

## การตรวจสอบสภาวะของมีดตัดด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน Condition Monitoring of Cutting Tools Using Vibration Signals

พรชัย นิเวศน์รังสรรค์\*, วราคม เน็ดน้อย และ เทอดศักดิ์ ใจงาม

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530

\*ผู้ติดต่อ: Email: [nporncha@mut.ac.th](mailto:nporncha@mut.ac.th), โทรศัพท์: (662) 9883666 ต่อ 3110, โทรสาร: (662) 9883666 ต่อ 3106

### **บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงการจำลองการตรวจสอบสภาวะของมีดด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน เพื่อใช้เป็นวิธีทำนายสภาวะของมีดกลึงและความเสียหายที่เกิดขึ้นที่มีดกลึง อุปกรณ์การทดลองประกอบด้วย เครื่องกลึง หัววัดการสั่นสะเทือน หัววัดความเร็วรอบ ชุดขยายสัญญาณ ชุดเก็บข้อมูล คอมพิวเตอร์ และโปรแกรม LabVIEW วัสดุที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเหล็กกล้าคาร์บอน ST-37 และมีดกลึงจะใช้เป็นมีดเล็บทำจากทังสเตนคาร์ไบด์ สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลาที่บันทึกขณะเครื่องกลึงทำงานจะถูกวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ทางสถิติพบว่า ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน และพลังงานของสัญญาณสามารถใช้ทำนายสภาวะของมีดตัดได้ดีกว่าค่าความเบ้ ค่าความโก่ง และ Crest factor นอกจากนี้การใช้เทคนิคการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่สามารถใช้ทำนายสภาวะของมีดกลึงได้ด้วย การศึกษาต่อไปจำเป็นต้องใช้หัววัดอื่น ๆ ร่วมกัน เช่น หัววัดแรง และหัววัดอุณหภูมิ เป็นต้น เพื่อพัฒนาวิธีการทำนายสภาวะของมีดให้แม่นยำยิ่งขึ้น

**คำหลัก:** การตรวจสอบสภาวะ, สัญญาณการสั่นสะเทือน, การวิเคราะห์สัญญาณ, มีดตัด, และเครื่องกลึง

### **Abstract**

This paper is a preliminary study of condition monitoring of cutting tools using vibration signals. This work aims to predict state of cutting tools between normal and flank wear conditions. The apparatus and devices used in this study are lathe, accelerometer, proximity sensor, signal conditioning unit, data acquisition device, and computer with LabVIEW program. The material used in experiment is carbon steel, ST-37 and a cutting tool is made from tungsten carbide. Vibration signals recorded from Lathe are analysed using basic statistical parameters. It is found that mean, variance, and signal energy can be used to predict cutting tool conditions and give better results than skewness, kurtosis and crest factor. In this study, frequency analysis technique is applied to vibration signal and can be used to predict cutting tool conditions. For the future work, cutting tool monitoring technique is developed and the use of other sensors i.e. force sensors, temperature sensors etc. can be used to improve the accuracy of cutting tool monitoring.

**Keywords:** Condition monitoring, Vibration signal, Signal analysis, Cutting tool, and Lathe

## 1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตมีการแข่งขันสูง จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต เพื่อหลีกเลี่ยงการหยุดเดินเครื่องจักรให้น้อยที่สุด และเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาหรือความผิดปกติที่เครื่องจักรเพื่อให้ได้ผลผลิตที่คุ้มค่าและเพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตในตลาดที่มีการแข่งขันที่สูง การผลิตที่ใช้เครื่องจักรกลหนักเช่น เครื่องกลึง เครื่องกัด เครื่องกลึง CNC และเครื่องกัด CNC เป็นต้น เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับอุตสาหกรรม การป้องกันการเกิดข้อบกพร่องหรือความเสียหายระหว่างการผลิตเช่น การสึกหรอของมีด การแตกหักของมีด เป็นต้น ปัญหาดังกล่าวเป็นสิ่งที่คาดการณ์ได้ยากและจะมีผลต่อคุณภาพของผิวงานรวมถึงต้นทุนการผลิตด้วย ปัจจุบันเครื่องจักรเพื่อการขึ้นรูปชิ้นงานในอุตสาหกรรมนิยมใช้เครื่องจักรกล CNC ซึ่งควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ และเครื่องจักรสามารถทำงานตลอดเวลาโดยที่ผู้ควบคุมเครื่องจักรไม่จำเป็นต้องมาหยุดเครื่องจักรเพื่อเปลี่ยนมีดตัด ตรวจสอบขนาดของชิ้นงาน และตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้น จึงทำให้ผู้ที่ควบคุมเครื่องไม่จำเป็นต้องใช้ทักษะและเทคนิคการผลิตเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องจักรเช่นในอดีต ดังนั้นการพัฒนาเทคนิคเพื่อใช้สำหรับตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน และมีดตัดจึงมีความจำเป็นเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นปัญหาที่ยังอยู่ในความสนใจของงานวิจัยในปัจจุบัน

