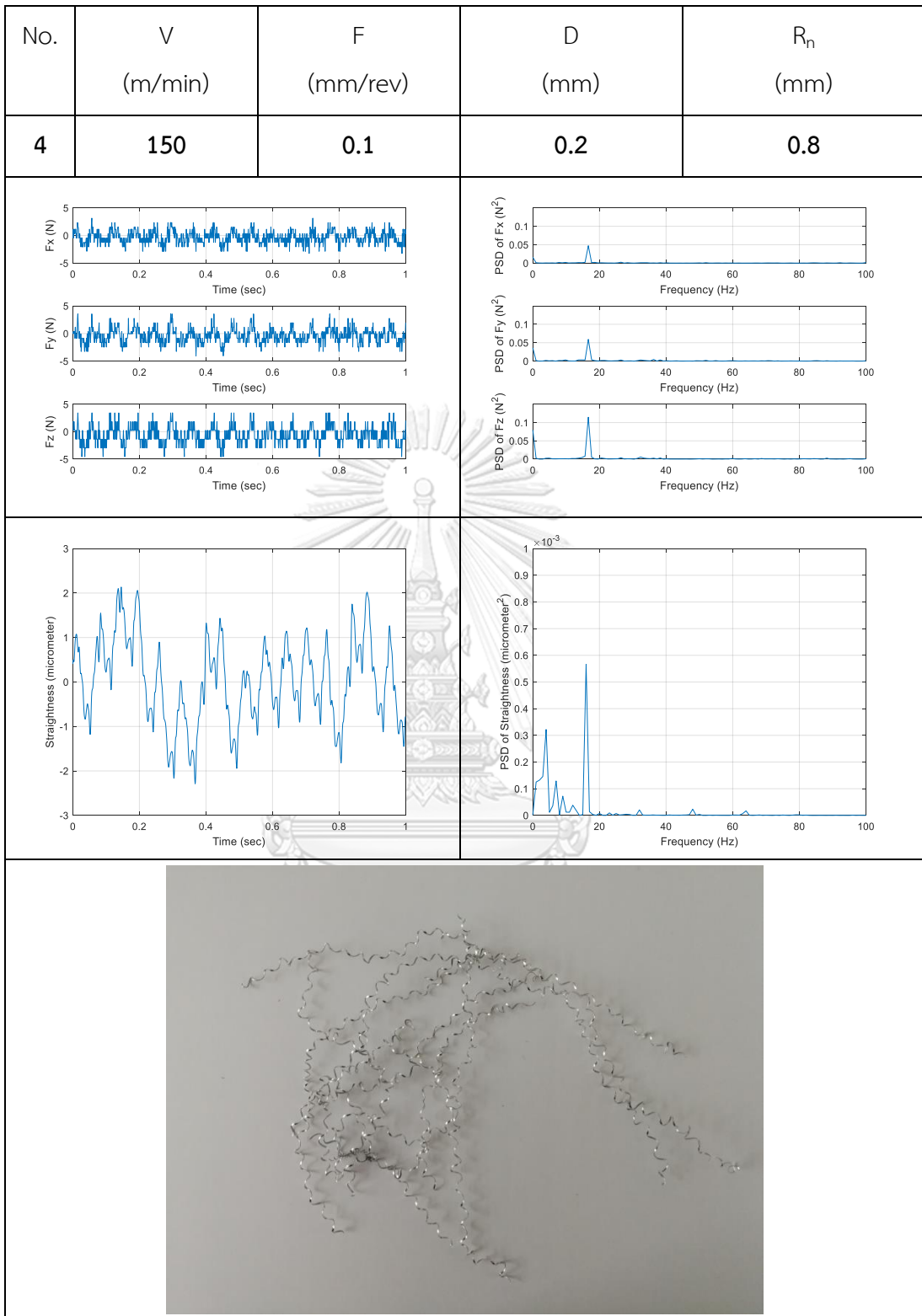
ภาคผนวก

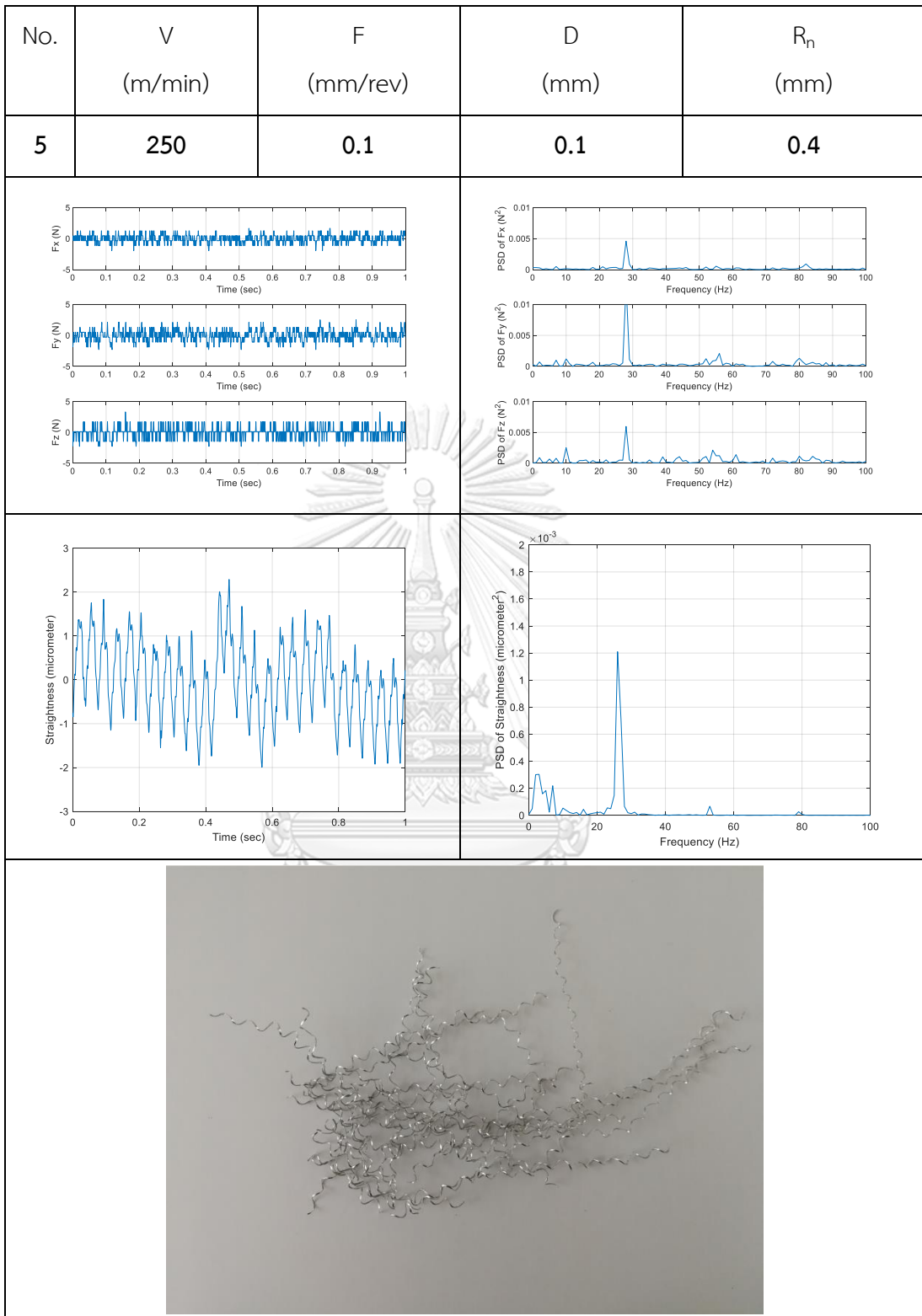
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

