

การตรวจสอบการสึกหรอของมีดกลึงบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน
ในโดเมนเวลา

นภัสทิษฐ์ อัครศรีธนกร

TNI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

ปีการศึกษา 2557

TOOL WEAR MONITORING ON CNC TURNING USING VIBRATION SIGNALS
IN TIME DOMAIN

Napattawee Akarasritanakorn



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for The Degree of Master of Engineering Program in Engineering Technology

Graduate School

Thai-Nichi Institute of Technology

Academic Year 2014

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การตรวจสอบการสึกหรอของมีดกลึงบนเครื่องกลึงซีเอ็นซี
ด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนในโดเมนเวลา

โดย

นภัสทวิทย์ อัครศรีธนกร

สาขาวิชา

เทคโนโลยีวิศวกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนินน้อย

บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. พิชิต สุขเจริญพงษ์)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรชัย นิเวศน์รังสรรค์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิภาวดี วงษ์สุวรรณ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนินน้อย)

นักสหวิท อัครศรีธนกร : การตรวจสอบการสึกหรอของมีดกลึงบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนในโดเมนเวลา. อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนติน้อย, 61 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาค่าพารามิเตอร์พื้นฐานทางสถิติ ที่สามารถแยกสภาวะของมีดกลึงในเครื่องกลึงซีเอ็นซีด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนในโดเมนเวลา โดยการตรวจสอบแบบออนไลน์ ด้วยการทดลองบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีซึ่งทำการกลึงชิ้นงานเหล็กคาร์บอน (S45C) ด้วยมีดอินเสิร์ตสำหรับกลึงงานละเอียด (NX2525) และทำการควบคุมค่าการกินลึกผิวชิ้นงานให้คงที่ที่ 1 mm. ความเร็วตัด 200 mm/min และอัตราป้อนที่ 0.2 mm/min. โดยใช้การตรวจจับสัญญาณการสั่นสะเทือนด้วย Accelerometer จำนวน 2 ตัวในแกน Y และแกน Z อย่างละตัว พร้อมทั้งตรวจจับความเร็วในการหมุนของหัว Spindle ด้วย Proximity Sensor 1 ตัว และทำการกลึงชิ้นงานจนกระทั่งมีดสึก

จากการศึกษาพบว่า ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานทางสถิติ 2 ตัว คือ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถแยกแยะสภาวะมีดกลึงสึกได้ชัดเจนกว่าค่าพารามิเตอร์พื้นฐานทางสถิติอื่นๆ

บัณฑิตวิทยาลัย

สาขาวิชา เทคโนโลยีวิศวกรรม

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

NAPATTAWEE AKARASRITANAKORN : TOOL WEAR MONITORING ON CNC TURNING
USING VIBRATION SIGNALS IN TIME DOMAIN. ADVISOR : ASSISTANCE PROFESSOR
DR. WARAKOM NERDNOI, 61 PP.

In this study, the statistical parameter that could classify the wearing state of cutting tool using vibration signals by on-line monitoring. The CNC Lathe was used for turning carbon steel (S45C) with a fine form carbide insert (Nx2525). By fix a cutting condition on depth of cut 1 mm, cutting speed 200 mm/min and feed rate 0.2 mm/min. Two accelerometers and one proximity sensors were recorded vibration signals and rotation speed from the cutting tool turning until wear condition.

The results indicated two statistical parameter mean and standard deviation can be clearly separated ordinary and wear condition than the other parameters.

Graduate School

Field of Engineering of Technology

Academic Year 2014

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้กระทำให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อันเนื่องมาจากความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วราคม เนติน้อย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าของท่าน มาให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษาแนวทางและการพัฒนาในการทำวิจัย ตลอดจนสอนขั้นตอนการดำเนินวิจัยตลอดการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร) ที่กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา อีกทั้งยังแนะนำแนวทางการสั่งซื้ออุปกรณ์ทำวิจัย และให้ความอนุเคราะห์หุ้บอุปกรณ์ทำวิจัย และแนะนำความรู้ในเรื่องต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวดี วงษ์สุวรรณ (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จินตวัฒน์ ไชยชนะวงศ์ (สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น) ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

และท้ายที่สุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ให้โอกาสในการศึกษาและขอบคุณเพื่อนๆ อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งผู้ที่กล่าวนามและไม่ได้กล่าวนามใน ณ ที่นี้ผู้เขียนมีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดียิ่งจากทุกท่านและขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

นภัสทวิทย์ อัครศรีธนกร

TNI

THAI - NICHI INSTITUTE OF TECHNOLOGY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ญ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตการศึกษาและวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	2
2 หลักการพื้นฐาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 หลักการพื้นฐาน	3
2.2 กลไกการสึกหรอ (Tool Wear Mechanism)	6
2.3 อายุของมีดกลึง (Tool Life)	9
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
3 ระเบียบวิธีวิจัย	20
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	20
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย	20
3.3 แผนการทดลอง	23

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลอง.....	27
4.1 วิเคราะห์สัญญาณในโดเมนเวลา.....	27
4.2 การวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่.....	41
4.3 การวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่.....	43
4.4 การวิเคราะห์คาบที่น้อยที่สุดที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูล.....	48
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	51
5.1 สรุปผลการวิจัย	51
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	51
บรรณานุกรม	53
ภาคผนวก	56
ภาคผนวก ก. วิธีการแปลงข้อมูลสัญญาณการสั่นสะเทือน	57
ภาคผนวก ข. การเขียนโปรแกรม LABVIEW เพื่อเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือน.....	59
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	61

TNI

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แผนงานและระยะเวลาดำเนินงาน	2
3.1 เจ็อนไขในการทดลอง.....	26



TNII

สารบัญรูป

รูป	หน้า
2.1 การสึกหรอจากการขัดสี.....	6
2.2 การสึกหรอจากการยึดเกาะของวัสดุ.....	6
2.3 การสึกหรอจากการแพร่ของธาตุ.....	7
2.4 การสึกหรอของใบมีดกลึง.....	8
2.5 การสึกหรอบนผิวทลป.....	8
2.6 การสึกหรอบนผิวคาย.....	9
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของมีดและขนาดการสึกหรอแบบ Flank Wear.....	9
2.8 อิทธิพลของความเร็วตัดต่อขนาดการสึกหรอแบบ Flank Wear.....	10
2.9 ตัวอย่างการตรวจสอบขนาดการสึกหรอโดยตรง.....	11
2.10 แรงที่มากกระทำที่เศษโลหะและที่ใบมีดกลึง.....	12
2.11 ไดอะแกรมความสัมพันธ์ระหว่าง F, N, Fs, Fn, Fc และ Ft.....	13
3.1 เครื่องกลึงซีเอ็นซี ยี่ห้อ GOODWAY Model GCL-2.....	20
3.2 มีดกลึง งานละเอียด ฟอรั่มสามเหลี่ยม Nose Radius 0.4 mm.....	21
3.3 ชิ้นงาน (Specimen) Carbon Steel S45C เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. ยาว 200 มม. บริเวณที่กลึงยาว 150 มม.	21
3.4 Accelerometer Model MTN1100C with Magnetic.....	22
3.5 Proximity Sensor with Clamp.....	22
3.6 Proximity Sensor with Clamp.....	23
3.7 Notebook with Program LABVIEW.....	23
3.8 แผนการวิจัย.....	24
3.9 หน้าจอ LABVIEW Application เพื่อเก็บข้อมูล.....	24
3.10 การติดตั้งอุปกรณ์บนเครื่อง.....	25
4.1 สัญญาณการสั่นสะเทือนช่วงที่ 1.....	27
4.2 สัญญาณการสั่นสะเทือนช่วงที่ 2.....	27
4.3 สัญญาณการสั่นสะเทือนช่วงที่ 3.....	27
4.4 สัญญาณการสั่นสะเทือนช่วงที่ 4.....	28
4.5 สัญญาณการสั่นสะเทือนช่วงที่ 5.....	28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.6 สัญญาณการสั่นสะเทือนช่วงที่ 6	28
4.7 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง Case A แสดงผลในค่า Maximum, Mean, Standard Deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy ที่ Revolution 1.....	29
4.8 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง Case A แสดงผลในค่า Maximum, Mean, Standard Deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy ที่ Revolution 2.....	30
4.9 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง Case A แสดงผลในค่า Maximum, Mean, Standard Deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy ที่ Revolution 4 และ 8 ตามลำดับ.....	31
4.10 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง Case A แสดงผลในค่า Maximum, Mean, Standard Deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy ที่ Revolution 12 และ 16 ตามลำดับ.....	32
4.11 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง Case B แสดงผลในค่า Maximum, Mean, Standard Deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy ที่ Revolution 1.....	33
4.12 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง Case C ตามลำดับ แสดงผลในค่า Maximum, Mean, Standard deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy ที่ Revolution 1	34
4.13 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง Case A แสดงผลเฉพาะในค่า Mean, Standard Deviation, Variance ที่ Revolution 1	35
4.14 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง Case A แสดงผลเฉพาะในค่า Skewness, Kurtosis, Crest Factor ที่ Rev 1	35
4.15 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Standard Deviation ของ Case A.....	36
4.16 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Kurtosis ของ Case A.....	37

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.17 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Skewness ของ Case A.....	37
4.18 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Kurtosis และ Skewness ของ Case A.....	38
4.19 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Standard Deviation ของ Case B.....	38
4.20 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Kurtosis ของ Case B.....	39
4.21 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Kurtosis และ Skewness ของ Case B.....	39
4.22 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Standard ของ Case C.....	40
4.23 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Kurtosis และ Skewness ของ Case C.....	40
4.24 กราฟ Power Spectrum แสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้งกับความถี่ของไฟล์ ข้อมูลที่ 5 ในแต่ละช่วงเวลา Case A.....	41
4.25 กราฟ Power Spectrum แสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้งกับความถี่ของไฟล์ ข้อมูลที่ 10 และ 15 ในแต่ละช่วงเวลา Case A.....	42
4.26 กราฟ Power Spectrum แสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้งกับความถี่ของไฟล์ ข้อมูลที่ 20 ในแต่ละช่วงเวลา Case A.....	43
4.27 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 1,500-3,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Standard Deviation Case A.....	44
4.28 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 1,500-3,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Kurtosis Case A.....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
4.29 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 1,500-3,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Kurtosis และ Skewness Case A.....	45
4.30 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 2,000-3,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Standard Deviation Case B.....	46
4.31 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 2,000-3,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Kurtosis Case B.....	46
4.32 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 2,500-4,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Standard Deviation Case C.....	47
4.33 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 2,500-4,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Kurtosis Case C.....	47
4.34 กราฟแสดงค่า Mean ของสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง ในทุก Revolution ของการเก็บข้อมูล Case A.....	48
4.35 กราฟแสดงค่า Standard Deviation ของสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง ในทุก Revolution ของการเก็บข้อมูล Case A.....	48
4.36 ข้อมูลแสดงการคำนวณ Hypothesis Test แบบ 2-Sample t test ของข้อมูล Mean ที่ Revolution 1 และ 12 Case A.....	49
4.37 ข้อมูลแสดงกราฟ Box Plot ของ Hypothesis Test แบบ 2-Sample t test ข้อมูล Mean ที่ Revolution 1 และ 12 Case A.....	50
ก-1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลสัญญาณการสั่นสะเทือน.....	58
ข-1 รายละเอียดการเขียนโปรแกรมในการเก็บข้อมูลสัญญาณการสั่นสะเทือน.....	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สถานการณ์การผลิตชิ้นส่วนที่เกิดจากเครื่องจักรหนัก เช่น เครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องเจียรที่มีการแข่งขันสูงในวงการอุตสาหกรรม ได้พัฒนาเทคโนโลยี เครื่องจักร อุปกรณ์ ต่างๆ ที่ทันสมัยมีประสิทธิภาพรวมถึงการควบคุมการผลิตเป็นสิ่งสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต และการลดต้นทุน

การควบคุมการผลิตอย่างหนึ่งที่สำคัญต่อการผลิต ด้วยเครื่องกลึงซีเอ็นซี (CNC : Computer Numerical Control) คือการควบคุมสภาวะของเม็ดมีด โดยในปัจจุบันใช้การควบคุมด้วยการประเมินระยะเวลาในการเปลี่ยนมีด ซึ่งพบว่ามีระยะเวลาไวกว่ามาก ทำให้การใช้งานเม็ดมีดกลึง ไม่ได้ประสิทธิภาพตามที่ควรจะเป็น เกิดการสูญเสียมูลค่าของเม็ดมีดที่ควรใช้งานได้อีกระยะเวลา แต่กลับถูกเปลี่ยนออกตามการประเมินการใช้งานก่อนการสึกหรอจริง ทำให้สูญเสียเวลาและเพิ่มต้นทุนในการผลิต การที่จะสามารถควบคุมอายุของคมมีดในเม็ดมีดได้แม่นยำมากขึ้น จึงทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและลดต้นทุนได้มากขึ้น

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมติดตามอายุของใบมีด โดยการตรวจสอบสภาวะของมีดกลึงด้วยใช้สัญญาณการสั่นสะเทือนของใบมีดขณะทำการตัดเฉือน ที่เครื่องกลึงซีเอ็นซี ยี่ห้อ GOODWAY Model GCL-2 และต่อเข้ากับอุปกรณ์เก็บสัญญาณ แล้วแปลงสัญญาณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงวิเคราะห์สัญญาณข้อมูล เพื่อแยกหาตัวแปรที่มีผลต่อการสึกหรอของใบมีด โดยเน้นการวิเคราะห์ที่เป็นโดเมนเวลา

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่สามารถแยกแยะการสึกหรอของมีดกลึง โดยวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนในโดเมนเวลาเป็นหลัก

1.2.2 เพื่อศึกษาคาบที่เหมาะสมในการจัดเก็บข้อมูล

1.3 ขอบเขตการศึกษาและวิจัย

พิจารณาพารามิเตอร์ทางสถิติเน้นในโดเมนเวลา เพื่อวิเคราะห์ แยกแยะ และทำนายการสึกหรอแบบแฟรงแวร์ (Flank Wear) ในการเริ่มกลึงชิ้นงานเหล็กแข็ง คาร์บอนสตีล (S45C) ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร ความยาว ในการกลึง 150 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.2 สามารถหาค่าคาบที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลได้

แผนการดำเนินการวิจัย ตามแผนในตารางที่ 1.1

[illegible]

บทที่ 2

หลักการพื้นฐาน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐาน

2.1.1 พื้นฐานงานกลึงทั่วไป

2.1.1.1 งานกลึงคือ การตัดโลหะโดยให้ชิ้นงาน (Work Piece) หมุนรอบตัวเอง โดยมีดกลึงเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน การกลึงมีสองลักษณะใหญ่คือ

1. การกลึงปาดหน้า คือ การตัดโลหะโดยให้มีดตัดชิ้นงานไปตามแนวขวาง (Across the Work)
2. การกลึงปอก คือ การตัดโลหะโดยให้มีดตัดเคลื่อนที่ตัดชิ้นงานไปตามแนวขนานกับแนวแกนของชิ้นงาน

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่องานกลึง

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการของการกลึงปอกคืออัตราป้อน (Feed Rate), ความเร็วตัด (Cutting Speed), ระยะป้อนลึก (Depth of Cut), มีดกลึง (Cutting Tool) และชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Work Piece) และเมื่อมีกระบวนการในการกลึงปอกเกิดขึ้น ผลที่จะเกิดขึ้นตามมาก็คือ ขนาดของชิ้นงาน (Work Piece Dimension), ความละเอียดของผิวชิ้นงาน (Surface Roughness), เศษกลึง (Chip) และการสึกหรอของมีดกลึง (Tool Wear)

2.1.2.1 ปัจจัยที่สำคัญของงานกลึงปอกด้วยมีดกลึงอินเสิร์ต

ตามที่กล่าวไว้แล้วว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการ ของการกลึงปอก คือ อัตราป้อน (Feed Rate) ความเร็วตัด (Cutting Speed) ระยะป้อนลึก (Depth of Cut) มีดกลึง (Cutting Tool) และชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Work Piece) ในการกลึงปอกด้วยมีดกลึงอินเสิร์ตก็จะต้องประกอบด้วยปัจจัยหลัก 5 ปัจจัยนี้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้แล้วในการกลึงปอกด้วยมีดกลึงอินเสิร์ตยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกที่สำคัญซึ่งควรนำมาพิจารณาเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

- เงื่อนไขของคมตัด (Edge Condition)
- ความยาวของคมตัด (Edge Length)
- วิธีการจับยึดชิ้นงาน (Work Holding Method)
- ส่วนประกอบของวัสดุ (Component Material)
- ความหนาของเม็ดยึด (Insert Thickness)
- เกรดของเม็ดยึด (Insert Grade)

- อายุของการสึกหรอ (Wear Life)
- มุมตัด (Approach Angle)
- กำลัง (Power)
- น้ำหล่อเย็น (Coolant)
- ต้นทุนของคมตัด (Edge Cost)
- การหักเศษ (Chip Breaker)
- รัศมีปลายมีด (Nose Radius)
- มุมประกอบของใบมีดกลึง (Included Angle)
- อัตราป้อน (Feed Rate)
- ระยะป้อนลึก (Depth of Cut)
- ความเร็วรอบ (RPM)

2.1.2.2 ปัจจัยสำคัญในการเลือกใช้ความเร็วตัด

ความเร็วตัด (Cutting Speed) คือ ความเร็วที่คมมีดกลึงตัด หรือปาดผิวโลหะออก เมื่อโลหะหมุนครบ 1 รอบคมมีดกลึงก็จะตัดโลหะเป็นแนวตัดยาวเท่าเส้นรอบวงพอดี ความเร็วตัดมีหน่วยเป็น เมตร/นาที หลักเกณฑ์การเลือกใช้ความเร็วตัดมีดังนี้ คือ

1. วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด (Cutting tools) ที่ทำมาจากเหล็กโรบสูง (High Speed Steel) สามารถใช้ความเร็วตัดเป็น 2 เท่า ของความเร็วตัดของมีดที่ทำมาจากวัสดุเหล็กคาร์บอน ส่วนวัสดุคมตัดที่มีส่วนผสมพิเศษออกไปสามารถใช้ความเร็วตัดได้สูงกว่าเหล็กโรบสูง
2. ชนิดของวัสดุ (Material) ที่จะนำมาทำการตัดเฉือน โดยทั่วไปวัสดุงานที่แข็งมากจะใช้ความเร็วตัดช้ากว่าวัสดุที่อ่อนกว่า
3. รูปร่างของคมตัด (Form Cutting Tool) มีผลต่อการทำงานมาก เช่น มีดตัดงานขาจะใช้ความเร็วรอบต่ำกว่ามีดกลึงปอกผิว
4. ความลึกในการตัด (Depth of Cut) ถ้าป้อนตัดลึกจะใช้ความเร็วรอบน้อยกว่าป้อนตื้น
5. อัตราป้อน (Feed Rate) ในการป้อนตัดงานหยาบ เช่น อัตราป้อน 3 มม. ความเร็วที่ใช้ในการตัดจะต่ำกว่าการป้อนตื้นสุดท้าย เช่น อัตราป้อนตัด 0.13 มม. เป็นต้น จะใช้ความเร็วรอบได้สูง
6. การระบายความร้อน (Cutting Lubricant) ความเร็วตัดของวัสดุบางชนิดอาจเพิ่มให้สูงขึ้นได้เมื่อมีการระบายความร้อนที่ถูกต้อง ซึ่งสารระบายความร้อนนี้ จะช่วยรักษาอุณหภูมิของคมตัดไม่ให้ร้อนสูงเกินไปขณะทำงาน

7. การจับงานให้มั่นคงแข็งแรง (Rigidity of the Work) ในกรณีงานที่ถูกจับด้วยหัวจับ โผล่ออกมาสั้นๆ จะใช้ความเร็วได้สูงกว่างานที่ถูกจับโผล่ออกมายาวๆ

8. ความสามารถของสภาพเครื่อง เครื่องที่แข็งแรงมีกำลังสูง สามารถใช้ความเร็วตัดได้สูง อย่างไรก็ตามอย่าใช้สูงจนคมตัดไหม้

2.1.2.3 กฎทั่วไปในการใช้ความเร็วตัด และอัตราป้อน

1. ถ้าอัตราป้อน (Feed) (มม./รอบ) เพิ่มความเร็ว (Speed) (รอบต่อนาที) ต้องลดลงเมื่อความลึกของการตัดคงที่
2. ถ้า Speed ความเร็ว เพิ่ม Feed อัตราป้อน ต้องลดลง เมื่อความลึกของการตัดคงที่
3. ถ้าความลึกในการตัดเพิ่มขึ้น Speed ต้องลดลงเมื่อ Feed คงที่