การสึกหรอของมีดตัดมีผลมาจากปัจจัยเรื่องความร้อนและพลังงานกลระหว่างการทำงานตัดเฉือน การสึกหรอของมีดตัดมีอยู่หลายชนิด [1-2] เช่น การสึกหรอบนผิวหลบ (Flank wear) การสึกหรอบนผิวคาย (Crater wear) การสึกหรอลักษณะแหว่ง (Notch wear) การแตกร้าวเนื่องจากความร้อน (Thermal cracking) เป็นต้น งานวิจัยส่วนใหญ่จะศึกษาการสึกหรอบนผิวหลบ [1-5] ส่วนการสึกหรอแบบผิวคายก็มีการศึกษาบ้างแต่น้อยกว่า การตรวจสอบการสึกหรอของมีดมีอยู่ 2 วิธี วิธีแรกคือวิธีตรวจสอบโดยตรง (Direct method) เป็นการตรวจสอบพารามิเตอร์ของ

การสึกหรอของมีดเช่น การวัดขนาดของรอยสึกหรอของมีด เป็นต้น ส่วนวิธีที่สองคือวิธีตรวจสอบโดยทางอ้อม (Indirect method) เป็นการตรวจสอบด้วยการวัดพารามิเตอร์ของกระบวนการผลิตที่สัมพันธ์กับการสึกหรอของมีดตัด เช่น แรงที่กระทำ การสั่นสะเทือน ความหยาบของผิว เป็นต้น [1-2] การตรวจสอบโดยวิธีทางตรงจะค่อนข้างยุ่งยาก และมีค่าใช้จ่ายสูง ส่วนการตรวจสอบโดยวิธีทางอ้อมจะมีวิธีการวัดพารามิเตอร์ที่ต้องการน้อยกว่าแต่ข้อมูลที่วัดได้จะมีจำนวนมากและการวิเคราะห์ผลมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่า

วิธีการตรวจสอบโดยทางอ้อมที่นิยมใช้กันในงานวิจัยมักใช้เซ็นเซอร์แตกต่างกันเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่ต้องการเช่น หัววัดเสียง ( Sound sensor) [3] หัววัดการสั่นสะเทือน ( Accelerometer) [4-7] หัววัดแรง (Force sensor) [5-7] และหัววัดคุณสมบัติอะคูสติกอิมิชชัน (Acoustic emission sensor) [5-7] เป็นต้น โดยการเก็บสัญญาณเหล่านี้จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์การเก็บข้อมูลและโปรแกรมการวิเคราะห์ผลซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลา (Time domain) ที่บันทึกได้จากหัววัดต่าง ๆ นิยมใช้วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางสถิติต่าง ๆ [4] เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square, RMS) ค่าความเบ้ (Skewness) และค่าความโด่ง (Kurtosis) และ ค่า Crest factor เป็นต้น นอกจากนี้การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนความถี่ (Frequency domain) หรือบนโดเมนเวลาและความถี่ (Time-Frequency domain) ก็มีการนำมาใช้เช่นกัน เช่น พลังงานของสัญญาณในช่วงความถี่ที่กำหนด [6] ค่าแอมพลิจูดของความถี่ของความถี่รอบและการหมุนของจำนวนมีดตัด [7] เป็นต้น นอกจากนี้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Artificial Intelligent (AI) ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยทำนายการสึกหรอของมีดตัดด้วยการวิเคราะห์สัญญาณที่บันทึกได้มาจากหัววัดต่าง ๆ ที่กล่าวถึงข้างต้น [4-6]

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นถึงการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางสถิติและการวิเคราะห์ความถี่