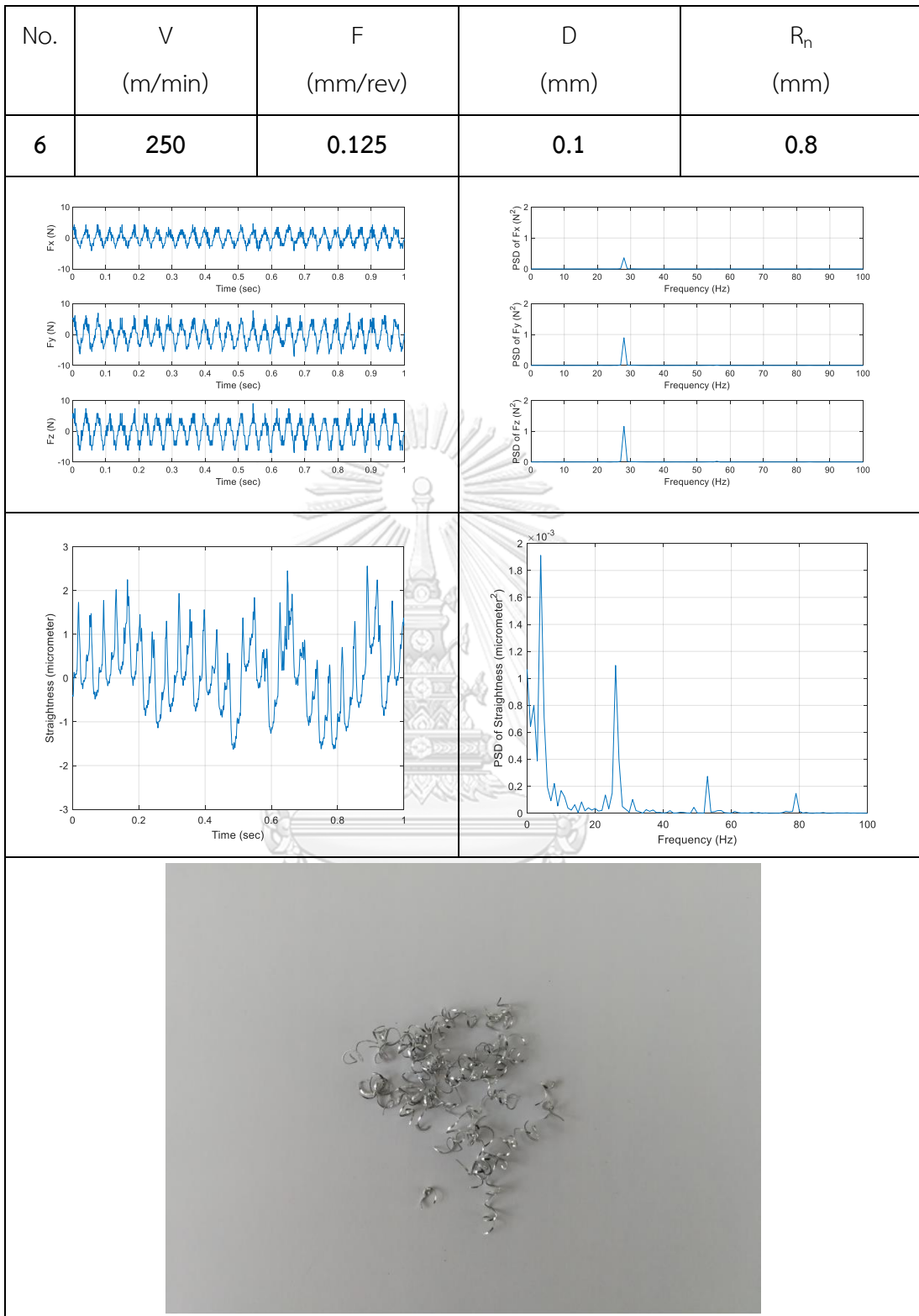


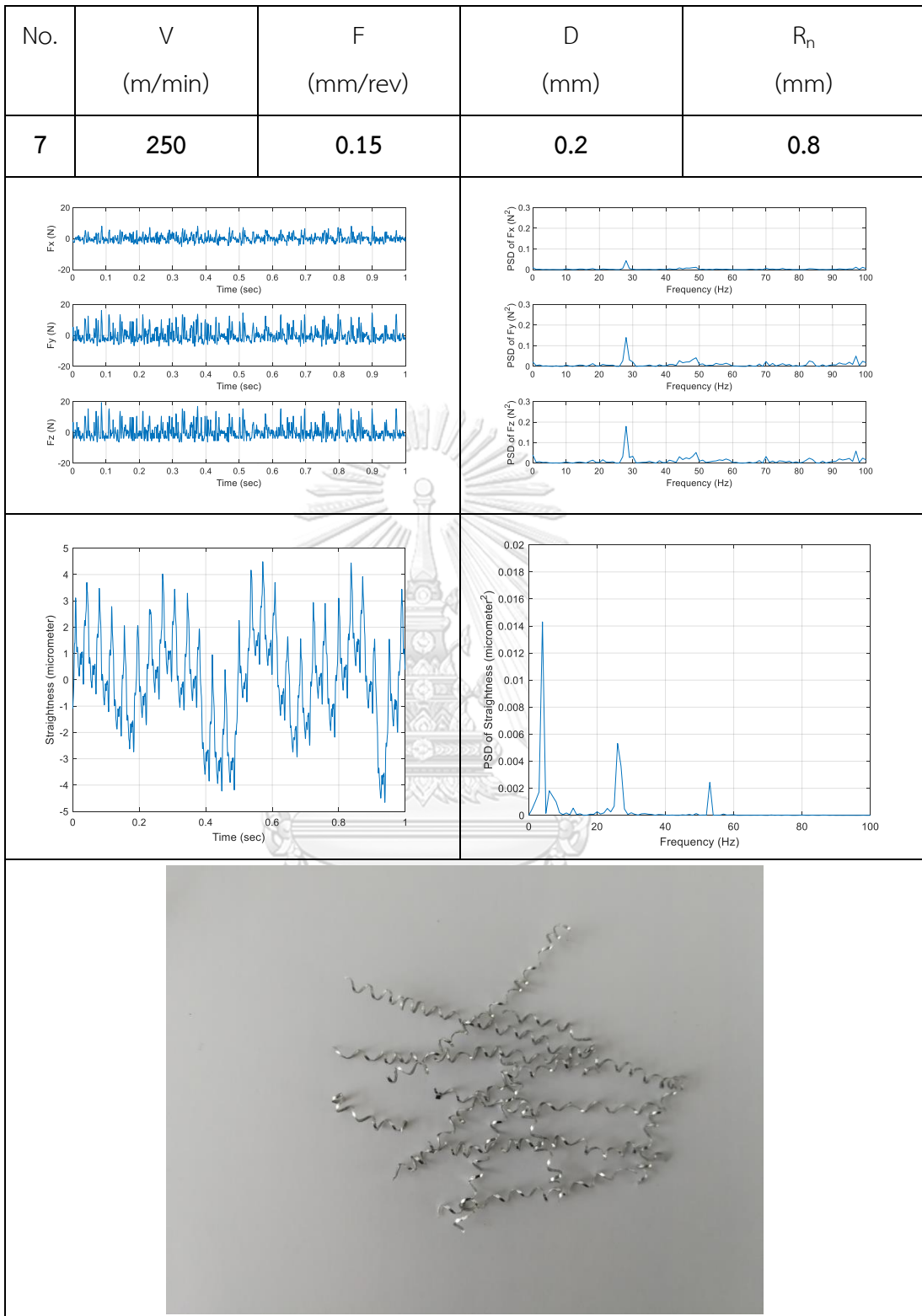


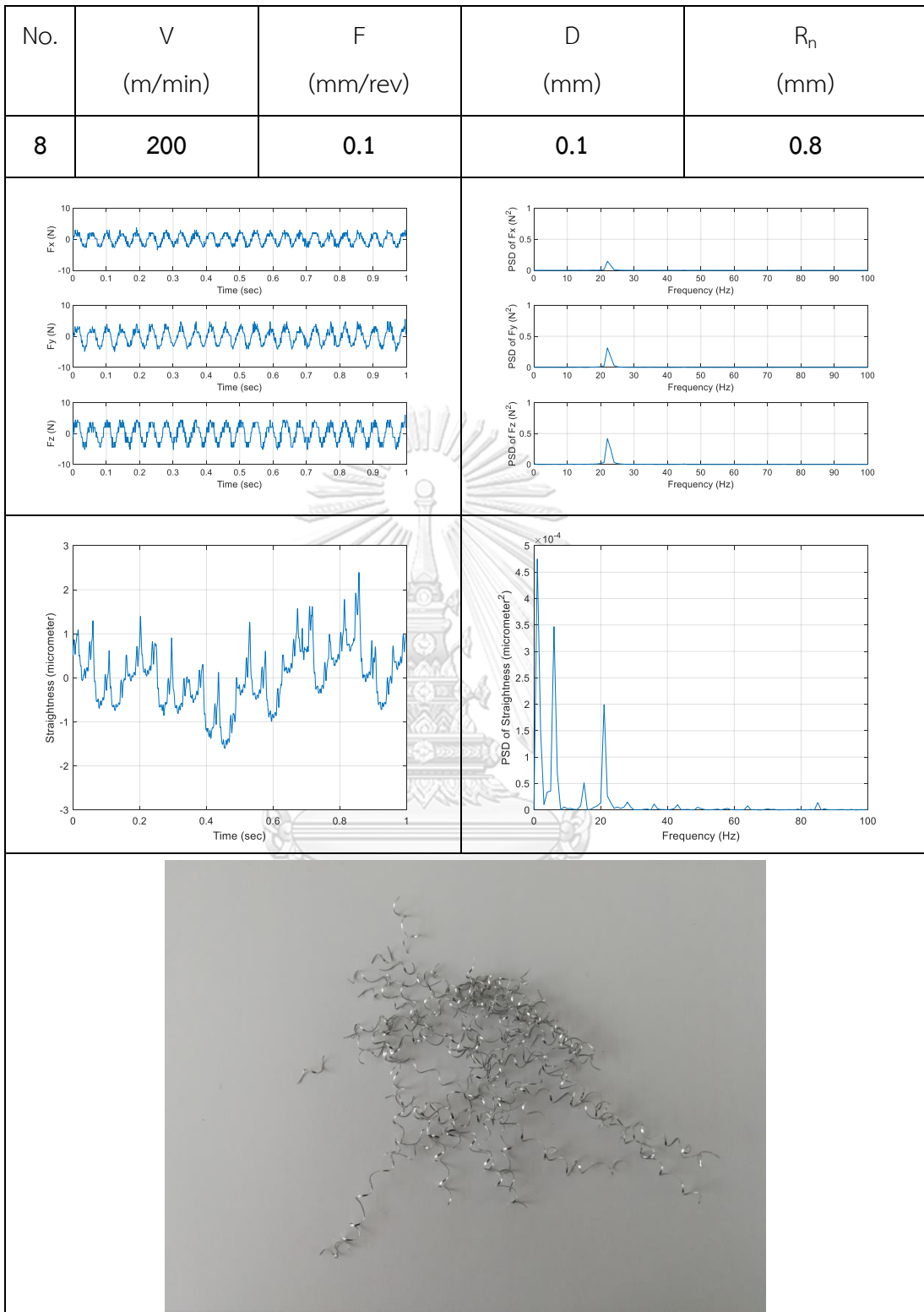


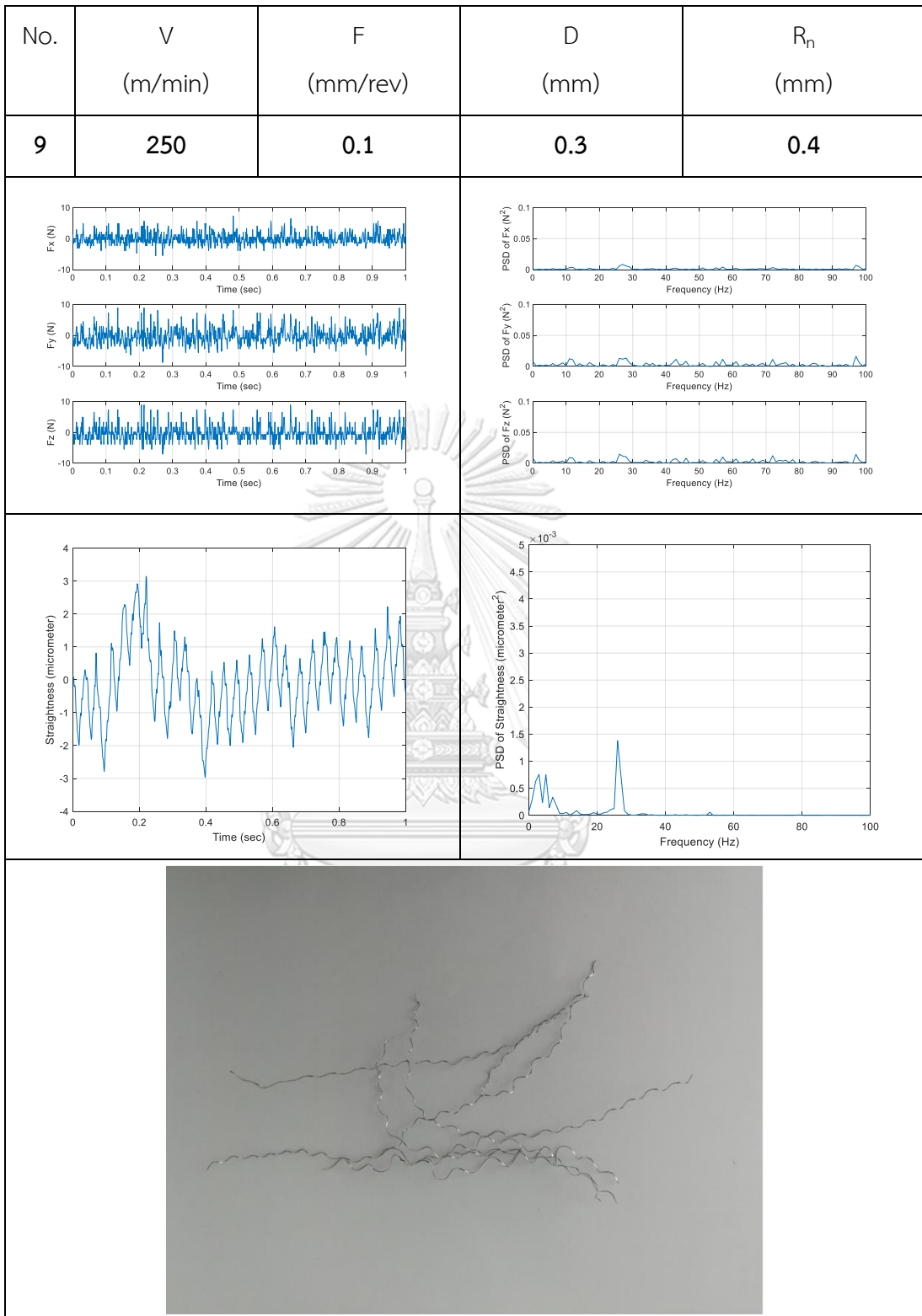


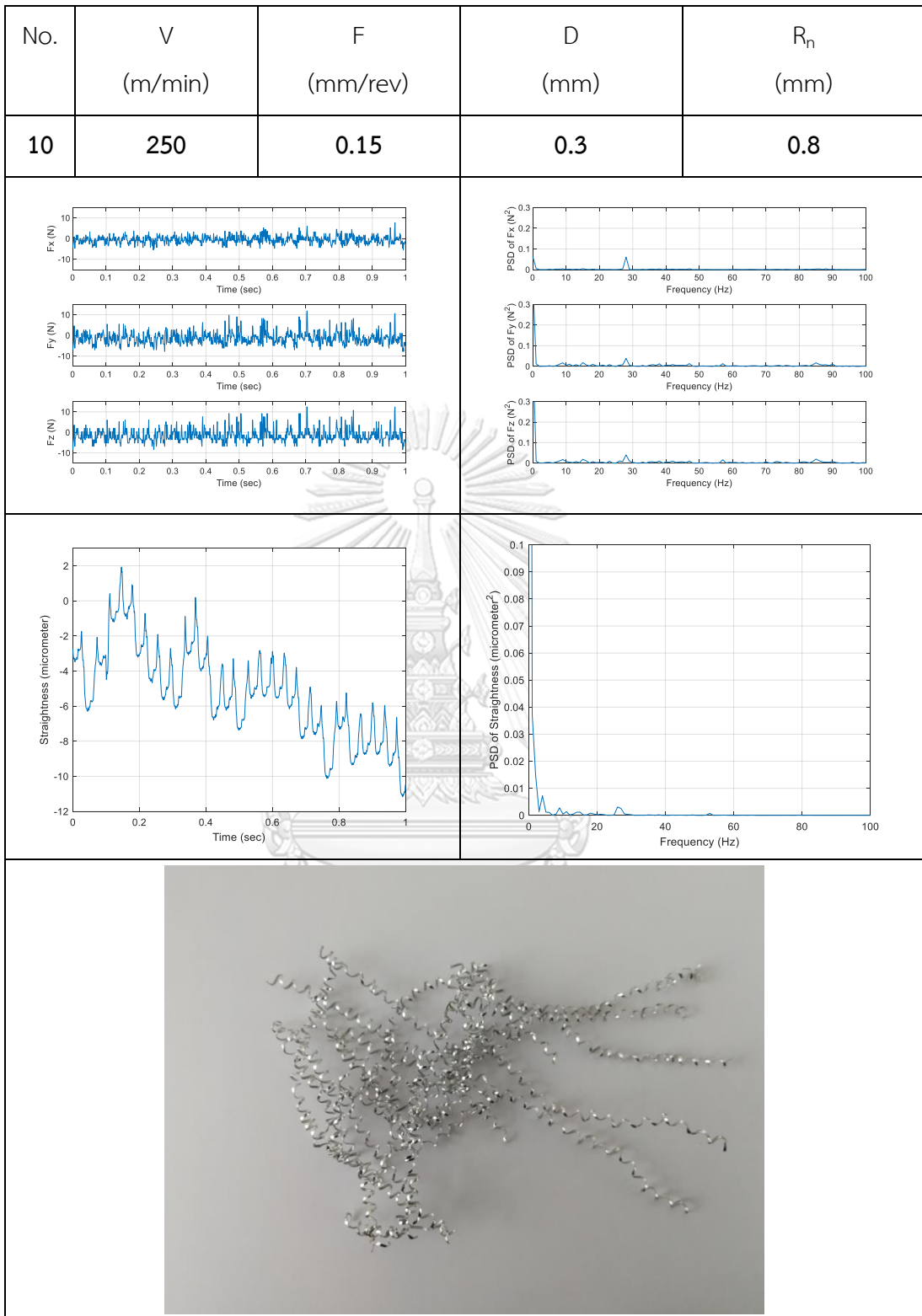


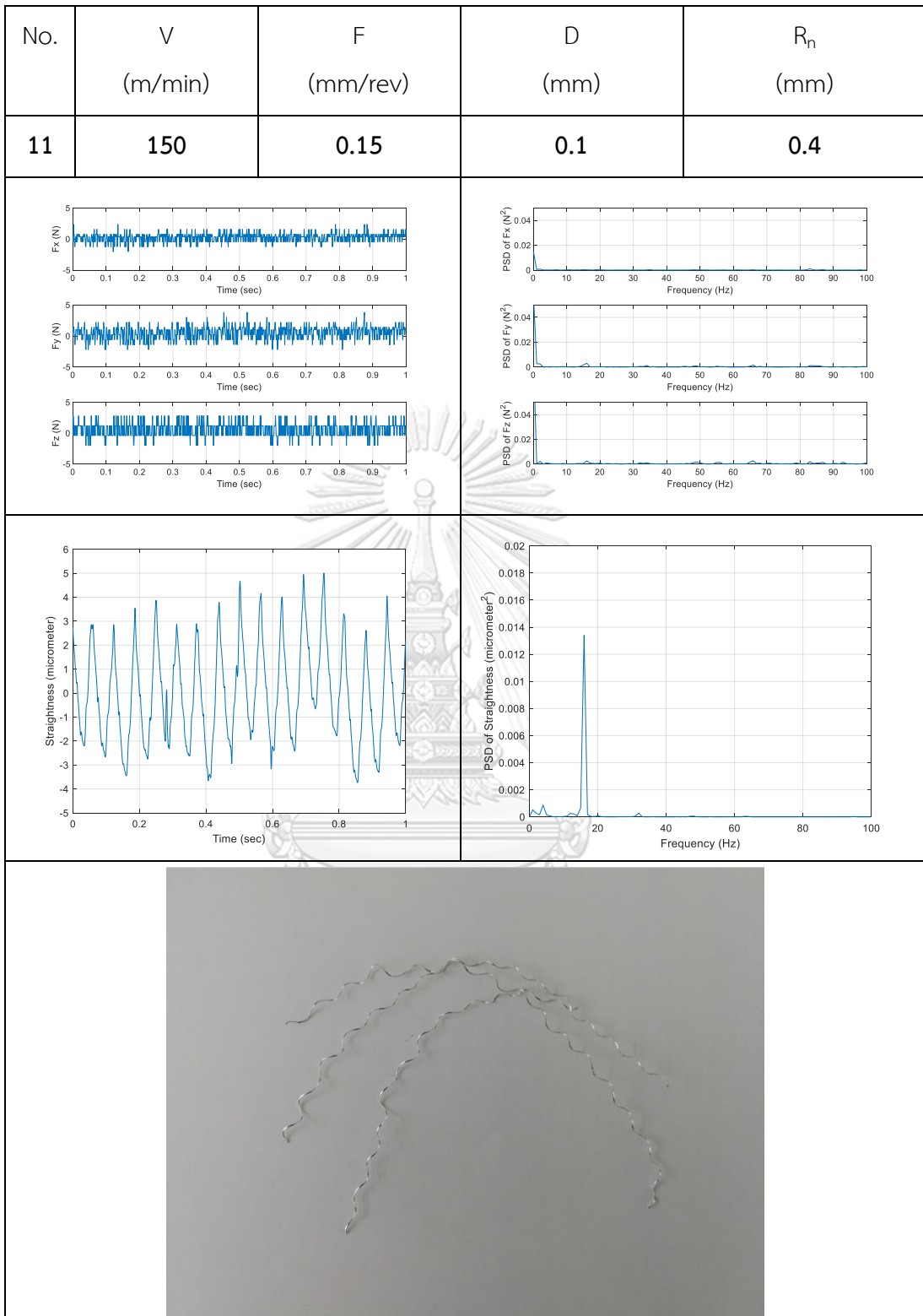


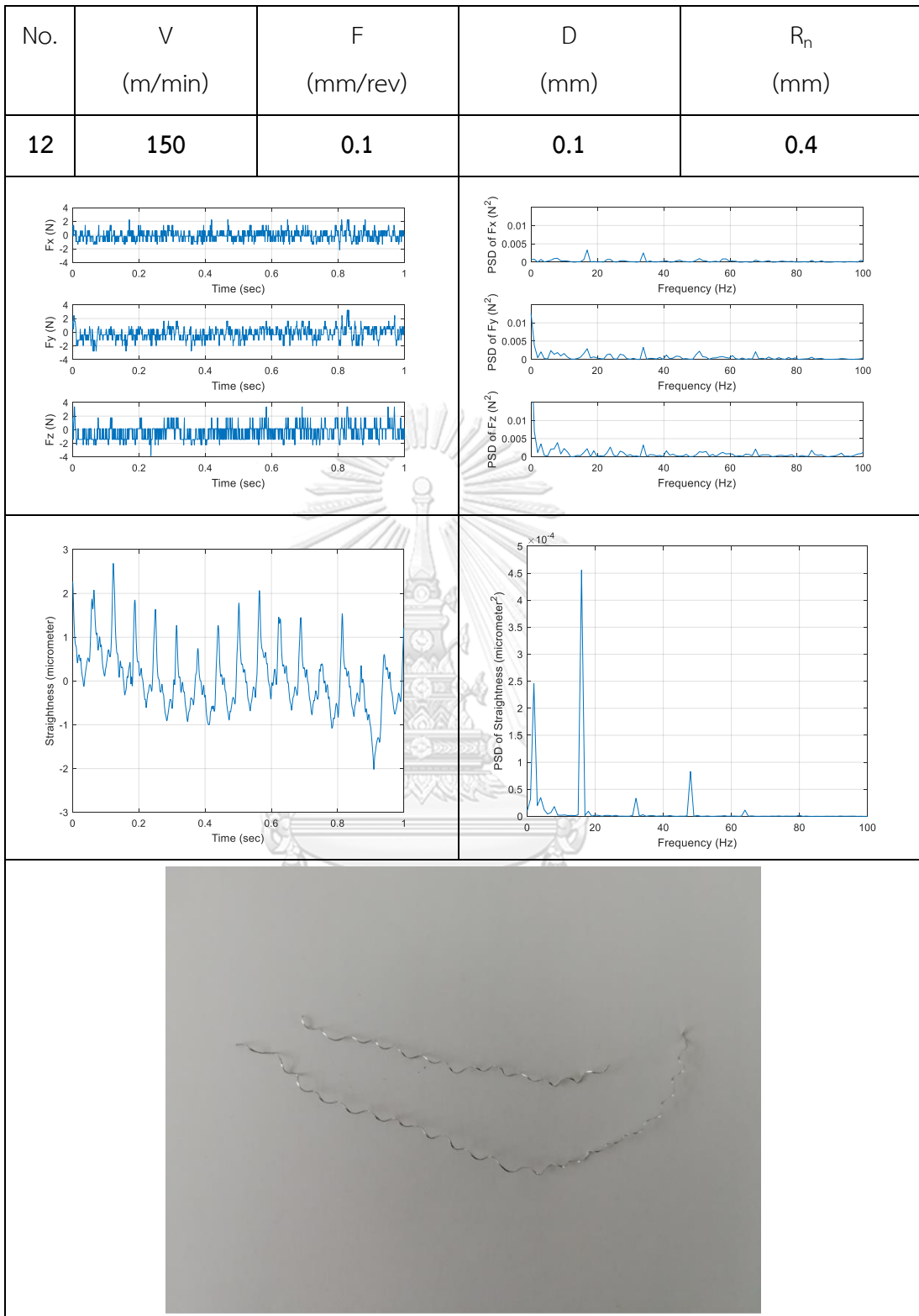