2.1.3 ผลกระทบของความเร็วตัดที่มีต่ออายุการใช้งานของมีดกลึง (Effect of Cutting Speed)

ในการตัดเฉือนชิ้นงาน ถ้าใช้ความเร็วตัดที่ไม่เหมาะสมกับสภาพเงื่อนไขของงานซึ่งได้แก่ วัสดุงาน วัสดุมีด ขนาดของชิ้นงาน ฯลฯ ก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการทำงานเพิ่มขึ้นได้ เช่นถ้าใช้ความเร็วตัดสูงเกินไปก็จะทำให้มีดกลึงสึกหรอได้เร็วกว่าปกติ นั่นก็คืออายุการใช้งานของมีดกลึงสั้นลง ซึ่งเป็นสาเหตุที่จะต้องลับมีดบ่อยๆ ทำให้เสียเวลาในการทำงาน คือเสียเวลาในการลับมีด และเสียเวลาในการติดตั้งมีดใหม่อีกด้วย ซึ่งเป็นการลดความสามารถ และจำนวนผลิตชิ้นงาน เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการทำงานโดยใช้เหตุ

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัดและอายุการใช้งานของมีดกลึงนั้น สามารถอธิบายได้ดังนี้ ขณะที่ใช้ความเร็วตัดต่ำๆ การสึกหรอของมีดจะเป็นไปอย่างช้าๆ ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิจากการเสียดสี ระหว่างมีดกลึงกับชิ้นงานจะมีค่าต่ำ แต่ถ้าใช้ความเร็วตัดสูงขึ้นความร้อนระหว่างผิวมีดกลึงกับชิ้นงาน และเศษตัดจะเกิดมากขึ้น ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการสึกหรอที่บริเวณผิวของมีดกลึงกับชิ้นงานที่เสียดสีกัน ซึ่งจะให้อายุการใช้งานของมีดกลึงสั้น โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วตัด และอายุการใช้งานของมีดกลึงได้โดยสมการของ Taylor

2.1.3.1 อัตราป้อน

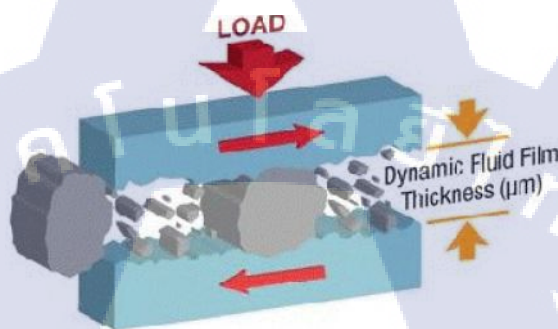
อัตราป้อนหมายถึง ระยะทางการเดินป้อนของมีดไปตามความยาวของชิ้นงาน ในแต่ละรอบของการหมุนของเพลลาของเครื่องหรือการป้อนตัด อาจพิจารณาจากความหนาของเศษตัด (Chips) การป้อนตัด 0.5 มม. หมายถึง มีดตัดเคลื่อนที่เป็นระยะทาง 0.5 มม. ตามความยาวของชิ้นงานขณะที่ชิ้นงานหมุน 1 รอบ

2.2 กลไกการสึกหรอ (Tool Wear Mechanism)

กลไกการสึกหรอที่มีผลต่อมีดกลึงแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

2.2.1 การสึกหรอจากการขัดสี (Abrasive Wear)

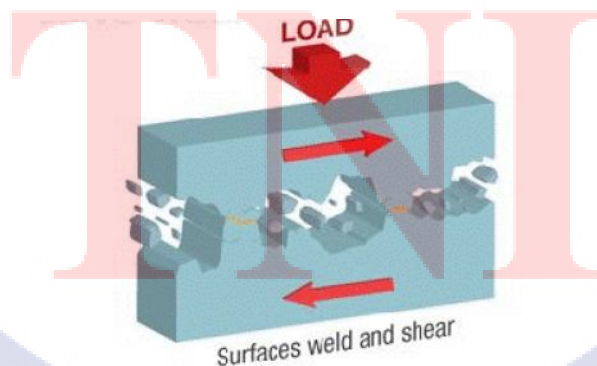
เกิดจากการขัดสีของวัสดุชิ้นงานที่แข็งมาสัมผัสหรือขัดบนผิวของมีดกลึงจึงทำให้เกิดการขูดเนื้อของมีดกลึงที่ผิวสัมผัสออก ทำให้เกิดการสึกหรอที่มีดกลึงเกิดขึ้นเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิด Flank Wear (ดังรูปที่ 2.1)



รูปที่ 2.1 การสึกหรอจากการขัดสี

2.2.2 การสึกหรอจากการยึดเกาะของวัสดุ (Adhesive Wear)

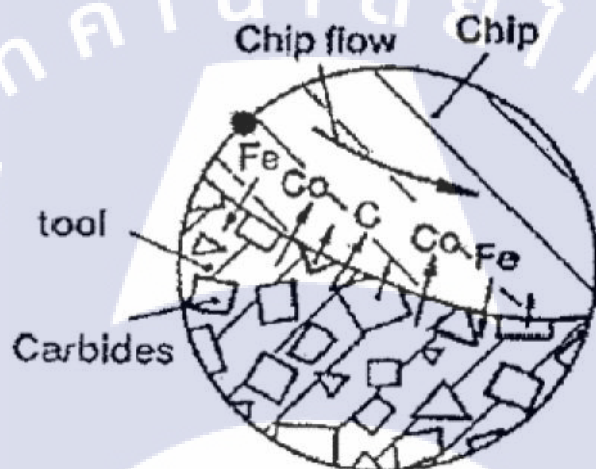
การสึกหรอเนื่องจากการยึดเกาะของวัสดุที่เกิดจากการสัมผัสของวัสดุของชนิดภายใต้อุณหภูมิและความดันที่สูงและเกิดแรงเฉือนจนทำให้บริเวณที่สัมผัสกันยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน วัสดุที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าก็จะขาดออกจากตัวเนื้อวัสดุ (ดังรูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 การสึกหรอจากการยึดเกาะของวัสดุ

2.2.3 การสึกหรอจากการแพร่ของธาตุวัสดุ (Diffusive Wear)

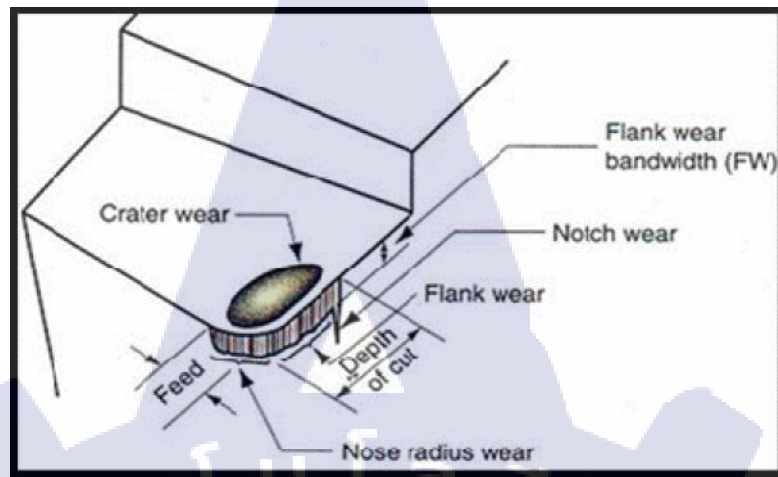
การสึกหรอเนื่องจากการแพร่ของธาตุวัสดุ เกิดจากสภาวะของแข็ง 2 ชนิดที่สัมผัสกันภายใต้อุณหภูมิที่สูง และเกิดการแพร่ของอะตอมเคลื่อนย้ายจาก Lattice ที่มีความเข้มข้นมากกว่า ไปยังที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า การที่อะตอมของวัสดุแพร่ออกไปภายนอกส่งผลให้คุณสมบัติเปลี่ยนไป หรือสึกหรอได้ง่าย และอาจส่งผลให้วัสดุของชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้นการแพร่ของอะตอมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง 2 วัสดุ และการสั่นของอะตอมขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าเวลาสัมผัสกันนานก็จะแพร่ก็จะแพร่ได้มาก ดังนั้นถ้าใช้ความเร็วตัดที่สูงก็จะแพร่ซึมได้น้อยซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิด Crater Wear (ดังรูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 การสึกหรอจากการแพร่ของธาตุ

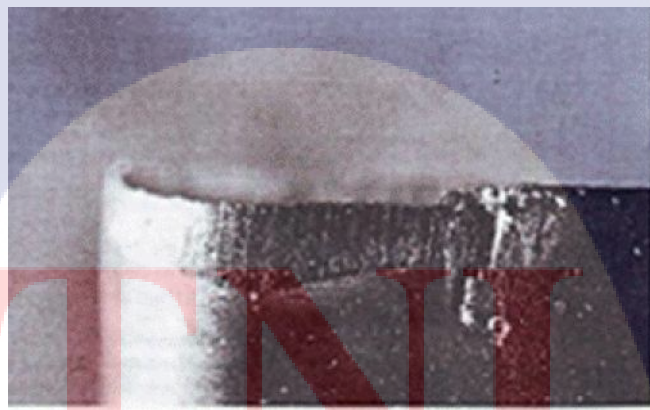
2.2.4 ประเภทของการสึกหรอบนมีดกลึง [1]

การการสึกหรอบนมีดกลึงสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทตามลักษณะของตำแหน่งที่เกิดการสึกหรอ (ดังรูปที่ 2.4)



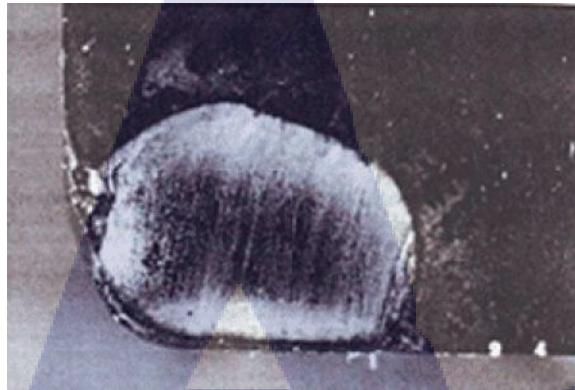
รูปที่ 2.4 การสึกหรอของใบมีดกลึง

2.2.4.1 การสึกหรอบนผิวหยาบ (Flank Wear) เกิดจากการขัดถูของผิวงานใหม่กับขอบคมตัดของมีดบริเวณ Flank Face และวัดขนาดได้จากความสูงของรอยสึกหรอหรือ Flank Wear Band Width เมื่อเกิดการสึกหรอบนผิวหยาบมากขึ้นก็จะทำให้เกิดแรงที่มากกระทำมากขึ้น (ดังรูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 การสึกหรอบนผิวหยาบ

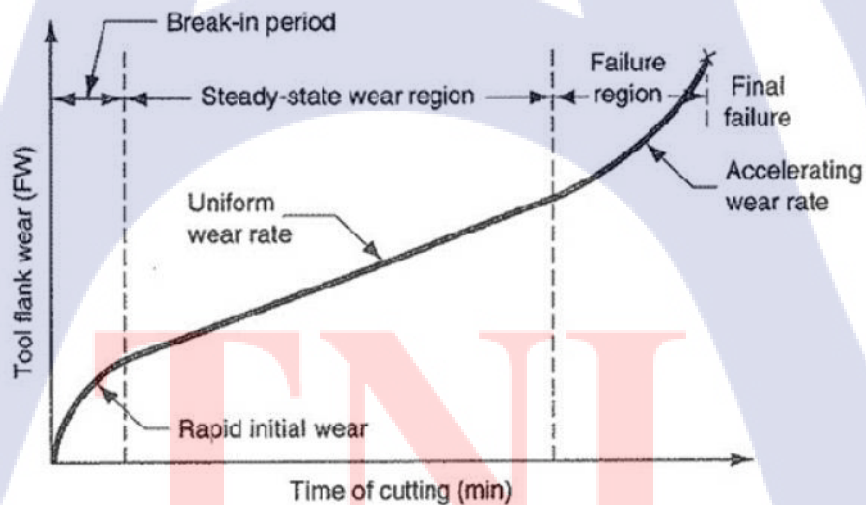
2.2.4.2 การสึกหรอบนผิวคาย (Carter Wear) เกิดจากการขัดสีหรือกระแทกของเศษโลหะที่บริเวณ Rake Face และเกิดอุณหภูมิที่เศษโลหะสูงมาก จึงเกิดลักษณะเป็นหลุมหรือร่องลึกเกิดใกล้ๆ กับคมตัด (ดังรูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 การสึกหรอบนผิวคาย

2.3 อายุของมีดกลึง (Tool Life) [2]

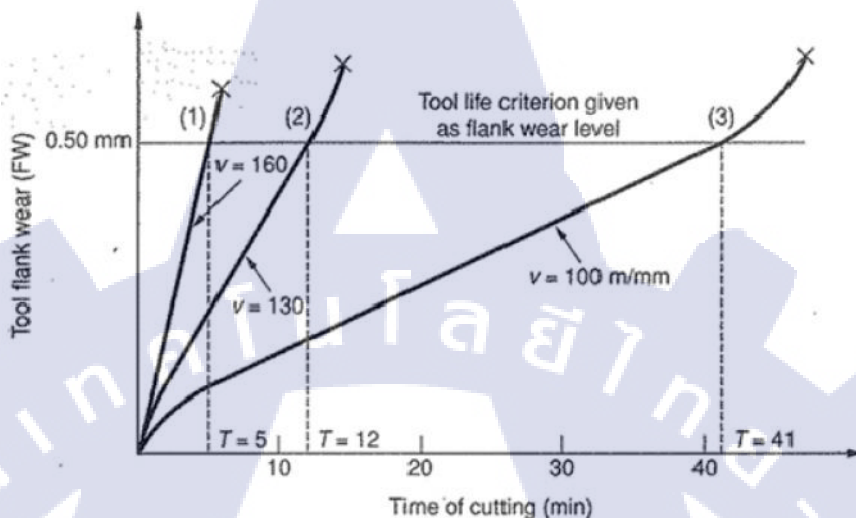
ในระหว่างกระบวนการการกลึงนั้นจะมีหลายกลไกที่ผลต่อการเพิ่มการสึกหรอของมีดกลึง ถ้าเทียบระหว่างเวลาในการตัดและขนาดของ Flank Wear ได้ (ดังรูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการใช้งานของมีดและขนาดการสึกหรอแบบ Flank Wear

ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ช่วงแรกคือ Break-in-Period เป็นช่วงที่เริ่มต้นการสึกหรอและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ช่วงนี้จะใช้เวลาเพียงไม่กี่นาที เมื่อเข้าสู่ช่วงที่สอง Steady-State Wear Region เป็นช่วงที่เกิดอัตราการสึกหรออย่างคงที่ จากรูปสังเกตได้ว่าช่วงนี้มีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชัน

คงที่ และช่วงสุดท้ายคือ Failure Region เป็นช่วงที่อัตราเริ่มเพิ่มเร็วขึ้น จะเกิดอุณหภูมิสูงขึ้นและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจะลดลง ถ้ายังคงดำเนินใช้ต่อไปจะส่งผลให้มันแตกหักได้

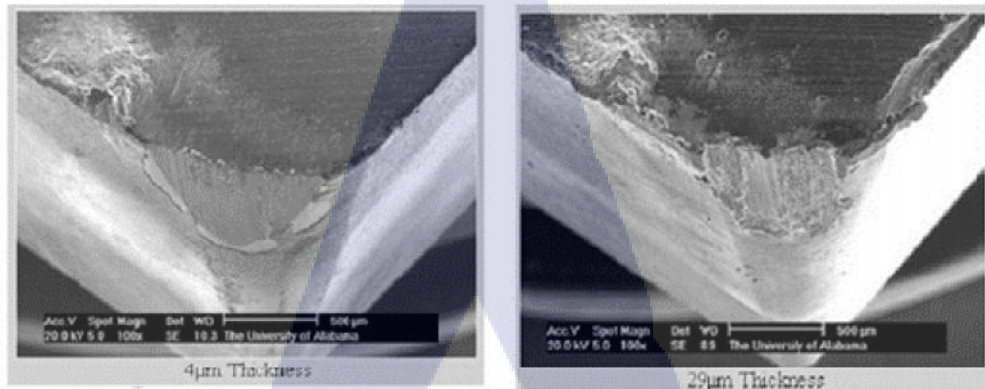


รูปที่ 2.8 อิทธิพลของความเร็วตัดต่อขนาดการสึกหรอแบบ Flank Wear

การเพิ่มความเร็วในการตัด อัตราการป้อน และความลึกในการตัดนั้นจะมีผลต่อการเพิ่มอัตราการสึกหรอ โดยเฉพาะการเพิ่มความเร็วในการตัดจะมีอิทธิพลมากที่สุดดังรูปที่ 2.9 แสดงถึงอิทธิพลของการเพิ่มความเร็วในการตัดถ้าเทียบในขนาดของ Flank Wear ที่ 0.5 mm จะพบว่าเส้นที่ 3 ($v=100$ m/min) จะมีอายุการใช้งานมากที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นที่ 1 ($v=160$ m/min) และเส้นที่ 2 ($v=130$ m/min)

2.3.1 การตรวจสอบการสึกหรอของมีดกลึงแบ่งออกเป็น 2 วิธี [3]

2.3.1.1 การตรวจสอบโดยตรง (Direct Method) เป็นการตรวจสอบขนาดการสึกหรอโดยวัดจากรอยสึกของมีดกลึงโดยตรง การใช้วิธีนี้ค่อนข้างที่จะยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูง ซึ่งไม่สามารถวัดขณะที่เครื่องจักรทำงานได้ แต่ผลที่ได้จะมีความแม่นยำกว่า (ดังรูปที่ 2.9)



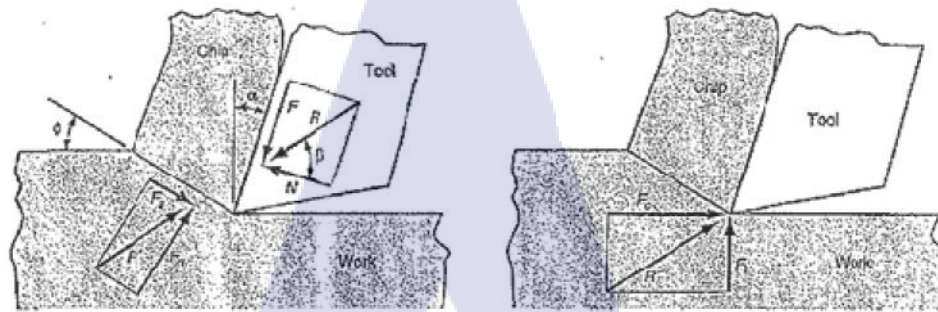
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการตรวจสอบขนาดการสึกหรอโดยตรง

2.3.1.2 การตรวจสอบโดยทางอ้อม (Indirect Method) เป็นการวัดการสึกหรอ โดยการวัดพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับการสึกหรอของมีดกลึง เช่น ความหยาบของผิวงาน สัญญาณการสั่นสะเทือน ขนาดของแรง ความเข้มของเสียง เป็นต้น การใช้วิธีเหล่านี้สามารถวัดได้ง่ายกว่าแต่การวิเคราะห์ค่อนข้างยากและซับซ้อน ในงานวิจัยจึงนิยมใช้วิธีวัดทางล้อมมากกว่า วัดโดยใช้เซนเซอร์ต่างๆ เช่น Sound Sensor, Accelerometer, Dynamometer เป็นต้น แล้วเก็บสัญญาณมาวิเคราะห์ผลเพื่อหาขนาดการสึกหรอของมีดกลึง

2.3.2 ทฤษฎีการตัดเฉือน [4]

ถ้าพิจารณาแรงที่มากระทำที่เศษโลหะตามรูปที่ 2.10 พบว่าแรงที่ต้านเศษโลหะจากตัวมีดกลึงแบ่งออกเป็น 2 ทิศทาง คือแรงเสียดทาน (Friction Force, F) และแรงตั้งฉาก (Normal Force to Friction, N) ซึ่งแรงเสียดทานนั้นจะต้านการไหลของโลหะบนบริเวณ Rake Face ของมีดกลึง และแรงตั้งฉากจะมีทิศทางตั้งฉากกับแรงเสียดทาน โดยทั้งสองแรงนั้นสามารถใช้หาค่าสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานได้ระหว่างมีดกลึงและเศษโลหะได้