ที่มีผลต่อการทำนายสภาวะของมีดตัดด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ทำนายสภาวะของมีดตัด การศึกษานี้จะทำการทดลองบนเครื่องกลึงธรรมดาที่เงื่อนไขมีดตัดปกติและมีดตัดเสียหายที่ผิวหลบ และคาดหวังว่าจะสามารถพัฒนาวิธีการตรวจสอบอย่างง่ายสำหรับการตรวจสอบมีดตัดบนเครื่องกลึง

## 2. การวิเคราะห์สัญญาณ

การศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกได้จากเครื่องกลึงขณะกัดชิ้นงานบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลามักใช้พารามิเตอร์ทางสถิติเช่น ค่าเฉลี่ย RMS ค่าความแปรปรวน ค่าความเบ้ ค่าความโค้ง และ Crest factor (CF) เป็นต้น โดยสามารถสรุปสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ดังนี้

ค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) ของ  $x(t)$  ตลอดช่วงเวลา  $T$  หาได้จาก

$$\bar{x} = \frac{\int_0^T x(t) dt}{T} \quad (1)$$

ค่า RMS ( $X_{rms}$ ) ของ  $x(t)$  ตลอดช่วงเวลา  $T$  หาได้จาก

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{\int_0^T x(t)^2 dt}{T}} \quad (2)$$

ค่า Crest factor (CF) คืออัตราส่วนระหว่างค่ามากที่สุดต่อค่า RMS

$$CF = \frac{X_{max}}{X_{rms}} \quad (3)$$

ค่าความแปรปรวน ( $v$ ) คือกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ )

$$v = \sigma^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) - \bar{x}]^2 dt \quad (4)$$

ค่าความเบ้ ( $S$ ) คือ ค่าโมเมนต์การกระจายตัวทางสถิติอันดับที่ 3

$$S = \frac{1}{\sigma^3 T} \int_0^T x^3 dt \quad (5)$$

ค่าความโค้ง ( $K$ ) คือ ค่าโมเมนต์การกระจายตัวทางสถิติอันดับที่ 4

$$K = \frac{1}{\sigma^4 T} \int_0^T x^4 dt \quad (6)$$

ค่าพลังงาน ( $E$ ) ของสัญญาณ คือ การหาผลรวมกำลังสองของ  $x(t)$  ตลอดช่วงเวลา  $T$

$$E = \int_0^T x(t)^2 dt \quad (7)$$

ส่วนการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่จะทำการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform, FFT) ซึ่งจะทำให้การแปลงสัญญาณบนโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่ มีสมการดังนี้

$$X(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i\omega t} dt \quad (8)$$

เมื่อ  $X(\omega)$  คือ ผลการแปลงฟูเรียร์ของ  $x(t)$

$\omega$  คือ ความถี่ในหน่วย rad/s

Power spectral density (PSD) เป็นการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่ที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มของพลังงานซึ่งเป็นฟังก์ชันของความถี่ หน่วยของ PSD จะอยู่ในรูปของ กำลัง (Power) ต่อ Hz หรือ พลังงาน (Energy) ต่อ Hz ค่า PSD แทนด้วย  $\phi_\omega$  คำนวณได้ดังสมการ

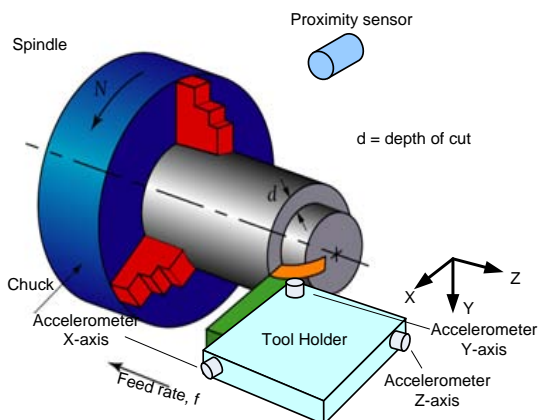
$$\phi(\omega) = |X(\omega)|^2 = \left| \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i\omega t} dt \right|^2 \quad (9)$$

การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนความถี่ทำให้ทราบถึงความถี่หลักที่เป็นองค์ประกอบของระบบที่ศึกษา วิธีการวิเคราะห์สัญญาณที่กล่าวถึงข้างต้นจะถูกนำมาใช้วิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกได้จากการทดลองที่เงื่อนไขต่าง ๆ การศึกษาจะเป็นการวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อหาว่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ บนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ที่สามารถนำมาใช้ทำนายสภาวะของมีดตัดว่าอยู่ในสภาพปกติและเสียหายขณะที่กำลังตัดชิ้นงานอยู่