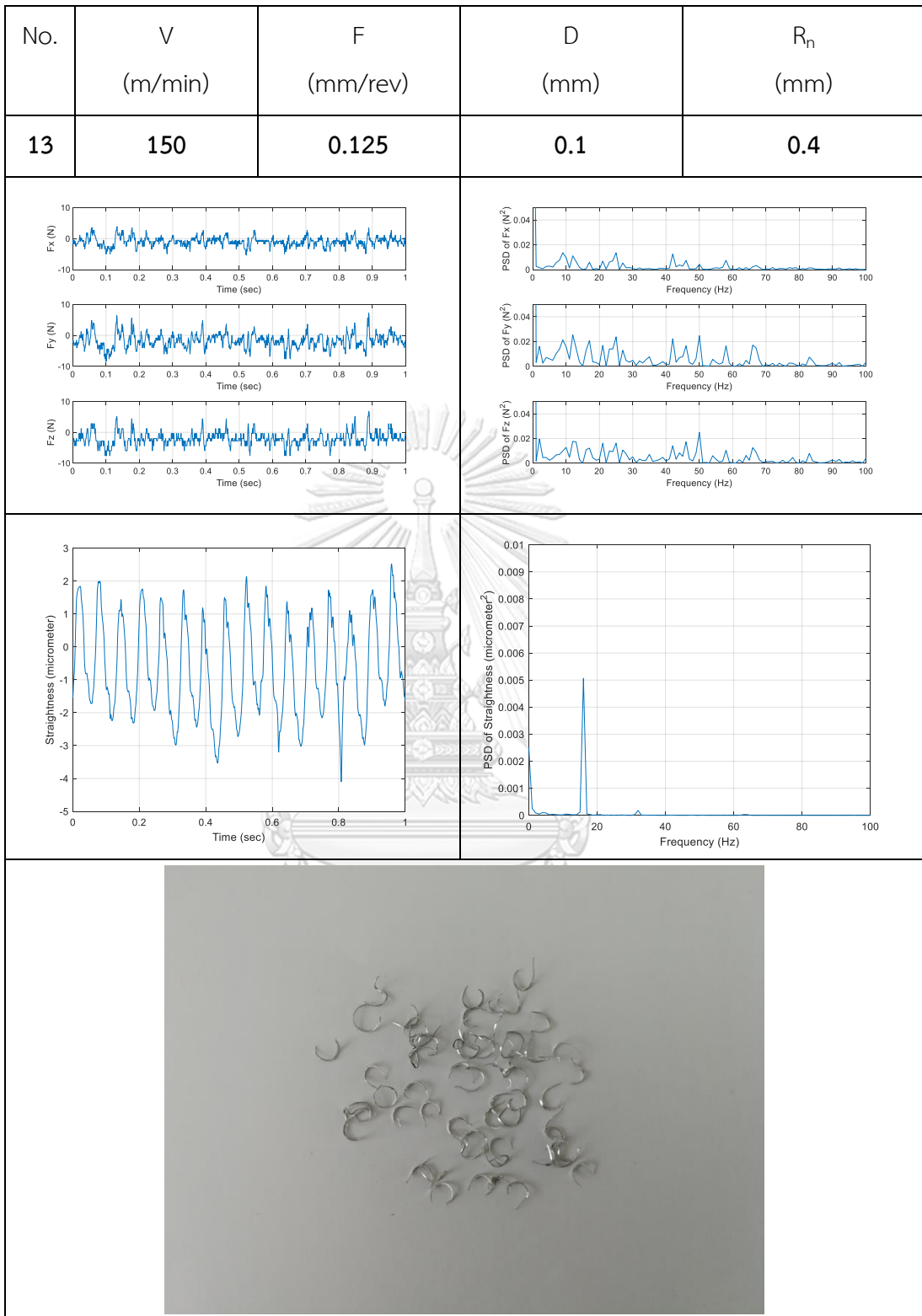


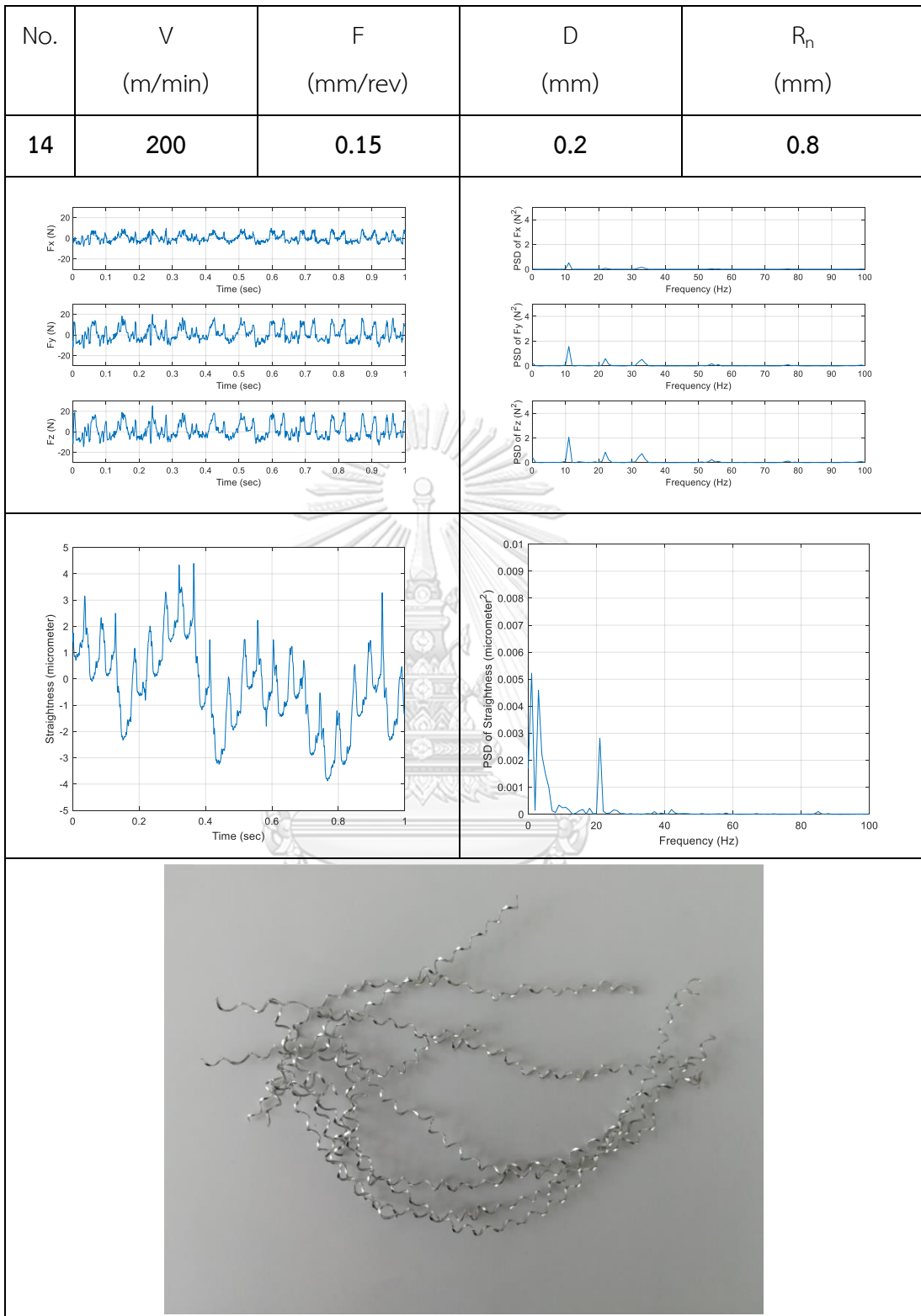


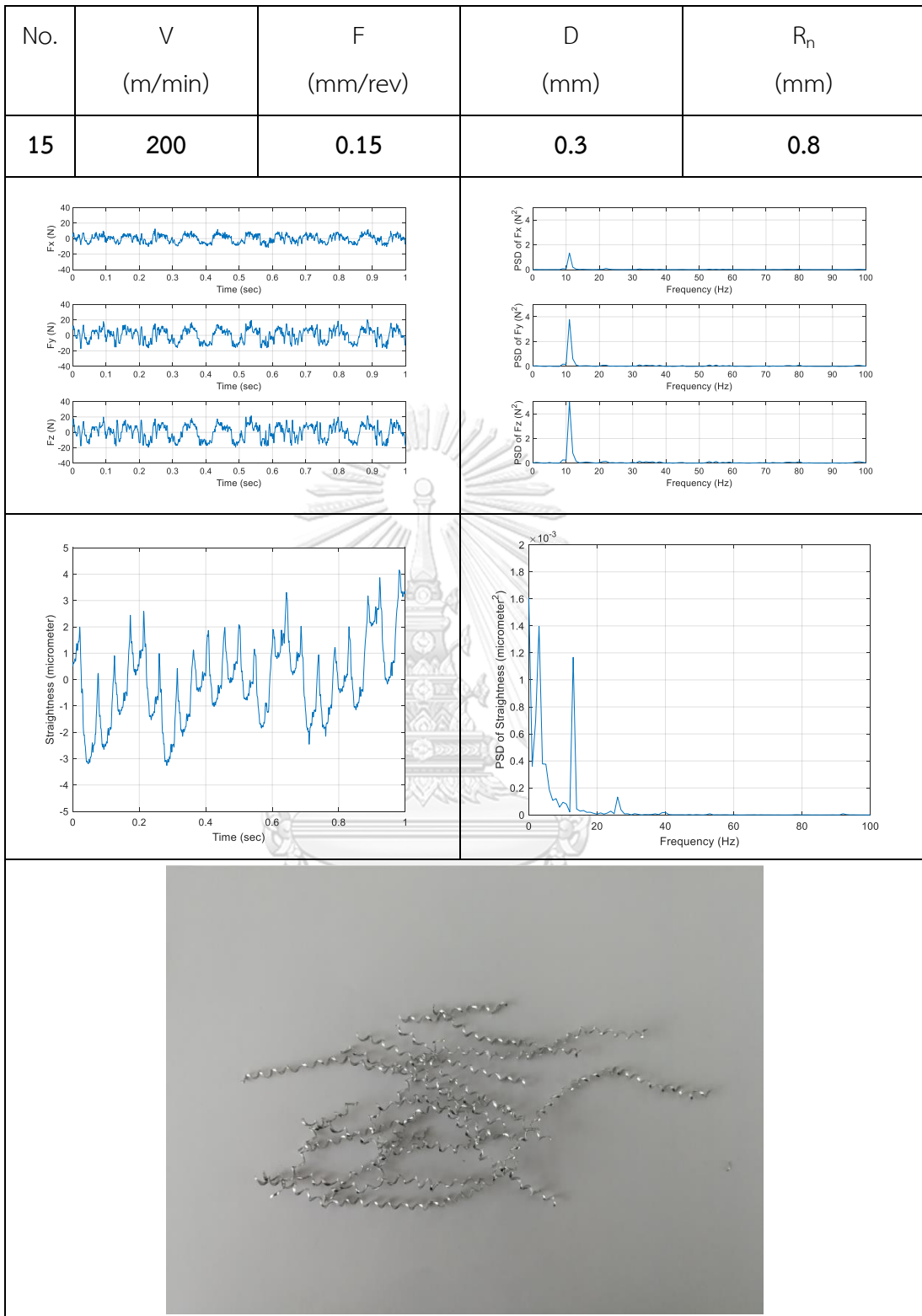


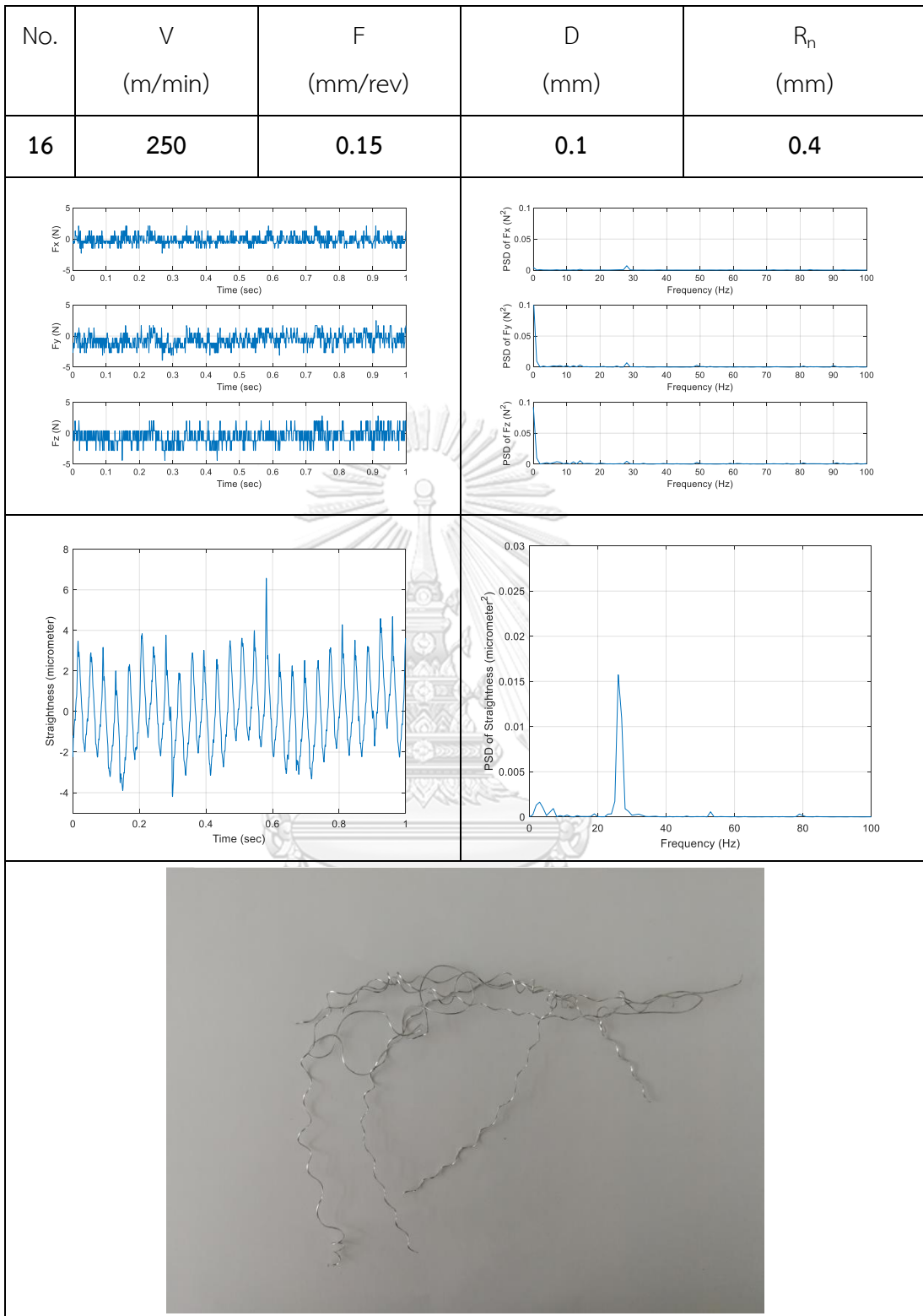


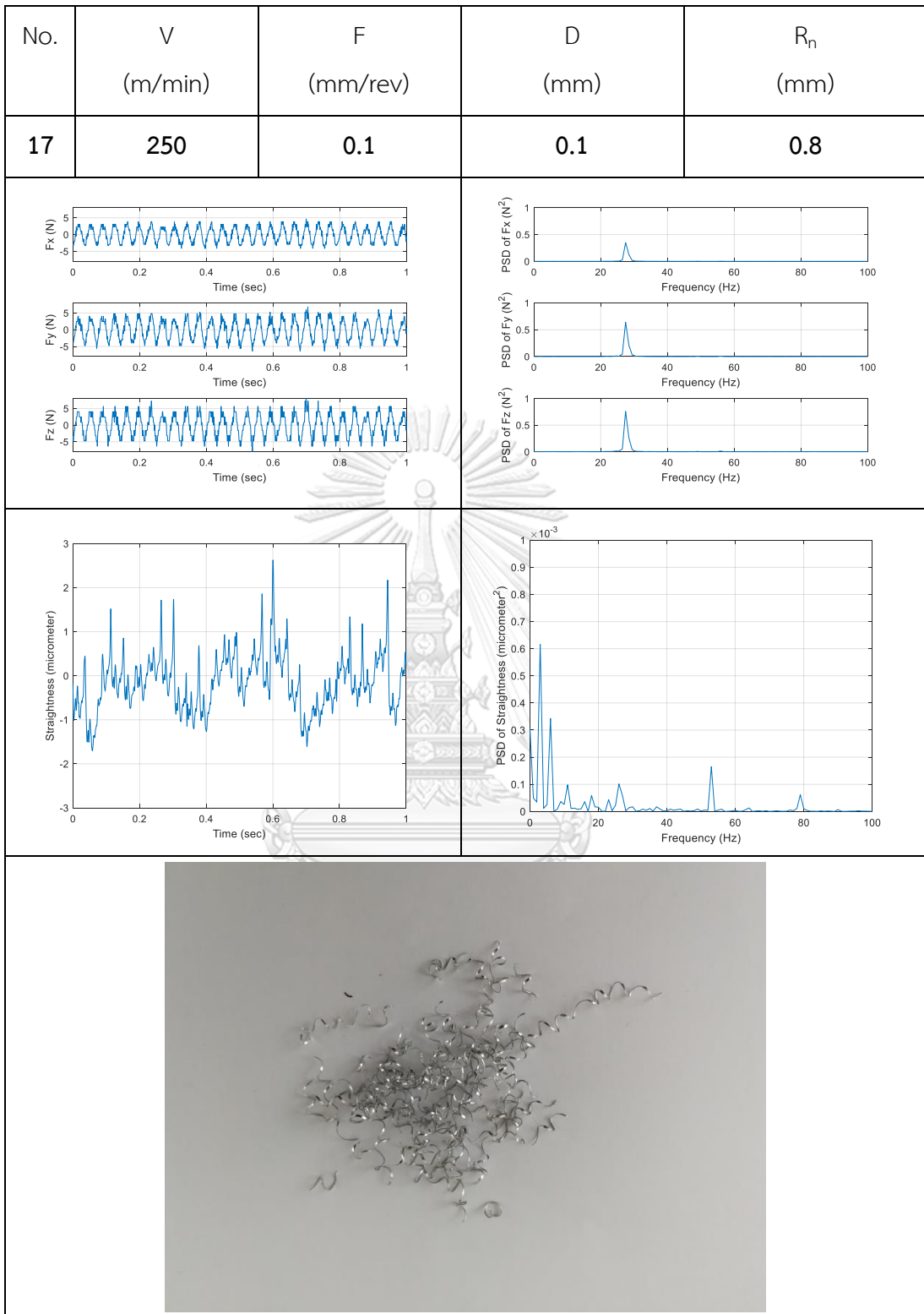


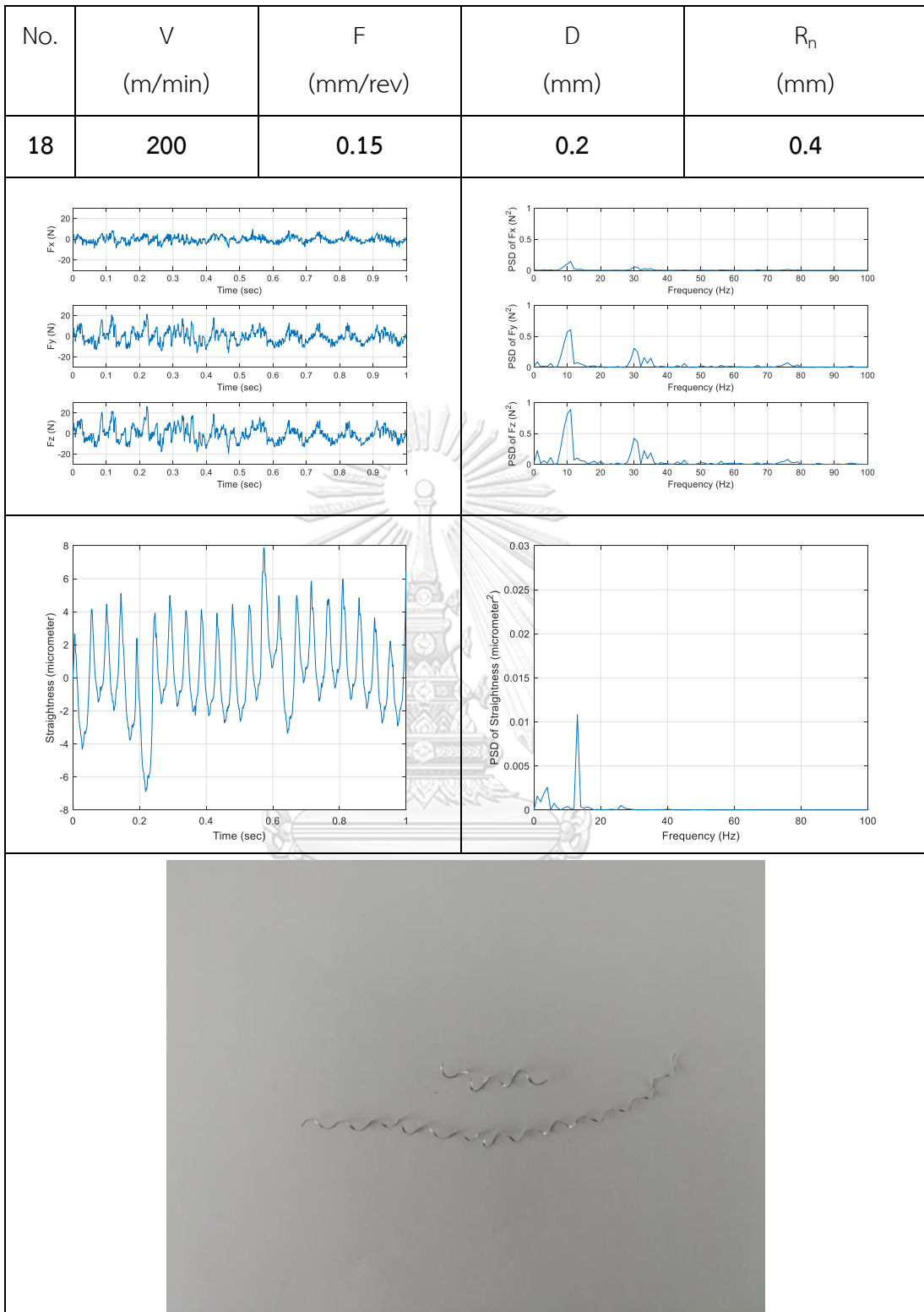


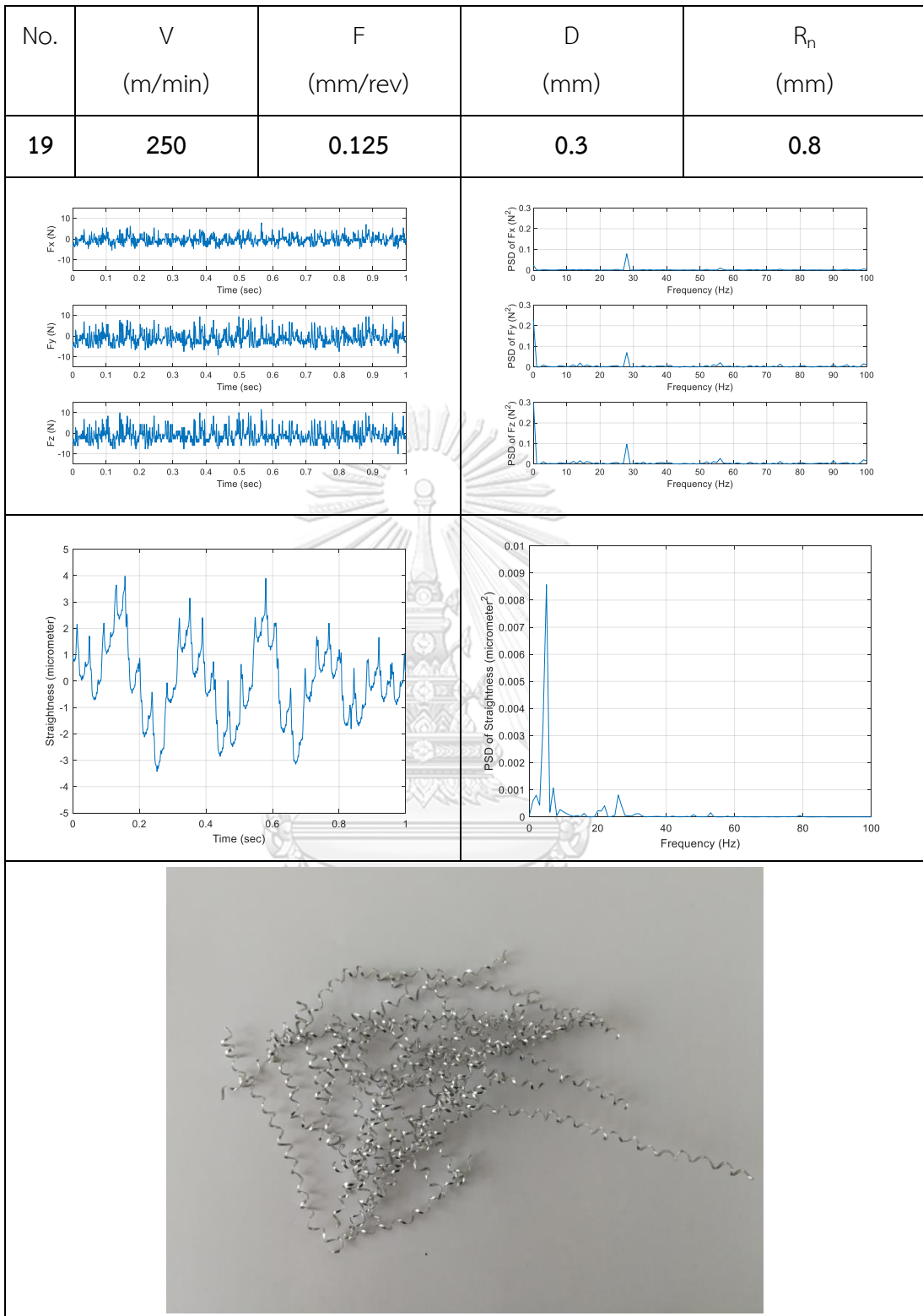


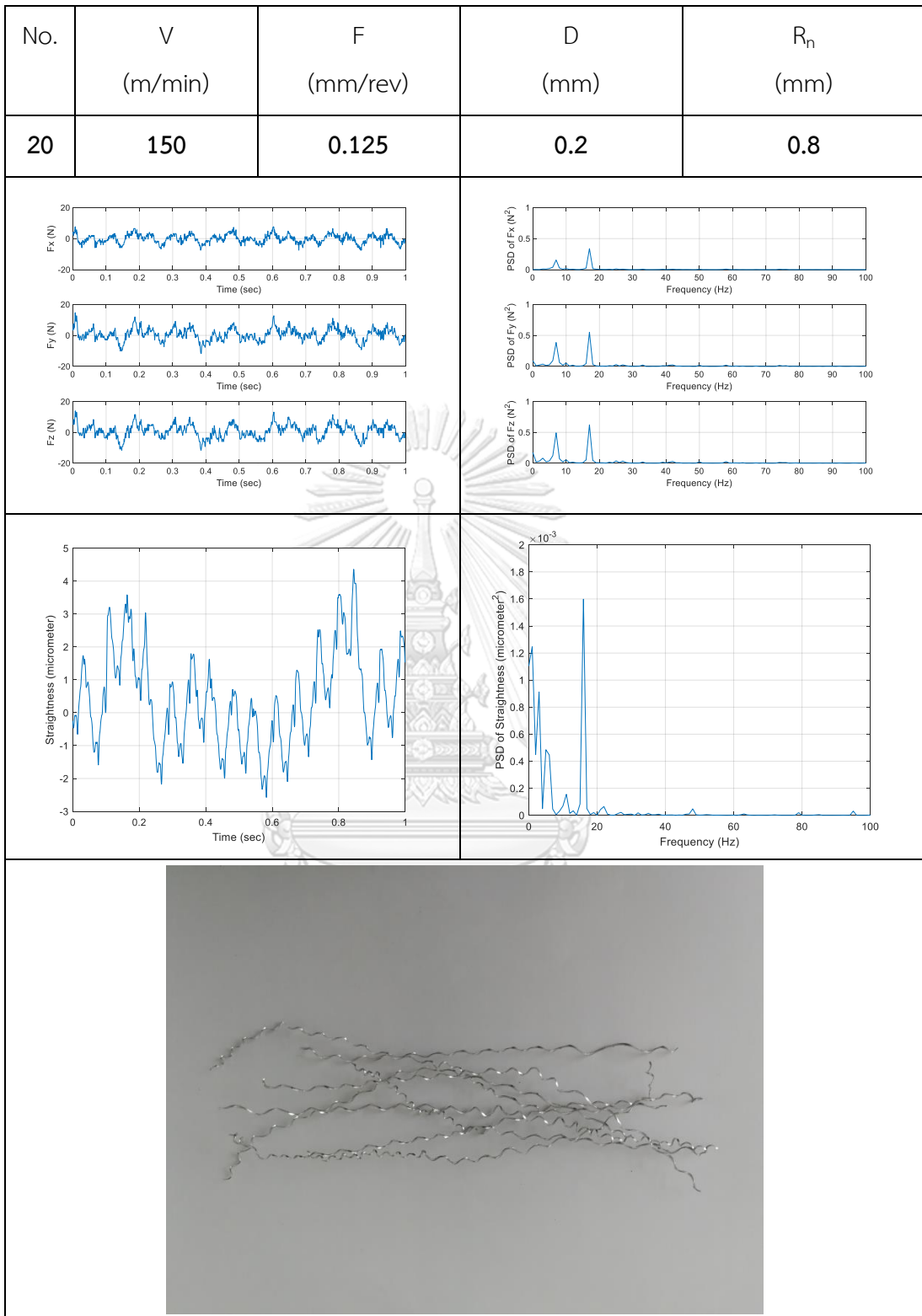