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (2.1)$$



รูปที่ 2.10 แรงที่มากระทำที่เศษโลหะและที่มีดกลึง

โดยแรงเสียดทานและแรงตั้งฉากสามารถรวมแรงเป็น แรงลัพธ์ R โดยมุม β เรียกว่ามุมเสียดทานซึ่งมีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานดังนี้

$$\mu = \tan \beta \quad (2.2)$$

นอกจากนี้แรงที่มีดกลึงกระทำลงบนเศษโลหะแล้ว ยังมีอีกสองแรงที่กระทำบนเศษโลหะโดยชิ้นงาน คือ แรงเฉือน (Shear force, F) ละแรงที่ตั้งฉากกับแรงเฉือน (Normal Force to Shear, F_n) ได้จาก

$$\tau = \frac{F_s}{A_s} \quad (2.3)$$

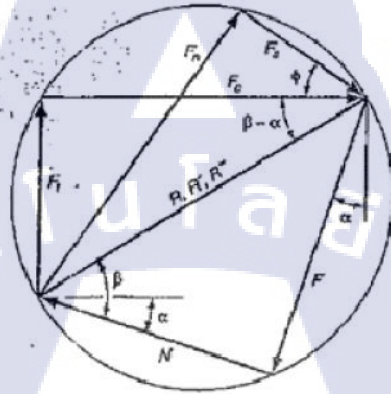
โดยที่ A_s คือ พื้นที่ Shear Plane ซึ่งหาได้จาก

$$A_s = \frac{t_0 w}{\sin \phi} \quad (2.4)$$

โดยแรงเฉือนและแรงที่ตั้งฉากกับแรงเฉือนนั้นสามารถรวมแรงเป็นแรงลัพธ์ R' ดังนั้นเพื่อที่จะให้แรงที่กระทำต่อเศษโลหะสมดุลกันแรงลัพธ์ R และ R' จึงต้องมีทิศทางตรงกันข้ามและมีขนาดเท่ากัน

ดังนั้นจึงสรุปออกมาเป็นไดอะแกรม ได้ (ดังรูปที่ 2.11) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง F , N , F_s , F_n ในการปฏิบัติจริงเราไม่สามารถวัดค่าทั้ง 4 แรงนี้มีทิศทางเปลี่ยนแปลงตามลักษณะมีดกลึง

และเงื่อนไขการตัด อย่างไรก็ตามยังเป็นไปได้ที่จะใช้เครื่องวัดที่เรียกว่า Dynamometer ดังนั้นแรงที่กระทำต่อมีดกลึงทั้งสองแรงสามารถถูกวัดได้ในทิศทาง Cutting Force, F_c และ Thrust Force, F_t ซึ่งแรง Cutting Force จะอยู่ในแนวเดียวกับความเร็ว V และแรง Thrust Force จะอยู่ในทิศทางตั้งฉากกับความเร็ว (ดังรูปที่ 2.11) ซึ่งทั้ง 2 แรงสามารถรวมเป็น R



รูปที่ 2.11 ไดอะแกรมความสัมพันธ์ระหว่าง F , N , F_s , F_n , F_c และ F_t

เนื่องจากแรงทั้ง 4 นั้นไม่สามารถถูกวัดได้ จึงจำเป็นต้องใช้ความสัมพันธ์ระหว่างที่สามารถวัดได้จากอุปกรณ์วัด Dynamometer ใช้ความสัมพันธ์ทางด้านตรีโกณมิติดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned} F &= F_c \sin \alpha + F_t \cos \alpha \\ N &= F_c \cos \alpha - F_t \sin \alpha \\ F_s &= F_c \cos \phi - F_t \sin \phi \\ F_n &= F_c \sin \phi + F_t \cos \phi \end{aligned} \quad (2.5)$$

2.3.3 การวิเคราะห์สัญญาณ [5]

สัญญาณที่บันทึกจากหัววัดต่างๆ เช่น หัววัดการสั่นสะเทือน ไมโครโฟน เทอร์โมคัปเปิล เป็นต้น จะอยู่ในรูปของสัญญาณบนโดเมนเวลาซึ่งมีแกนตั้งเป็นแอมพลิจูดของสัญญาณและแกนนอนเป็นเวลาซึ่งลักษณะของสัญญาณที่เก็บได้จะขึ้นอยู่กับสภาพและเงื่อนไขในการกลึงการประมวลผลสัญญาณมีหลายวิธีเป็นการปรับปรุงสัญญาณให้ดีขึ้น บางวิธีอาจเป็นการตัดส่วนของสัญญาณที่มีลักษณะเด่นออกมา และบางวิธีอาจจะเป็นการวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อเป็นตัวแทนของข้อมูลหรือ

สัญญาณออกมา สัญญาณการสั่นสะเทือนซึ่งเป็นสัญญาณบนโดเมนเวลาเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลาย เพื่อตรวจสอบการสั่นสะเทือนของมอดกลึง การวิเคราะห์สัญญาณมีหลายเทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนเวลาซึ่งเป็นการวิเคราะห์โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติเช่น ค่าสูงสุด ค่าต่ำ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความเบ้ และค่าความโด่ง เป็นเป็นส่วนเทคนิคการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่จะใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์เป็นต้น

2.3.4 การวิเคราะห์บนโดเมนเวลา [5]

สัญญาณที่ตรวจวัดได้จากหัววัดต่างๆ จะเป็นสัญญาณบนโดเมนเวลา คือ สัญญาณที่แสดงอยู่ในรูปของแอมพลิจูดของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาของข้อมูล สัญญาณบนโดเมนเวลาจะฟังก์ชันของเวลา คือ $x(t)$ โดยที่ t คือ เวลาใดๆ ในหน่วยวินาที เป็นต้น

พารามิเตอร์ที่นิยมใช้สำหรับวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลาได้แก่ ค่าเฉลี่ย รากกำลังสองเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าแปรปรวน ค่าความเบ้ ค่าความโด่ง และค่า Crest Factor เป็นต้น ซึ่งแสดงและอธิบายได้

ค่าเฉลี่ย (Mean, $\bar{X}$) เป็นค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาหนึ่งๆ ซึ่งคำนวณจากผลบวกของข้อมูลและหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (2.6)$$

เมื่อ N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

x_i คือ ข้อมูลลำดับ i

โดยทั่วไปสัญญาณมีทั้งค่าเป็นบวกและเป็นลบเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งสมดุลจะทำให้ค่าเฉลี่ยมีค่าประมาณเป็นศูนย์ ค่าเฉลี่ยในกรณีนี้จะคำนวณโดยการหาค่าสัมบูรณ์ของสัญญาณก่อนแล้วจึงคำนวณหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณ

ค่ารากกำลังสอง Root Mean Square (RMS) เป็นค่ารากของเฉลี่ยผลรวมสัญญาณที่วัดได้ในเวลาที่เกิดขึ้นในช่วงหนึ่งๆ

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N}} \quad (2.7)$$

ค่าแอมป์ิจูดสูงสุด หรือค่าสูงสุดของสัญญาณ (Peak หรือ Max) เป็นการบอกค่าระดับสูงสุดของสัญญาณที่เบี่ยงเบนจากระดับศูนย์

$$\text{Peak} = \max(|x(t)|) \quad (2.8)$$

ค่าแอมป์ิจูดต่ำสุด หรือค่าต่ำสุดของสัญญาณ (Min) เป็นการบอกค่าระดับต่ำสุดของสัญญาณที่เบี่ยงเบนไปจากระดับศูนย์

$$\text{Min} = \min(|x(t)|) \quad (2.9)$$

ค่า Peak to Peak เป็นการบอกค่าขนาดของสัญญาณที่วัดได้จากจุดสูงสุดทางด้านบวกกับจุดต่ำสุดทางด้านลบ

$$V_{pp} = \max(x(f)) - \min(x(t)) \quad (2.10)$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation : σ) คือ ค่าการกระจายตัว ซึ่งเป็นค่าที่เกิดจากผลรวมยกกำลังสองของผลต่างของข้อมูลแต่ละตัวกับข้อมูลเฉลี่ยแล้วหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [X_i - \bar{X}]^2} \quad (2.11)$$

เมื่อ N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

X_i คือ ข้อมูลลำดับที่ i

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

ค่าความแปรปรวน (Variance) คือ ค่าการกระจาย ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของผลรวมทั้งหมดของข้อมูลเบี่ยงเบนยกกำลังสอง

$$\text{Var} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [X_i - \bar{X}]^2 \quad (2.12)$$

ค่าความเบ้ (Skewness) คือ ลักษณะของเส้นโค้งของการแจกแจงข้อมูล ที่ไม่อยู่ในรูปสมมาตรถ้าลักษณะของเส้นโค้งสลับไปทางข้อมูลที่มีค่าสูงเรียกว่าโค้งเบ้ไปทางบวก (Positively Skewness) แต่ถ้าเส้นโค้งสลับไปทางข้อมูลที่มีค่าต่ำเรียกว่า โค้งเบ้ทางลบ (Negatively Skewness)

$$\text{Skewness} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \right]^3 \quad (2.13)$$

ค่าความโด่ง (Kurtosis) คือ ลักษณะของเส้นโค้งของการแจกแจงความถี่ว่าสูงโด่งหรือเตี้ยตามแนวตั้งลักษณะความโด่งมี 3 ประเภทคือ

- โด่งสูงสูงมากผิดปกติเรียกว่า Leptokurtic
- โด่งปานกลางเรียกว่า Mesokurtic
- โด่งน้อยกว่าปกติเรียกว่า Platykurtic

$$\text{Kurtosis} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{X_i - \bar{X}}{\sigma} \right]^4 - 3 \quad (2.14)$$

Crest Factor คืออัตราส่วนแอมป์จูดสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงหนึ่งๆ หาด้วยค่า RMS ของสัญญาณสามารถระบุช่วงที่เริ่มเกิดความเสียหายของชิ้นส่วนอุปกรณ์ เช่น แบตเตอรี่

$$\text{Crest Factor} = \frac{\text{Peak}}{\text{RMS}} \quad (2.15)$$

ค่าพลังงานของสัญญาณ (Signal Energy : E) คือ การหาผลรวมกำลังสองของ x(t) ตลอดช่วงเวลา T

$$E = \int_0^T x(t)^2 dt \quad (2.16)$$

วิธีวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลาด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นสามารถใช้ตรวจสอบสถานะเครื่องจักรกลรวมถึงพัฒนาอุตสาหกรรมด้วย พารามิเตอร์ที่ใช้ทำนานอาจมีมากกว่า 1 ชนิดขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ชนิดของสัญญาณที่บันทึก ความซับซ้อนของสัญญาณ ตำแหน่งที่วัดสัญญาณ ความซับซ้อนของโครงสร้างของเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งบางครั้งพารามิเตอร์

ต่างๆ เหล่านี้อาจไม่เหมาะสมที่จะใช้ทำนายสถานะของเครื่องจักร ดังนั้นการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่จึงเป็นแนวทางเลือกที่สามารถนำมาใช้วิเคราะห์สัญญาณซึ่งมีรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.3.5 การวิเคราะห์บนโดเมนความถี่ [6]

การแปลงฟูเรียร์ (Fourier Transforms) เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์สเปกตรัมของฟังก์ชันที่มีความต่อเนื่องด้านความถี่ การแปลงฟูเรียร์ของลูกคลื่นคือ การแยกลูกคลื่นอยู่ในภาพผลรวมของลูกคลื่นไซน์ที่มีความถี่ต่างๆ (ดังสมการที่ 2.17)

$$x(t) \rightarrow x(t_k) \equiv x(k) = x_k \rightarrow x_n \equiv \sum_{k=0}^{N-1} x(k) e^{-2\pi i \frac{nk}{N}} \quad (2.17)$$

สัญญาณบนโดเมนความถี่ที่ได้จากการแปลงสัญญาณโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ โดยสมการของการแปลงฟูเรียร์ดังสมการที่ 2.17 และสามารถแปลงกลับมาให้มาอยู่ในรูปของโดเมนเวลาได้ดังสมการที่ 2.18

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(f) e^{i 2\pi f t} dt \rightarrow X_k = \sum_{n=0}^{N-1} X_n e^{2\pi i \frac{kn}{N}} \quad (2.18)$$

จากสมการที่ 2.17 และ 2.18 f คือ ความถี่ในหน่วยเฮิรต (Hz) รูปแบบของการแปลงสัญญาณกลับจาก $x(f)$ มาเป็น $x(t)$ นี้เรียกว่า Inverse Fourier Transform และจากสมการทั้งสองสมมติว่า $x(t)$ มีคาบของสัญญาณเป็นอนันต์

การแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier Transform, FFT) คือ วิธีการแปลงสัญญาณที่อยู่ในโดเมนเวลาให้อยู่ในโดเมนความถี่อย่างรวดเร็ว เนื่องจากวิธีการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Fourier Transform) ใช้เวลาในการคำนวณมาก คือ ต้องทำการบวกจำนวนเชิงซ้อนทั้งหมด N ครั้งและคูณจำนวนเชิงซ้อนทั้งหมด N ครั้ง รวมแล้วต้องทำการคำนวณทั้งหมด N^2 ครั้ง ดังนั้นวิธีการแปลงฟูเรียร์เร็วได้พัฒนาจากการแปลงฟูเรียร์แบบไม่ต่อเนื่อง แต่มีการคำนวณเพียง $N \log_2 N$ ครั้ง เท่านั้น

2.3.6 การวิเคราะห์บนโดเมนความถี่ [7]

การแปลงสเปกตรัม (Spectrum) ของลอการิทึมของเพาเวอร์สเปกตรัม (Power Spectrum) เพื่อแสดงจุดเด่นที่เกิดขึ้นในสเปกตรัม ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับสเปกตรัมที่ใช้แสดงจุดเด่นสัญญาณที่เกิดขึ้นในโดเมนเวลา การประมวลผลสัญญาณนี้เรียกว่าการวิเคราะห์เซปสตรัม (Cepstrum)

Analysis) เนื่องจากสัญญาณโดเมนความถี่หรือสเปกตรัมจะแสดงลักษณะความเป็นคาบของยอดสัญญาณบนโดเมนความถี่ โดยยอดสเปกตรัมที่มีระยะห่างความถี่เท่ากับ RPM จะปรากฏเป็นยอดสัญญาณที่มีความถี่เท่ากับ 1/RPM บนโดเมนความถี่ การวิเคราะห์สเปกตรัมจะใช้การวิเคราะห์ชุดแถบความถี่ข้างซึ่งปกติจะมีแอมป์จุดต่ำและยอดสัญญาณมีจำนวนมาก นอกจากนี้สัญญาณจะมีแถบความถี่มากกว่าหนึ่งชุดซึ่งแต่ละชุดจะมีระยะความถี่ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการวิเคราะห์แถบความถี่ข้างบนโดเมนความถี่จึงมีความยุ่งยากและเสียเวลามาก การใช้การวิเคราะห์สเปกตรัมสามารถช่วยประหยัดเวลาและลดความยุ่งยากดังกล่าวข้างต้น สเปกตรัมมีจุดยอดที่ตรงกับระยะห่างฮาร์มอนิกและแถบความถี่ด้านข้างสเปกตรัมมีด้วยกัน 2 แบบ ได้แก่ เพาเวอร์สเปกตรัม และสเปกตรัมเชิงซ้อนเป็นองค์ประกอบเฟสเช่นเดียวกันกับลอการิทึมแอมป์จุดต่ำแต่ละความถี่ในสเปกตรัม

สมการของเพาเวอร์สเปกตรัมแสดงดังสมการที่ 2.19

$$C_p(\pi) = \mathcal{F}^{-1}\{\log F_{xx}(f)\} \quad (2.19)$$

สมการของสเปกตรัมเชิงซ้อน แสดงดังสมการที่ 2.20

$$C_c(\tau) = \mathcal{F}^{-1}\{\log F(f)\}$$

เมื่อ $F_{xx}(f)$ คือ เพาเวอร์สเปกตรัม

$f(f)$ คือ สเปกตรัมเชิงซ้อนหรือการแปลงฟูเรียร์

$\mathcal{F}^{-1}$ คือ การแปลงฟูเรียร์ย้อนกลับ

(2.20)

$$F(f) = \mathcal{F}\{f(t)\} = A(f) \cdot e^{j\phi(f)}$$

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงเวลา 5-10 ปี ย้อนหลังไปนี้หลายงานวิจัยที่พัฒนาระบบการวิเคราะห์การสั่นหรือของมีดกลึงในเครื่องกลึงและเครื่องกัด CNC เพื่อที่จะลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สามารถแข่งขันได้ โดยมีการตรวจสอบสภาวะการสั่นหรือของมีดกลึงในการทำงานรูปแบบต่างๆ อาทิ A.Rivero ได้เสนอวิธีการทำนายการสั่นหรือโดยใช้สัญญาณไฟฟ้าจากคอนโทรลเลอร์ ของเครื่องกัด CNC สามารถจับสัญญาณความถี่ของการกัดงานเมื่อมีการกัดไปแล้วระยะหนึ่งเห็นความแตกต่างของสัญญาณขณะที่มีดสึก แต่ยังคงเป็นการทดลองในกรณีเฉพาะกรณีหนึ่ง [8]

พรชัย นิเวศน์รังสรรค์; และชัชชัย ไชยชนะ [6] ได้เสนอแนวคิดในการตรวจสอบสถานะของมิดกลิ้งด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน โดยใช้พารามิเตอร์ทางสถิติและการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วมาช่วยในการวิเคราะห์ผล พารามิเตอร์ทางสถิติที่ใช้คือ ค่าเฉลี่ย ความเบ้ ค่าความโด่ง ค่าความแปรปรวน และ Crest Factor ผลที่ได้คือค่าเฉลี่ย และค่าแปรปรวนสามารถทำนายสถานะของมิดได้ ดังนั้นจึงต้องการที่ใช้พารามิเตอร์ทางสถิติในการวิเคราะห์เพื่อที่จะได้ใช้ทำนายสถานะของมิดกลิ้งให้ถูกต้องและชัดเจนมากขึ้น โดยอาศัยพารามิเตอร์ทางสถิติอื่นๆ

วชิรวิทย์ สงสุวรรณ์; และพรชัย นิเวศน์รังสรรค์ [9] ได้เสนอการตรวจสอบพัดลมอัดอากาศด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณอนุสติกอิมิตชัน โดยพบว่าในโดเมนเวลาพารามิเตอร์ ความเบ้และความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของสัญญาณการสั่นสะเทือนให้ผลการทำนายดีกว่าสัญญาณ อนุสติกอิมิตชัน แต่ในโดเมนความถี่สัญญาณอนุสติกอิมิตชันให้สัญญาณได้ชัดเจนกว่า

วชิรวิทย์ สงสุวรรณ์; และพรชัย นิเวศน์รังสรรค์ ถัดมา ในปี 2013 D.M. D'Addona* และ R.Teti เสนอวิธีการตรวจสอบการสึกหรอด้วยภาพ ร่วมกับ Neural Networks ซึ่งพยายามที่จะแยกแยะภาพมิดปกติ และมิดสึกหรอ ยังต้องมีการปรับปรุงอุปกรณ์ให้สามารถจับภาพได้แม่นยำต่อไป ในแต่ละปีจะมีการนำเสนองานวิจัยในการตรวจสอบการสึกของมิดกลิ้งหลายๆ งานวิจัย ในหลายๆ แนวทาง ซึ่งในทางปฏิบัติ มิดกลิ้งมีหลายชนิด แต่ละชนิดทำจากวัสดุต่างๆ กัน ซึ่งล้วนเป็นตัวแทนที่ต้องทดลองในหลายๆ สถานะเพื่อทำเป็นฐานข้อมูลต่อไป [10]

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ทำการเก็บสัญญาณการสั่นสะเทือนของมีดกลึง ชนิดรูปสามเหลี่ยมสำหรับกลึงงานละเอียด โดยเริ่มกลึงตั้งแต่มีดใหม่สภาวะปกติ จนกระทั่งมีดกลึงสึก โดยใช้โปรแกรมแลปวิว (LABVIEW) ในการเก็บข้อมูลสัญญาณ และแปลงข้อมูล พร้อมทั้งวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยโปรแกรมแมทแลป (MATLAB) โดยเน้นวิเคราะห์ในโดเมนเวลาเป็นหลัก

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการทดลอง โดยใช้เครื่องกลึงซีเอ็นซี ยี่ห้อ GOODWAY ของบริษัท แอทเทนชั่น เอ็นจิเนียริง จำกัด โดยใช้มีดกลึง Carbide Insert ชนิดรูปสามเหลี่ยม สำหรับกลึงงานผิวละเอียด ที่มี Nose Radius 0.4 mm. กลึงวัสดุ Carbon Steel S45C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm. ความยาว 200 mm. กลึงความยาว 150 mm. โดยเริ่มกลึงตั้งแต่มีดใหม่จนกระทั่ง มีดสึก ตามเงื่อนไข ดังนี้ Cutting Speed 200 m/min Depth of cut 1.0 mm. Feed rate 0.2 mm/rev. ใช้ Accelerometer MTN/1100C ในการจับสัญญาณการสั่นสะเทือน 2 แกน และ Proximity Sensor ติดตั้งด้านหัวจับงาน เพื่อใช้วัดความเร็วรอบ โดยมีรายละเอียด อุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

3.2.1 เครื่องกลึงซีเอ็นซี ยี่ห้อ GOODWAY Model GCL-2



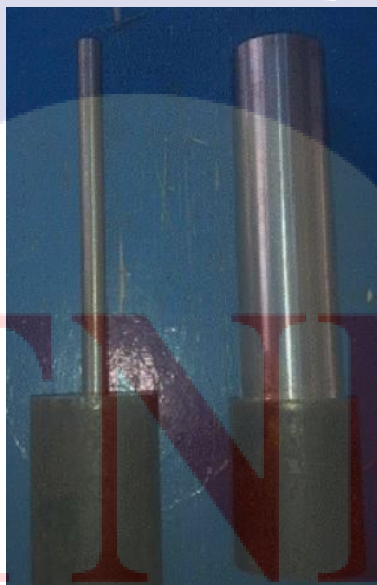
รูปที่ 3.1 เครื่องกลึงซีเอ็นซี ยี่ห้อ GOODWAY Model GCL-2

3.2.2 มีดกลึง งานละเอียด ชนิดรูปสามเหลี่ยม Nose Radius 0.4 mm.