## 3. การทดลอง

สัญญาณการสั่นสะเทือนจะถูกบันทึกโดยใช้หัววัดการสั่นสะเทือนติดตั้งที่ป้อมมีดในทิศทางตามแนว X, Y, และ Z ขณะทำการทดลองสัญญาณความเร็วของ

แกนหมุน ( Spindle) หรือหัวจับชิ้นงานก็จะถูกบันทึกพร้อมกันโดยใช้ Proximity sensor ติดตั้งที่แกนหมุนของเครื่องกลึง Mashstroy C11T80 ดังรูปที่ 1 ขณะทำการทดลองสัญญาณการสั่นสะเทือนจะวัดครั้งละแกนเท่านั้น สัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณความเร็วรอบจะต้องผ่านอุปกรณ์ปรับปรุงสัญญาณเพื่อให้ได้สัญญาณมีขนาดแอมป์ริจูดที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์ผล สัญญาณทั้งหมดจะถูกบันทึกด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งพัฒนาขึ้นสำหรับการเก็บบันทึกข้อมูลเป็นไฟล์ สัญญาณทั้งหมดจะถูกบันทึกด้วยความถี่สุ่ม 20000 ข้อมูลต่อวินาที ( Hz) ต่อช่องสัญญาณ



รูปที่ 1 ตำแหน่งของหัววัดความเร็วรอบ (Proximity sensor) และหัววัดการสั่นสะเทือน (Accelerometer) บนแกน X, Y และ Z



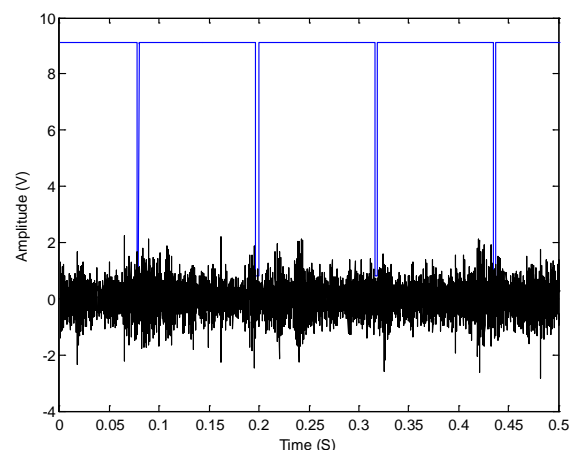
รูปที่ 2 เม็ดมีด

วัสดุที่ใช้ในการกลึงทดสอบเป็นเหล็กเพลาชนิดี เหล็กกล้าคาร์บอน ST-37 เม็ดมีดที่ใช้เป็นมีดที่ทำจาก Tungsten carbide ยี่ห้อ Kennametal CNMG431MN ดังรูปที่ 2 และด้ามมีดยี่ห้อ Sandvik DWLNR-2525M08 การศึกษานี้จะทำการทดลองที่เงื่อนไขต่าง ๆ ดังนี้ จะทำการทดสอบที่อัตราการป้อน (Feed rate) เท่ากับ 0.0209, 0.0415 และ 0.0838 mm ต่อรอบ

ส่วนความลึกของการตัด (Depth of cut) เท่ากับ 1.5 mm และความเร็วรอบของแกนหมุน ( Spindle) ประมาณ 500 รอบต่อนาที ขณะมีดกำลังตัดชิ้นงานไม่มีการใช้สารหล่อเย็น ส่วนความเร็วของการตัดจะยังไม่พิจารณาถึงในการศึกษาครั้งนี้ สัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณการวัดรอบจะถูกบันทึกขณะที่มีดตัดชิ้นงาน โดยจะทำการทดสอบทั้งมีดตัดปกติ (Normal) และมีดตัดที่มีลักษณะความเสียหายบนผิวหลบ (Flank wear)