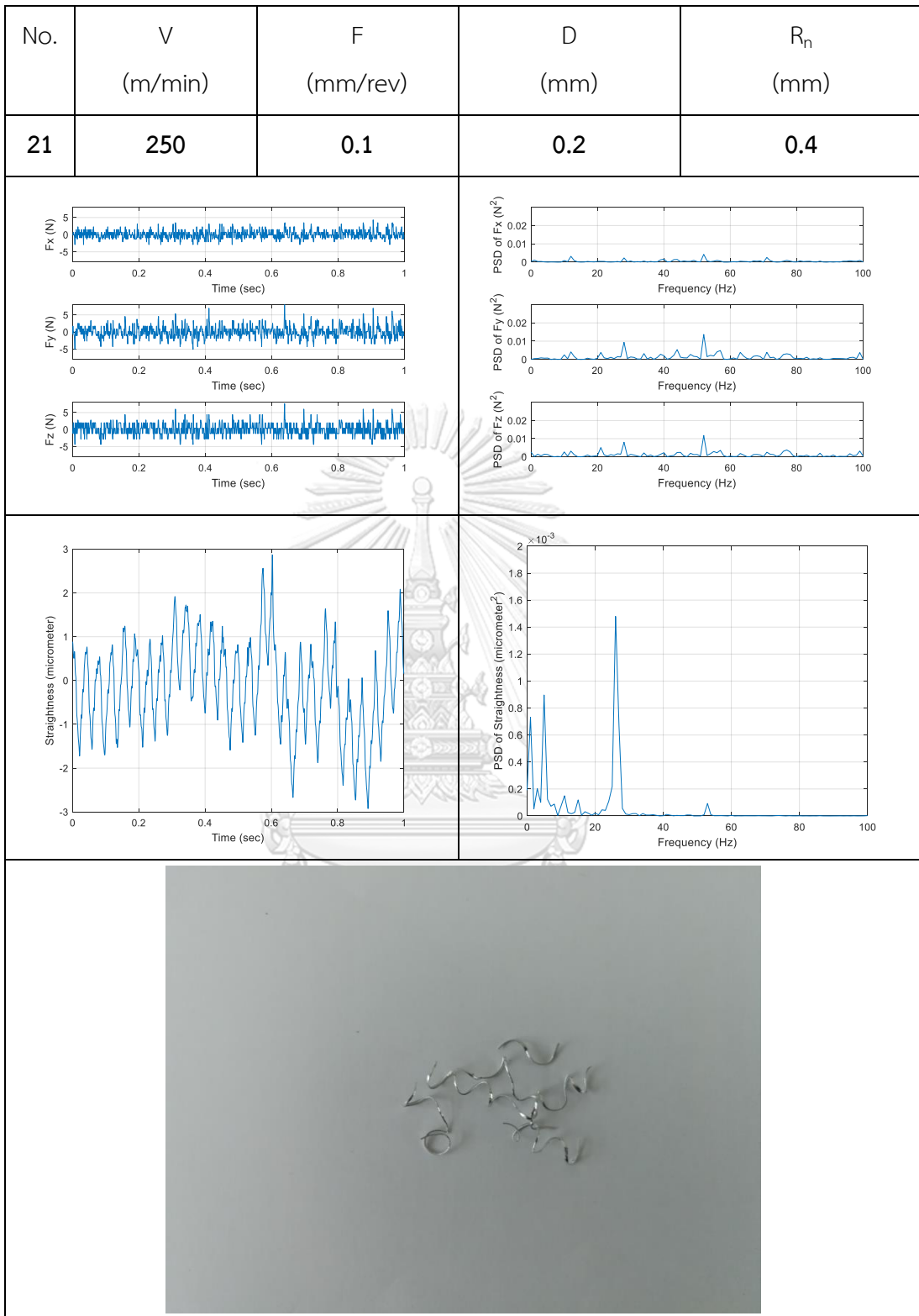


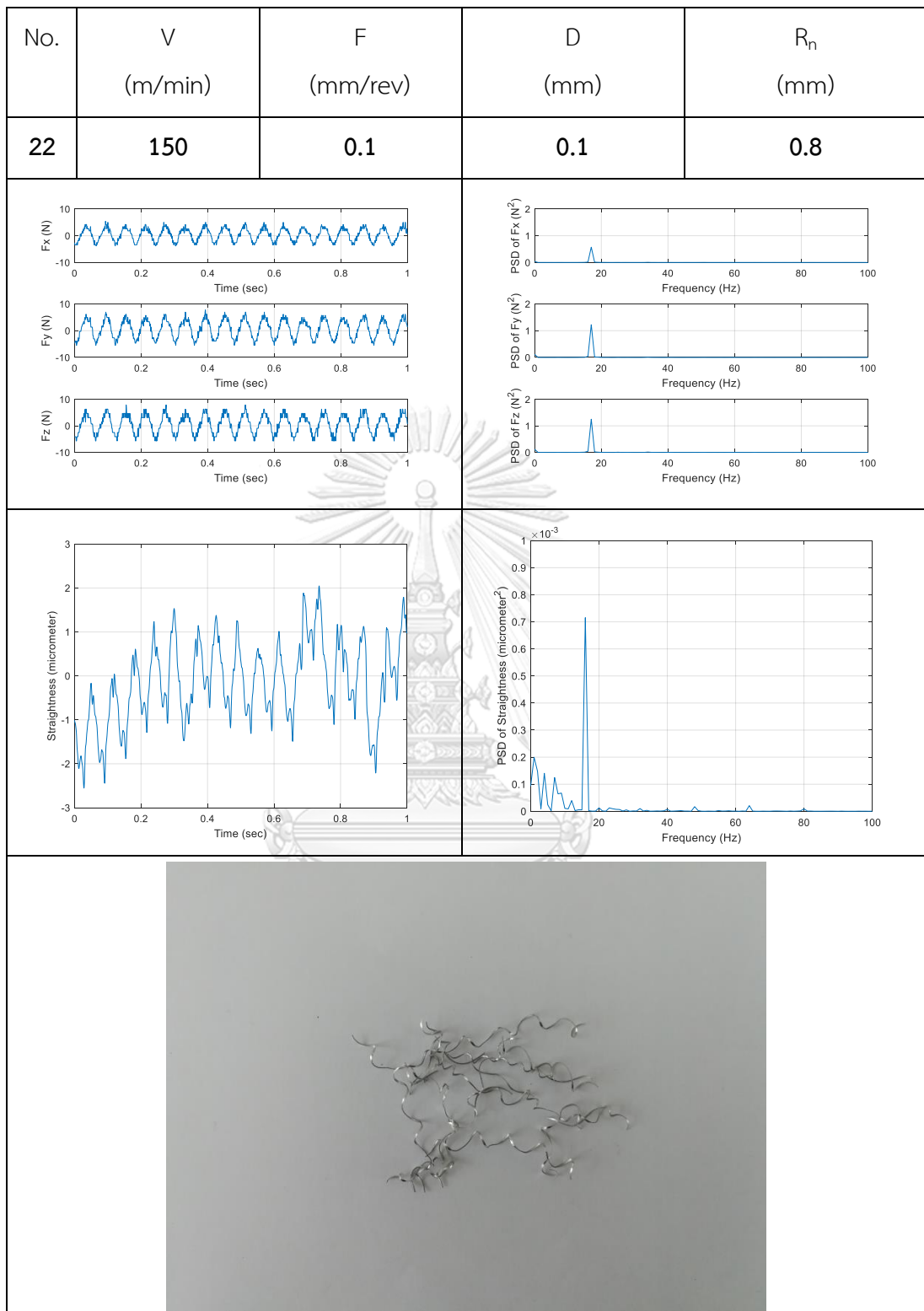


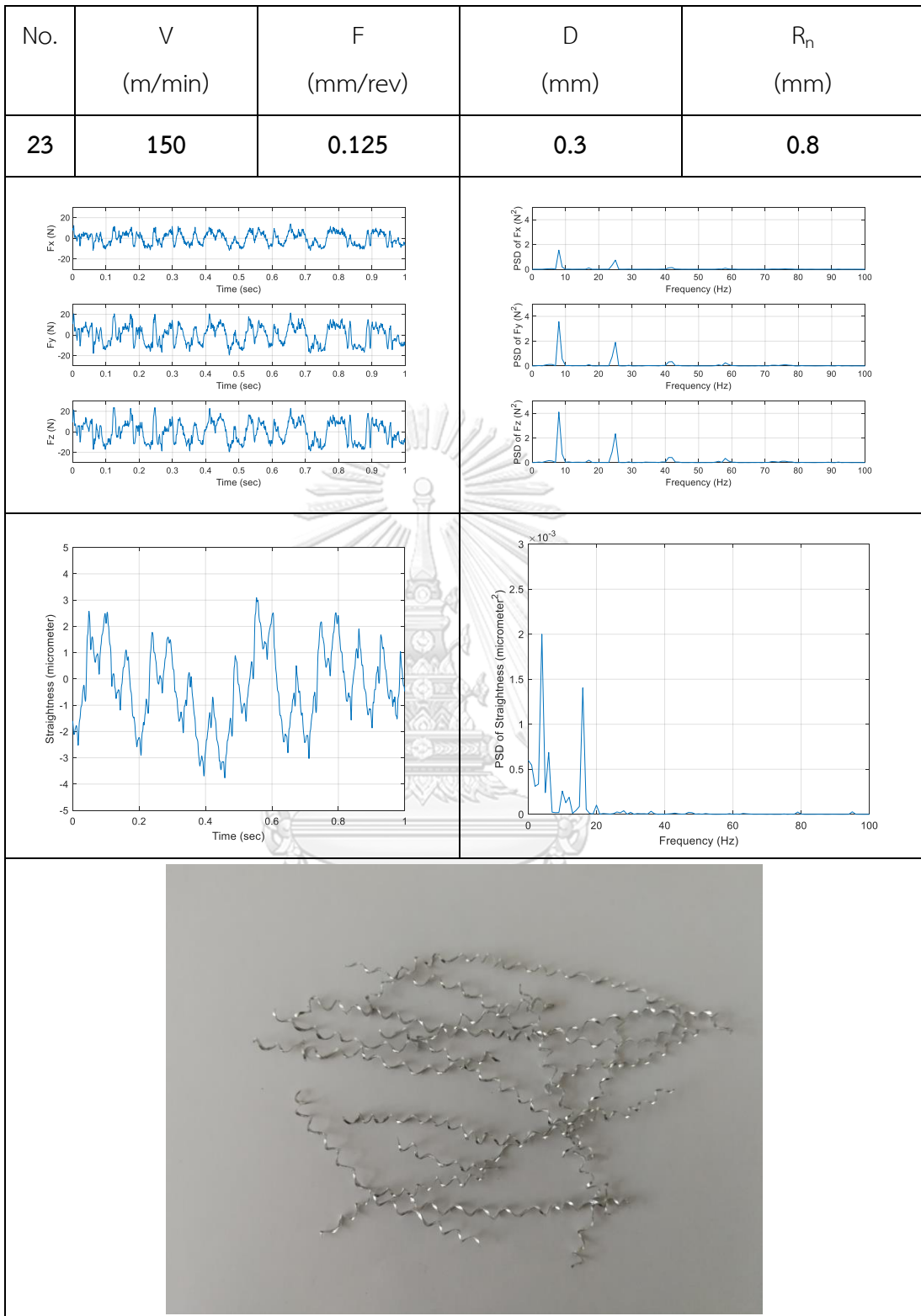


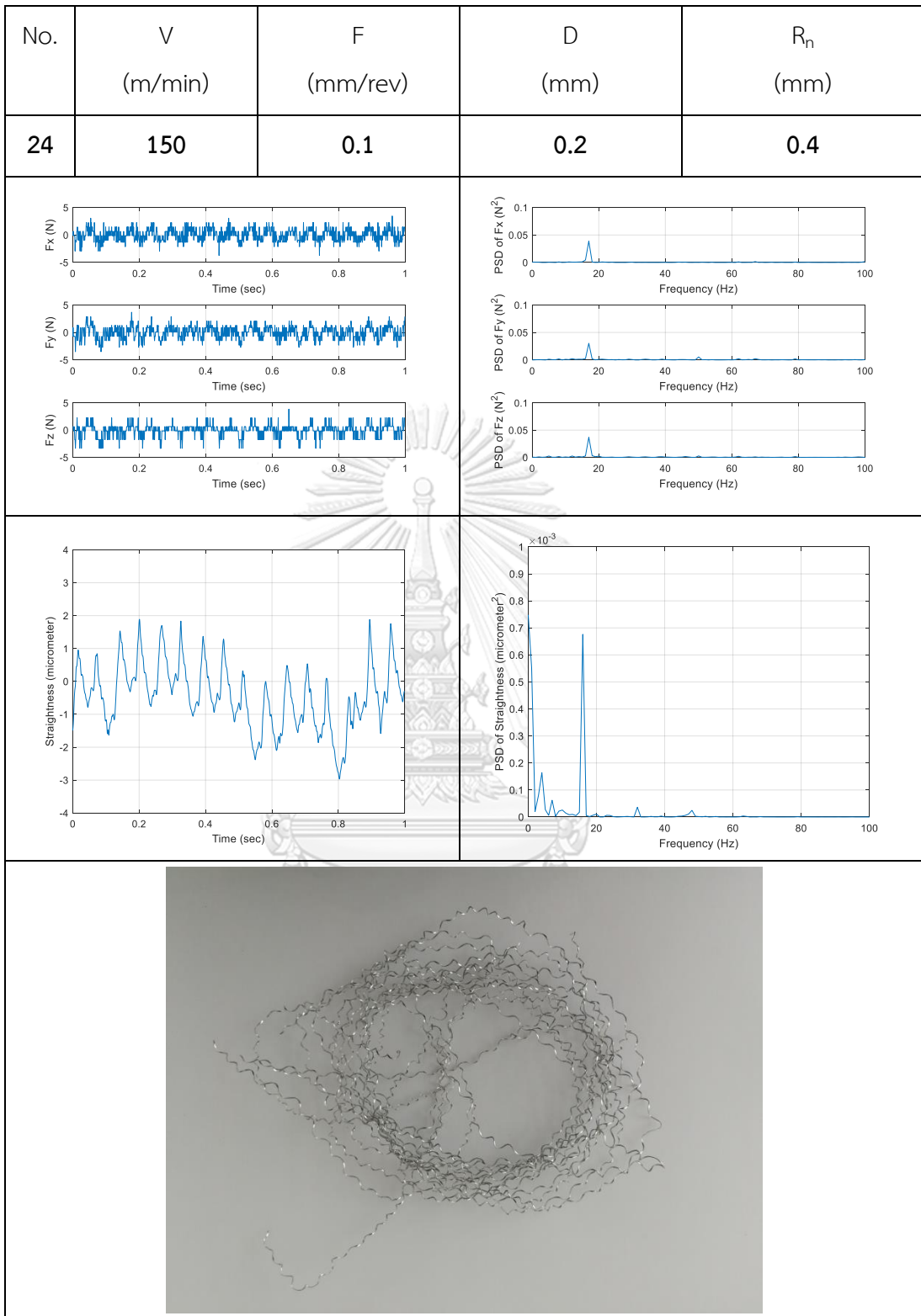


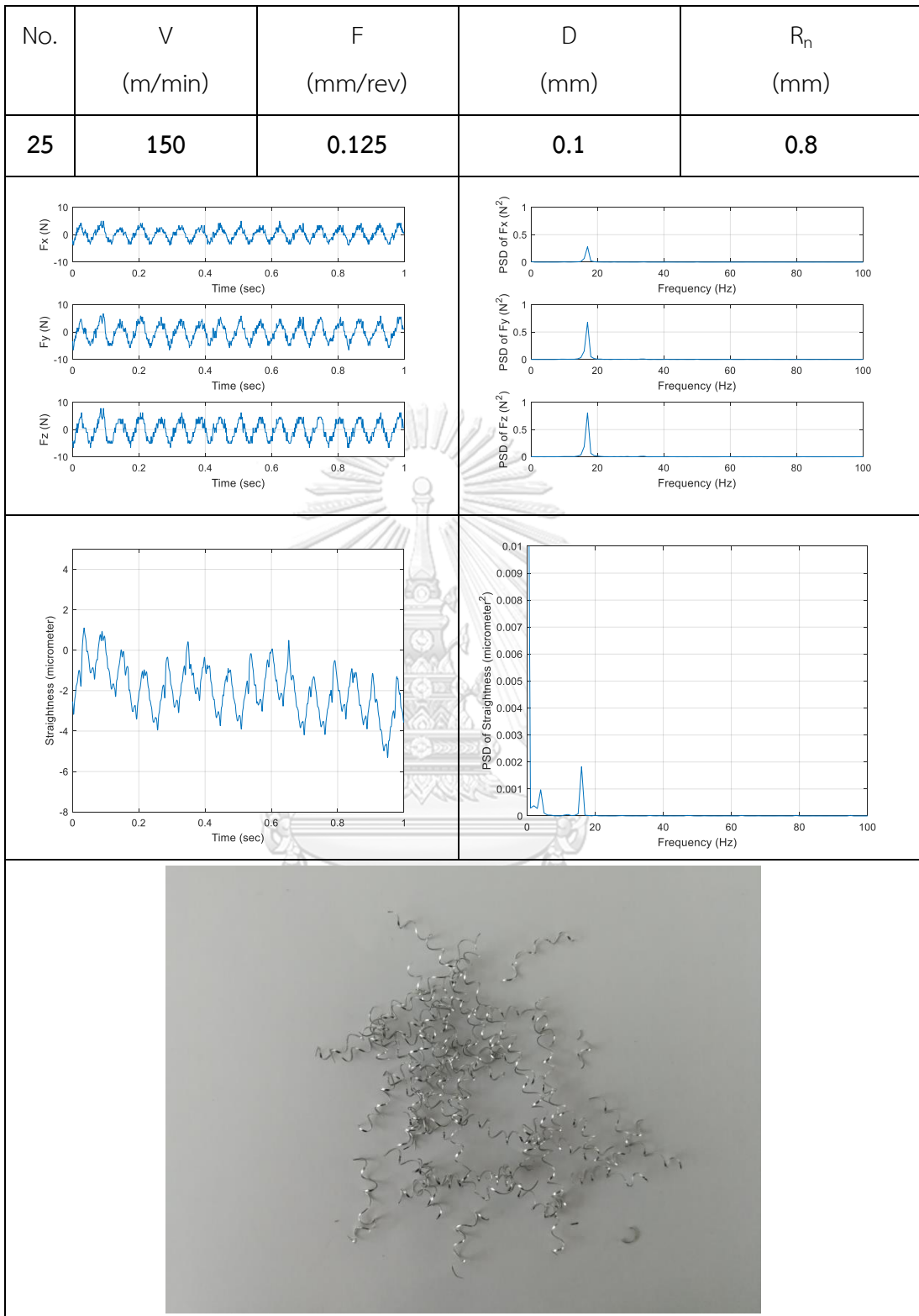


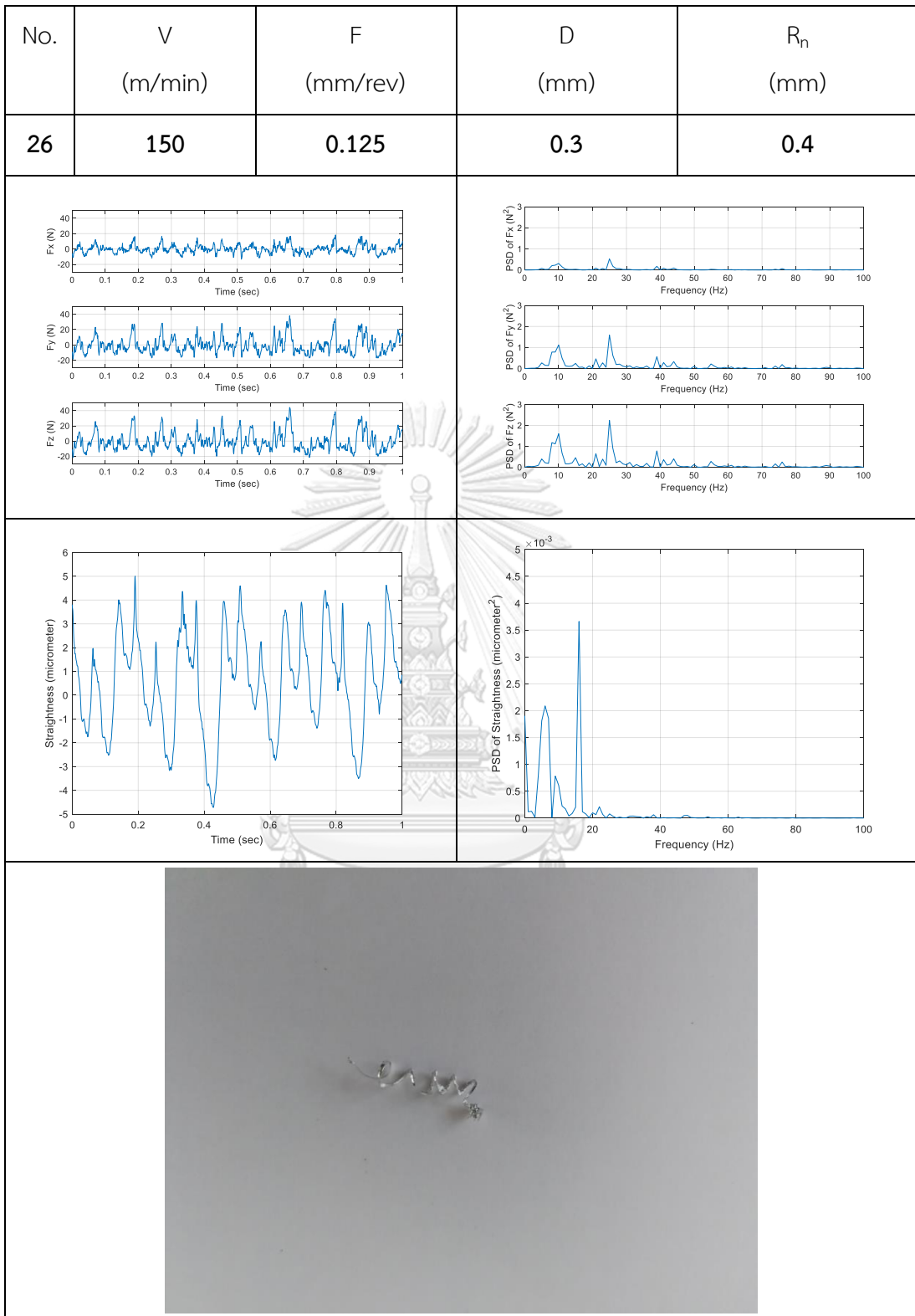


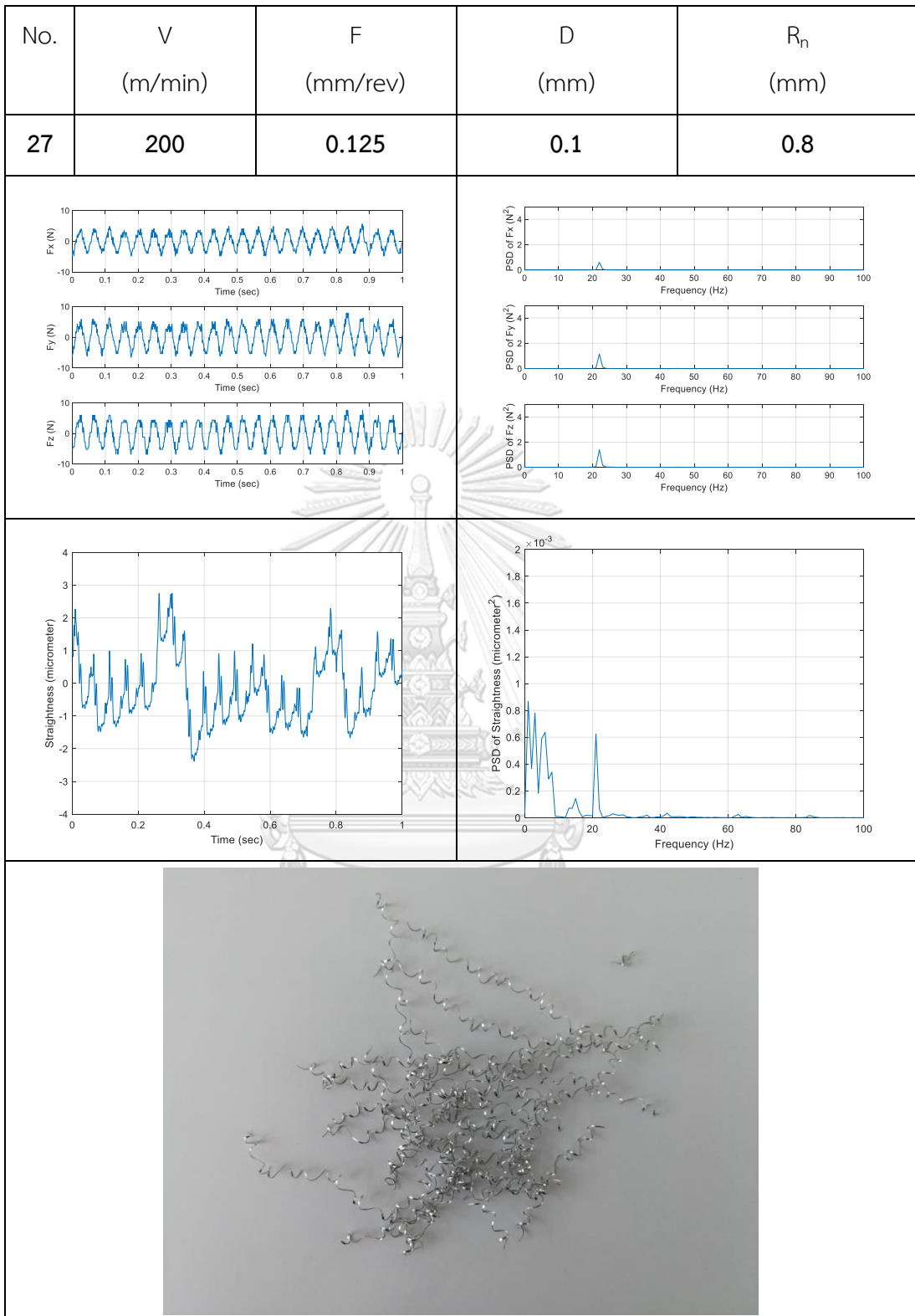