รูปที่ 3.2 มีดกลึง งานละเอียด ฟอรั่มสามเหลี่ยม Nose Radius 0.4 mm.

3.2.3 ชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.3 ชิ้นงาน (Specimen) Carbon Steel S45C เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. ยาว 200 มม. บริเวณ
ที่กลึงยาว 150 มม.

3.2.4 Accelerometer MTN1100C



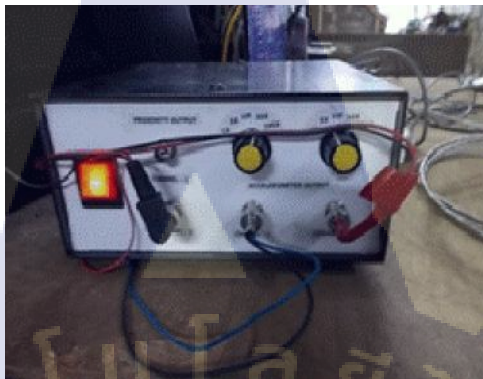
รูปที่ 3.4 Accelerometer Model MTN1100C with Magnetic

3.2.5 Proximity Sensor



รูปที่ 3.5 Proximity Sensor with Clamp

3.2.6 I/O Interface



รูปที่ 3.6 Proximity Sensor with Clamp

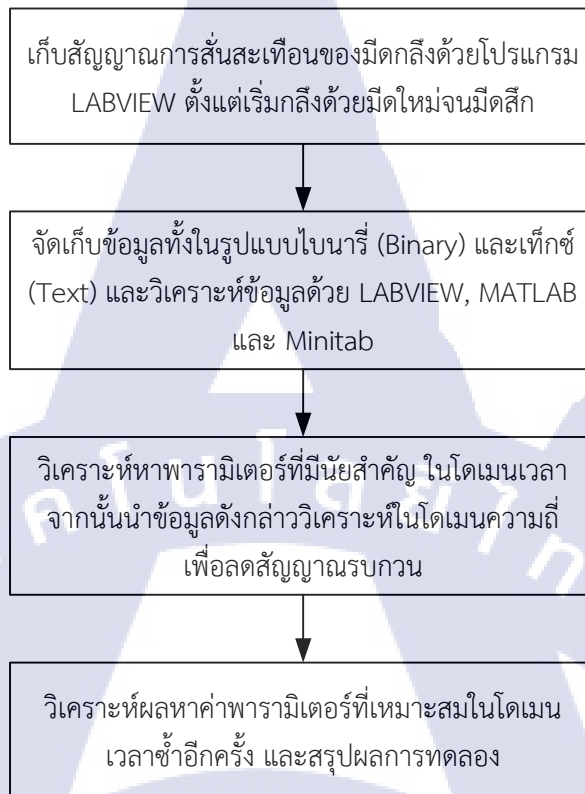
3.2.7 Notebook



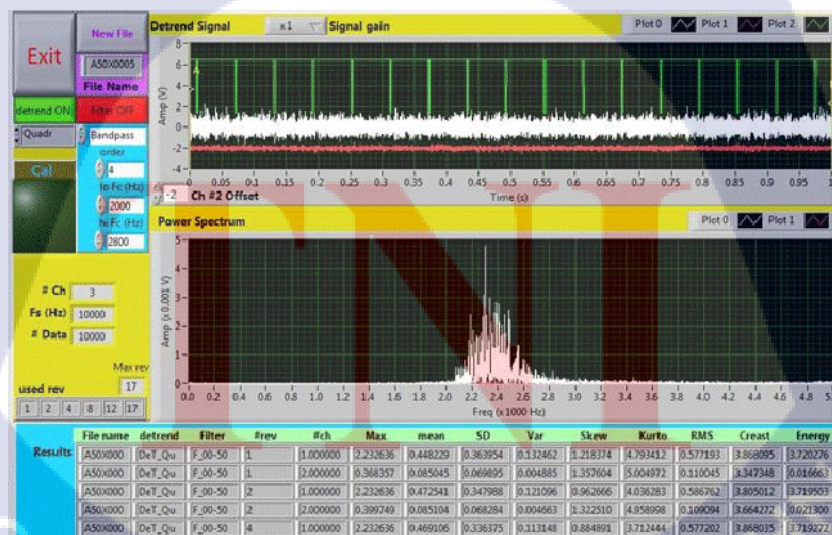
รูปที่ 3.7 Notebook with Program LABVIEW

3.3 แผนการทดลอง

ตามแผนการวิจัย ดังรูปที่ 3.8 จัดเก็บสัญญาณโดยใช้ Accelerometer เป็นตัวจับสัญญาณการสั่น ใน 2 แกน รวมถึงสัญญาณจาก Proximity Sensor เก็บโดยผ่านโปรแกรม LABVIEW ตามรูปที่ 3.9 เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม LABVIEW และ MATLAB ในโดเมนเวลาเป็นหลัก และโดเมนความถี่บางส่วน เพื่อสามารถหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์สภาวะการสึกหรอของมีดกลึง



รูปที่ 3.8 แผนการวิจัย



รูปที่ 3.9 หน้าจอ LABVIEW Application เพื่อเก็บข้อมูล

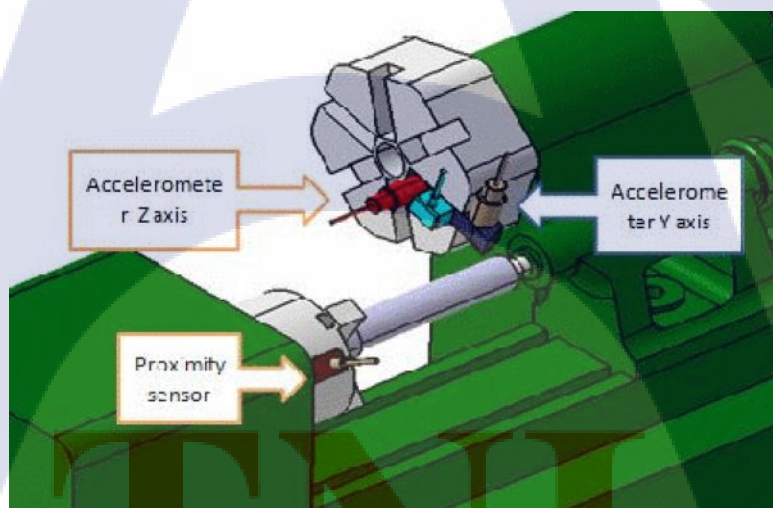
3.3.1 การติดตั้งอุปกรณ์

การทดลองนี้ได้ติดตั้ง MTN/1100C Accelerometer ในการจับสัญญาณการสั่นสะเทือนที่แกน Y, Z และติดตั้ง Proximity Sensor ที่ด้านข้างของหัวจับงาน ตามรูปที่ 3.10 ต่อสัญญาณเข้ากับส่วนขยายสัญญาณ และ DAQ Card สำหรับเชื่อมต่อโปรแกรม LABVIEW ตั้งค่าความถี่ในการเก็บสัญญาณอยู่ที่ 10,000 Hz

ในส่วนของอุปกรณ์กลึง ใช้มีดกลึงละเอียด ชนิดรูปสามเหลี่ยม Nose Radius 0.4 ตามรูปที่ 3.5 และกลึงชิ้นงานเหล็กแข็งเกรด S45C ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm. ยาว 200 mm. กลึงที่ความยาวระยะ ตั้งแต่ 0-150 mm.

3.3.2 เงื่อนไขในการกลึง

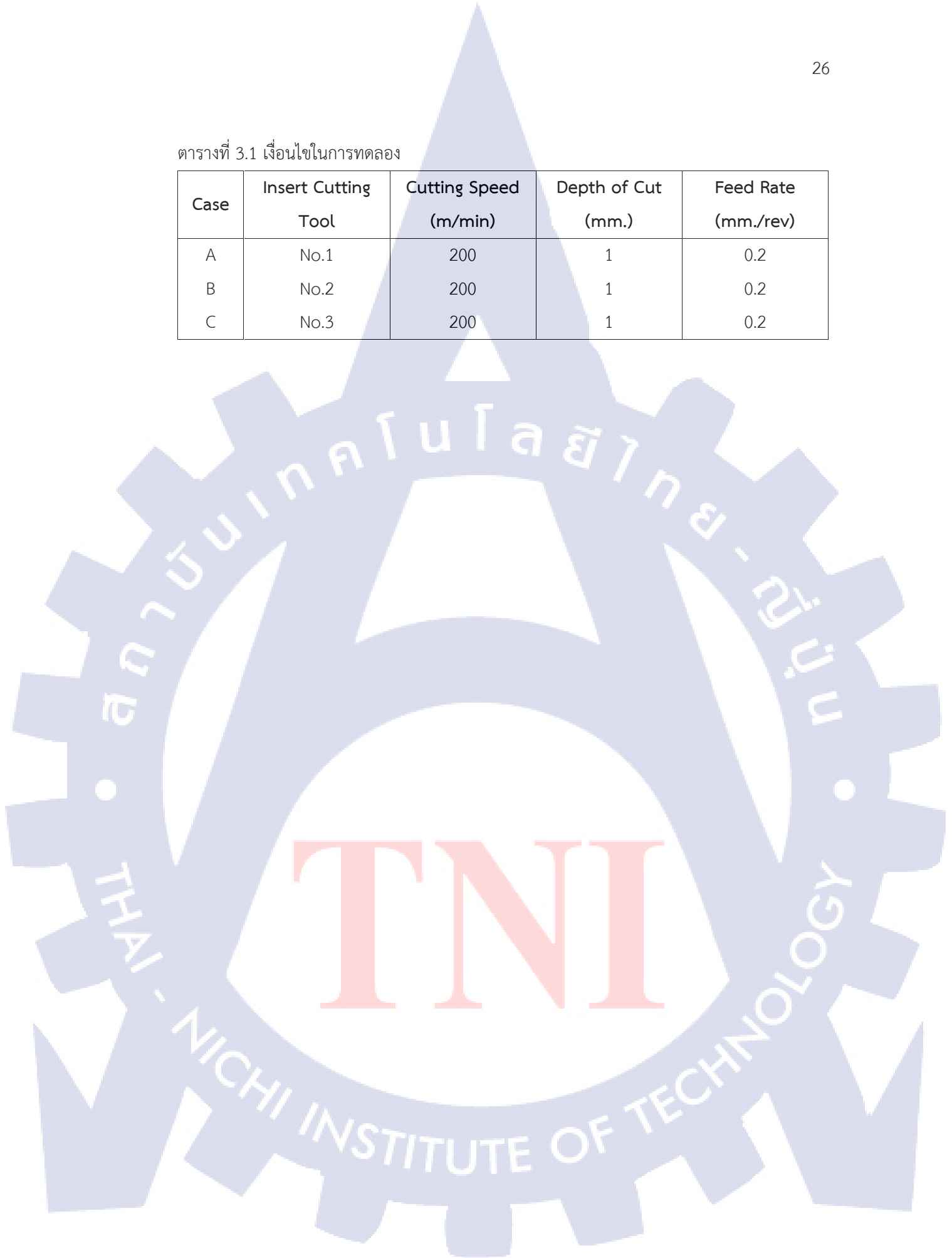
การทดลองนี้จะทำการกลึงงาน โดยเริ่มตั้งแต่มีดสภาพใหม่ กลึงจนกระทั่งมีดเกิดการสึกหรอ ใช้เงื่อนไขการกลึงเดียวกัน กลึงทั้งสิ้น 3 รอบการทดลอง ดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.10 การติดตั้งอุปกรณ์บนเครื่อง

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขในการทดลอง

Case	Insert Cutting Tool	Cutting Speed (m/min)	Depth of Cut (mm.)	Feed Rate (mm./rev)
A	No.1	200	1	0.2
B	No.2	200	1	0.2
C	No.3	200	1	0.2



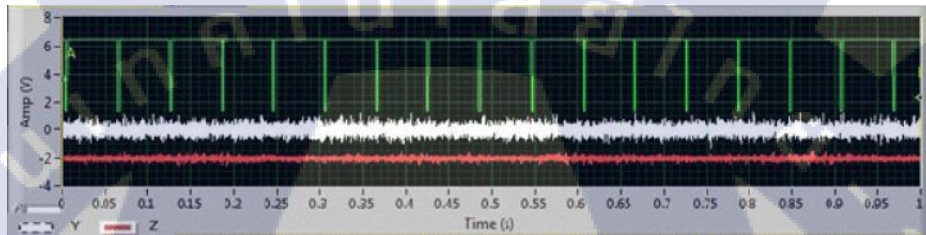
TNI

บทที่ 4

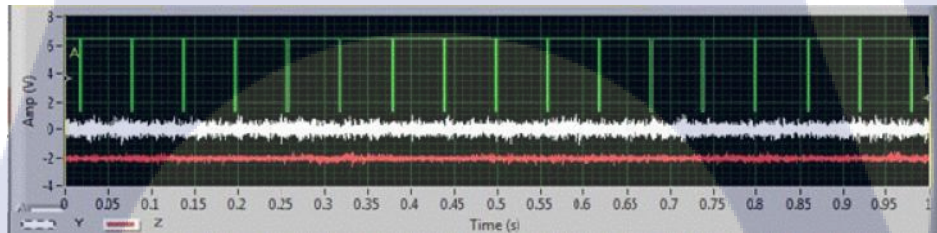
ผลการทดลอง

จากการทดลองกลึงชิ้นงานตามเงื่อนไขที่ Cutting Speed 200 mm./min, Depth of cut 1.0 mm., Feed Rate 0.2 mm./rev จะได้ภาพสัญญาณการเก็บข้อมูลการสั่นสะเทือนด้วยโปรแกรม LABVIEW ตามรูปต่างๆ ดังนี้

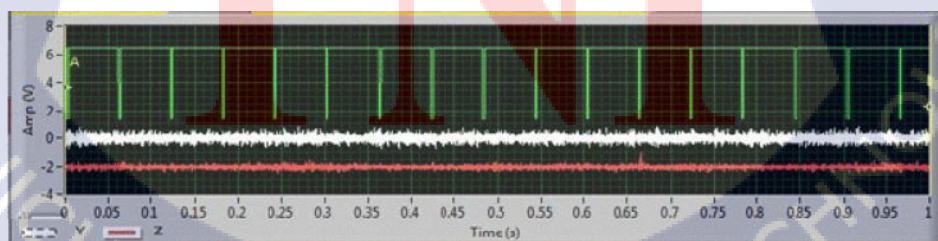
4.1 วิเคราะห์สัญญาณในโดเมนเวลา



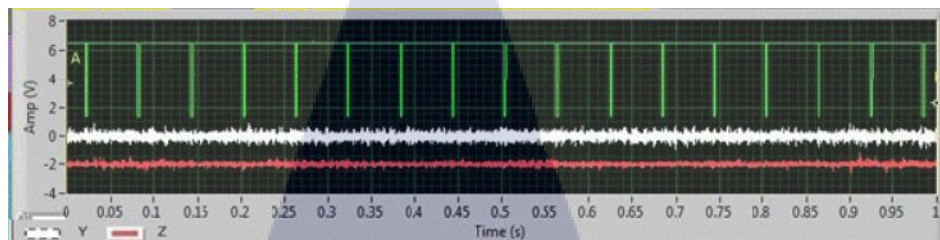
รูปที่ 4.1 สัญญาณการสั่นสะเทือนช่วงที่ 1



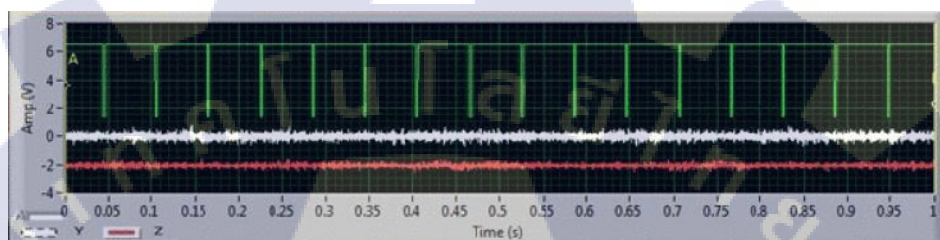
รูปที่ 4.2 สัญญาณการสั่นสะเทือนช่วงที่ 2



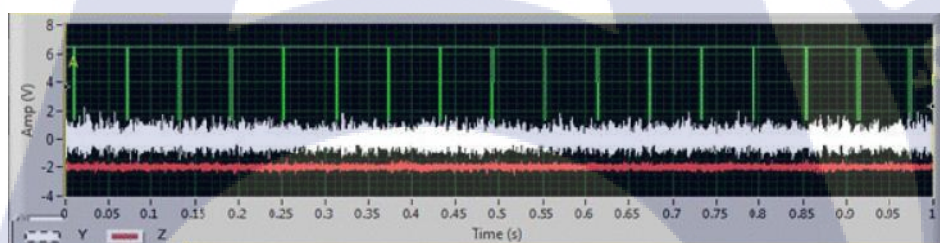
รูปที่ 4.3 สัญญาณการสั่นสะเทือนช่วงที่ 3



รูปที่ 4.4 สัญญาณการสั่นสะเทือนช่วงที่ 4



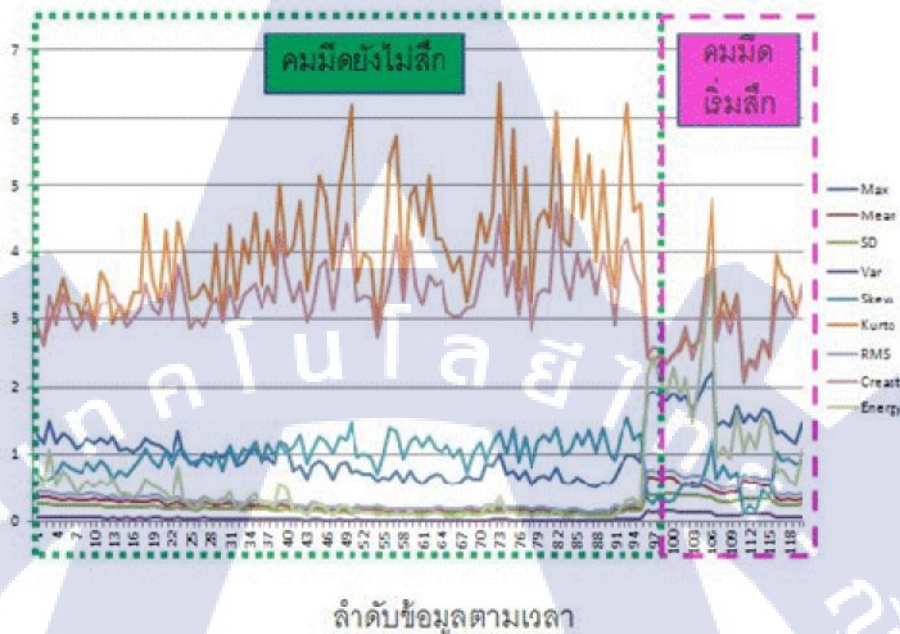
รูปที่ 4.5 สัญญาณการสั่นสะเทือนช่วงที่ 5



รูปที่ 4.6 สัญญาณการสั่นสะเทือนช่วงที่ 6

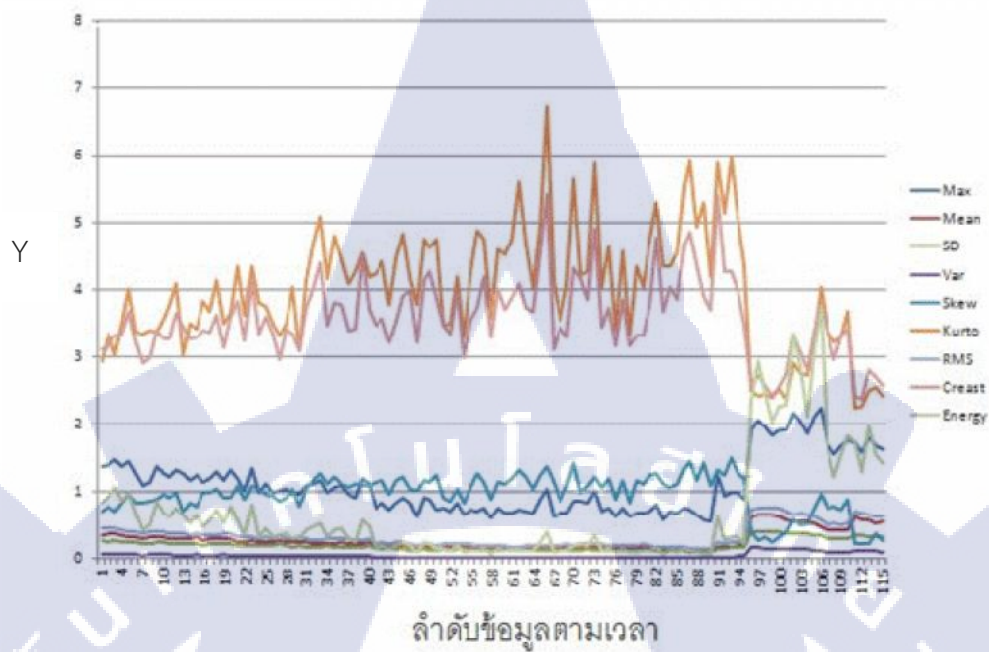
ในการเก็บข้อมูล ตลอดการกลิ้งงาน โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นช่วงต่างๆ 6 ช่วง โดยใช้หลักการแบ่งช่วงดังนี้ ช่วงที่มีดิสก์ เป็นช่วงที่ 6 ส่วนในช่วงที่มีดิสก์ยังปกติ แบ่งออกเป็น 5 ช่วงเท่าๆ กัน พบว่าสัญญาณในแนວแกน Z ให้ผลที่ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด แตกต่างจากสัญญาณในแนວแกน Y ที่ให้ผลเปลี่ยนแปลงชัดเจนตั้งแต่เริ่มกลิ้งงานจนกระทั่งงานสีก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์ผลที่ได้จากแนວแกน Y เพียงแนວแกนเดียว

จากผลข้อมูลที่ได้เมื่อถูกแปลงค่าสัญญาณเป็นข้อมูล และนำมาวิเคราะห์ภาพรวม ต่อไป

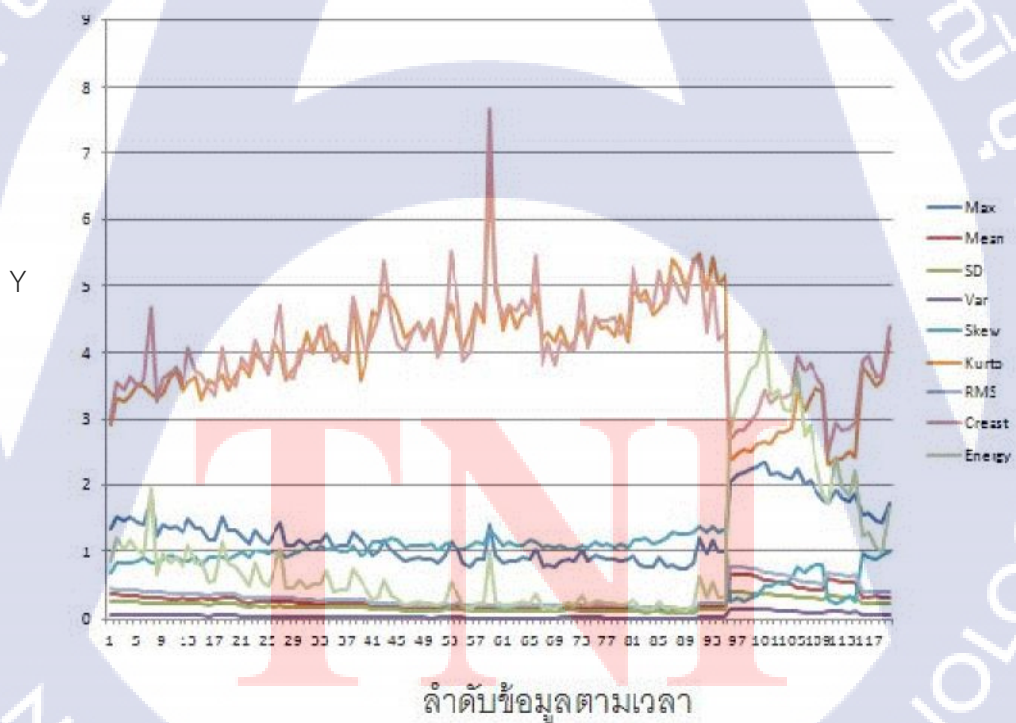
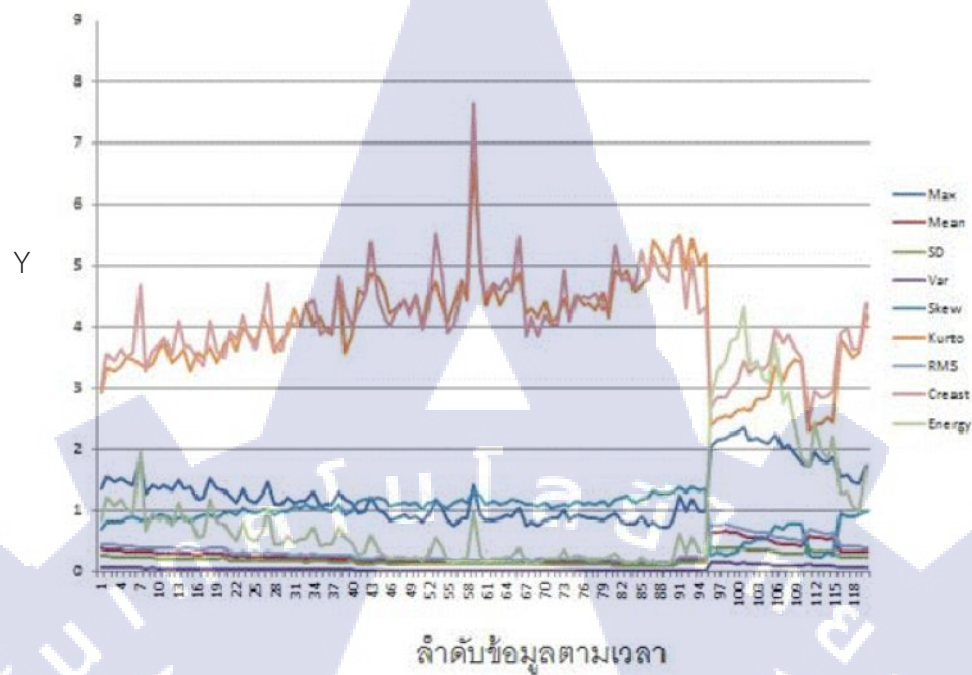


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลึง Case A แสดงผลในค่า Maximum, Mean, Standard Deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy ที่ Revolution 1

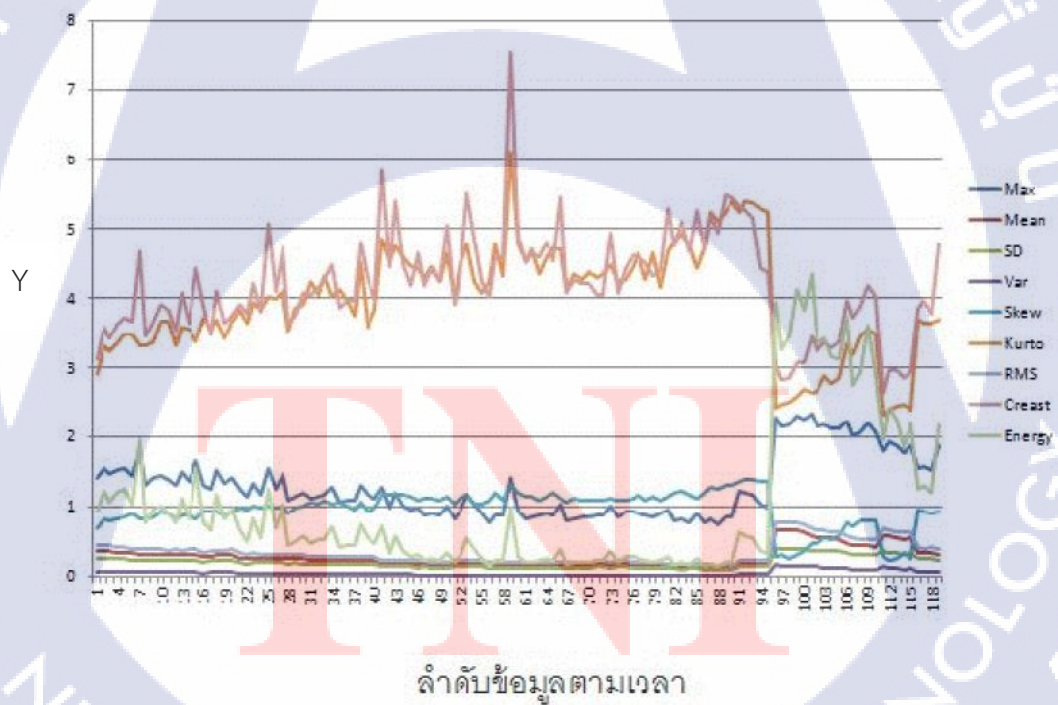
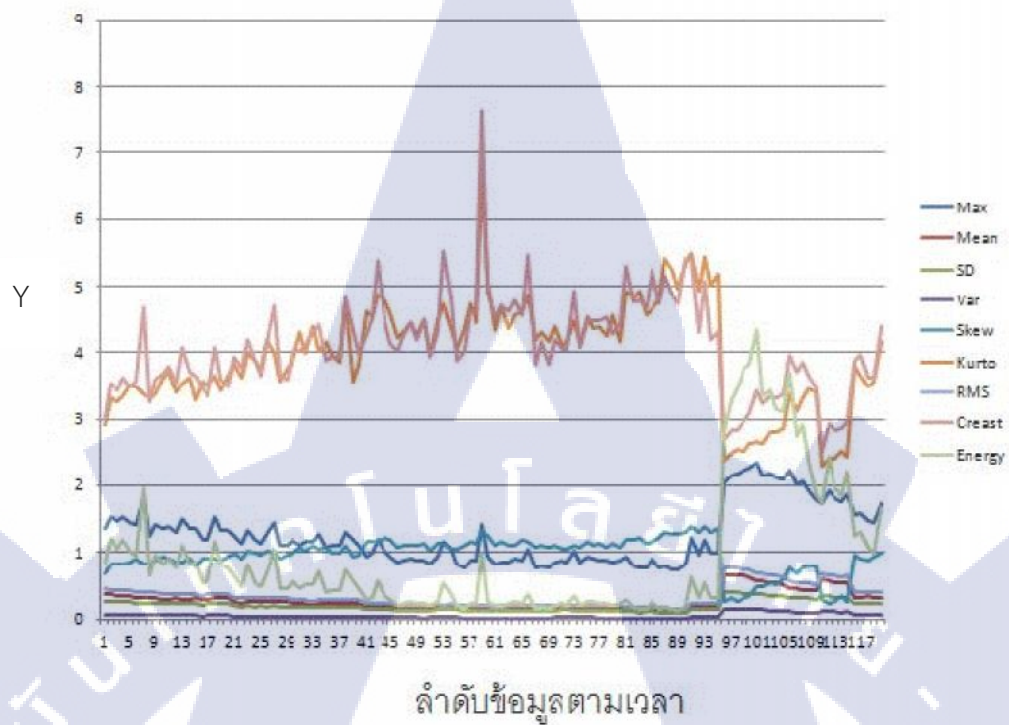
จากรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นแนวโน้มค่าต่างๆ ได้แก่ Maximum, Mean, Standard Deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy และมีความแตกต่างชัดเจนในกลุ่มมีดปกติ และมีดสึก โดยจุดที่เกิดมีดสึกเกิดจากการพิจารณา ทางกายภาพของชิ้นงานที่มีความหยาบของผิวมากกว่าปกติ เทียบกับผิวสึกตามมาตรฐานจากนั้นได้ลองเทียบข้อมูลจากการเก็บข้อมูลใน Revolution ที่ 2, 4, 8, และ 12 พบว่าให้ผลลัพธ์ในแนวโน้มที่ไม่ต่างกันดังรูปที่ 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลึง Case A แสดงผลในค่า Maximum, Mean, Standard Deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy ที่ Revolution 2



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลึง Case A แสดงผลในค่า Maximum, Mean, Standard Deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy ที่ Revolution 4 และ 8 ตามลำดับ

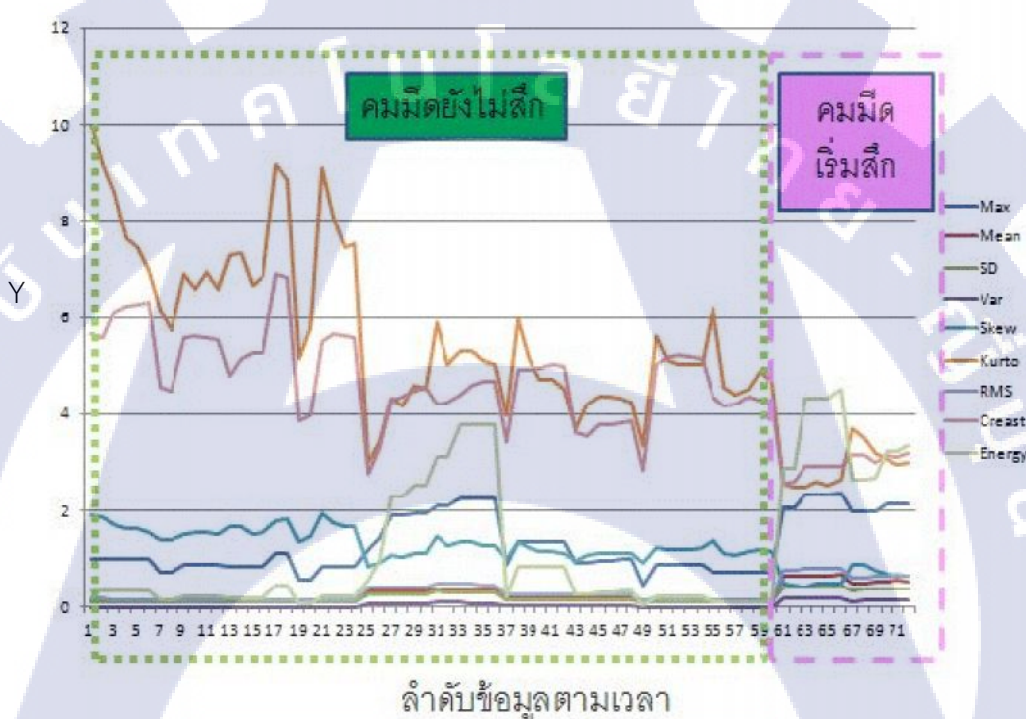


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลึง Case A แสดงผลในค่า Maximum, Mean, Standard Deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy ที่ Revolution 12 และ 16 ตามลำดับ

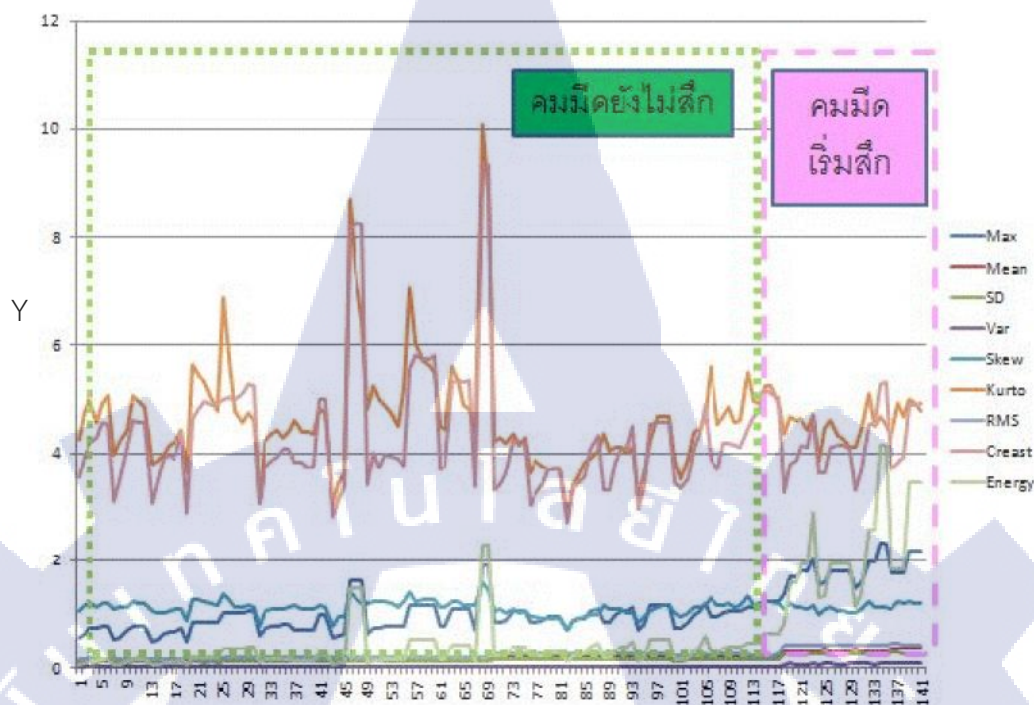
จากการเปรียบเทียบ ค่า Maximum, Mean, Standard Deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy ที่ Revolution ต่าง ในการกลึงงานให้ผลและแนวโน้มที่ใกล้เคียงกัน

จากการพิจารณา Revolution ที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูล ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า การเก็บข้อมูลด้วย Revolution ต่างๆ ให้ผลที่เทียบเท่ากัน ดังมีรายละเอียดในหัวข้อ 4.4

เพื่อให้มีข้อมูลถูกพิจารณาให้ครบถ้วน วิเคราะห์ลักษณะเดียวกันนี้ที่ กลุ่มข้อมูลชุดที่ 2 และ 3 ต่อไปโดยพิจารณาเพียง Revolution 1

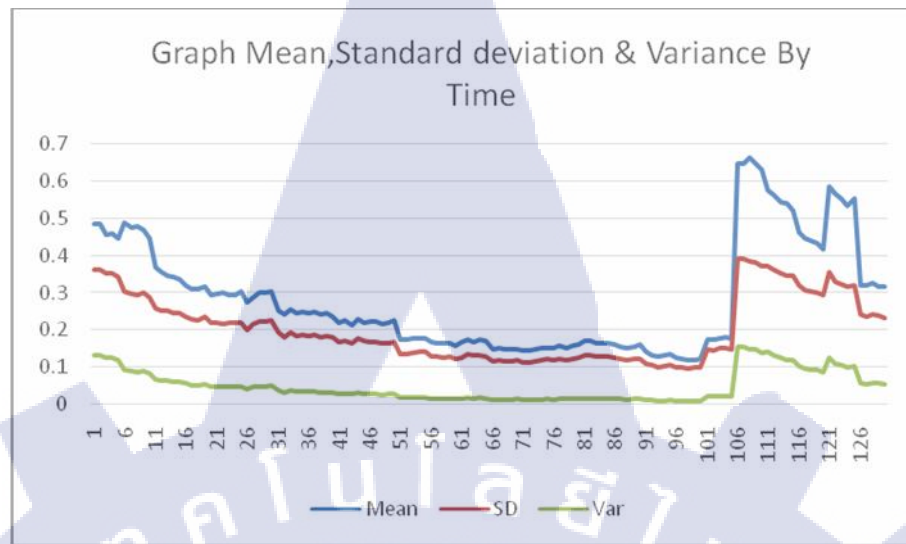


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลึง Case B แสดงผลในค่า Maximum, Mean, Standard Deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy ที่ Revolution 1

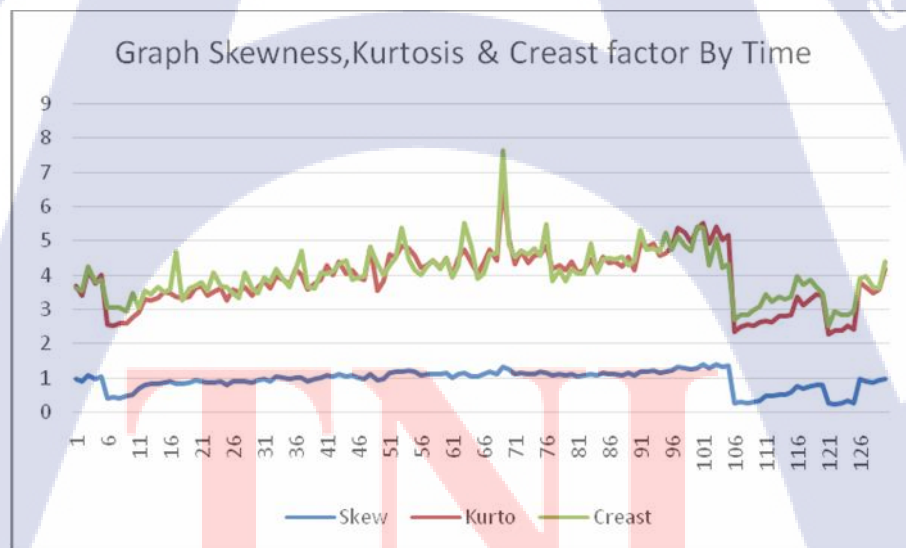


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลึง Case C ตามลำดับ แสดงผลในค่า Maximum, Mean, Standard deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy ที่ Revolution 1

จากภาพรวม ของกราฟเส้นทั้ง 4 การทดลอง พบว่า ลักษณะกราฟมีแนวโน้มที่ไปในทิศทางเดียวกัน และในจุดที่มีการสึก พบการเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆที่ชัดเจน โดยเฉพาะค่า Mean, Standard Deviation, Kurtosis และ Skewness เป็นต้น และเพื่อให้เห็นภาพชัดเจนขึ้นจะทำการดึงกราฟในแต่ละค่า แยกออกมาพิจารณา ตามกลุ่มแนวโน้มที่สอดคล้องกัน โดยทำในกรณี A ดังนี้ จากกราฟ รูปที่ 4.13 สามารถแยกกลุ่มกราฟเส้น ที่มีแนวโน้มสอดคล้องกัน ดังนี้

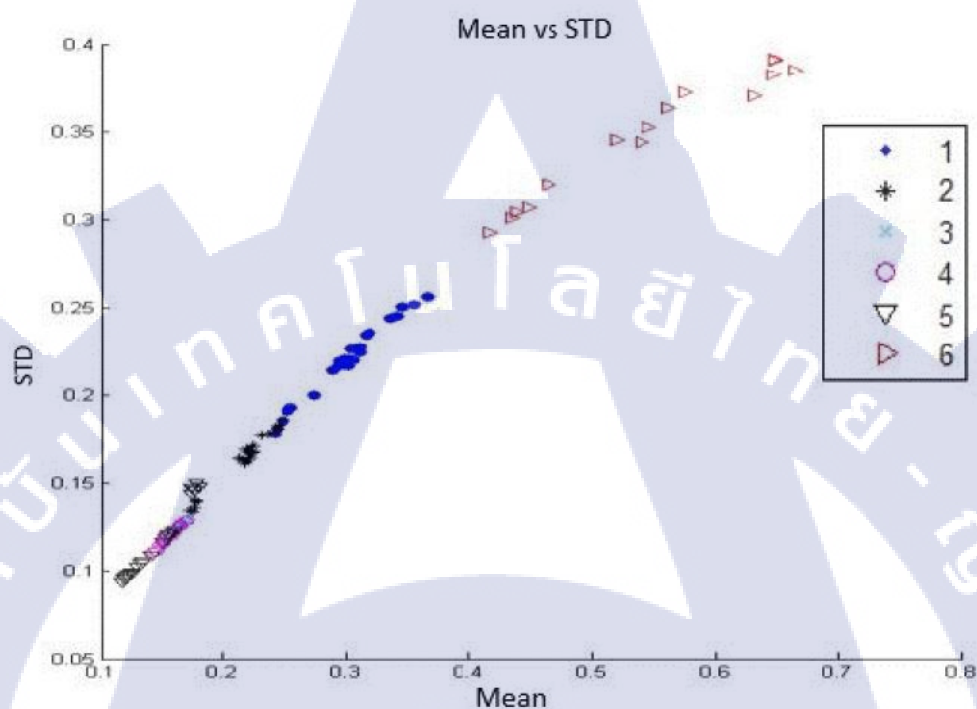


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลึง Case A แสดงผลเฉพาะในค่า Mean, Standard Deviation, Variance ที่ Revolution 1

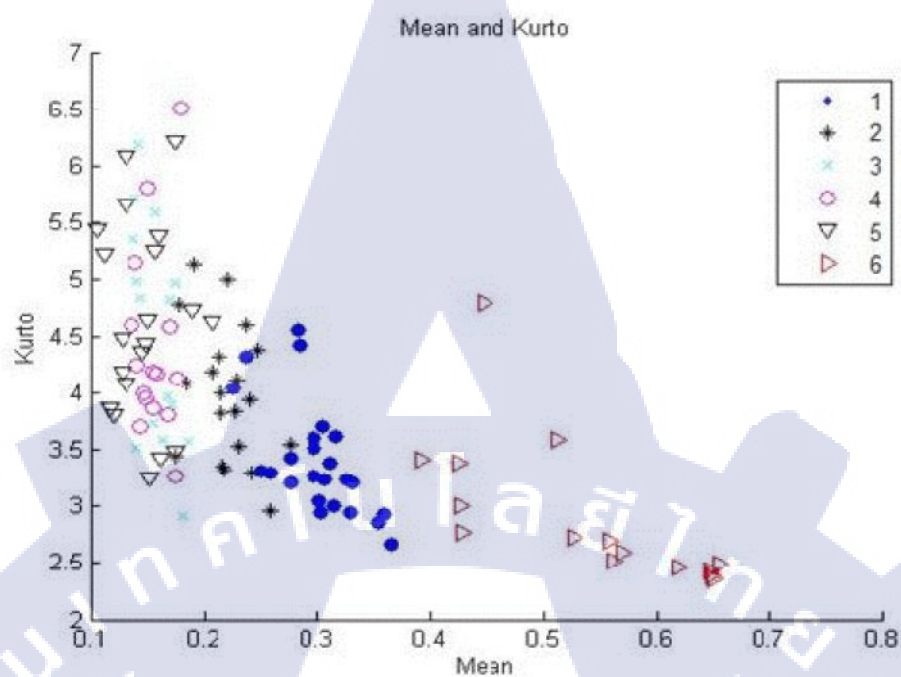


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลึง Case A แสดงผลเฉพาะในค่า Skewness, Kurtosis, Crest Factor ที่ Rev 1

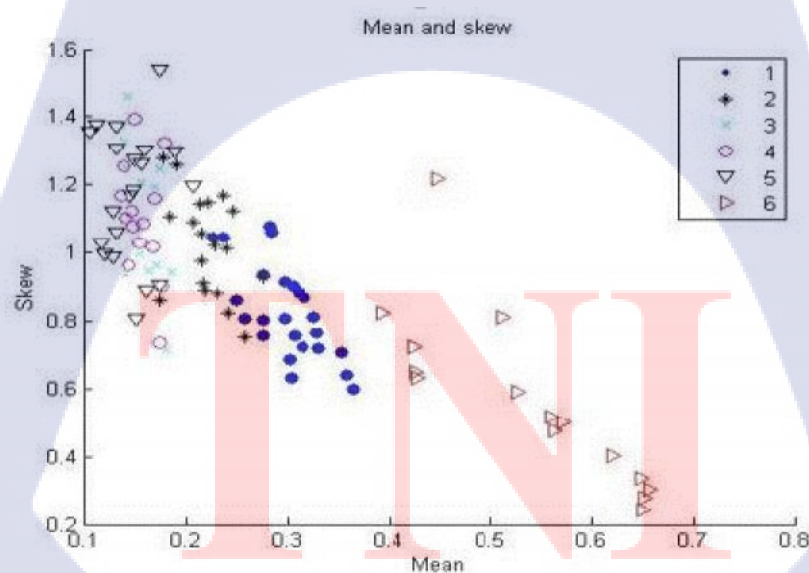
จากนั้นนำพารามิเตอร์มาทำสเกเตอร์พล็อต (Scatter Plot) เพื่อหาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ในโดเมนเวลา โดยจับคู่พารามิเตอร์ต่างๆ เป็นคู่ๆ ตามข้อมูลเวลาในแต่ละช่วง โดยแบ่งเป็น 6 ช่วงเวลาที่ 1-5 เป็นช่วงเวลาที่มียังไม่สึก และช่วงเวลาที่ 6 เป็นช่วงเวลาที่มียึดสึกดังนี้



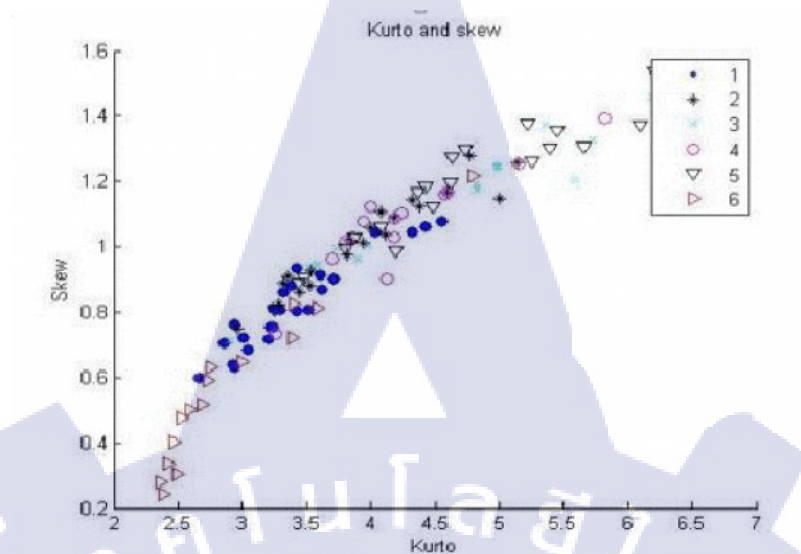
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Standard Deviation ของ Case A



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Kurtosis ของ Case A

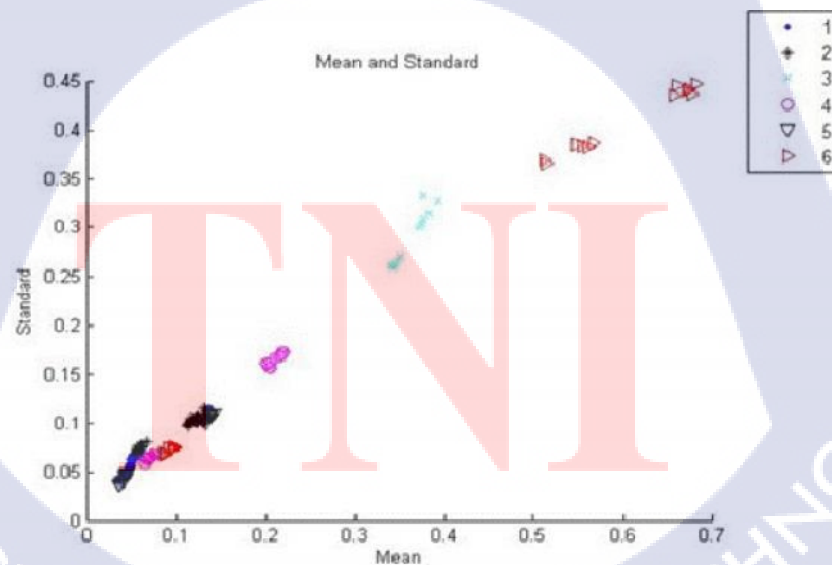


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Skewness ของ Case A

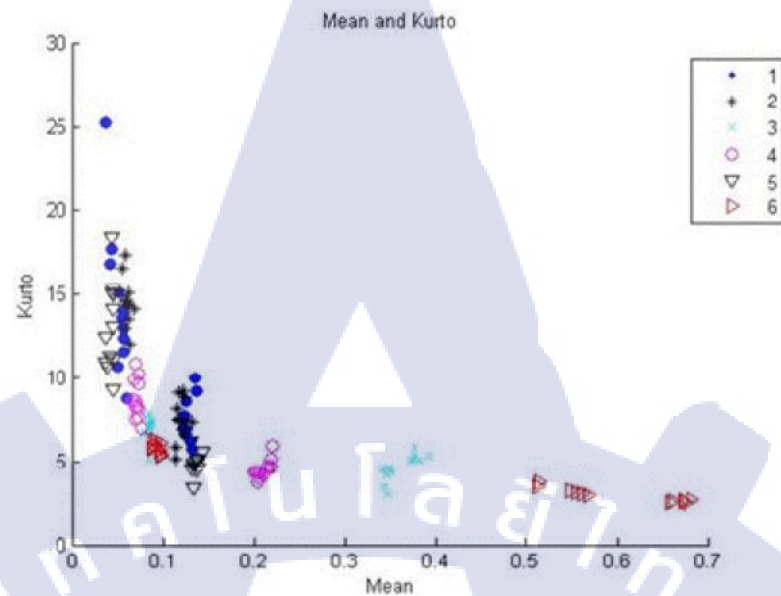


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงสัญญาณการสันสะท้อนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Kurtosis และ Skewness ของ Case A

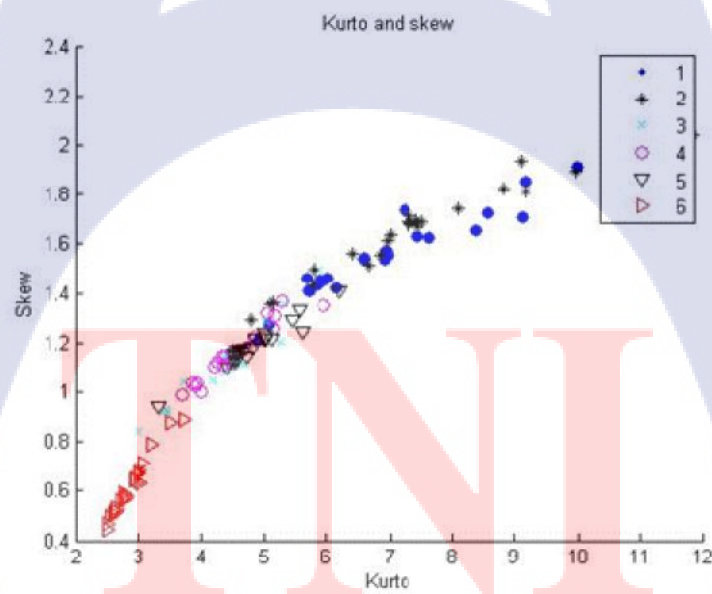
จาก Scatter Plot ทั้งหมดข้างต้น ชี้ให้เห็นว่าพารามิเตอร์ Mean, และ Standard Deviation สามารถแยกข้อมูลมีดปกติและมีดสึกได้ ชัดเจนกว่าพารามิเตอร์อื่นๆ
ทำการ Scatter Plot เพิ่มเติมใน Case อื่นๆ เพื่อยืนยันข้อมูล



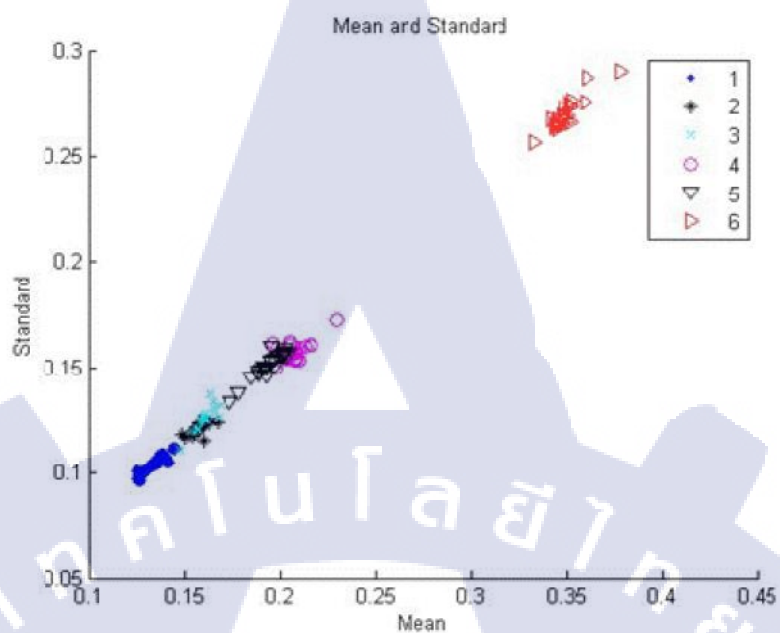
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงสัญญาณการสันสะท้อนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Standard Deviation ของ Case B



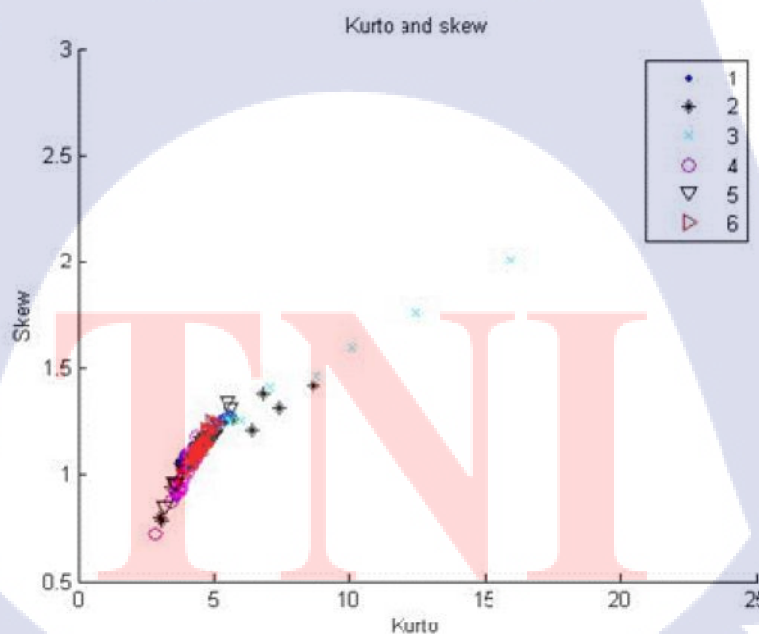
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Kurtosis ของ Case B



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Kurtosis และ Skewness ของ Case B



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Standard ของ Case C



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Kurtosis และ Skewness ของ Case C

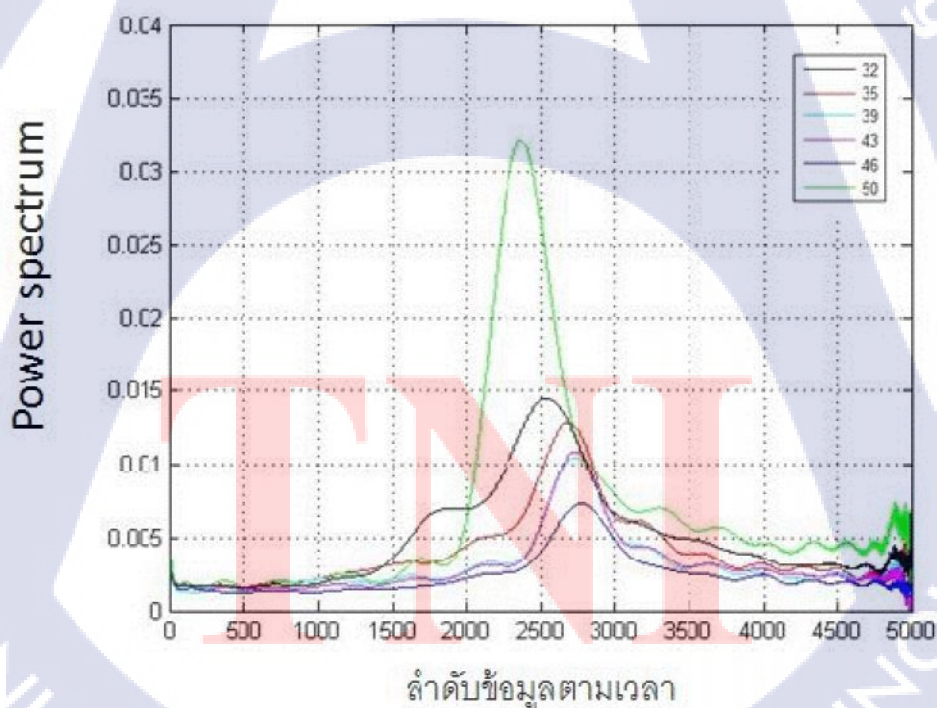
จาก Scatter Plot ข้างต้น แยกตามข้อมูล Case ต่างๆ ก็ให้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกัน คือ พารามิเตอร์ Mean และ Standard Deviation สามารถแยกค่าระหว่างมีดสีก และมีดปกติได้

เพื่อให้ข้อมูลชัดเจนขึ้น จะใช้การแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier transform : FFT) เพื่อทำการกรองข้อมูลในส่วนเป็นสัญญาณรบกวนออกไป และเน้นข้อมูลในช่วงที่สนใจ ในการวิเคราะห์ด้วย โดเมนความถี่ในหัวข้อถัดไป

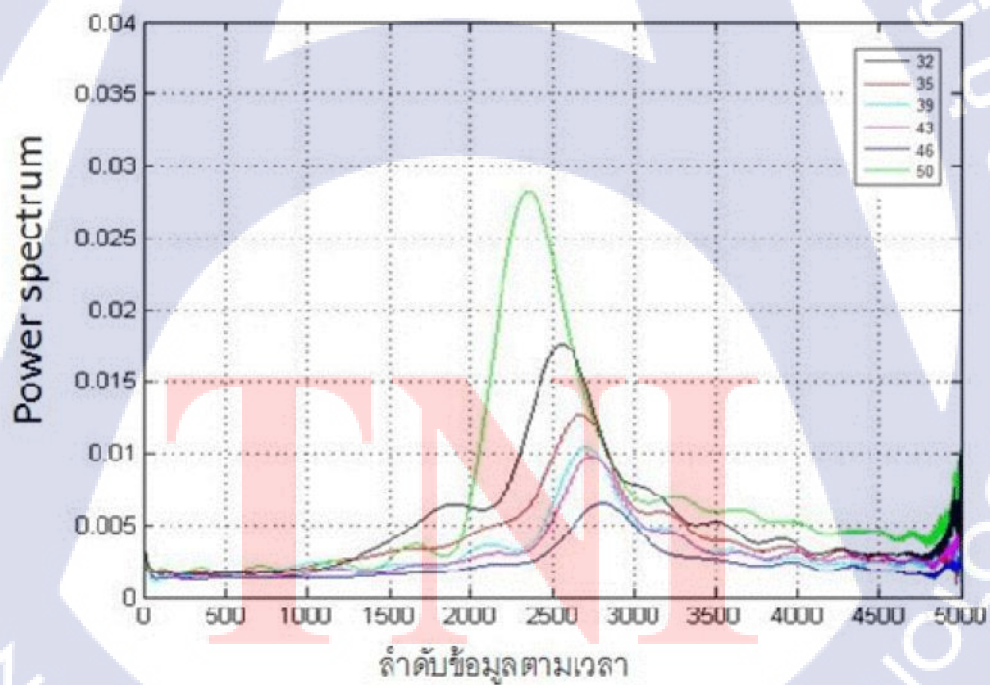
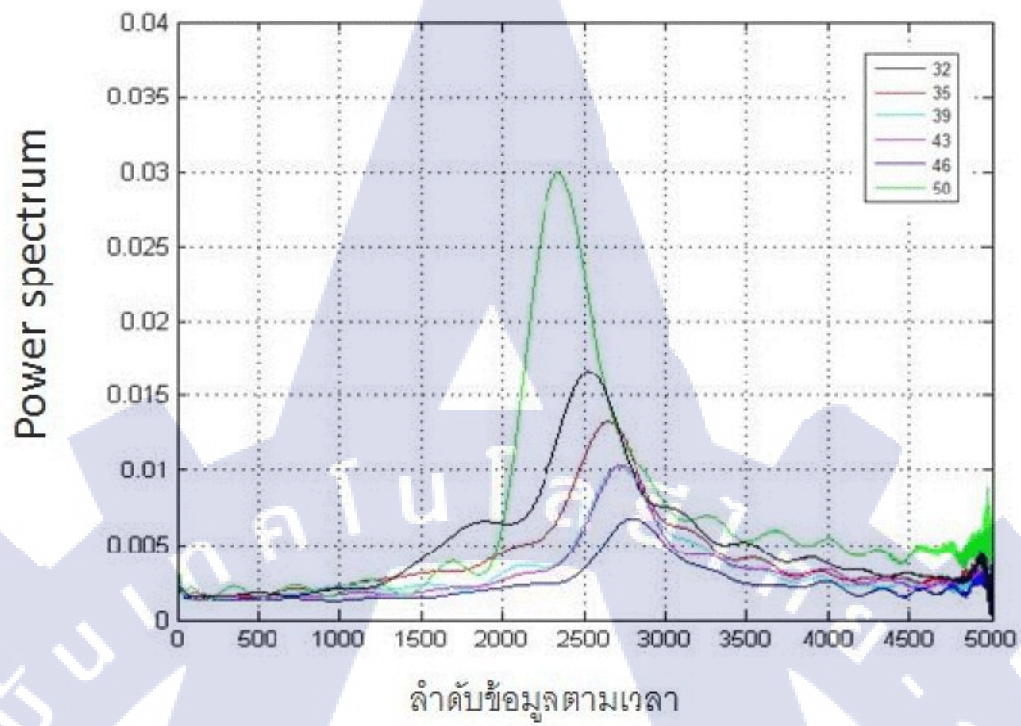
4.2 การวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่

จากผลการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนในโดเมนเวลา เป็นสัญญาณที่ดึงเอาข้อมูลในโดเมนเวลาในทุกๆ ความถี่ ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลมีสัญญาณรบกวนในความถี่ที่ไม่เกี่ยวข้อง ซึ่งถูกรวมในข้อมูลข้างต้นด้วย ในการวิเคราะห์ในส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลในโดเมนความถี่ เพื่อกรองสัญญาณที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปแล้วจึงกลับมาแยกวิเคราะห์ในโดเมนเวลาต่อไปในความถี่ที่ถูกกรองแล้ว

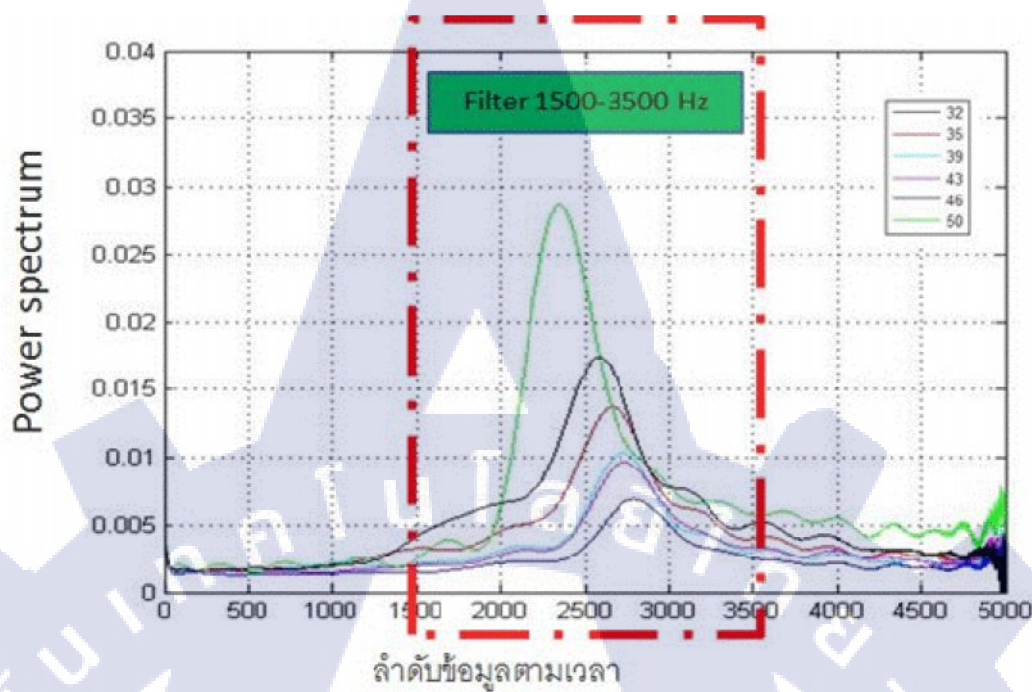
การวิเคราะห์ข้อมูลในโดเมนความถี่ ต้องนำค่ามาคำนวณในรูป Fast Fourier Transform หาค่า Power Spectrum Density เทียบกับความถี่ ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 4.24 กราฟ Power Spectrum แสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลึงกับความถี่ของไฟล์ข้อมูล 5 ในแต่ละช่วงเวลา Case A



รูปที่ 4.25 กราฟ Power Spectrum แสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลึงกับความถี่ของไฟล์
ข้อมูลที่ 10 และ 15 ในแต่ละช่วงเวลา Case A

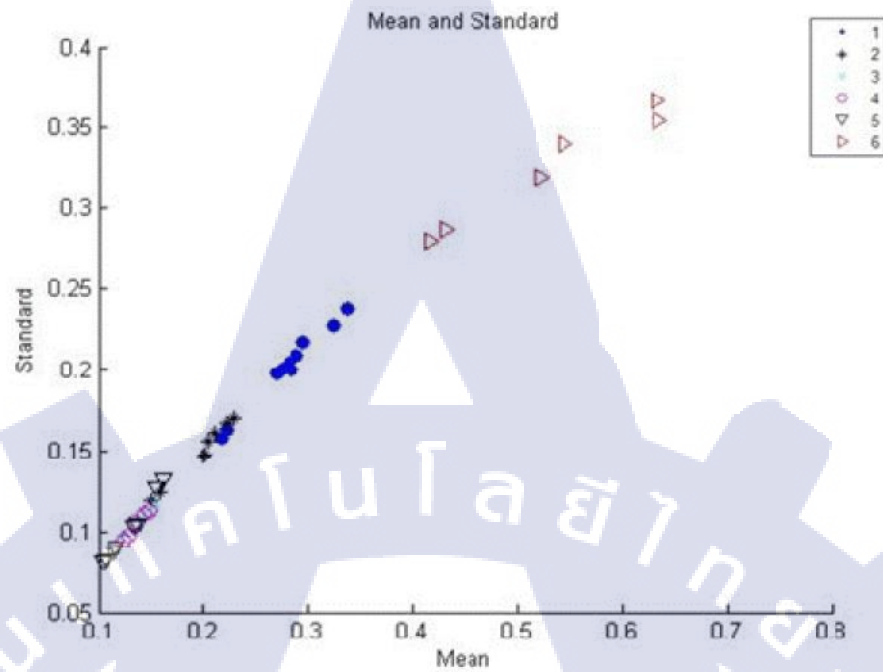


รูปที่ 4.26 กราฟ Power Spectrum แสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลึงกับความถี่ของไฟล์ ข้อมูลที่ 20 ในแต่ละช่วงเวลา Case A

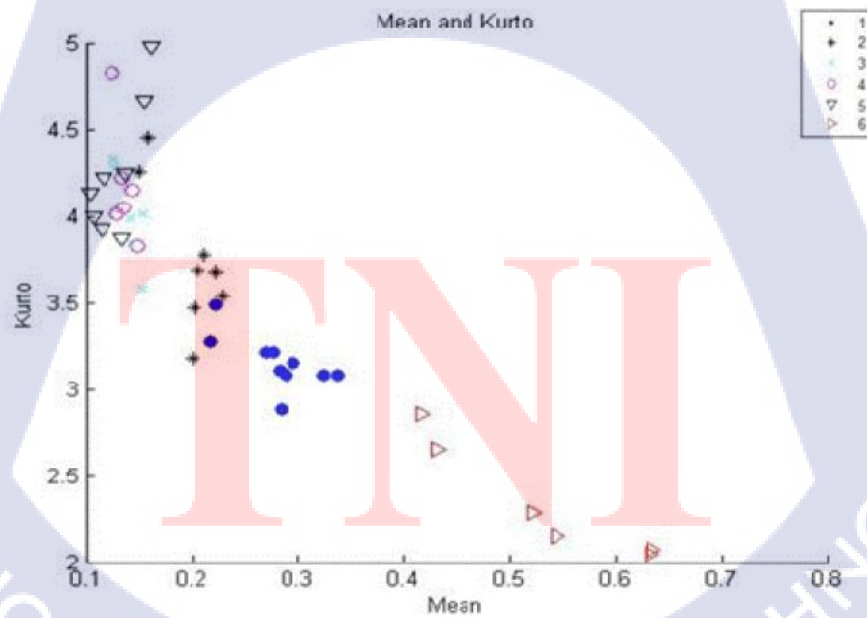
จากกราฟ Power Spectrum Density เทียบกับ ความถี่ ในแต่ละช่วงเวลา จะพบว่า ช่วงความถี่ที่ 1,500-3,500 Hz เป็นช่วงความถี่ที่ให้ผลกราฟมีความแตกต่างชัดเจน ดังนั้น จึงต้องนำข้อมูลในช่วงความถี่ดังกล่าว มาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ เพิ่มเติม

4.3 การวิเคราะห์สัญญาณในโดเมนความถี่

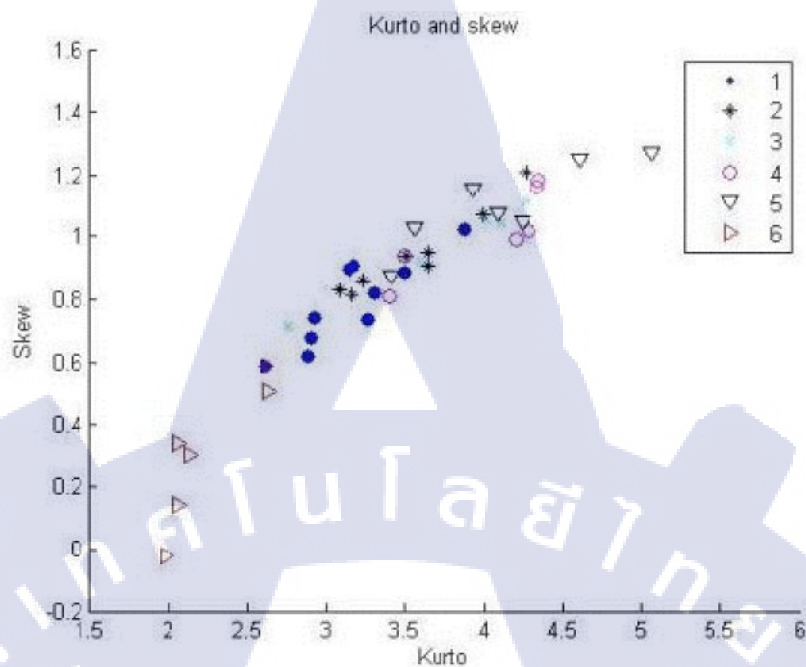
นำสัญญาณที่ถูกกรองความถี่แล้วที่ 1,500-3,500 Hz มาวิเคราะห์ ด้วยโดเมนเวลาอีกครั้ง โดยใช้ Scatter Plot เพื่อยืนยันผลการทดลอง ด้วยวิธีการเดียวกับการทำ Scatter Plot ขณะที่ยังไม่มีการกรองข้อมูล ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.27 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 1,500-3,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Standard Deviation Case A

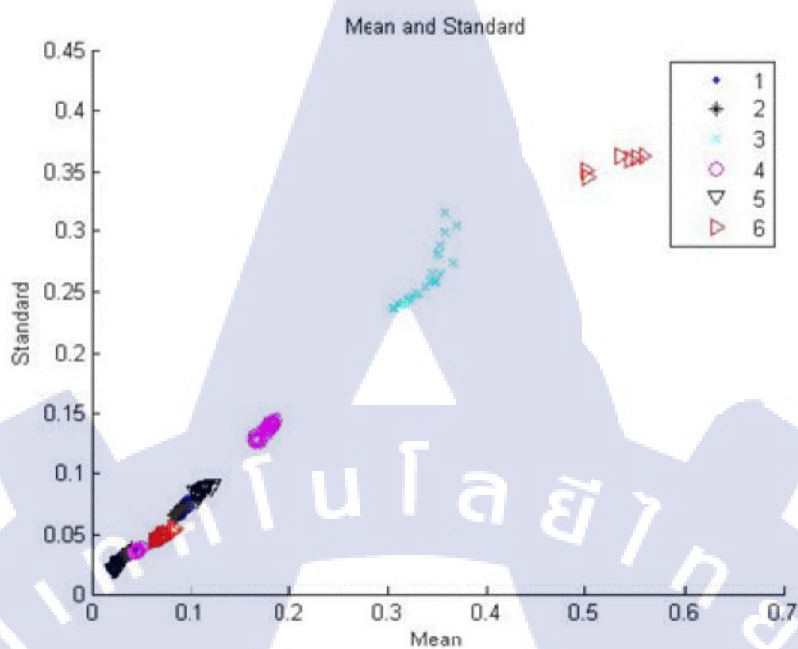


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 1,500-3,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Kurtosis Case A

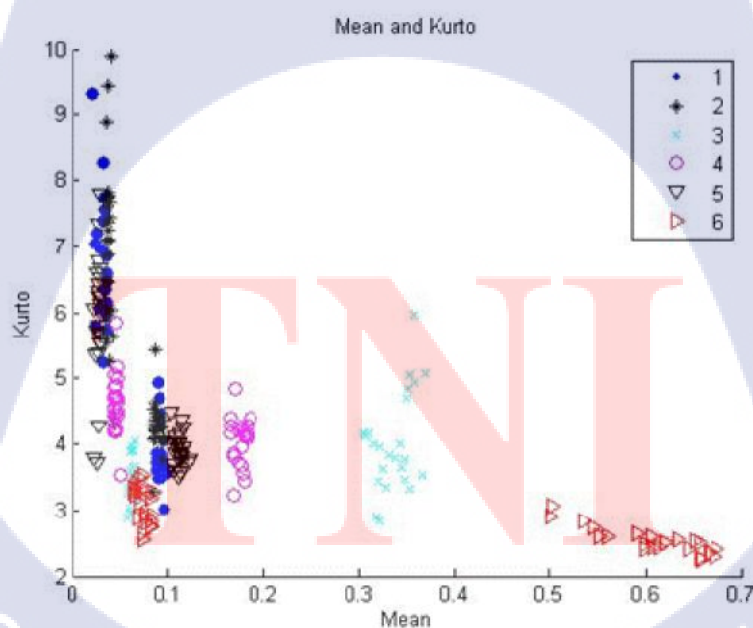


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 1,500-3,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Kurtosis และ Skewness Case A

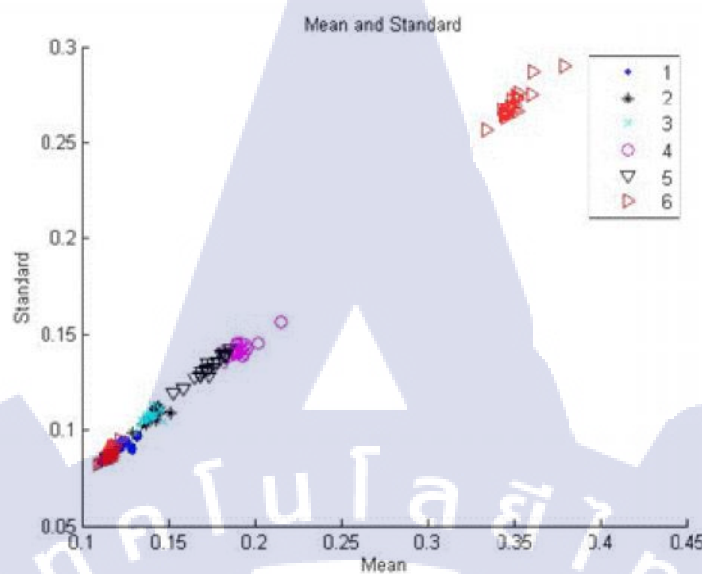
จากกราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 1,500-3,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Standard Deviation แสดงแนวโน้มที่มีการแยกชัดเจนระหว่างข้อมูลกลุ่มงานขณะมีดปกติ และมีดสึกเหมือนข้อมูลที่ยังไม่มีการกรองความถี่ แต่เมื่อกรองแล้วให้ค่าที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น และมีข้อมูลเกาะกลุ่มกันชัดเจนขึ้น ส่วนข้อมูลในพารามิเตอร์อื่นๆ ให้ผลไม่ชัดเจน และเมื่อทำในข้อมูล Case อื่นๆ ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน ตามที่แสดงผลดังนี้



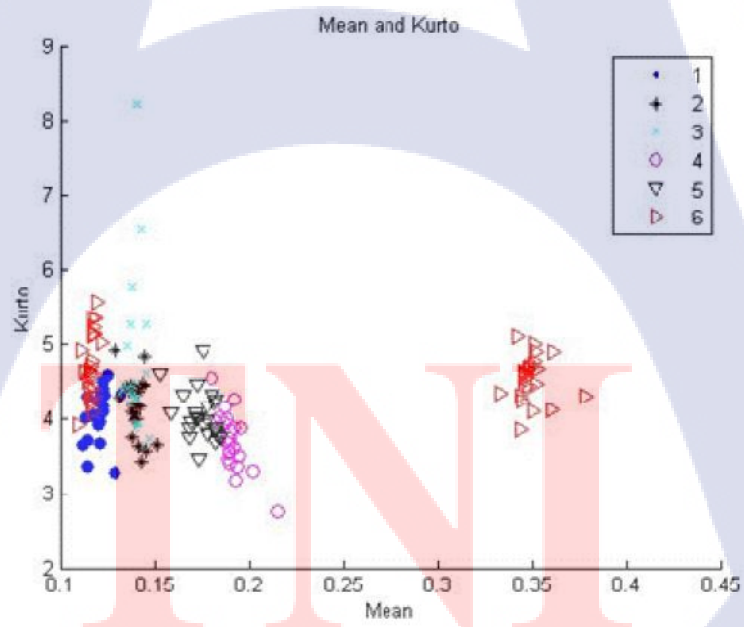
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 2,000-3,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Standard Deviation Case B



รูปที่ 4.31 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 2,000-3,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Kurtosis Case B

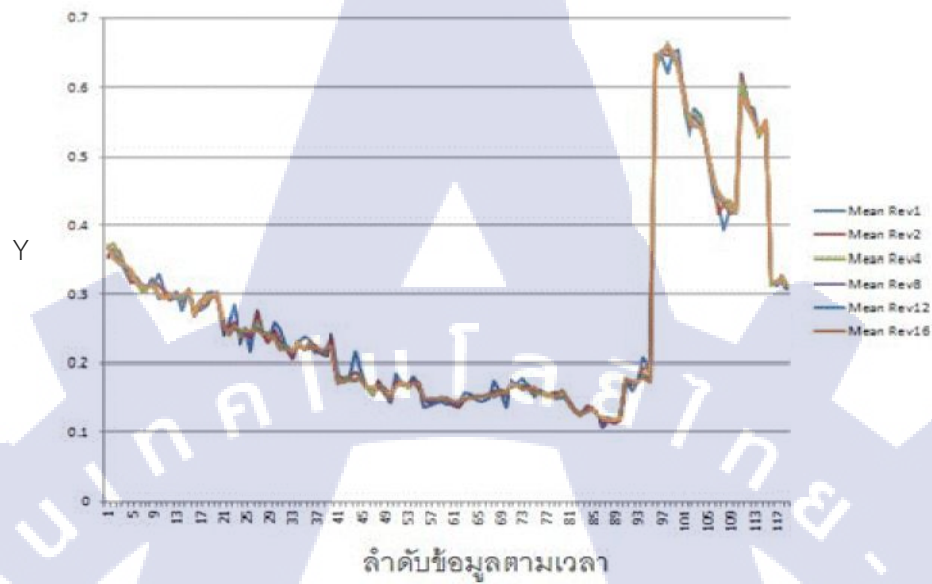


รูปที่ 4.32 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 2,500-4,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Standard Deviation Case C



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง หลังกรองสัญญาณความถี่ที่ 2,500-4,500 Hz แสดงผลใน Scatter Plot ระหว่าง Mean และ Kurtosis Case C

4.4 การวิเคราะห์ค่าที่น้อยที่สุดที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูล



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงค่า Mean ของสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง ในทุก Revolution ของการเก็บข้อมูล Case A



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงค่า Standard Deviation ของสัญญาณการสั่นสะเทือนของการกลิ้ง ในทุก Revolution ของการเก็บข้อมูล Case A

จากกราฟ มองโดยรวม จะเห็นเส้นกราฟและมีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน แต่ในความเป็นจริง ในการเก็บข้อมูลที่กระทำอยู่ ทำเป็นแต่ละ Revolution กัน เพื่อให้มีความชัดเจนในจำนวน Revolution ที่น้อยที่สุดในการเก็บข้อมูล และได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่เหมือนกัน จึงใช้ Hypothesis Test แบบ 2-Sample t test เพื่อตรวจสอบว่าค่าข้อมูลต่างๆ ในแต่ละ Revolution เหมือนกันหรือต่างกัน ดังนี้

Two-Sample T-Test and CI: M Rev 1 S, M Rev 12 S

Two-sample T for M Rev 1 S vs M Rev 12 S

	N	Mean	StDev	SE Mean
M Rev 1 S	10	0.3316	0.0207	0.0066
M Rev 12 S	10	0.3295	0.0229	0.0072

Difference = μ (M Rev 1 S) - μ (M Rev 12 S)

Estimate for difference: 0.00207

95% CI for difference: (-0.01845, 0.02258)

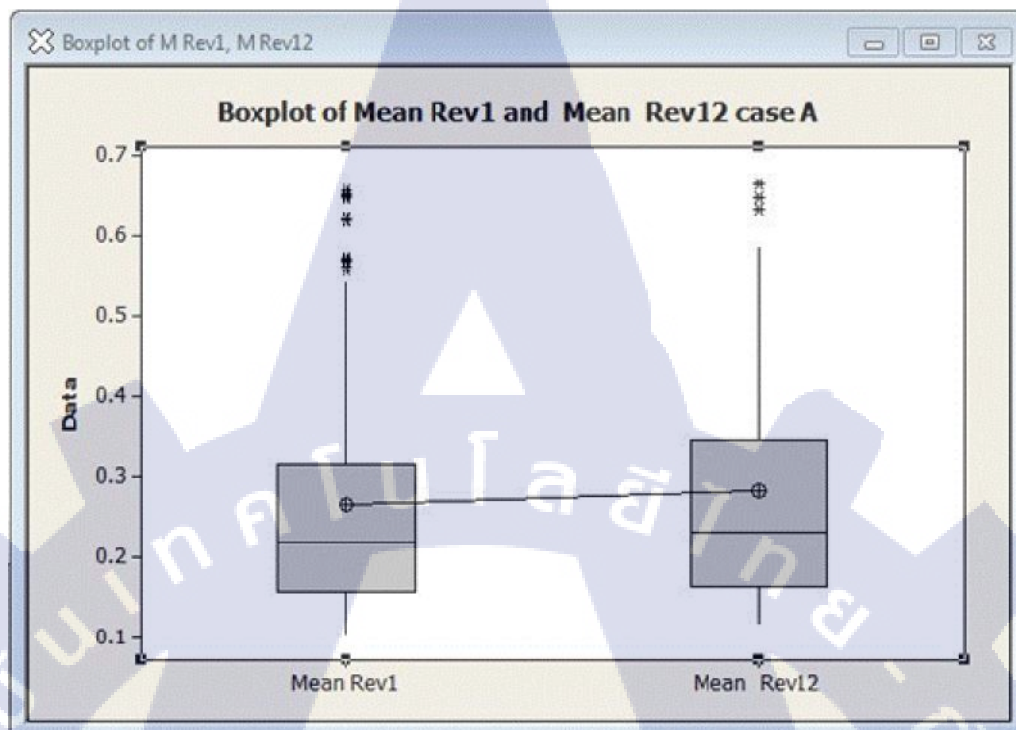
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.21 P-Value = 0.835 DF = 18

Both use Pooled StDev = 0.0218

รูปที่ 4.36 ข้อมูลแสดงการคำนวณ Hypothesis Test แบบ 2-Sample t test ของข้อมูล Mean ที่ Revolution 1 และ 12 Case A

จากข้อมูลการเปรียบเทียบ ค่า Mean ของกลุ่ม Revolution 1 และ 12 จะพบว่า ค่า P-Value > 0.05 แสดงว่า ข้อมูลทั้งสองมีความไม่แตกต่างกัน และสามารถทำ Scatter Plot ดังนี้

TNI



รูปที่ 4.37 ข้อมูลแสดงกราฟ Box Plot ของ Hypothesis Test แบบ 2-Sample t test ข้อมูล Mean ที่ Revolution 1 และ 12 Case A

และเมื่อเทียบข้อมูลกับ Revolution อื่นๆ ใน Case เดียวกันและ Revolution ต่างๆ ใน Case ต่างๆ ได้ผลเช่นเดียวกัน จึงแสดงว่าการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ สามารถนำข้อมูลไปใช้ได้ ตั้งแต่ Revolution ที่ 1

TNI

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สัญญาณการสั่นสะเทือนในแกน Z ซึ่งตั้งอยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวแรงกระทำของมีด ไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ เพราะสัญญาณที่ได้ตลอดการกลึงงานมีความคงที่ ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ตลอดการกลึง มีเพียงสัญญาณในแนวแกน Y ที่ให้ผลความแตกต่างเด่นชัด ทั้งในขณะที่มีการกลึงในสภาพปกติ จนกระทั่งสึก

5.1.2 จากกราฟเส้นแสดงให้เห็นความแตกต่างของแอมพลิจูด ที่สภาพมีดกลึงปกติจะมีแอมพลิจูดที่ต่ำกว่า สภาพมีดกลึงที่สึก อย่างชัดเจน ซึ่งทำให้ค่าอื่นๆ มีการเปลี่ยนแปลง คือ Maximum, Mean, Standard Deviation, Variance, Skewness, Kurtosis, RMS, Crest Factor และ Energy แต่ในค่า Mean และ Standard Deviation มีความแตกต่างชัดเจนกว่าค่าอื่นๆ

5.1.3 จากกราฟ Scatter Plot ในคู่ของ Mean และ Standard Deviation สามารถแยกข้อมูลความแตกต่างในสภาวะมีดปกติ และมีดสึก ได้เด่นชัดที่สุดในโดเมนเวลา

5.1.4 เมื่อทำการกรองข้อมูล ที่ความถี่ต่างๆ ของแต่ละ Case และเมื่อนำข้อมูลมาทำ Scatter Plot ในแต่ละคู่ข้อมูลก็ให้ผลเช่นเดียวกัน คือ พารามิเตอร์ Mean และ Standard Deviation ให้ผลการแยกข้อมูลมีดสึกและมีปกติได้ โดยเมื่อทำการ Scatter Plot โดยการกรอง ทำให้ข้อมูลที่ได้มีการเกาะกลุ่มกันชัดเจนกว่าเมื่อยังไม่มีการกรองข้อมูล

5.1.5 จากการวิเคราะห์ Revolution ที่เหมาะสมสำหรับการจัดเก็บข้อมูล ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า Revolution ต่างๆ สำหรับเก็บข้อมูลไม่มีความแตกต่างกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ใช้มีดรูปสามเหลี่ยม ซึ่งมี Nose Radius 0.4 กลึงงานจากมีดปกติจนมีดสึก สามารถแยกกลุ่มข้อมูลมีดปกติและมีดสึก ได้ด้วย พารามิเตอร์ Mean และ Standard Deviation ซึ่งเห็นได้เด่นชัดกว่าพารามิเตอร์อื่นๆ ในการวิเคราะห์ด้วยโดเมนเวลา และยิ่งเด่นชัดมากขึ้น เมื่อทำการกรองสัญญาณรบกวนด้วยโดเมนความถี่แต่ขอบเขตของงานวิจัยนี้กระทำในรูปแบบจำกัดด้วย รูปแบบมีดกลึง ชนิดสำหรับงานกลึงละเอียดมี Nose Radius 0.4 และทำการกลึงด้วย Feed Rate 0.1 mm/min Depth of Cut 1 mm. และกลึงชิ้นงาน Carbon Steel S45C

เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลได้ครอบคลุม และครบถ้วน ควรทำการเปลี่ยนค่าตัวแปรใน
สภาวะต่าง เช่น รูปแบบมีด, Nose Radius, Feed Rate และ Depth of cut ต่างๆ





บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- [1] Georgia Institute of Technology. “*Machining-Cutting Tool Life*”. [Online]. Available: <http://dc373.4shared.com/doc/HZHthW07/preview.html> [Accessed: Aug. 21, 2014].
- [2] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes, and Systems*, 4th ed. NJ: J. Wiley & Sons, 2007.
- [3] D. Kopeliovich. “*Mechanisms of Wear*”. [Online]. Available: http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=mechanisms_of_wear. [Accessed: Aug. 21, 2014].
- [4] S.K. Choudhury and K.K. Kishore. “Tool Wear Measurement in Turning Using Force Ratio.” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 40, no. 6, pp. 899–909, May 2000.
- [5] พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ และคณะ, “การตรวจสอบสถานะของมีดตัดด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน,” *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23, ME-NETT*, เชียงใหม่, 4-7 พ.ย. 2552.
- [6] พรชัย นิเวศน์รังสรรค์ และชัชชัย ไชยชนะ, “การตรวจสอบสถานะของพัดลมอัดอากาศด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน,” *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24, ME-NETT*, อุบลราชธานี, 20-22 ต.ค. 2553.
- [7] วินัย เวชวิทยาลัง, *เทคนิคการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่องานบำรุงรักษา*. กรุงเทพฯ : บริษัท ส.เอเชียเพรส (1989) จำกัด, 2552.
- [8] A.Rivero, et. al. “Tool Wear Detegtion in Dry High-Speed Milling Based Upon the Analysis of Machine Internal Signals,” *Mechatronics Technical Note*, vol. 18, no.10, pp. 627-633, December 2008.
- [9] วชิรวิทย์ สงสุวรรณ และพรชัย นิเวศน์รังสรรค์, “การตรวจสอบพัดลมอัดอากาศด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณอนุสติกิมิชั่น,” *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล ครั้งที่ 26, ME-NETT*, เชียงราย, 4-7 พฤศจิกายน 2552.
- [10] D.M. D’Addona and R. Teti, “Image Data Processing Via Neural Networks for Tool Wear Prediction.” *In the 8th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*, vol. 12, pp. 252-257, 2013.

- [11] S. Tangjitsitcharoen, “Intelligent Monitoring and Identification of Cutting States of Chips and Chatter on CNC turning Machine.” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 10, no.1, pp. 40-46, Jan 2008.
- [12] สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ และชาญณรงค์ รุ่งเรือง, “การตรวจติดตามการสึกหรอของมีดตัดภายในกระบวนการบนเครื่องกลึงซีเอ็นซีโดยการ,” *การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 8, IE Network*, ชลบุรี, 20-21 ต.ค. 2554.
- [13] J Kopač and S Šali, “Tool Wear Monitoring During the Turning Process.” *Asia Pacific Conference on Materials Processing*, vol. 113, no.1-3, pp. 312–316, June 2001.
- [14] S. K. Al-Arbi, *Condition Monitoring of Gear Systems Using Vibration Analysis*, UK: University of Huddersfield Repository, 2012.
- [15] S.K. Choudhury and P. Srinivas, “Tool Wear Prediction in Turning using force ratio.” *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 40, no.6, pp. 276–280, May 2000.
- [16] H. Abdel and G. El-Hofy, *Fundamentals of Machining Processes Conventional and Non Conventional Processes*, USA: Taylor & Francis Group, 2014.
- [17] X. Luo. et al. “Modeling Flank Wear of Carbide Tool Insert in Metal Cutting.” *International Conference on Wear of Materials*, vol. 259, no.7-12, pp. 1,235-1,240, Aug 2005.
- [18] ซาลี ตระการกุล, *เทคโนโลยีซีเอ็นซี*. กรุงเทพฯ : บริษัทดวงกมลสมัย จำกัด, 2537.
- [19] ประดิษฐ์ หมูเมืองสอง และสุชญาณ หรรษสุข, *การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน*. กรุงเทพฯ : บริษัท วี.พรินท์ (1991) จำกัด, 2550.
- [20] มนัส สังวรศิลป์ และวรรัตน์ ภัทรอมรกุล, *คู่มือโปรแกรม MATLAB ฉบับสมบูรณ์*. กรุงเทพฯ : บริษัท ดวงกมลสมัย จำกัด, 2543.



ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

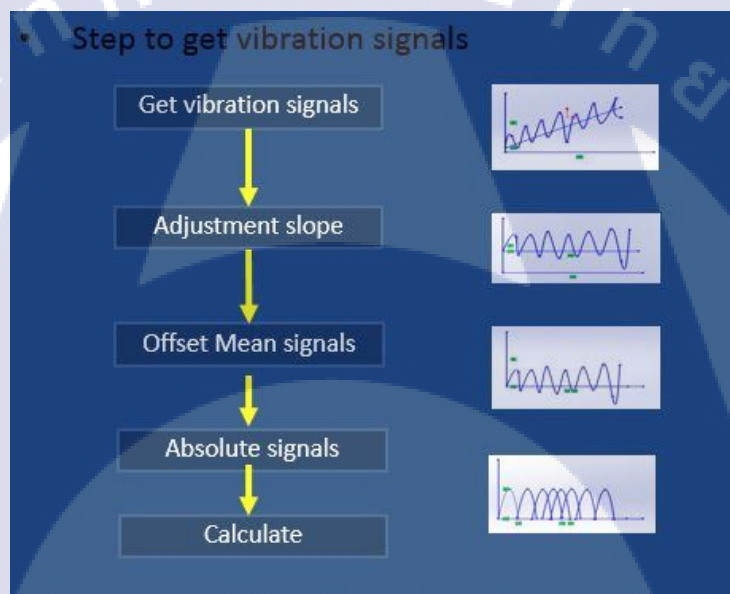
วิธีการแปลงข้อมูลสัญญาณการสั่งสะท้อน

TNI

ขั้นตอนการแปลงคลื่นสัญญาณเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์

การแปลงคลื่นสัญญาณมาเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์มีขั้นตอนดังนี้

1. เมื่อได้รับสัญญาณการสั่นสะเทือน คลื่นสัญญาณจะมีลักษณะไม่มีทิศทาง จึงต้องทำการแบ่งคลื่นเป็นช่วงๆ และปรับความชันของคลื่นในช่วงนั้นๆ ให้ขนานกับแกนอ้างอิง ในขั้นตอน Adjustment รูปที่ ก-1
2. หลังจากปรับความชันแล้ว ต้องทำการออฟเซตให้รูปคลื่นมาอยู่ในแนวแกนในขั้นตอน Offset Mean Signals รูปที่ ก-1
3. ทำการพลิกคลื่นที่อยู่ใต้แกนอ้างอิงให้มีค่าเป็นบวก Absolute Signals รูปที่ ก-1



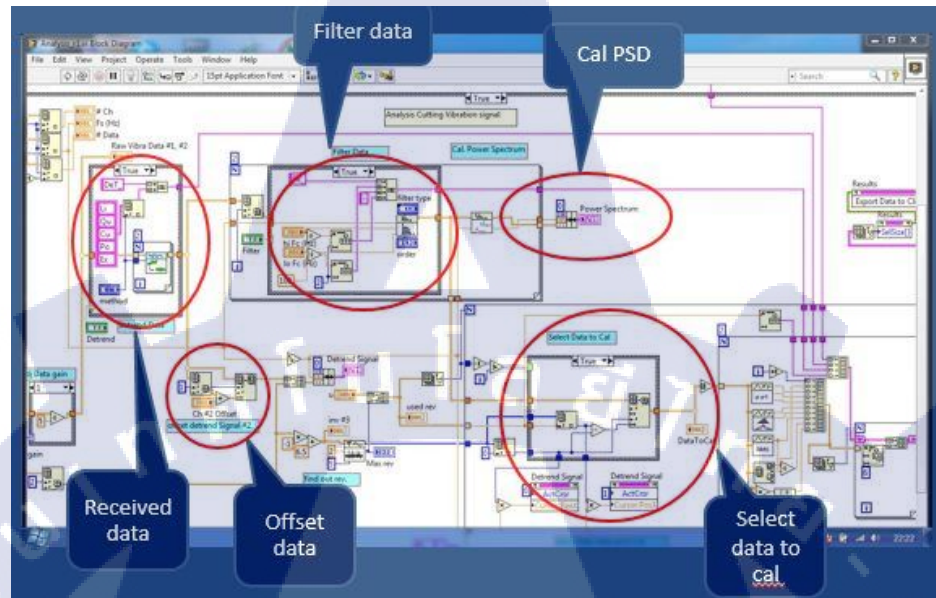
รูปที่ ก-1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลสัญญาณการสั่นสะเทือน

ภาคผนวก ข.

การเขียนโปรแกรม LABVIEW เพื่อเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือน

TNI

การเขียนโปรแกรม LABVIEW เพื่อเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือน



รูปที่ ข-1 รายละเอียดการเขียนโปรแกรมในการเก็บข้อมูลสัญญาณการสั่นสะเทือน

จากภาพจะเห็นตัวอย่างโปรแกรมในขั้นตอนต่างๆ เช่น การรับข้อมูล การปรับความถี่ การออฟเซตข้อมูล รวมไปถึงการคำนวณค่า PSD ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวถึงในผนวก ก.