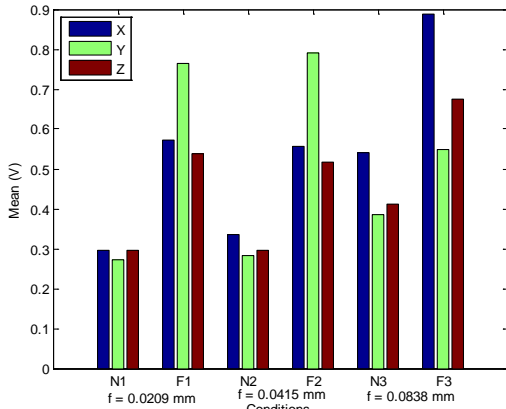
#### 4. ผลการทดลอง

สัญญาณการสั่นสะเทือนจากหัววัดการสั่นสะเทือนที่ติดตั้งตามแนวแกน X และสัญญาณความเร็วรอบของแกนหมุนที่บันทึกได้ขณะมีดกลึงสภาพปกติกำลังตัดชิ้นงานที่ความเร็วรอบของแกนหมุนประมาณ 500 รอบต่อนาที อัตราการป้อนเท่ากับ 0.0838 mm/rev และความลึกของการตัดเท่ากับ 1.5 mm แสดงดังรูปที่ 2 จากรูปสัญญาณความเร็วรอบจะให้หนึ่งพัลส์ต่อหนึ่งรอบ ส่วนสัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกได้จะมีความซับซ้อนซึ่งคาดว่าน่าจะมาจากกระบวนการที่เกิดขึ้นบนเครื่องกลึงเช่นการตัด การกระแทก และการเสียดสีของมีดตัดและวัสดุ

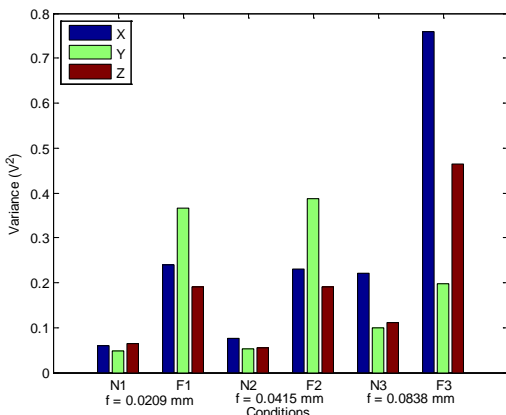


รูปที่ 2 สัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณความเร็วรอบที่บันทึกขณะมีดกำลังตัดชิ้นงาน การศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนด้วยพารามิเตอร์ทางสถิติที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2 ซึ่งเป็นวิธีวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลา เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ค่าความเบ้ ค่าความ

โค้ง ค่า Crest Factor และค่าพลังงาน โดยทั่วไป สัญญาณการสั่นสะเทือนดังรูปที่ 2 จะมีทั้งค่าบวกและลบ เมื่อนำเอาค่าแอมพลิจูดของการสั่นมาคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ พบว่าส่วนใหญ่ไม่สามารถแสดงถึงความความสัมพันธ์ตามเงื่อนไขของการทดลองที่ตั้งไว้อย่างชัดเจน



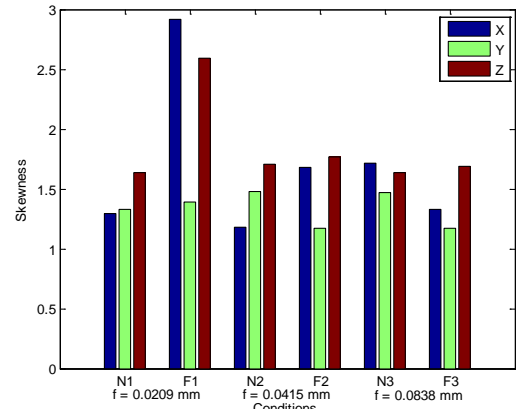
รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสัญญาณขณะมีดตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขต่าง ๆ



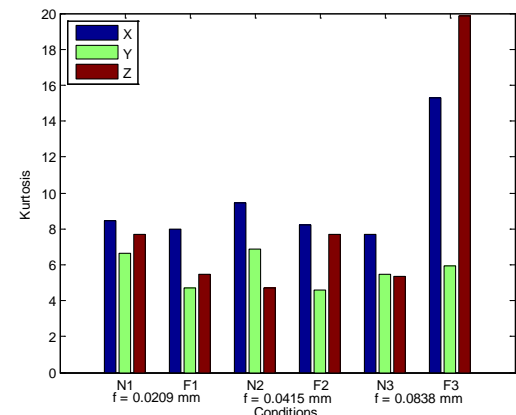
รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบค่าแปรปรวนของสัญญาณขณะมีดตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขต่าง ๆ