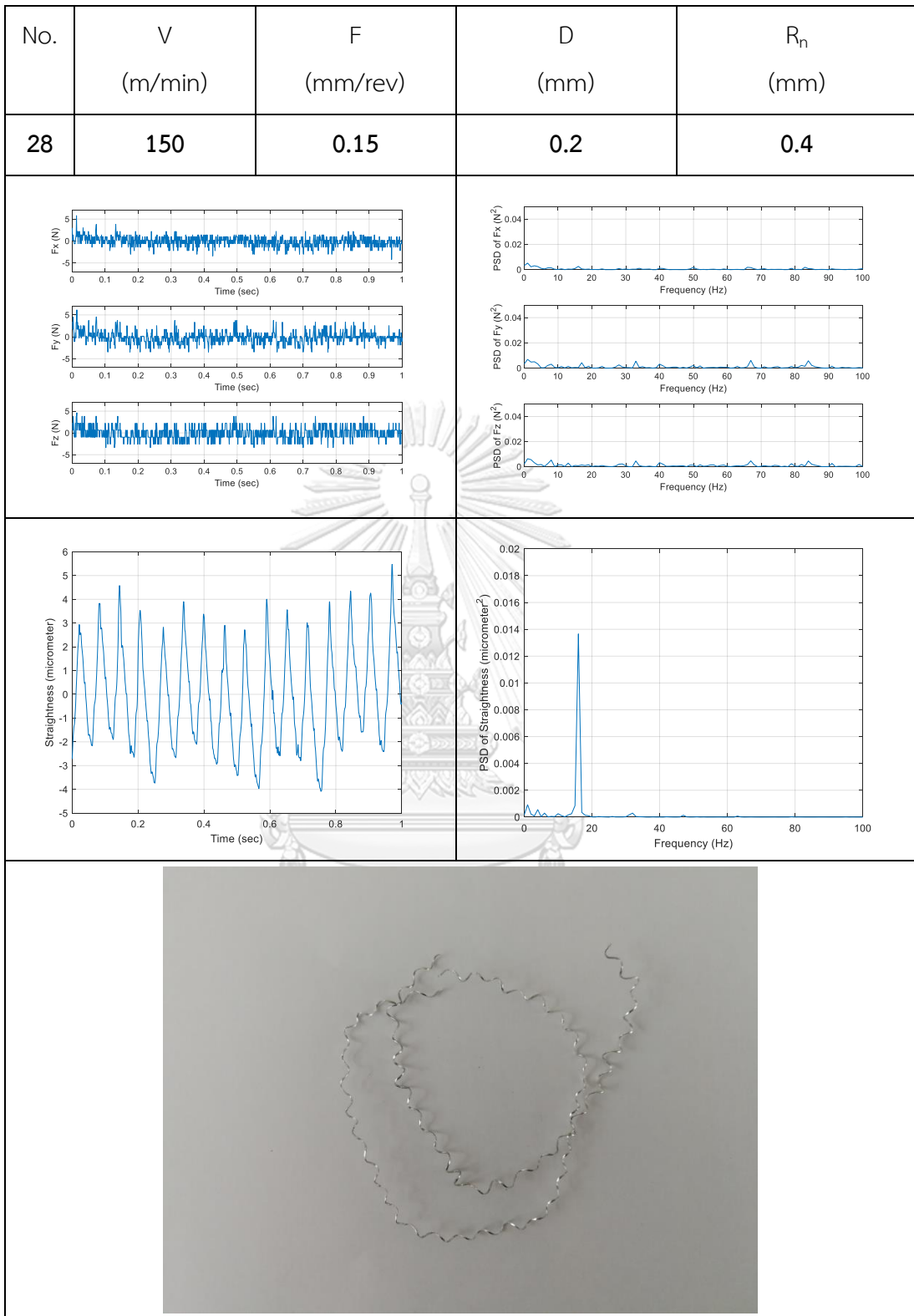


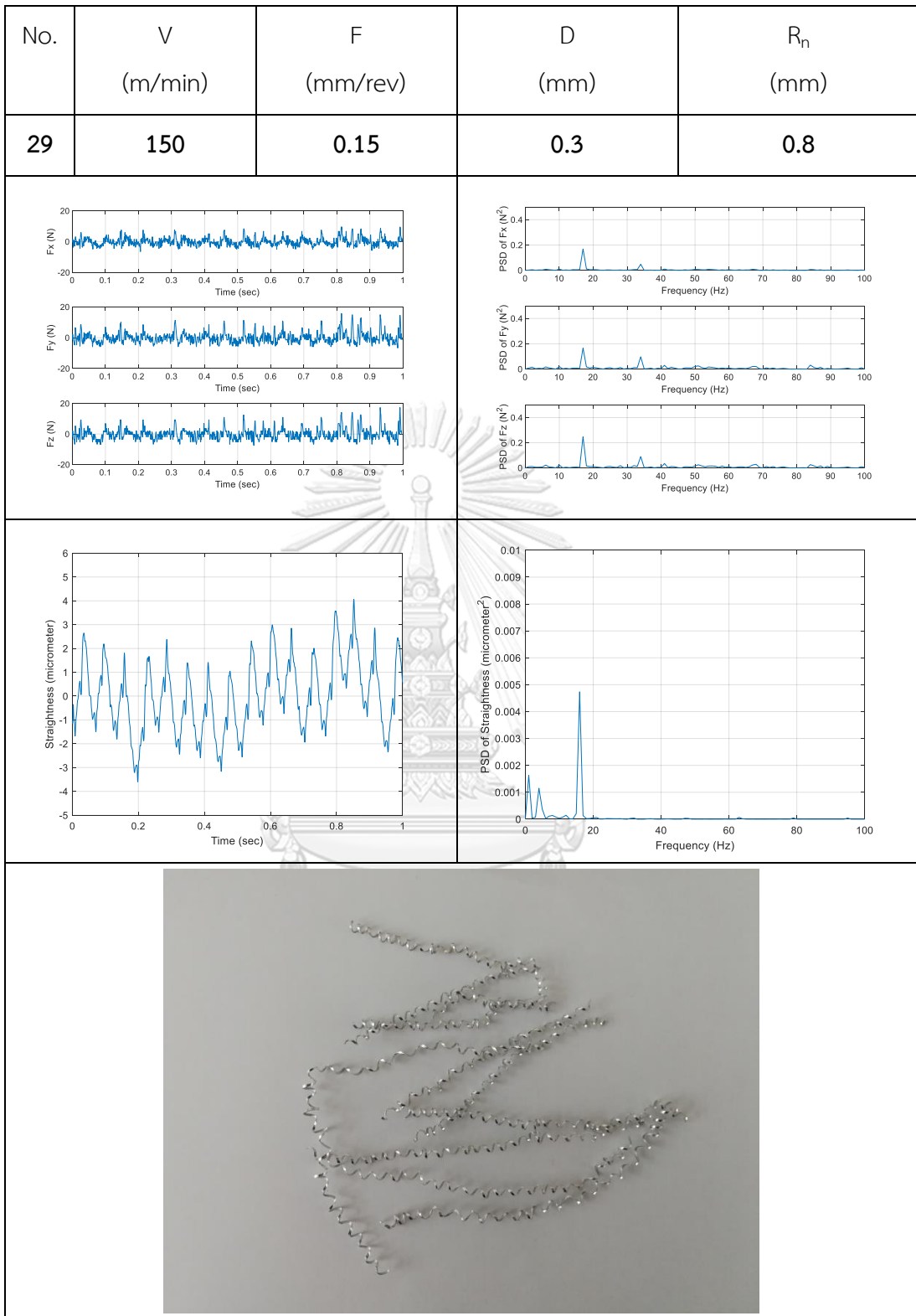


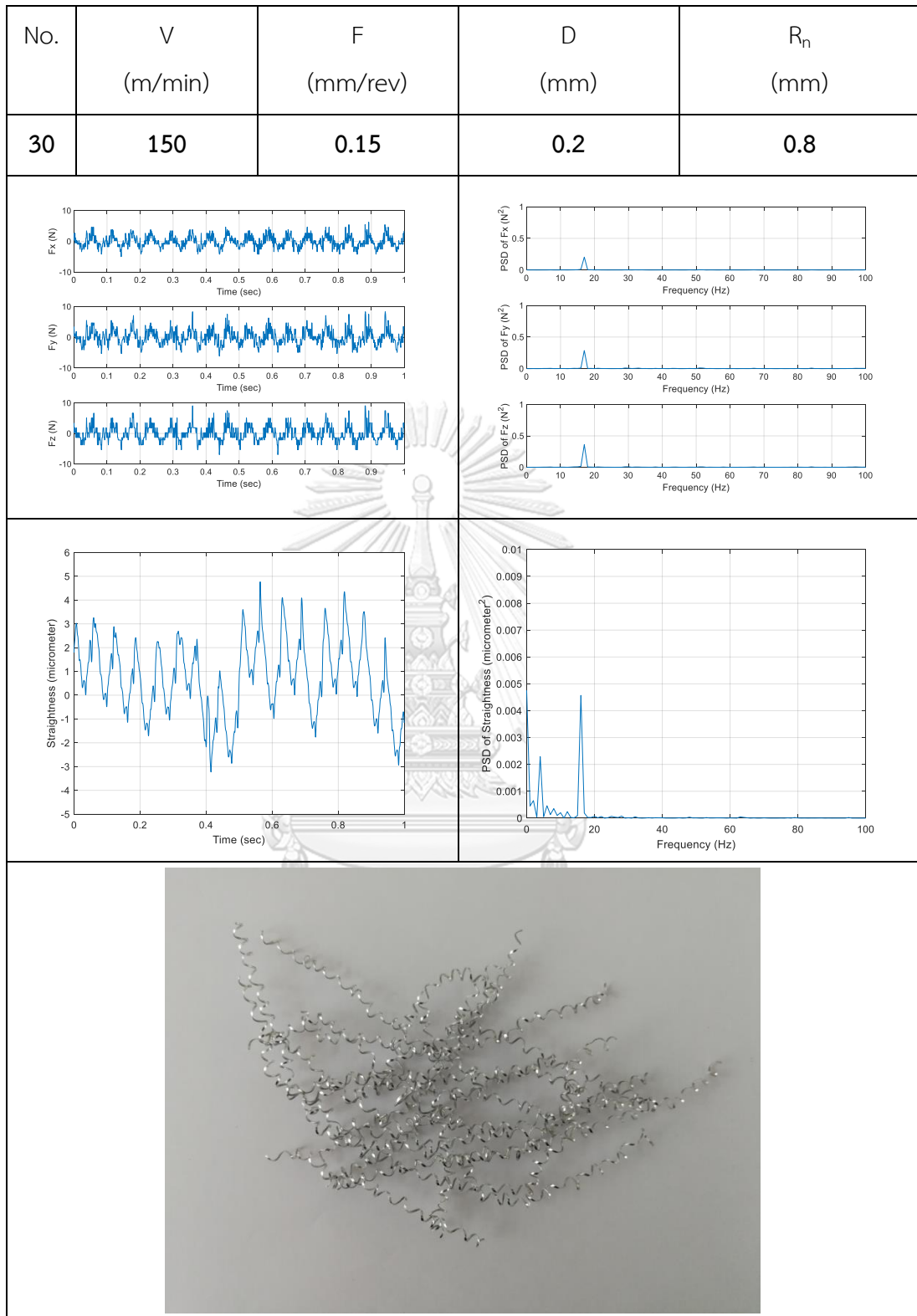


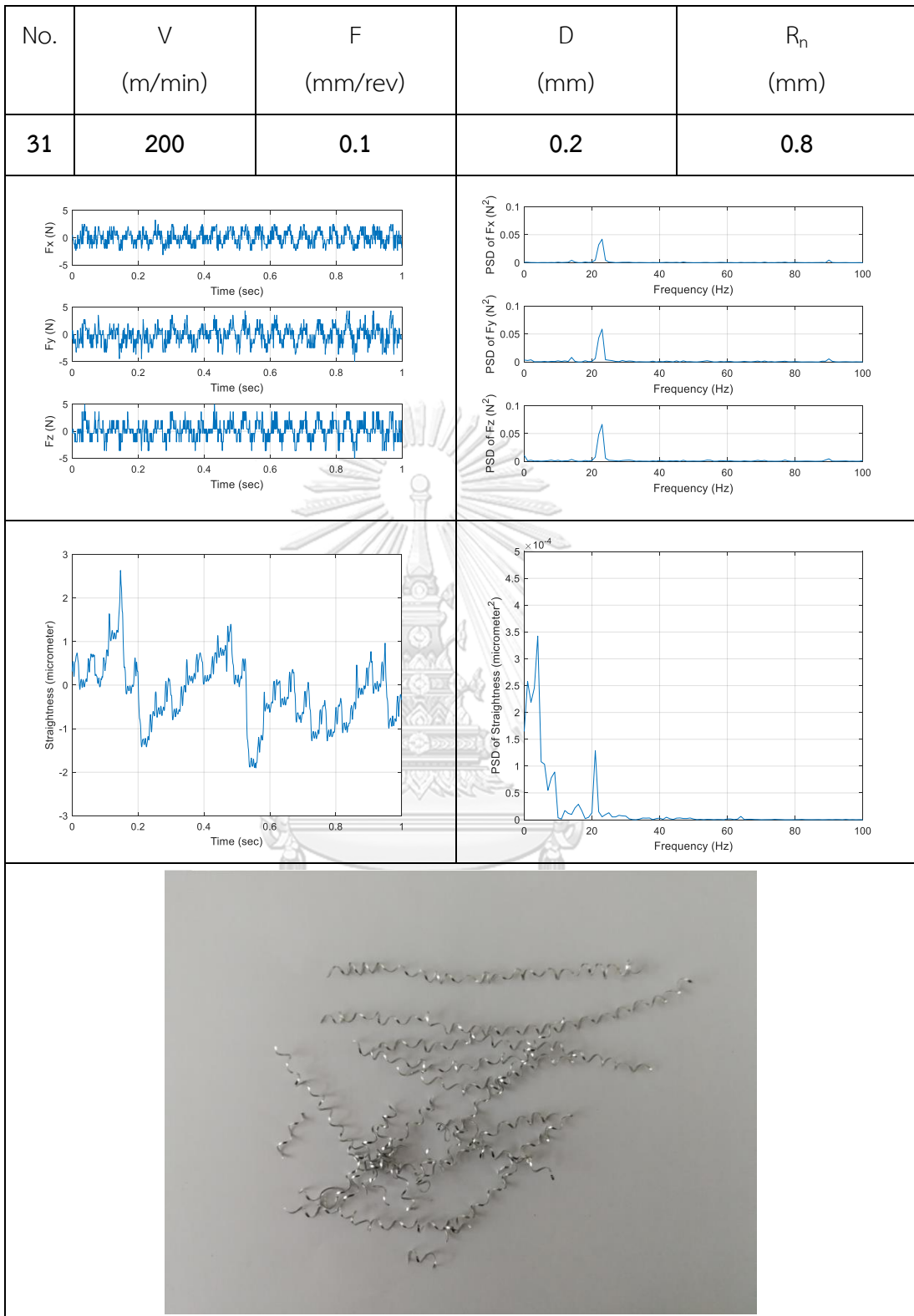


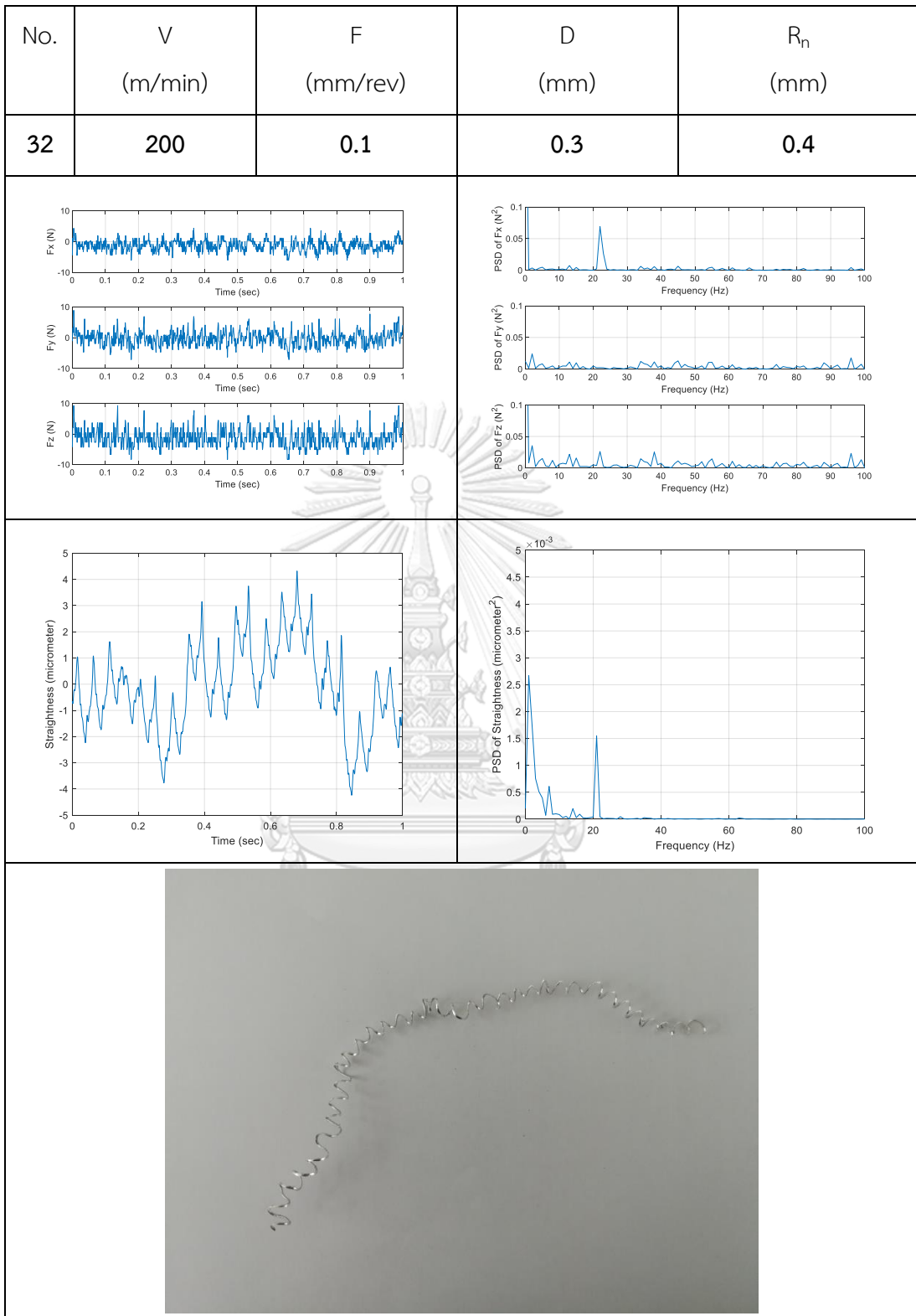


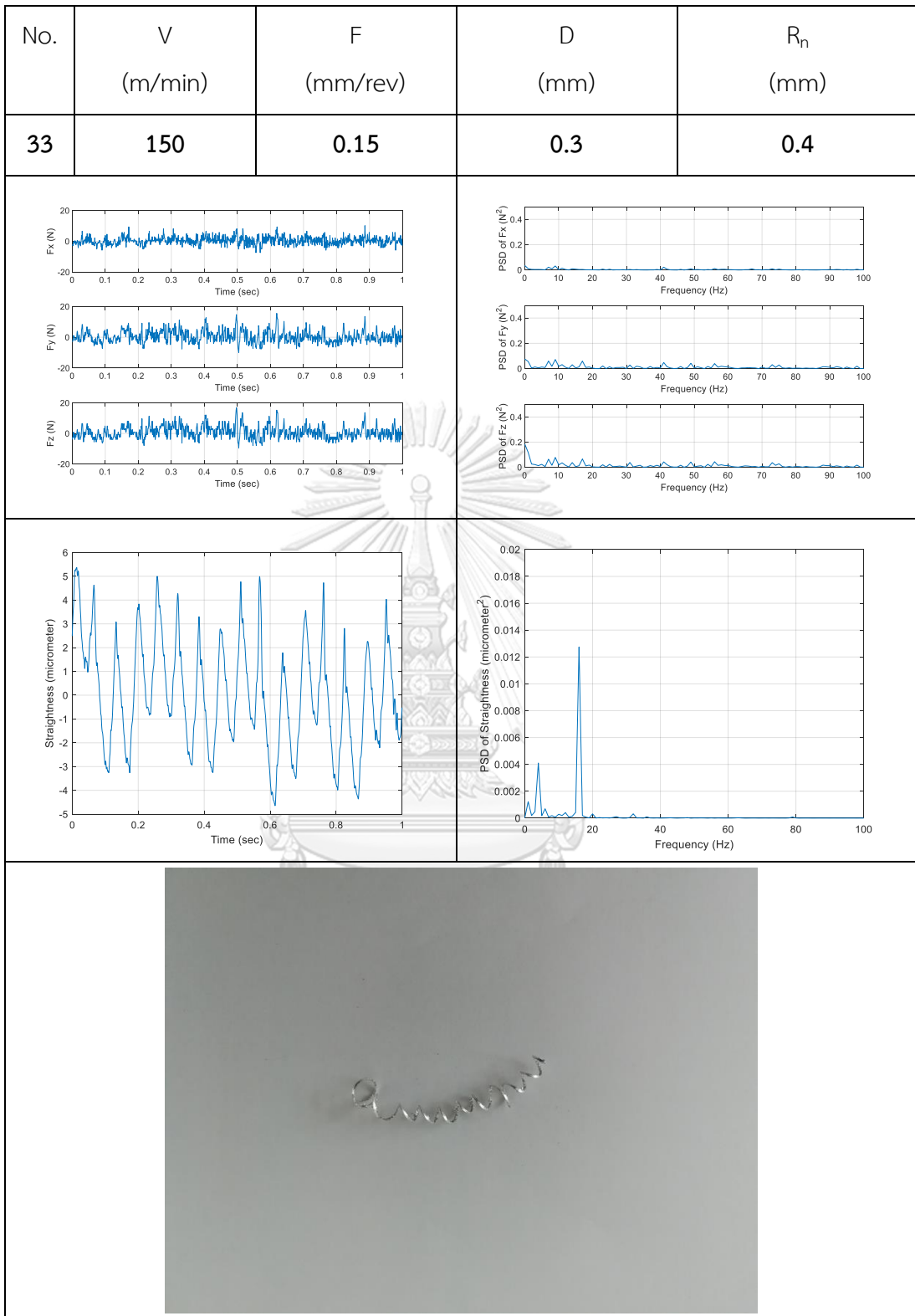


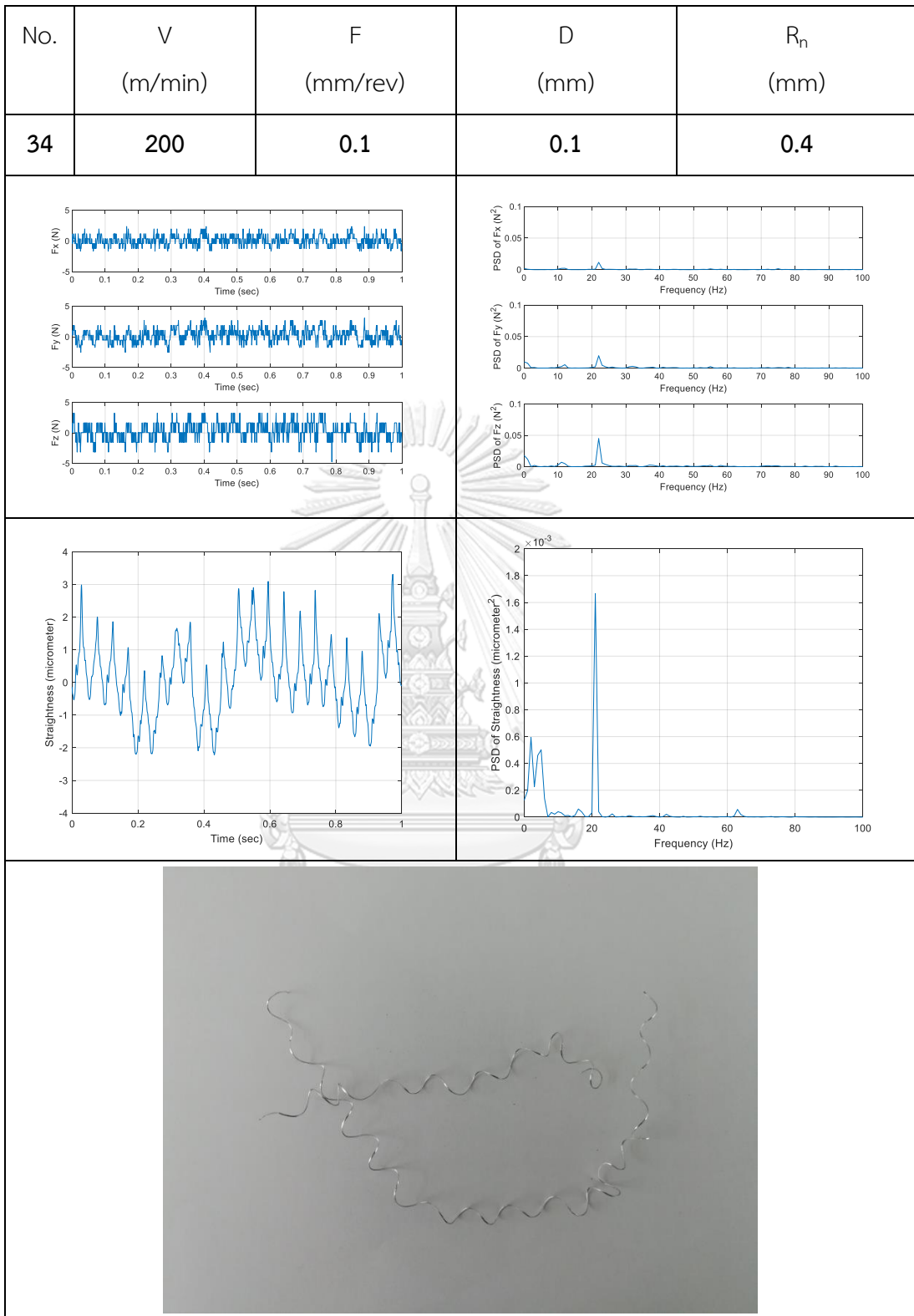


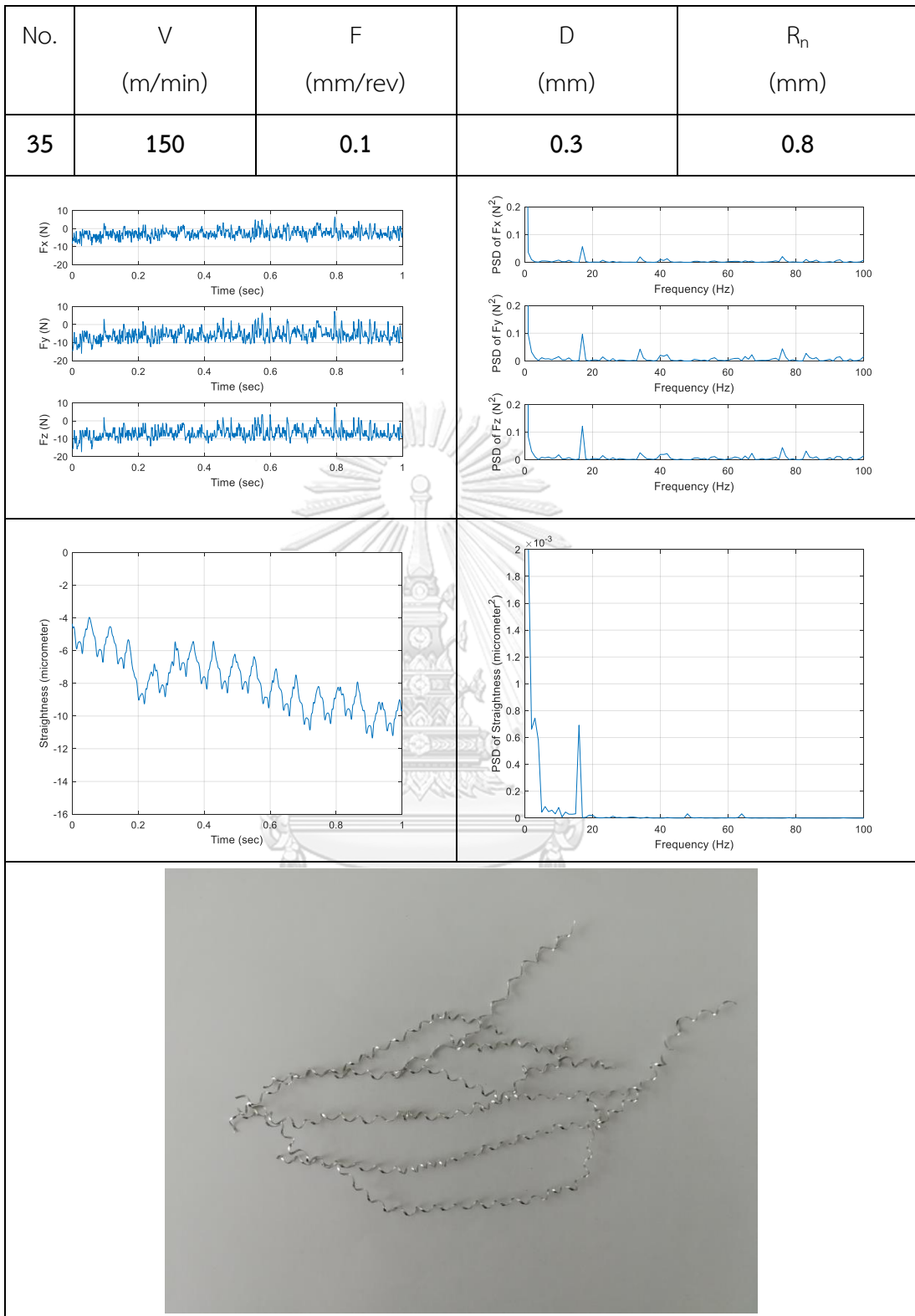