การศึกษาสัญญาณการสั่นสะเทือนจะถูกคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่อหนึ่งรอบการหมุนของแกนหมุน จนครบ 10 รอบของการหมุน พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์นั้น สัญญาณการสั่นสะเทือนจะถูกทำการหาค่าสัมบูรณ์ (Absolute value) ก่อน แล้วจึงนำมาหาค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์บนโดเมนเวลาแสดงไว้ดังรูปที่ 3 – 8 ตามลำดับ โดยที่

แกนนอนของกราฟแทนด้วยเงื่อนไขการทดลองของมีดตัดที่สภาวะปกติและเสียหายบนผิวหลบที่อัตราการป้อนต่าง ๆ ส่วน N1, N2 และ N3 แทนด้วยเงื่อนไขที่มีดตัดมีสภาพปกติ ส่วน F1, F2 และ F3 แทนด้วยเงื่อนไขของมีดตัดที่เสียหายบนผิวหลบ ส่วนแกนตั้งจะแทนด้วยพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์



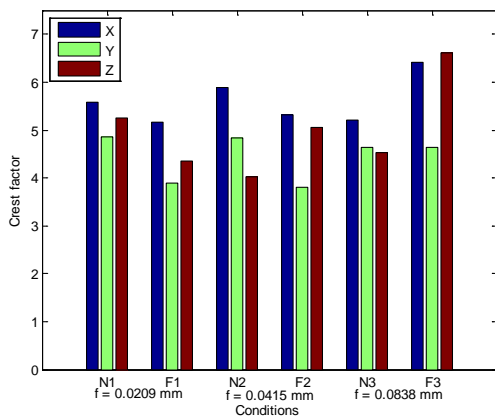
รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่าความเบ้ของสัญญาณขณะมีดตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขต่าง ๆ



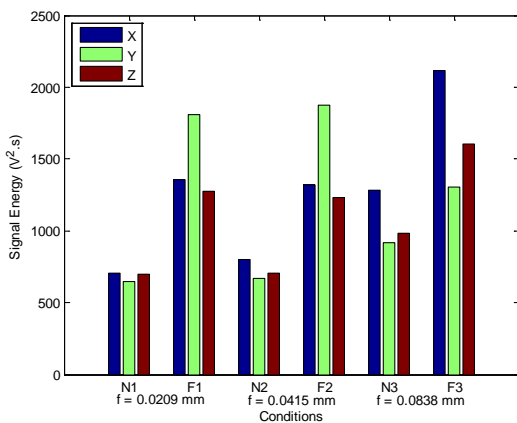
รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบค่าความโค้งของสัญญาณขณะมีดตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์ด้วยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ พบว่าค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวนและค่าพลังงานของสัญญาณดังรูปที่ 3, 4 และ 8 ซึ่งคำนวณด้วยสมการ (1), (4) และ (7) ตามลำดับ สามารถใช้เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างมีดตัดที่ปกติและมีดตัดที่เสียหายบนผิวหลบ เมื่อมีดตัดเกิดความเสียหายขึ้นทั้งสามแกน (X, Y, และ Z) ค่าพารามิเตอร์ทั้งสามค่าจะมีความมากขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนค่าความเบ้ ค่าความโค้ง

และค่า Crest factor แสดงดังรูปที่ 5 – 7 ไม่สามารถแยกความแตกต่างได้ทุกกรณี เนื่องจากส่วนใหญ่ค่าพารามิเตอร์ทั้งสามของแต่ละเงื่อนไขการทดลองของแต่ละแกนมีค่าไม่แตกต่างกันนัก จึงทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ทำนายสภาวะของมิตัดได้ อย่างชัดเจน ส่วนค่าพารามิเตอร์ของแต่ละแแกนดังรูปที่ 3 – 8 ยังไม่สามารถระบุความสัมพันธ์ของแต่ละแแกนได้ ตัวอย่างเช่น บางเงื่อนไขของการทดลองดังรูปที่ 3, 4 และ 8 พบว่า ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน หรือค่าพลังงานของแแกน Y ให้ค่ามากกว่าที่แแกน X และ Z เป็นต้น



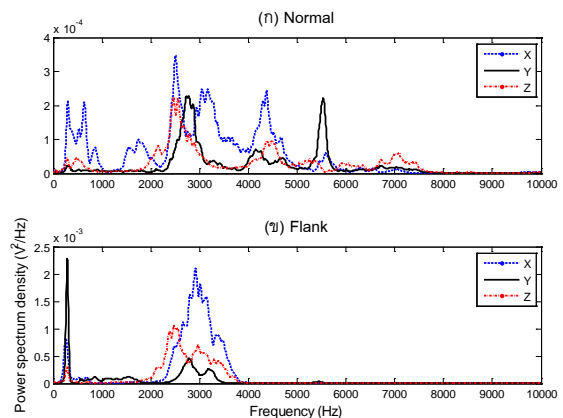
รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบค่า Crest factor ของสัญญาณขณะมิตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขต่าง ๆ



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบค่าพลังงานของสัญญาณขณะมิตัดชิ้นงานที่เงื่อนไขต่าง ๆ

การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่จะใช้เทคนิคการแปลงฟูเรียร์มาช่วยวิเคราะห์เพื่อหาค่า Power spectral density (PSD) ของ

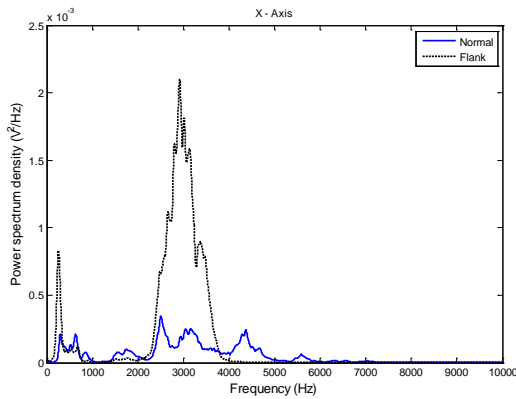
สัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกมาได้ กราฟบนโดเมนความถี่ของสัญญาณการสั่นสะเทือนทั้งแกน X, Y และ Z ที่อัตราการป้อนเท่ากับ 0.0838 mm/rev และ ความลึกของการตัดเท่ากับ 1.5 mm แสดงดังรูปที่ 9 กราฟของผลการวิเคราะห์สัญญาณของมิตัดที่สภาวะปกติแสดงดังรูปที่ 9(ก) จะเห็นได้ว่าความถี่ของสัญญาณที่บันทึกของแต่ละแแกนมีลักษณะแตกต่างกันออกไปและกระจายตัวอยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 0-8000 Hz แต่ขนาดแอมพลิจูดของความถี่ที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่มีมิตัดเสียหายที่ผิวหลบ ส่วนความถี่ที่เกิดขึ้นเด่นชัดทั้งสามแแกนคือช่วงความถี่ 2000 – 4000 Hz ส่วนช่วงความถี่ 0 – 2000 Hz และมากกว่า 4000 Hz ความถี่ที่เกิดขึ้นไม่เด่นชัดเท่าช่วง 2000 – 4000 Hz สำหรับกรณีของมิตัดที่เสียหายที่ผิวหลบความถี่ของสัญญาณการสั่นสะเทือนแสดงดังรูปที่ 9(ข) พบว่ามีความถี่ที่เด่นชัดแค่ช่วง 200 - 300 Hz และช่วง 2000 - 4000 Hz เท่านั้น ซึ่งคาดว่าน่าจะเป็นผลมาจากการกระแทกและการเสียดสีของมิตัดที่เสียหายและวัสดุขณะกำลังตัดวัสดุ นอกจากนี้ขนาดของแอมพลิจูดก็มีค่าที่มากกว่ากรณีของมิตัดปกติในช่วงความถี่เดียวกัน



รูปที่ 9 กราฟ PSD ของสัญญาณที่สภาวะมิตัดปกติและมิตัดเสียหายที่ผิวหลบที่แกน X, Y และ Z

ตัวอย่างของการเปรียบเทียบความถี่ระหว่างมิตัดที่ปกติและมิตัดเสียหายที่ผิวหลบที่แกน Z แสดงดังรูปที่ 10 การใช้การวิเคราะห์ค่าแอมพลิจูดสูงสุดหรือ

ค่าพลังงานของสัญญาณช่วงความถี่ 2000 – 4000 Hz คาดว่าสามารถใช้เป็นพารามิเตอร์สำหรับการเปรียบเทียบสภาพของมีดตัดได้ ทั้งนี้แนวโน้มของความถี่ทั้งแกน Y และ Z จะเป็นในแนวทางเดียวกันกับแกน X คือเมื่อเกิดความเสียหายขึ้น ค่าแอมป์ริจูดหรือค่าพลังงาน (คำนวณตามสมการที่ 7) ของช่วงความถี่ 2000-4000 Hz จะมีค่ามากขึ้น ซึ่งผลการวิเคราะห์ความถี่จะใกล้เคียงกับผลการวิเคราะห์ของ Silva et al. [8] ที่พบว่า สัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกจากหัววัดการสั่นสะเทือนขณะมีดตัดชิ้นงานที่เป็นเหล็กเหนียวบนเครื่องกลึง CNC จะมีความถี่สูงสุดเกิดขึ้นที่ประมาณ 2500 Hz และจะมีพลังงานเพิ่มขึ้นเมื่อความเสียหายของมีดตัดเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 10 กราฟเปรียบเทียบค่า PSD ของสัญญาณที่สภาวะมีดตัดปกติและมีดตัดเสียหายที่แกน X

### 5. สรุป

การศึกษาเบื้องต้นเพื่อหาค่าพารามิเตอร์บนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ที่มีผลต่อการทำนายสภาวะของมีดตัดบนเครื่องกลึงขณะทำงานได้ผลสรุปว่า การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคบนโดเมนเวลาของสัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกขณะมีดตัดกำลังตัดชิ้นงานดังรูปที่ 2 นั้น ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้จากสัญญาณการสั่นสะเทือนที่บันทึกได้ไม่สามารถทำนายสภาวะของมีดได้อย่างชัดเจน แต่การหาค่าสัมบูรณ์ (Absolute value) ของสัญญาณการสั่นสะเทือนก่อนแล้วจึงคำนวณค่าพารามิเตอร์บนโดเมนเวลาพบว่า ค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน และค่าพลังงานสามารถใช้เปรียบเทียบสภาวะของมีดตัด ในขณะที่ค่าความเบ้

ค่าความโค้ง และค่า Crest factor สามารถใช้ได้บางกรณีเท่านั้น การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ด้วยการเปรียบเทียบค่าแอมป์ริจูดสูงสุดหรือพลังงานของช่วงความถี่ 2000 – 4000 Hz คาดว่าจะนำมาใช้ทำนายสภาวะของมีดตัดได้ การศึกษาต่อไปจะทำการทดลองเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความเสียหายต่าง ๆ ของมีดตัดที่ผิวหลบต่อค่าพารามิเตอร์ที่เลือกไว้ด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนและสัญญาณอื่น ๆ ที่เป็นไปได้ รวมทั้งทำการทดลองที่เงื่อนไขการตัดอื่น ๆ ด้วยการปรับเปลี่ยนค่าอัตราป้อน และความเร็วของแกนหมุน เป็นต้น นอกจากนี้ การศึกษาต่อไปจะทำการหาวิธีการทำนายสภาวะมีดตัดขณะกลึงให้ถูกต้องและวิเคราะห์ได้จริง

### 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงประลองวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครที่ให้การช่วยเหลือด้านวัสดุ มีดตัด และการจัดเตรียมเครื่องกลึงสำหรับการศึกษารั้งนี้

### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Stephenson, D. A. and Agapiou, J. S. (2006), *Metal Cutting Theory and Practice*, 2<sup>nd</sup> Edition, CRC Press.
- [2] Sick, B. (2002), On-line and indirect tool wear monitoring in turning with artificial neural networks: a review of more than a decade of research, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 16, No. 4, pp. 487-546.
- [3] Mannan, M. A., Kassim, A. A. and Jing, M. (2000), Application of image and sound analysis techniques to monitor the condition of cutting tools, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 21, pp. 969-979.
- [4] Scheffer, C., and Heyns, P. S. (2001), Wear monitoring in turning operations using vibration and strain measurements, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 15, No. 6, pp. 1185-1202.

[5] Sharma, V. S., Sharma, S. K. and Sharma, A. K. (2007), An approach for condition monitoring of a turning tool, *Proceeding of IMechE Part B: Journal of Engineering Manufacture*, Vol. 221, pp. 635-646.

[6] Du, R. (1999), Signal understanding and tool condition monitoring, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 12, pp. 585-597.

[7] Kang, M. C., Kim, J. S., and Kim, J. H. (2001), A monitoring technique using a multi-sensor in high speed machining, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 133, pp. 331-336.

[8] Silva R. G., Reuben R. L., Baker K. J. and Wilcox S. J. (1998), Tool wear monitoring of turning operations by neural network and expert system classification of a feature set generated from multiple sensors. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 12, No. 2, pp. 319-392.