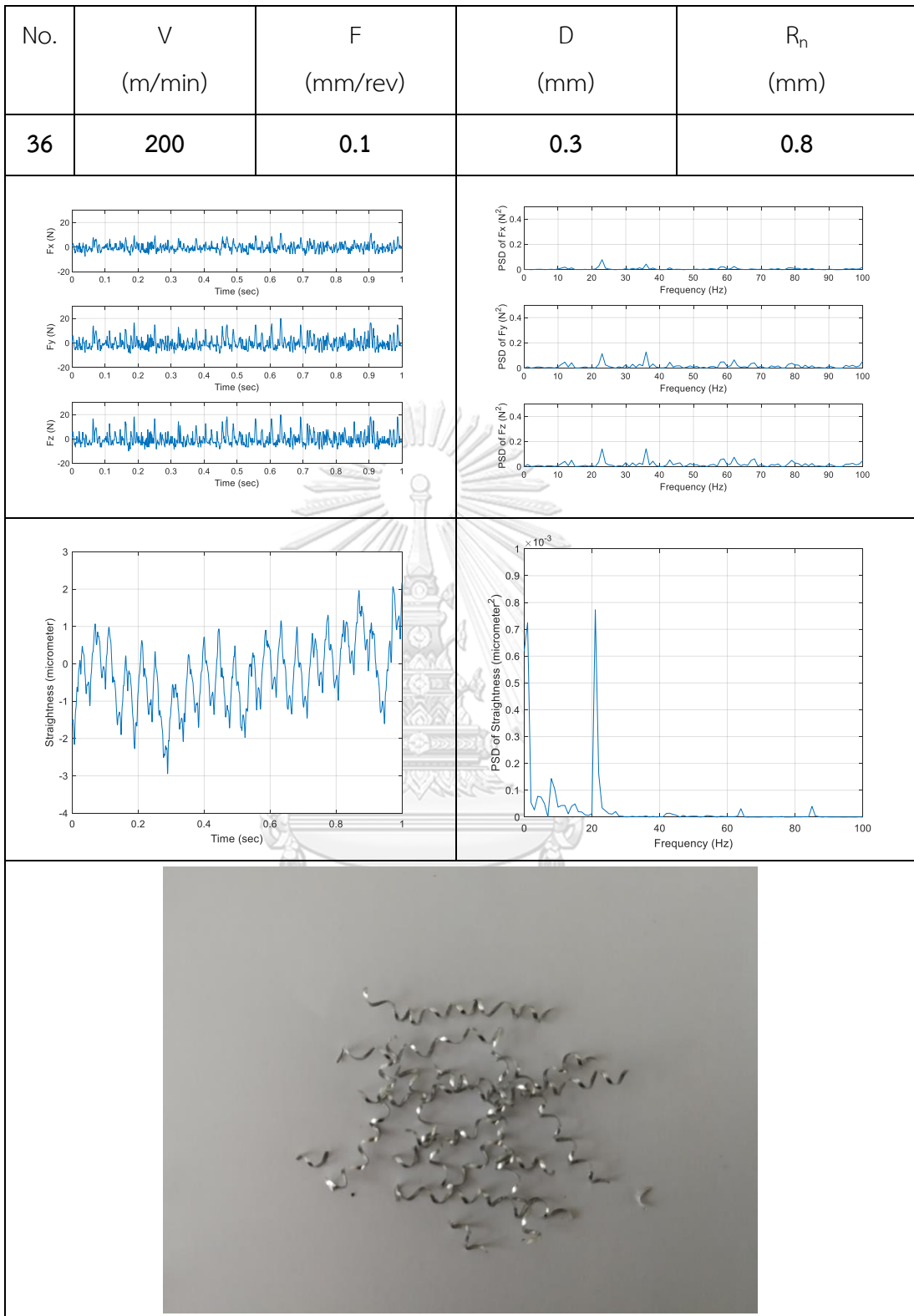


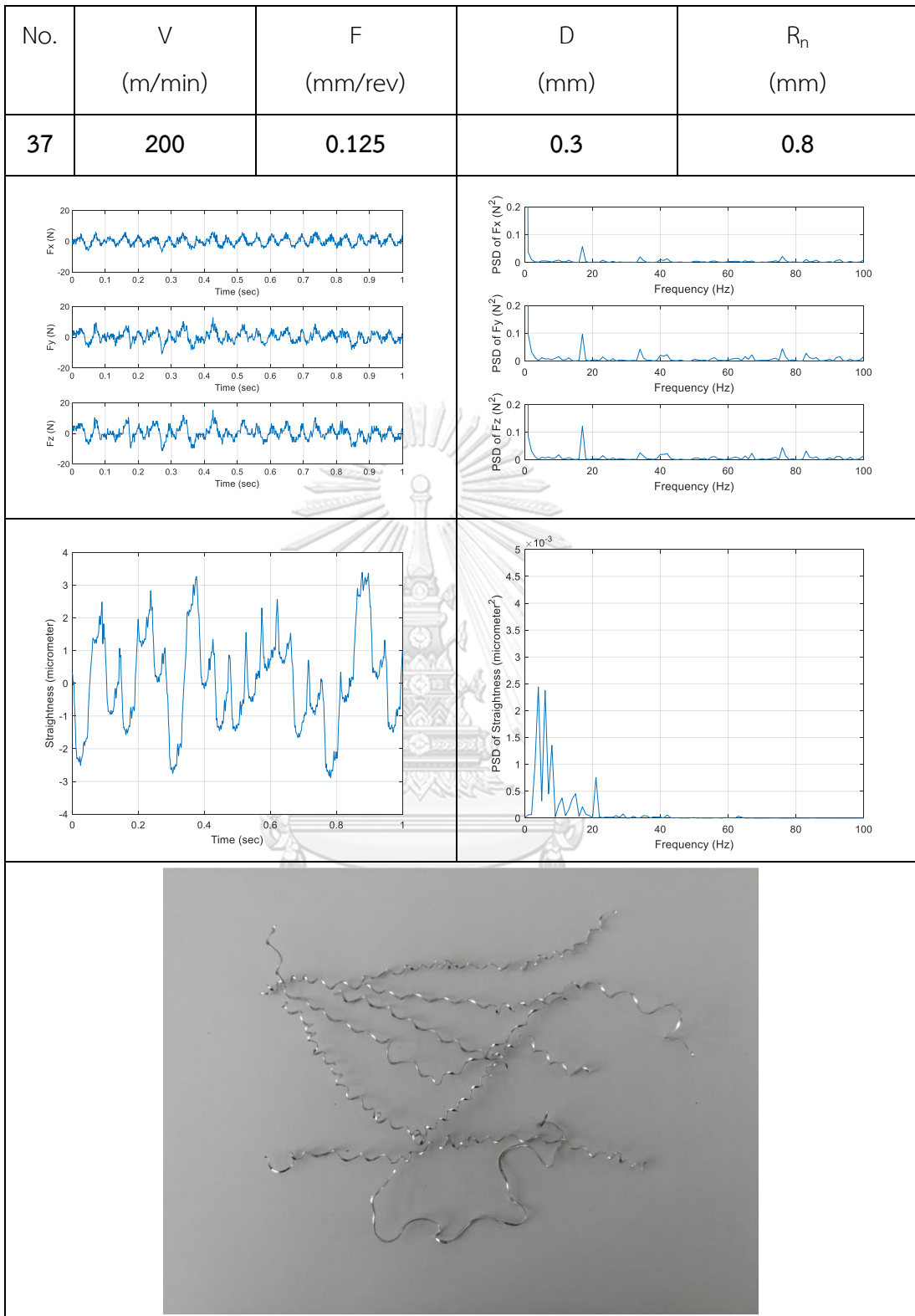


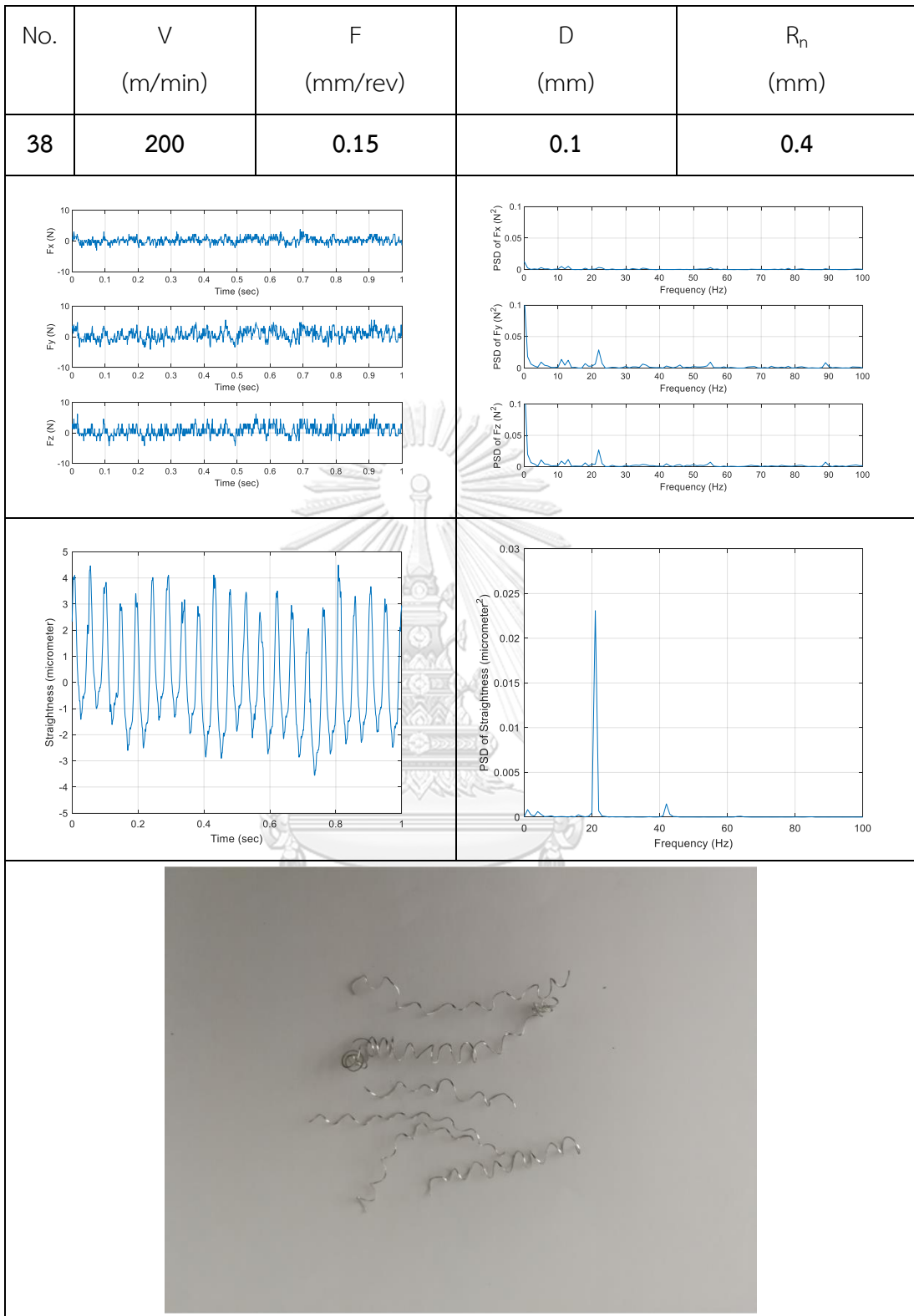


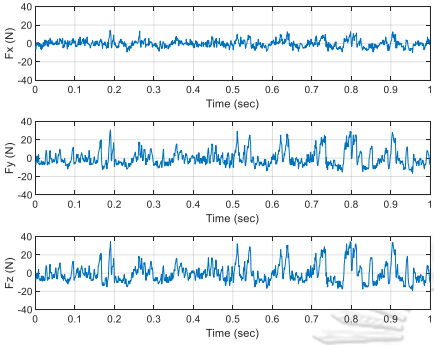
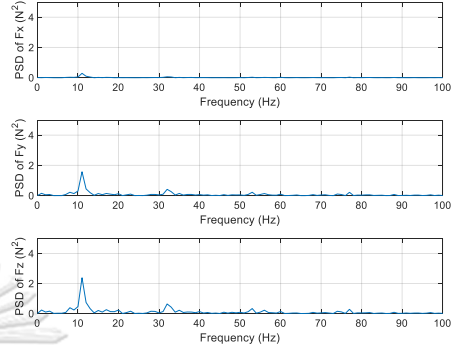
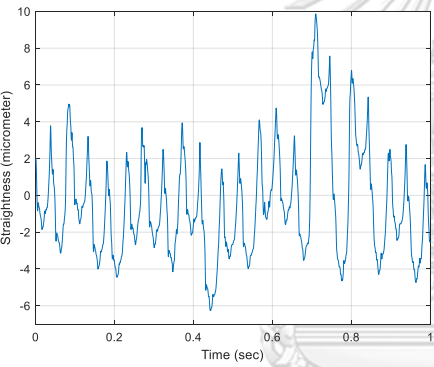
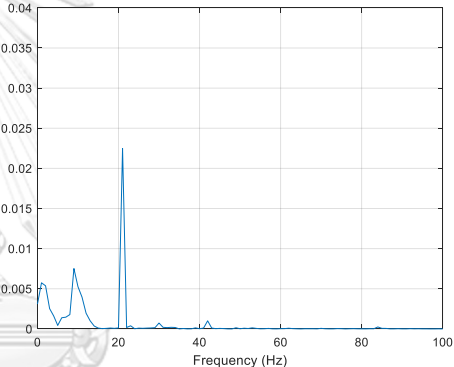



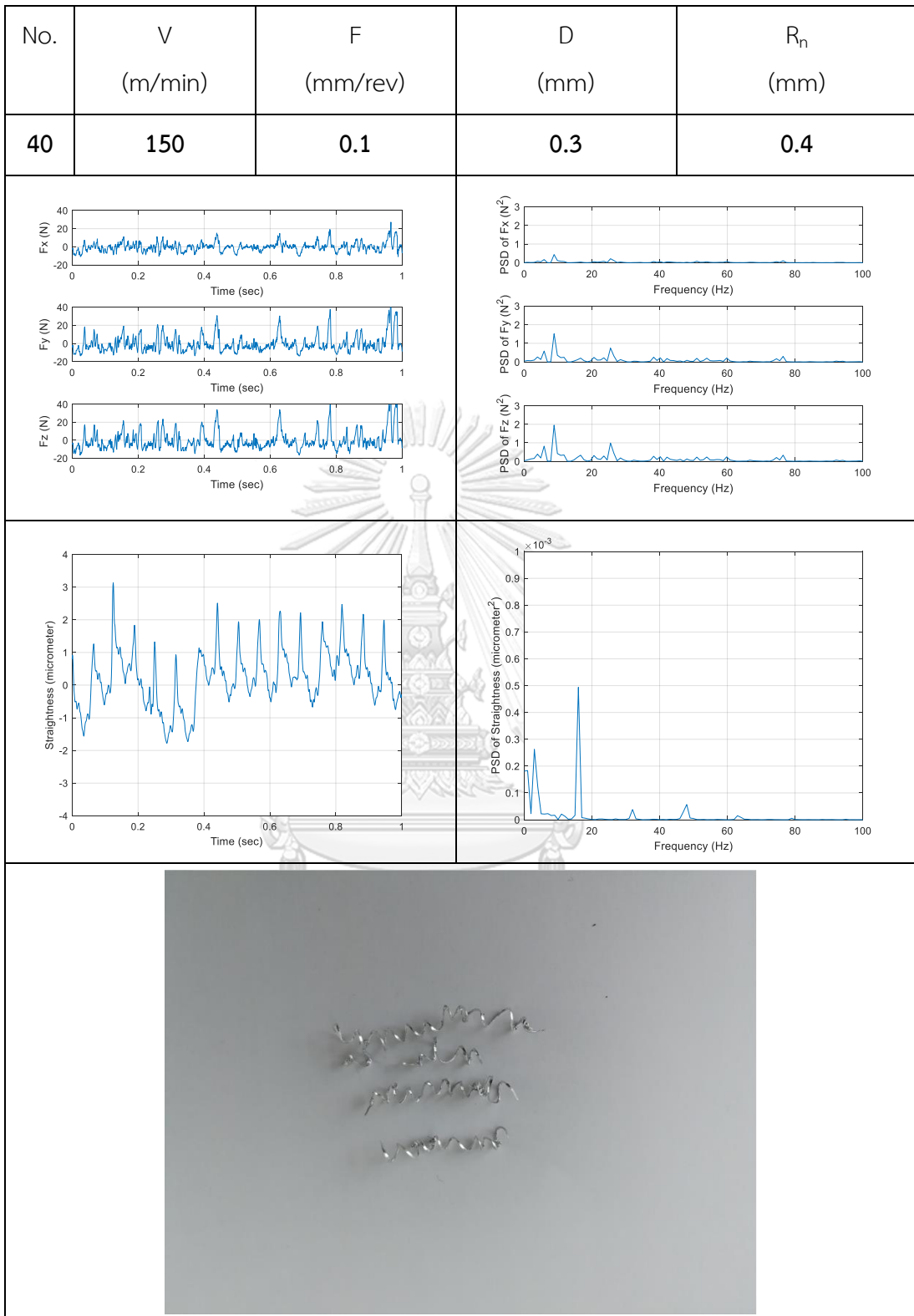


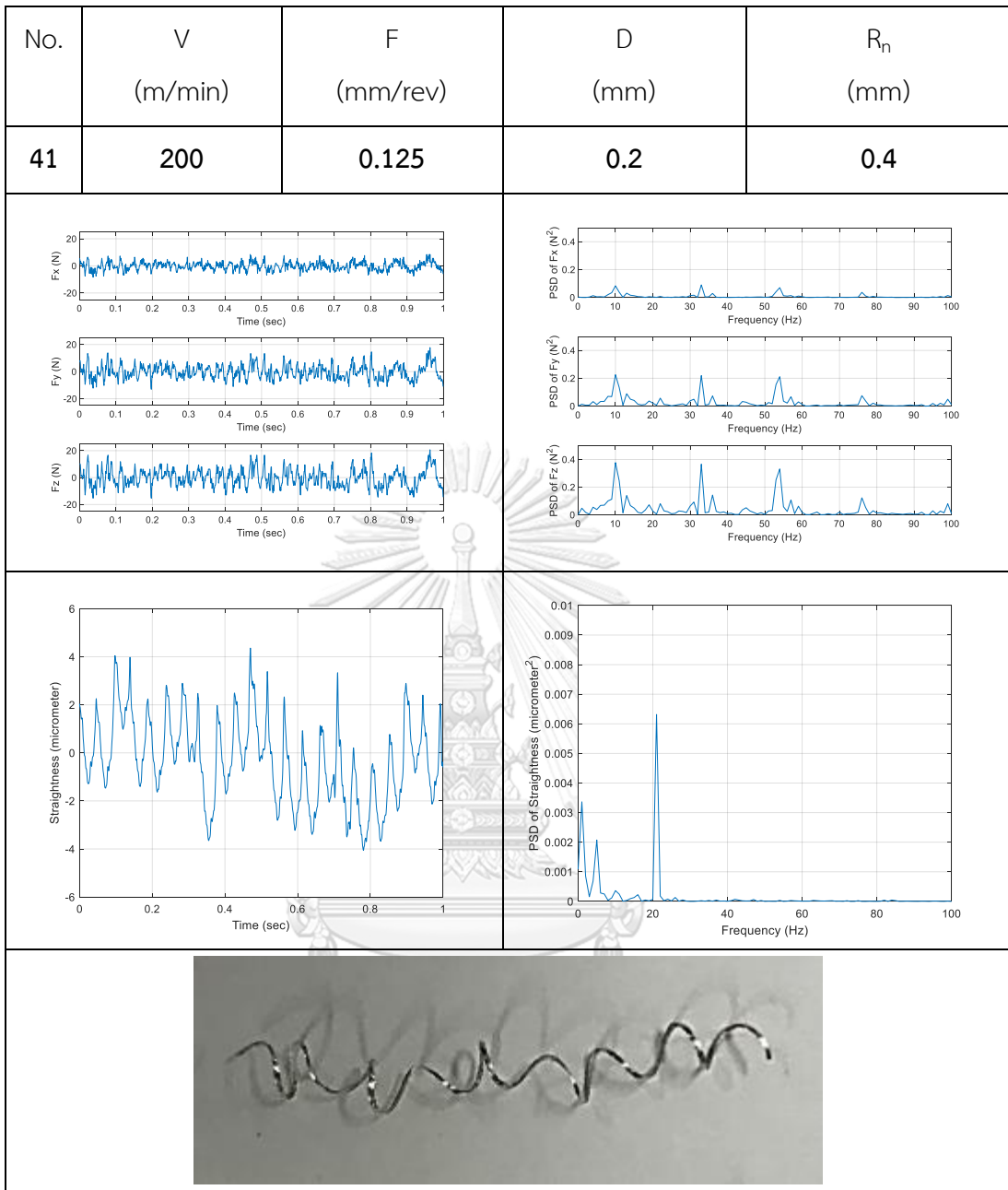


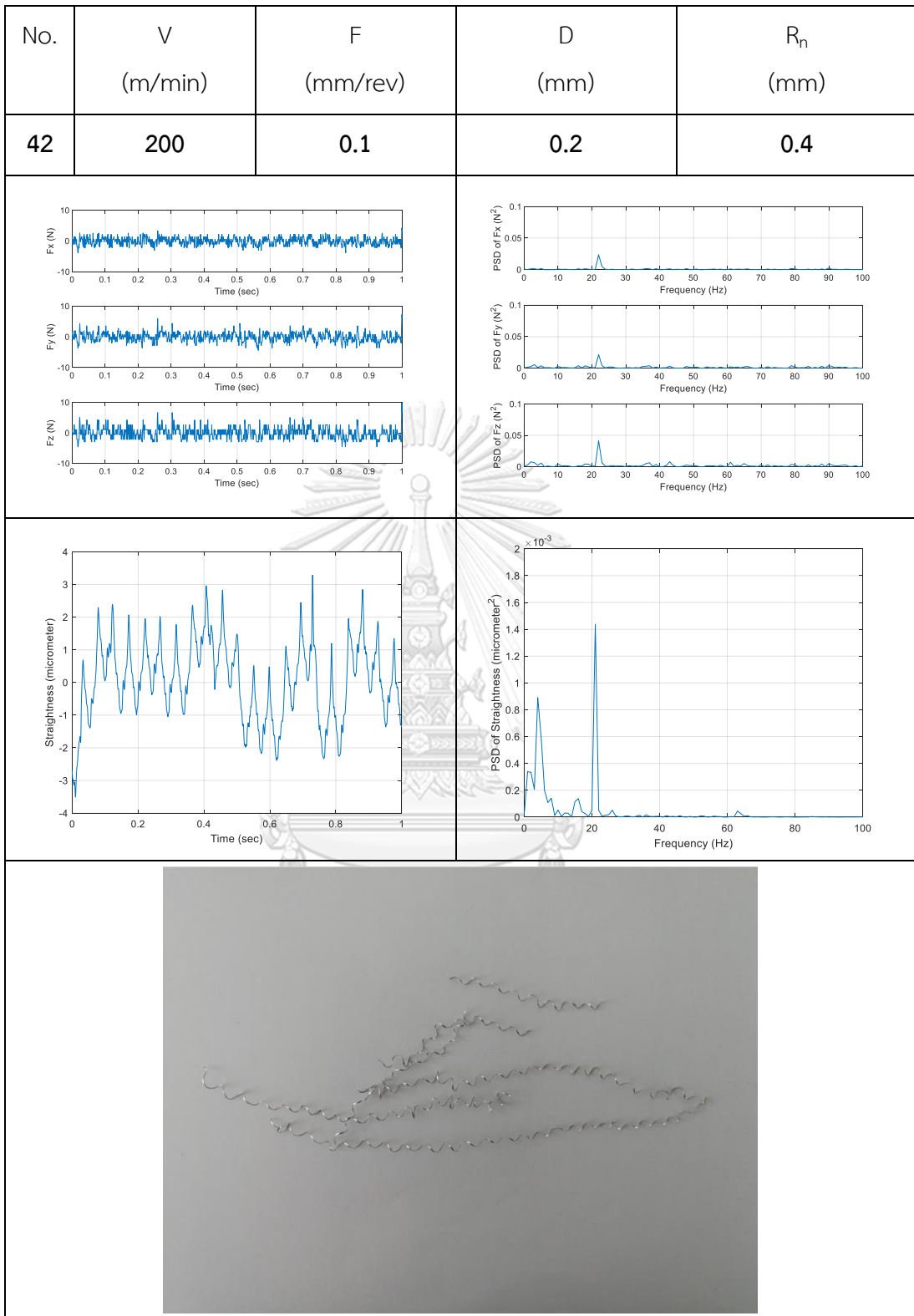


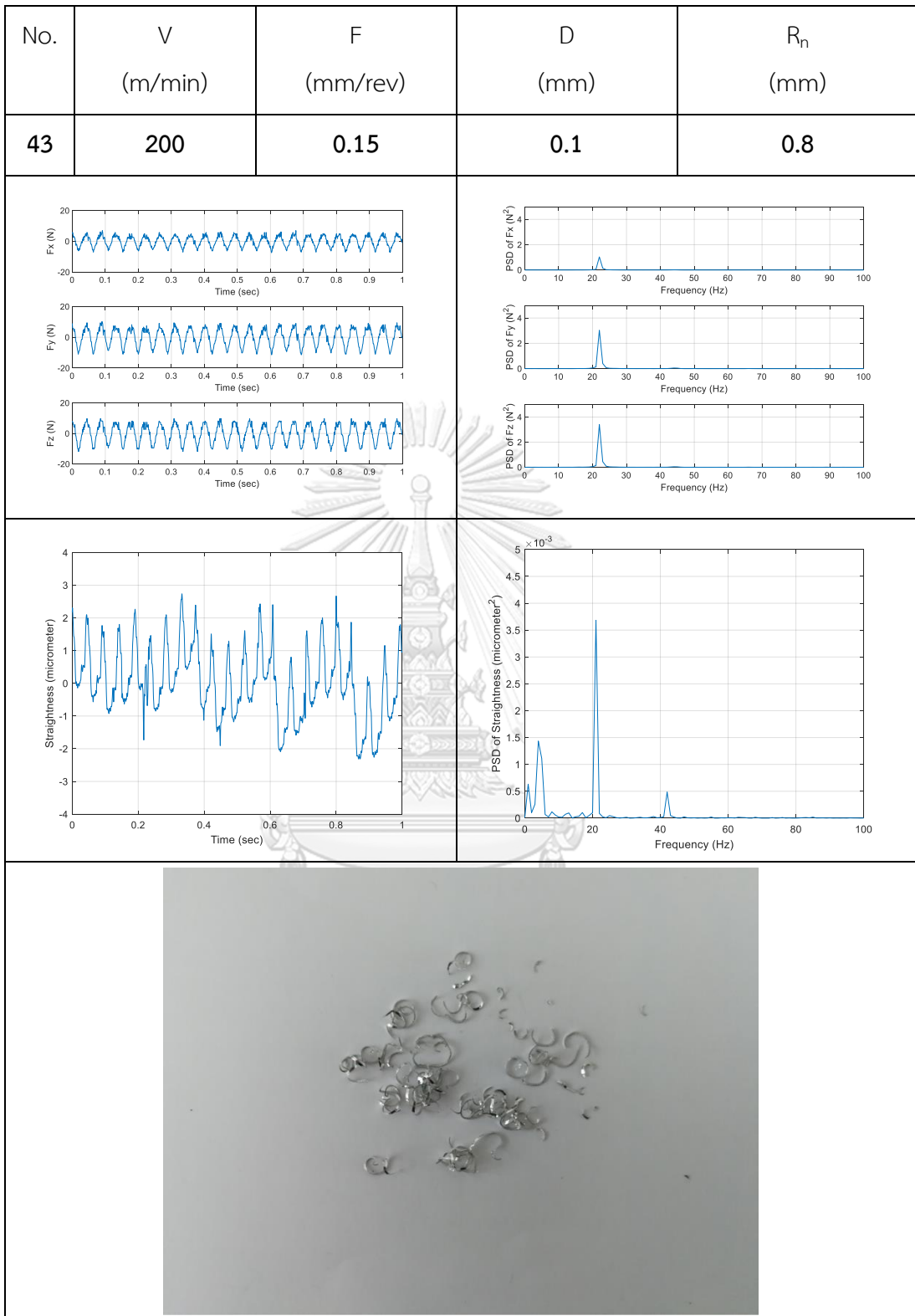


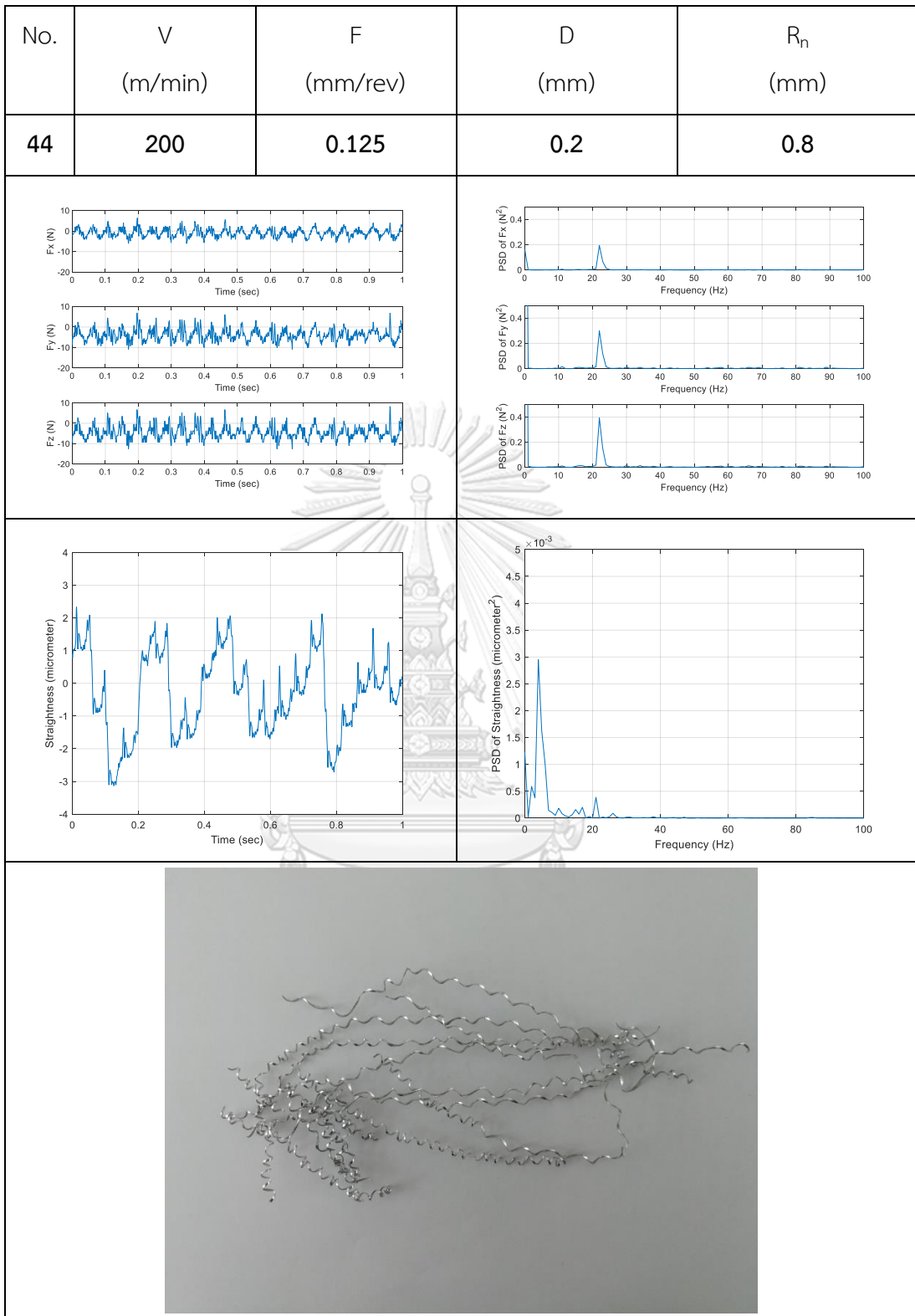
No.	V (m/min)	F (mm/rev)	D (mm)	R_n (mm)
39	200	0.15	0.3	0.4
				
				
				

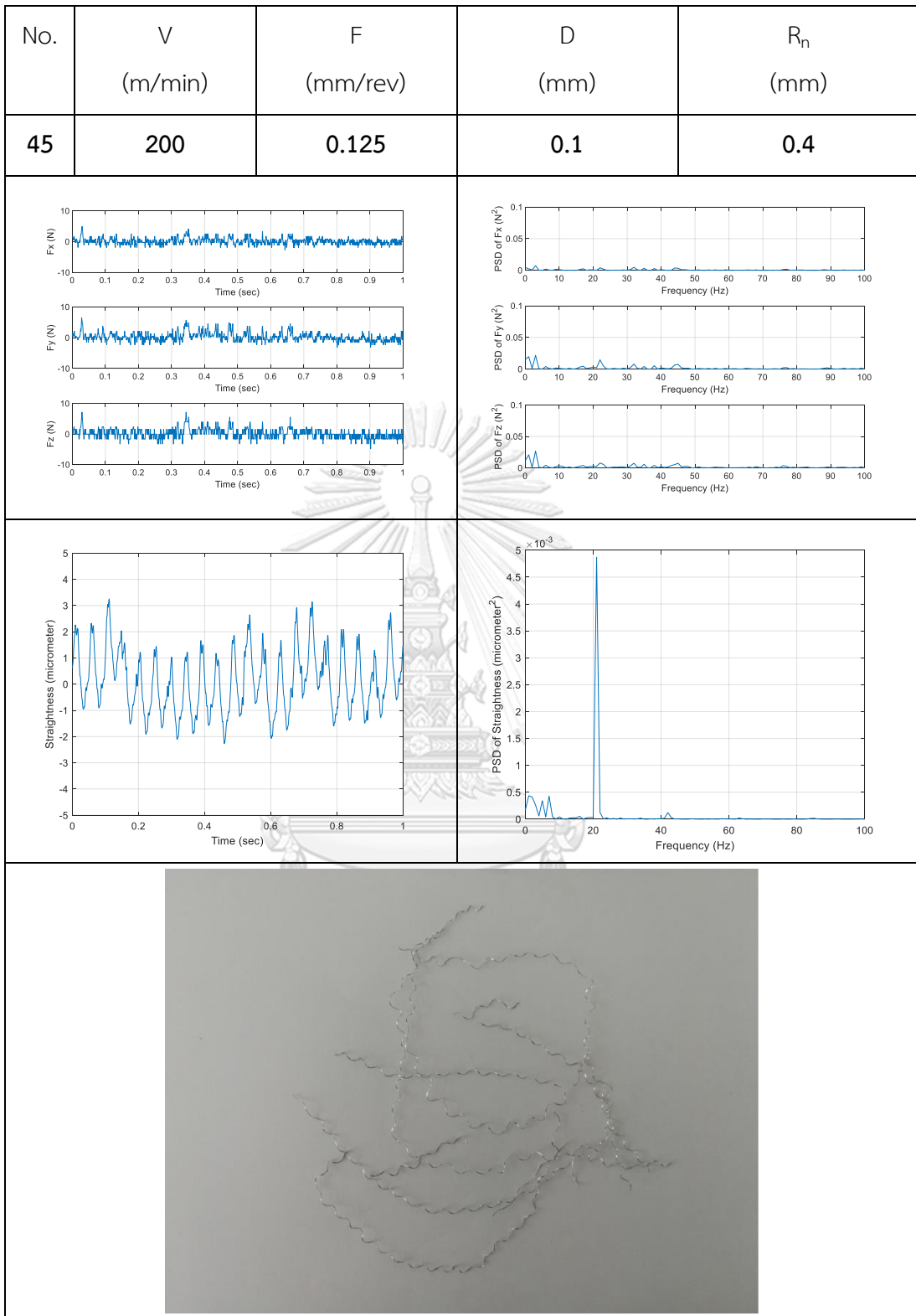


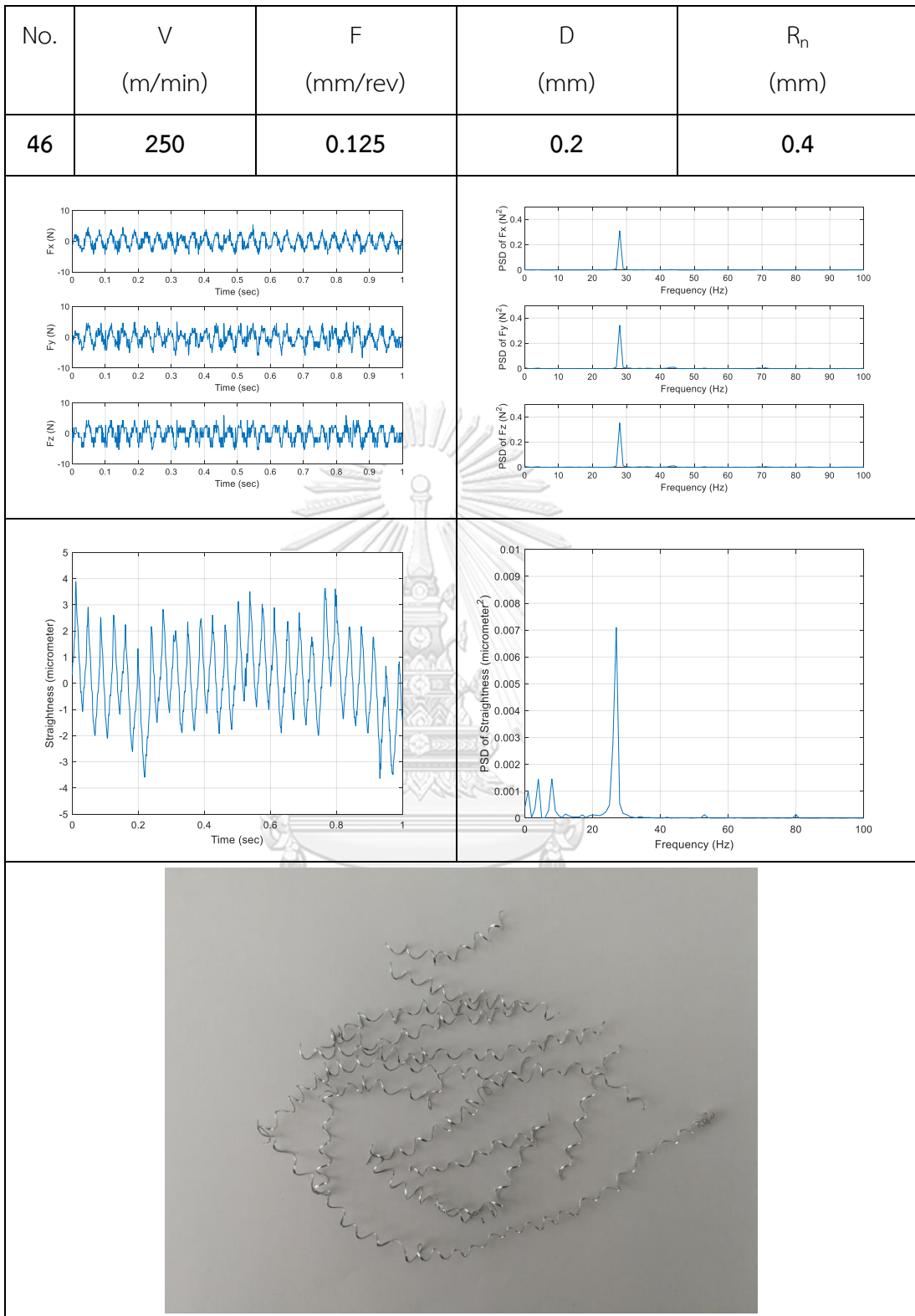


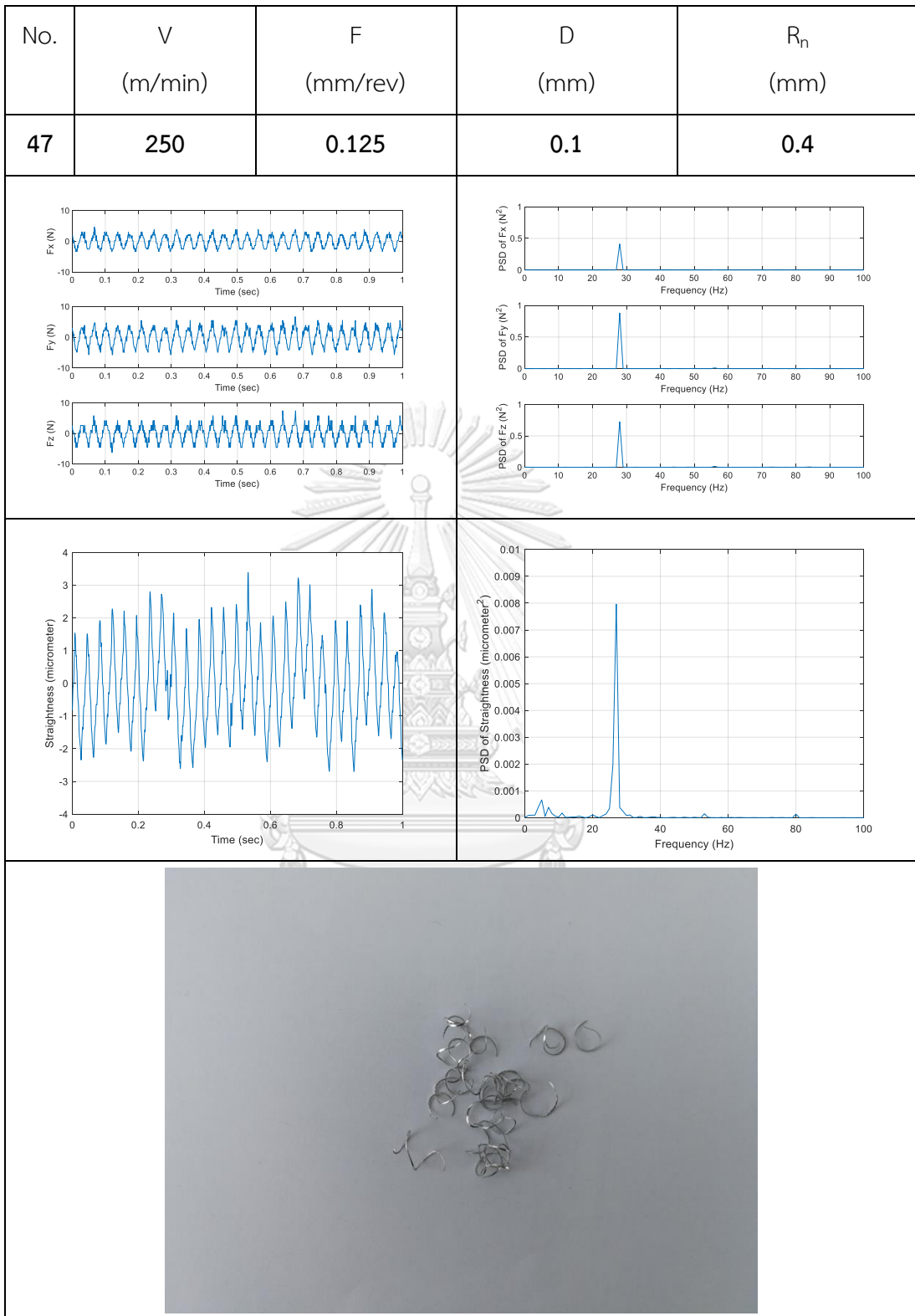


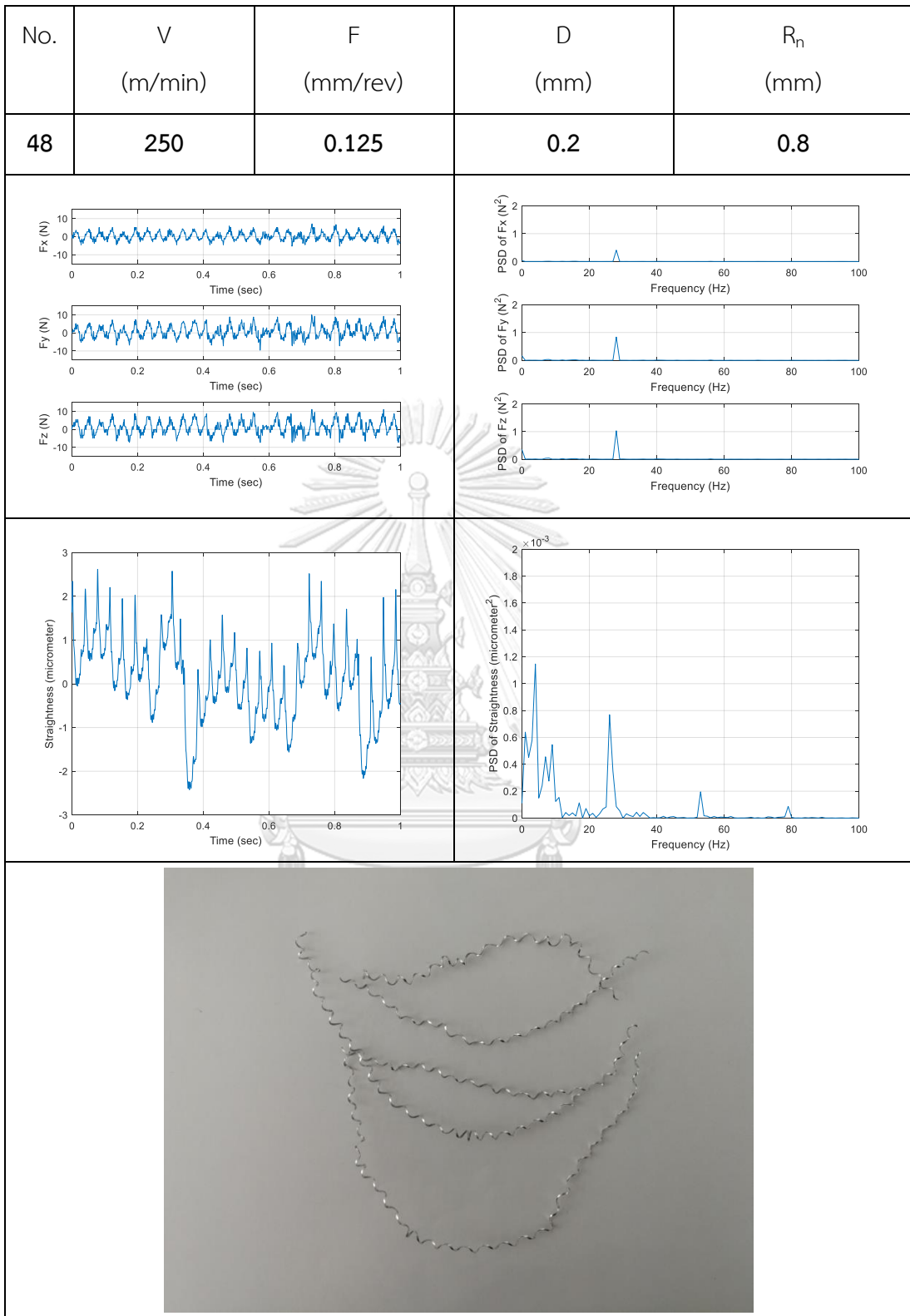


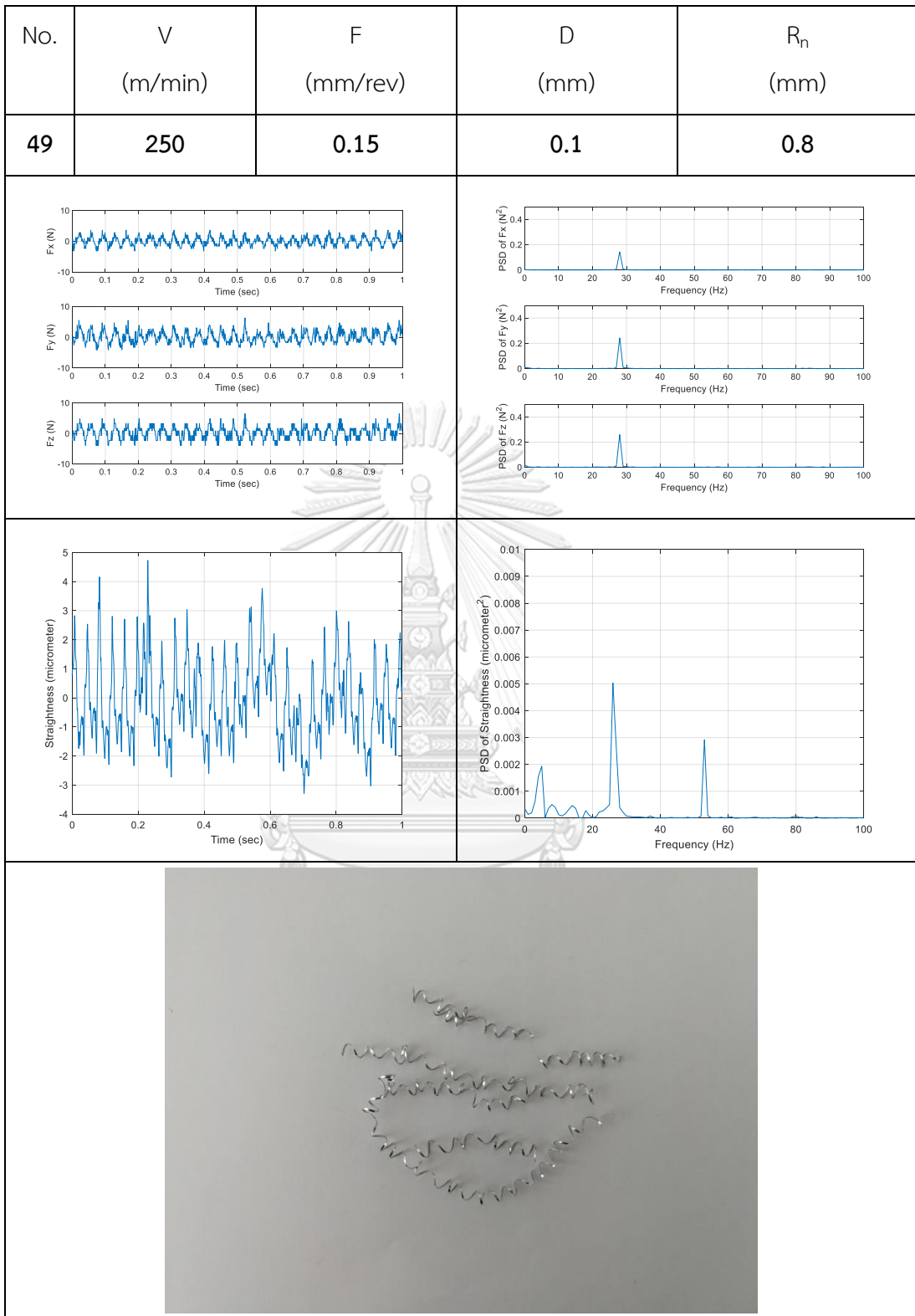


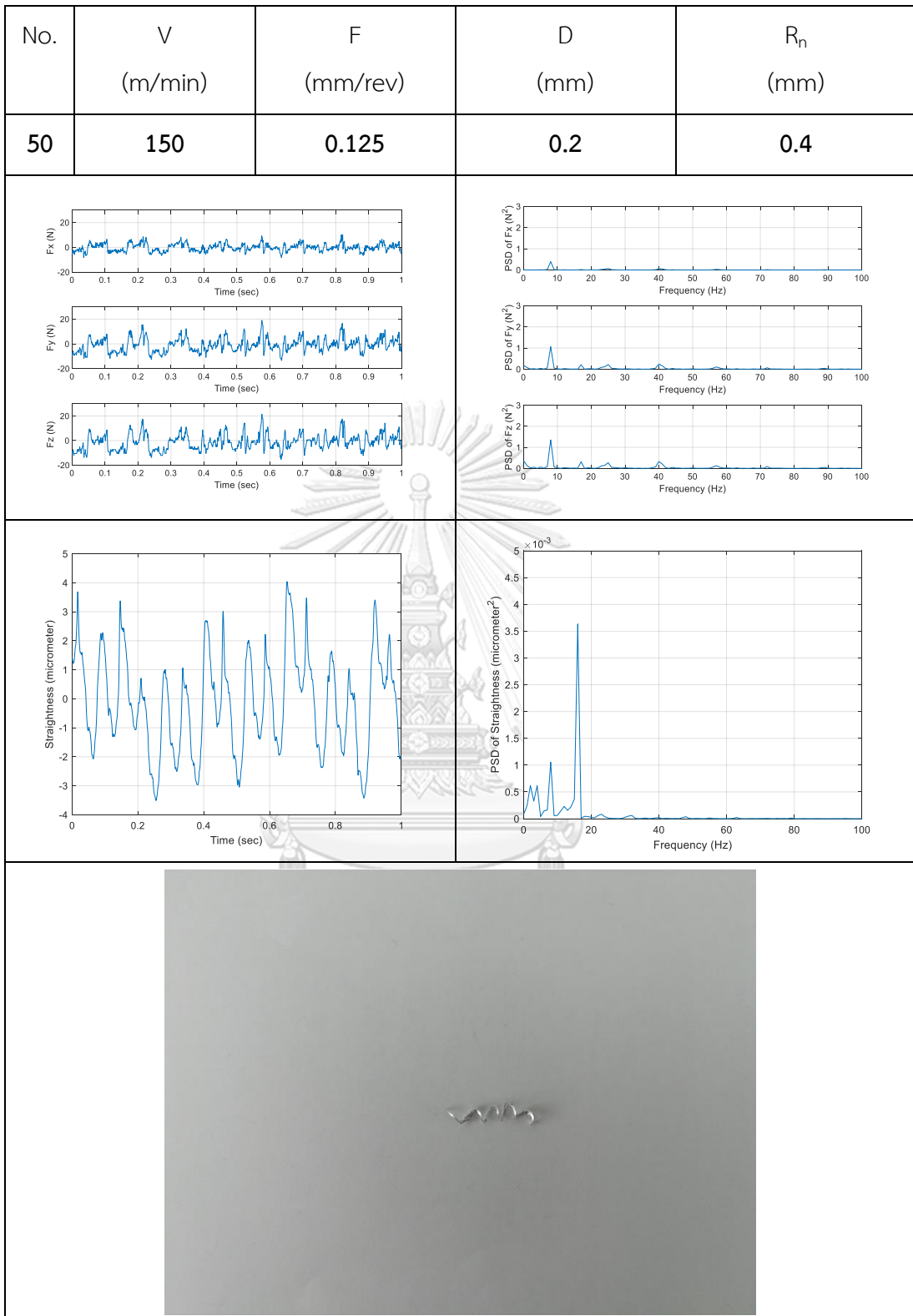


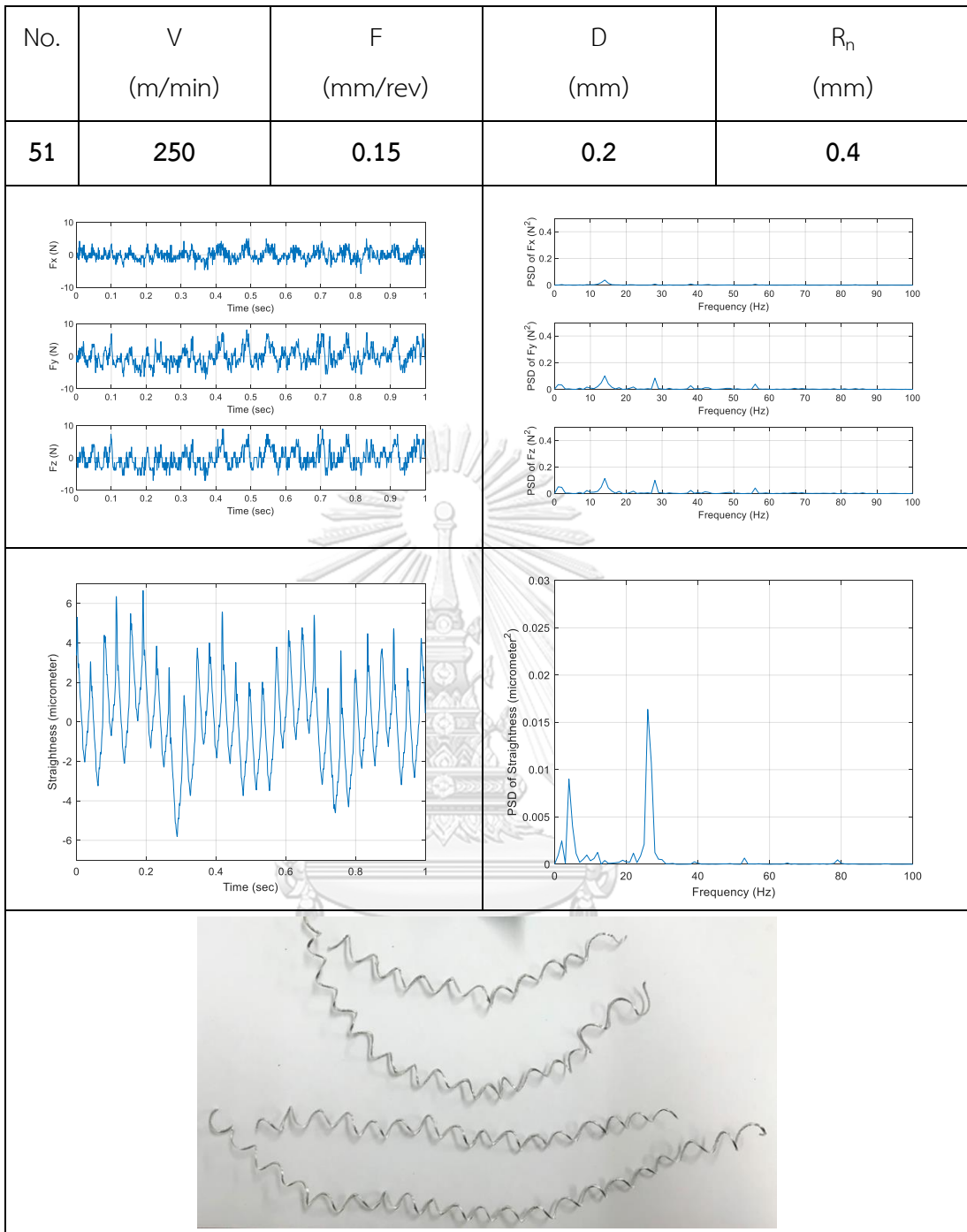


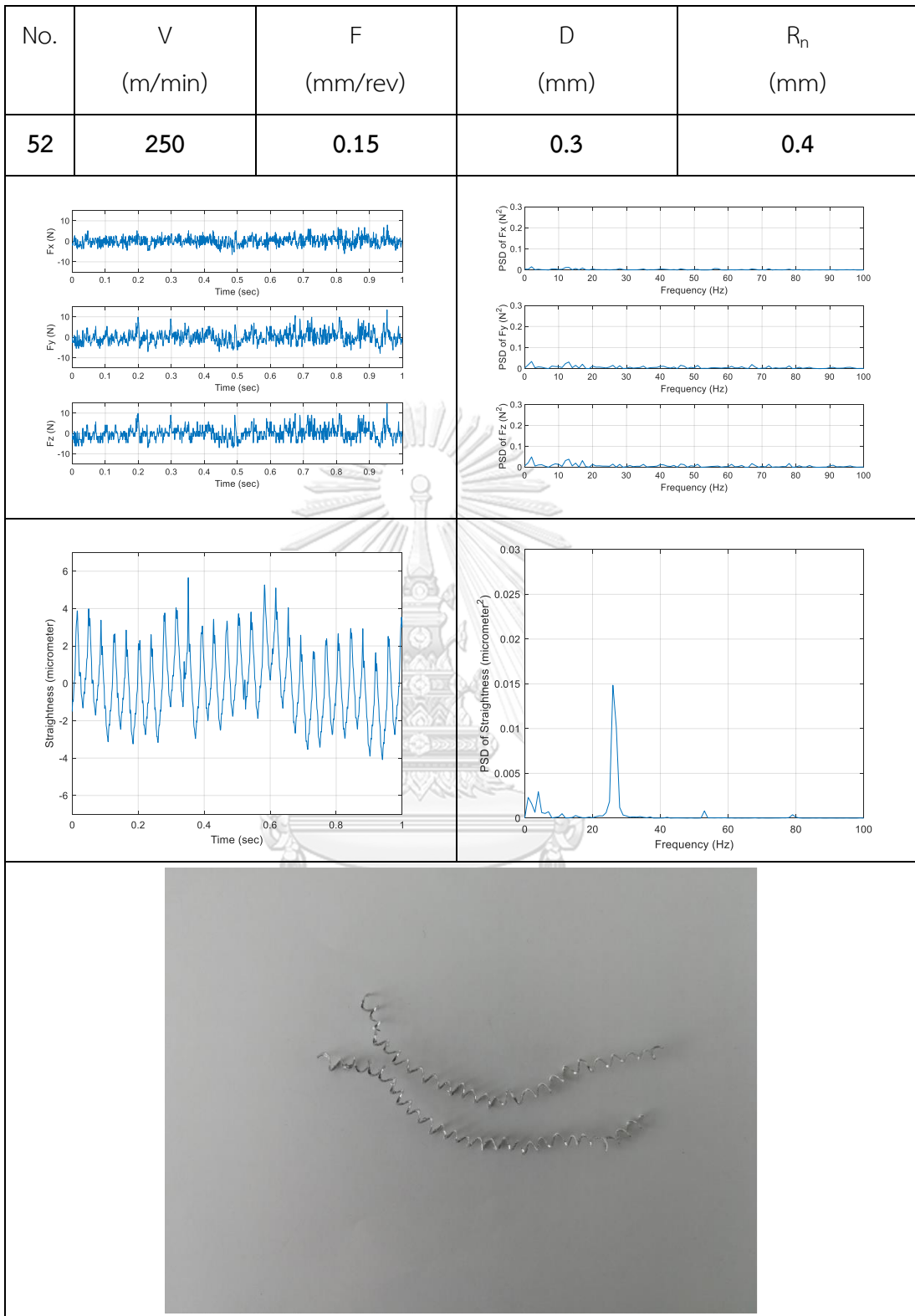


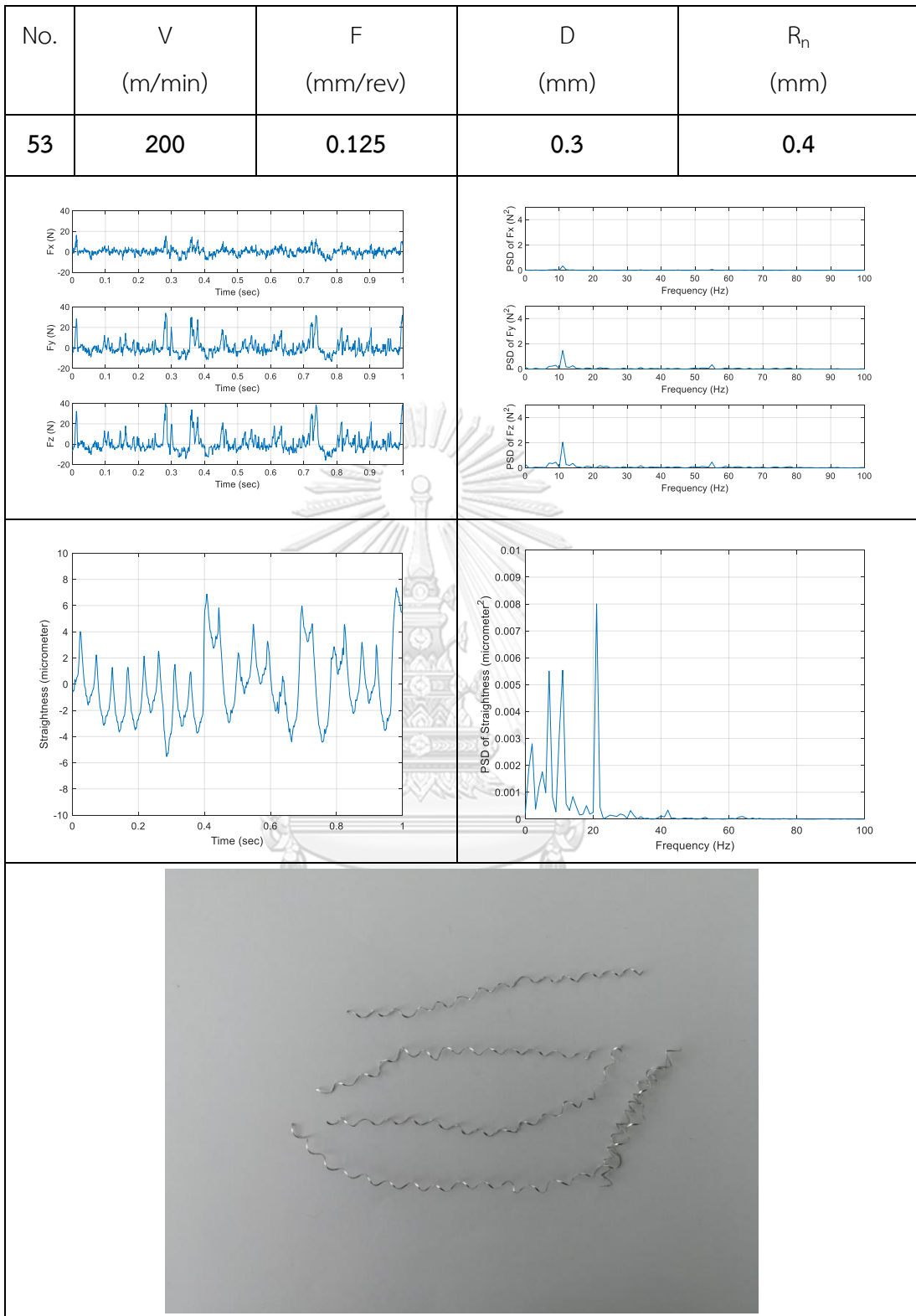


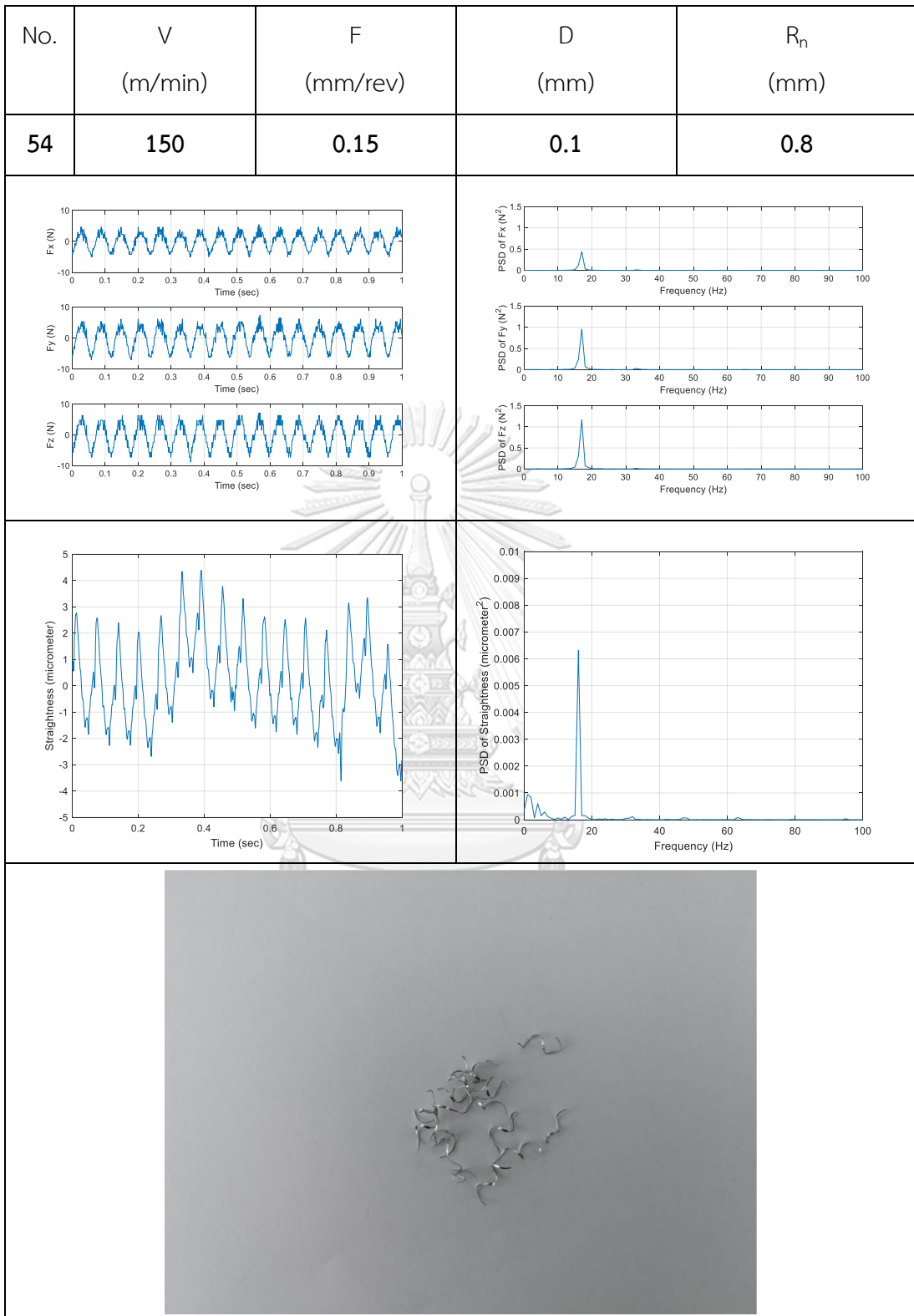












ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	พรรณนิภา พ่วงพัต
วัน เดือน ปี เกิด	3 พฤษภาคม 2531
สถานที่เกิด	พิษณุโลก
วุฒิการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต)
ที่อยู่ปัจจุบัน	9 หมู่ 5 ต.ปากโทก อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000
ผลงานตีพิมพ์	วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY