

การตรวจจับแซดเตอร์ในกระบวนการกัด้วยใบมิด แบบหวับอโดยใช้การแปลงเวฟเล็ด

ธนินธรณ์ ศักดิ์ศรี^{1*} และ สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ²

บทคัดย่อ

แซดเตอร์เป็นสาเหตุหนึ่งที่สำคัญ ต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานในกระบวนการกัด้วยมิดแบบหวับอ เช่น ความขรุขระของผิวชิ้นงานหรืออายุของเครื่องมือ ดังนั้นการตรวจจับแซดเตอร์จึงมีความสำคัญมาก อย่างไรก็ตามการตรวจจับแซดเตอร์ไม่สามารถทำได้โดยตรง วิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบันคือ การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว แต่วิธีการนี้ทำให้สูญเสียข้อมูลในรูปแบบของโดเมนเวลา งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการตรวจจับแซดเตอร์ในกระบวนการกัด้วยมิดแบบหวับอ โดยใช้วิธีการแปลงเวฟเล็ดมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับแซดเตอร์

และเปรียบเทียบกับวิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว จากผลการทดลองพบว่า การแปลงเวฟเล็ดสามารถตรวจจับแซดเตอร์ได้ดีกว่าการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วอย่างชัดเจน ทั้งในโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ ซึ่งความแม่นยำในการตรวจจับแซดเตอร์ด้วยวิธีการแปลงเวฟเล็ด เท่ากับ 100% ในขณะที่วิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว นั้น สามารถตรวจจับแซดเตอร์ได้เพียง 89.5% ภายใต้เงื่อนไขการเดียวกัน

คำสำคัญ: การแปลงเวฟเล็ด การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว กระบวนการกัด้วยมิดแบบหวับอ การตรวจจับแซดเตอร์

¹ นิสิต ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูงและวิศวกรรมเที่ยงตรง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² รองศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูงและวิศวกรรมเที่ยงตรง ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-1701-0135 อีเมล: nin_sk122@hotmail.com



Chatter Detection in Ball End Milling Process Using Wavelet Transformation

Tanintorn Saksri^{1*} and Somkiat Tangjitsitcharoen²

Abstract

Chatter is one of the major causes of the workpiece quality in ball end milling process such as surface roughness or tool life. Hence, it is very important to detect the chatter. However, it is difficult to detect the chatter directly. Most commonly used method is the fast fourier transformation but the data in time domain is the major disadvantage of this method. The aim of this research is to develop a new method to detect the chatter called wavelet transformation. The experimental result

shows that the wavelet transformation outperforms the fast fourier transformation in both time and frequency domains. Based on the same cutting condition, The accuracy of the chatter detection using the wavelet transformation is 100% whereas it is only 89.5% when the fast fourier transformation is applied.

Keywords: Wavelet Transform, Fast Fourier Transform, Ball End Milling Process, Chatter Detection

¹ Student, Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering, Chulalongkorn University.

² Associate Professor, Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering, Chulalongkorn University.

* Corresponding Author, Tel. 08-1701-0135, E-mail: nin_sk122@hotmail.com

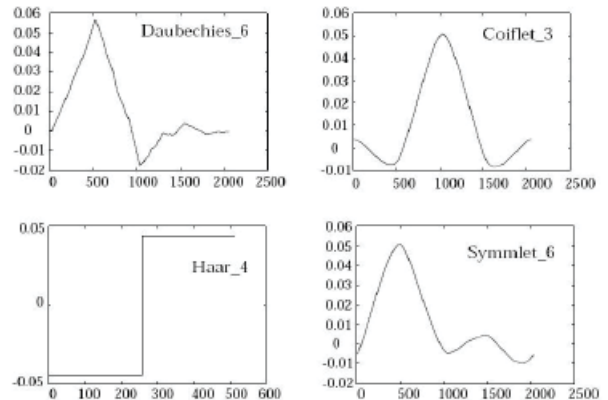
1. บทนำ

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษากระบวนการกัดด้วยมีดแบบหัวบอล ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตหนึ่งที่มีความสำคัญ โดยเฉพาะในการผลิตชิ้นส่วนแม่พิมพ์หรือชิ้นส่วนยานยนต์ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนพื้นฐานที่นำไปผลิตชิ้นงานอื่นๆต่อไป ในการเพิ่มผลผลิตของกระบวนการกัด ซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งในการกำจัดเนื้อโลหะนั้น จำเป็นต้องเพิ่มอัตราการกำจัดเนื้อโลหะให้สูงขึ้น โดยการเพิ่มความลึกตัด (Depth of Cut) ความเร็วรอบตัด (Spindle Speed) อัตราการป้อนตัด (Feed Rate) แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ ก็อาจทำให้เกิด chatter (Chatter) หรือการสั่นรูปแบบหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการกัดตัวเอง (Self Excited) ขึ้น ซึ่งมีผลเสียที่ตามมาได้ คือ

- คุณภาพของผิวชิ้นงานไม่ดี
- ขนาดชิ้นงานไม่เป็นไปตามที่ต้องการ
- มีดตัดแตกหักหรือเกิดความเสียหายได้

ดังนั้น การตรวจจับ chatter จะมีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการผลิต แต่อย่างไรก็ตาม การควบคุม chatter จากกระบวนการกัดโดยตรงนั้นทำได้ยาก ทำให้ต้องพัฒนาวิธีการตรวจจับ chatter ให้มีความแม่นยำและถูกต้อง โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ต้องการพัฒนาวิธีการตรวจจับ chatter โดยการวัดแรงตัดไดนามิกส์ที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการกัด เนื่องจากสัญญาณแรงตัดเป็นสิ่งที่แสดงถึงข้อมูลเกี่ยวกับสถานะของกระบวนการกัดได้ดี [1], [2]

การตรวจจับ chatter ในงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา [3], [4] ได้ใช้วิธีการที่เรียกว่า การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform) ซึ่งเป็นการแปลงข้อมูลจากโดเมนเวลาไปยังโดเมนความถี่ ทำให้สามารถตรวจจับ chatter ได้ง่าย [1] แต่เกิดการสูญเสียข้อมูลในรูปแบบของโดเมนเวลาไป ซึ่งมีข้อเสียก็คือ ทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่ามี chatter เกิดขึ้นเมื่อใด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาวิธีการ การแปลงเวฟเลต (Wavelet Transform) ซึ่งเป็นการแปลงข้อมูลจากโดเมนเวลา ไปยังโดเมนเวลาและความถี่ (Time-frequency Domain) ด้วยวิธีการนี้ ทำให้สามารถตรวจจับ chatter ได้ และยังคงทราบเวลา



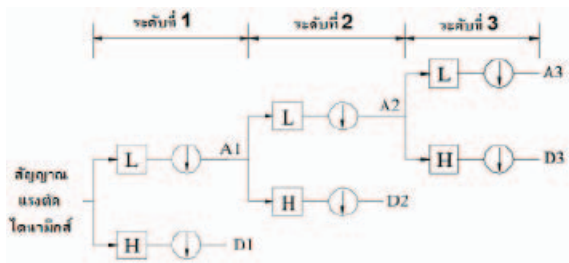
รูปที่ 1 ตัวอย่างของแฟมิลีต่างๆ ของเวฟเลต [8]

ณ จุดที่มี chatter เกิดขึ้นได้อีกด้วย

2. การแปลงเวฟเลต

การแปลงเวฟเลตถูกนำมาประยุกต์ใช้ในหลายๆ ด้าน [5]-[7] ตัวอย่างเช่น การประมวลผลสัญญาณ (Signal Processing) และการประมวลผลภาพ (Image Processing) เป็นต้น ซึ่งการแปลงเวฟเลตนี้เป็นการแปลงสัญญาณไปหาฟังก์ชันเวฟเลตหรือที่เรียกกันว่าเวฟเลตแม่ (Mother Wavelet) แทนที่แปลงไปหาฟังก์ชันไซน์หรือโคไซน์เหมือนกับการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว ซึ่งเวฟเลตแม่นี้ก็ถูกแบ่งออกเป็นลักษณะที่แตกต่างกันออกไปหลายๆ ลักษณะ ซึ่งเรียกลักษณะเหล่านี้ว่า แฟมิลี (Family) ตัวอย่างเช่น ดาเบชีส์ (Daubechies) คอยเฟล็ต (Coiflet) ฮาร์ (Haar) ซิมเมตริก (Symmlet) เป็นต้น ดังรูปที่ 1 โดยแต่ละแฟมิลีก็เหมาะสมกับลักษณะของสัญญาณที่แตกต่างกันออกไป

ทฤษฎีเวฟเลตนั้นถูกนำมาใช้ในการอธิบายสิ่งๆ หนึ่งหรือสัญญาณๆ หนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบย่อยๆ หลายๆ ส่วนที่มีความสัมพันธ์กัน องค์ประกอบย่อยๆ เหล่านี้ถูกจัดอยู่ในรูปของเวฟเลตที่มีการย่อหรือขยายหรือเลื่อนตำแหน่ง โดยกระบวนการดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า เวฟเลต ดีคอมโพสิชัน (Wavelet Decomposition) ซึ่งสัญญาณถูกแบ่งออกเป็นระดับ (Level) หลายๆ ระดับ ในแต่ละระดับของสัญญาณถูกแบ่งออกเป็นจากข้างต้น



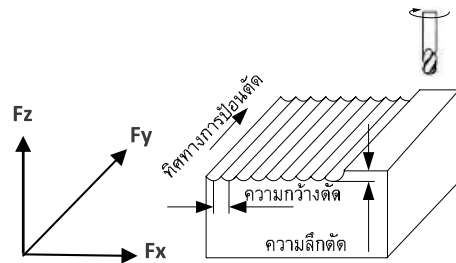
รูปที่ 2 การแยกย่อยสัญญาณในระดับต่างๆ [9]

การเลือกระดับและเวฟเลตแม่ที่เหมาะสมกับสัญญาณที่ต้องการศึกษา จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้เวฟเลต ดอเบชีส์ เป็นเวฟเลตแม่ เนื่องจากเป็นเวฟเลตที่มีรูปแบบที่เหมาะสมกับสัญญาณกล (Mechanical Signal) [1] ซึ่งเป็สัญญาณที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ และใช้การแปลงเวฟเลตในระดับที่ 1 ถึง 4 เพื่อทดสอบการตรวจจับแชนเดเตอร์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงของระดับที่เหมาะสมกับความถี่ของแชนเดเตอร์

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เครื่องซีเอ็นซี แมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ยี่ห้อ Mazak รุ่น Variaxis 500-5X แท่นเซนเซอร์วัดแรง (ไดนาโมมิเตอร์) ชาร์จแอมป์ไฟเออร์ยี่ห้อ Kister type 5073 และเครื่องออสซิลโลสโคปยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น DL 750 โดยมิตัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ มิตัดแบบหัวบอล ชนิดคมมิตัดคาร์ไบด์เคลือบผิวด้วยไทเทเนียมอลูมิเนียมไนโตรไซด์ 2 คมตัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 และ 8 มิลลิเมตร และใช้ชิ้นงานเป็นเหล็กกล้าคาร์บอน (S50C) ขนาด กว้าง 64 มิลลิเมตร ยาว 64 มิลลิเมตร สูง 45 มิลลิเมตร

สำหรับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลนั้น โดยงานวิจัยนี้ทำการบันทึกข้อมูลแรงตัดทั้งหมด 10,000 ข้อมูลในแต่ละแนวแกน รวมทั้งสิ้น 30,000 ข้อมูลต่อเงื่อนไขการตัดหนึ่งหนึ่ง และใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้นบน Window 7 Enterprise 64 bit โดยข้อมูลจำเพาะของคอมพิวเตอร์ที่ใช้มีดังต่อไปนี้ Intel Core i5-2430M CPU @ 2.40 GHz RAM 4GB ซึ่งเวลาประมวลผลเฉลี่ย ที่ได้จากวิธีการ



รูปที่ 3 ทิศทางของแรงในแกนต่างๆ

แปลงฟูเรียร์แบบเร็วและวิธีการแปลงเวฟเลตคือ 0.14 และ 0.27 วินาทีต่อเงื่อนไขการตัดหนึ่งตามลำดับ

3.1 การหาความถี่ธรรมชาติอุปกรณ์

ในการทดสอบเพื่อหาความถี่ธรรมชาติ จะทำการทดสอบกับเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ ชิ้นงาน (Workpiece) ปากกาจับชิ้นงาน (Jig) โต๊ะรองชิ้นงาน (Table) ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) อุปกรณ์จับยึดมิตัด (Tool Holder) และมิตัด (Tool) โดยความถี่ธรรมชาติของชิ้นงาน ปากกาจับชิ้นงาน โต๊ะรองชิ้นงาน ไดนาโมมิเตอร์ ถูกจับยึดติดกัน มีความถี่ธรรมชาติเท่ากับ 790 เฮิร์ตซ์ มิตัดและอุปกรณ์จับยึดมิตัด ซึ่งถูกจับยึดติดกัน มีความถี่ธรรมชาติเท่ากับ 1,150 เฮิร์ตซ์ และความถี่ของเซนเซอร์วัดแรงหรือไดนาโมมิเตอร์เท่ากับ 2,300 เฮิร์ตซ์

3.2 วิธีการทดลอง

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการระบุสัญญาณแรงตัดที่เกิดขึ้นดังนี้ แรงตัดในแนวแกน X หรือแรงตัดในแนวสัมผัส (Tangencial Force) ให้แทนด้วยสัญลักษณ์ F_x , แรงตัดในแนวแกน Y หรือแรงตัดในแนวรัศมี (Radial Force) ให้แทนด้วยสัญลักษณ์ F_y และแรงตัดในแนวแกน Z หรือแรงตัดในแนวแกน (Axial Force) ให้แทนด้วยสัญลักษณ์ F_z ตามลำดับดังรูปที่ 3 และในงานวิจัยนี้มีขั้นตอนในการทดลองดังต่อไปนี้

1. นำชิ้นงานติดเข้ากับปากกาจับชิ้นงาน (Jig) ที่เชื่อมต่อกับเซนเซอร์วัดแรง
2. เชื่อมต่อเซนเซอร์วัดแรงเข้ากับเครื่องขยายสัญญาณ

ก่อนเข้าสู่ฮาร์ดแวร์ โดยกำหนดค่ากรองความถี่ย่านสัญญาณต่ำผ่าน (Low-pass Filter) เท่ากับ 5,000 เฮิรตซ์ และอัตราการเก็บข้อมูล (Sampling Rate) เท่ากับ 10,000 ค่าต่อวินาที

3. ทำการทดลองตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 1 และทำการบันทึกข้อมูลสัญญาณแรงตัดไดนามิกส์ที่เกิดขึ้นทั้ง 3 แกน

4. คำนวณแรงตัดไดนามิกส์ทั้ง 3 แกน โดยการคูณค่าที่เก็บได้ด้วยค่าตอบสนอง (Sensitivity) ในงานวิจัยนี้มีค่าเท่ากับ 200 นิวตัน/โวลต์

5. ตัดสัญญาณรบกวนโดยหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณแรงตัดไดนามิกส์แล้วนำไปลบออกจากค่าที่บันทึกได้

6. พิจารณาแรงตัดไดนามิกส์ทั้งหมด เพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่มีแซตเตอร์เกิดขึ้น โดยใช้วิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว

7. พิจารณาแรงตัดไดนามิกส์ทั้งหมด เพื่อหาเงื่อนไขการตัดที่มีแซตเตอร์เกิดขึ้น โดยใช้วิธีการแปลงเวฟเลต ซึ่งสามารถแสดงขั้นตอนได้ดังรูปที่ 4

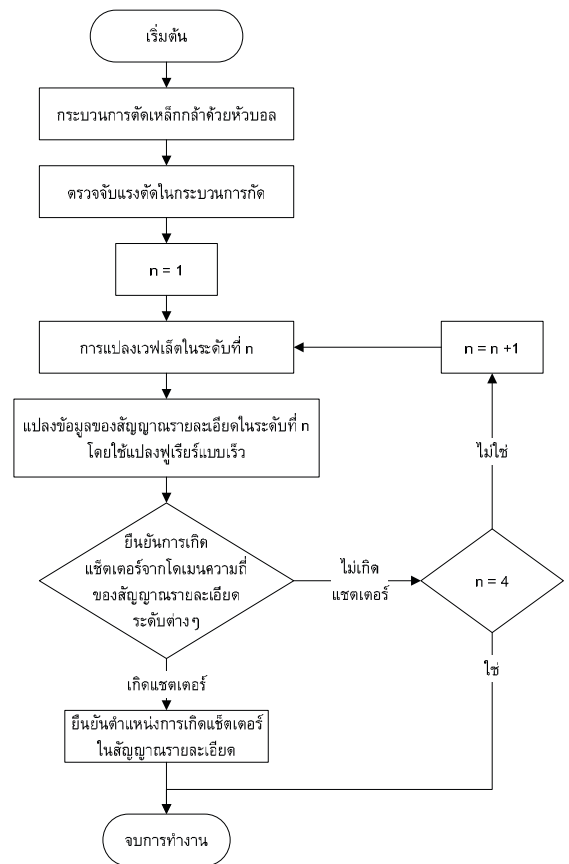
8. เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากวิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วและวิธีการแปลงเวฟเลต

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการตัด

เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ความเร็วรอบตัด (รอบต่อนาที)	ความลึกตัด (มิลลิเมตร)	อัตราการป้อนตัด (มิลลิเมตร/รอบ)
6	5,000	1	0.01
8	6,000	2	0.02
	7,000	3	0.03
	8,000	4	

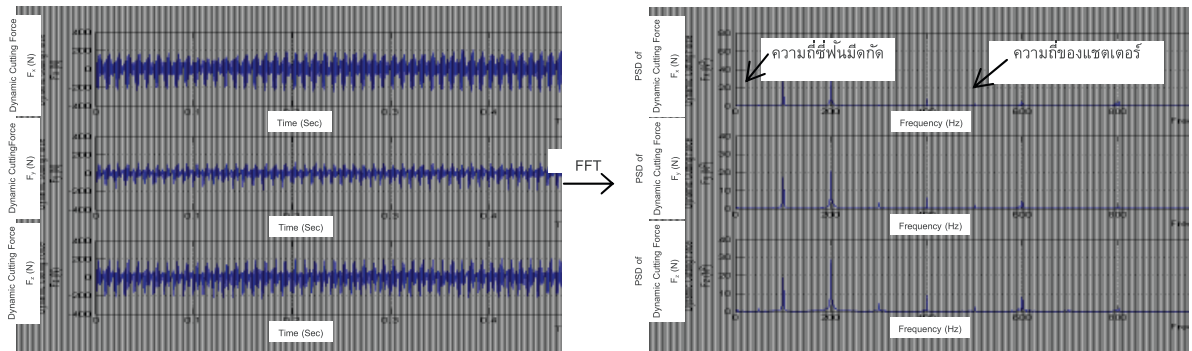
4. ผลการทดลอง

ในการศึกษาการตรวจจับแซตเตอร์ในงานวิจัยนี้ ทำการเปรียบเทียบแรงตัดไดนามิกส์ทั้ง 3 แกนภายใต้เงื่อนไขการตัดปกติ และเงื่อนไขการตัดที่เกิดแซตเตอร์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ค่าแอมพลิจูดของแรงตัดไดนามิกส์ที่เกิดขึ้นทั้ง 3 แกนมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากการสั่นสะเทือนจากมีดตัด ซึ่งสอดคล้องกับ

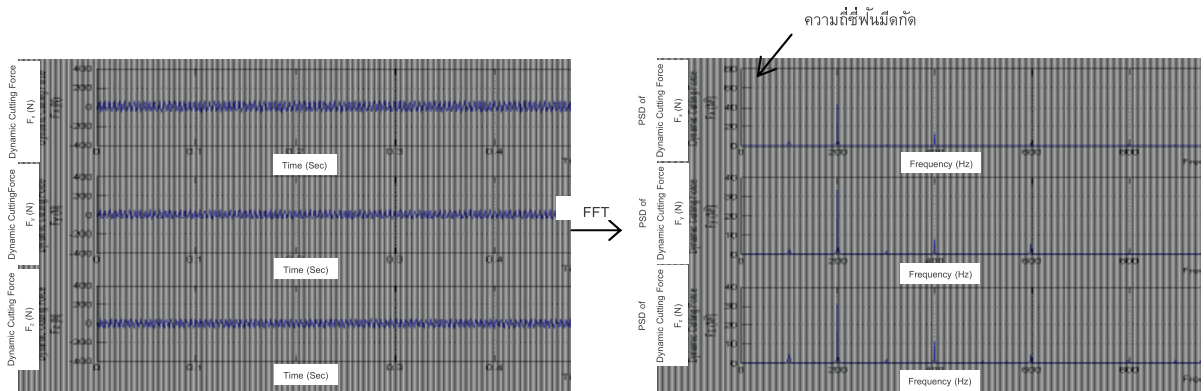


รูปที่ 4 ขั้นตอนการตรวจจับแซตเตอร์ด้วยวิธีการแปลงเวฟเลต

งานวิจัยที่ผ่านมาของ S.Tangjitsitcharoen และ T. Moriwaki [10] ที่กล่าวว่าเมื่อเกิดแซตเตอร์ขึ้นแล้ว แอมพลิจูดของแรงตัดไดนามิกส์มีค่าสูงเมื่อเทียบกับการตัดปกติ และเมื่อทำการแปลงข้อมูลของแรงตัดไดนามิกส์จากโดเมนเวลาไปยังโดเมนความถี่โดย วิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว ซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ในเงื่อนไขการตัดที่มีแซตเตอร์เกิดขึ้น ดังรูปที่ 5 แอมพลิจูดที่มีค่าสูง 2 ส่วนด้วยกันคือ ความถี่ของซี่ฟัน (Tooth Passing Frequency) ที่เกิดขึ้นตามความเร็วรอบตัดที่ 200 เฮิรตซ์และความถี่ของแซตเตอร์ (Chatter Frequency) ที่ความถี่ประมาณ 1,150 เฮิรตซ์ ซึ่งใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติ ในทางกลับกัน ในเงื่อนไขการตัดปกติ นั้น ไม่พบความถี่ที่เกิดแซตเตอร์ขึ้นแต่พบเพียงความถี่ของซี่ฟันเท่านั้น



ก) การตัดที่เกิดแชตเตอร์: ความเร็วรอบตัด 6,000 รอบต่อนาที ความลึกตัด 3 มิลลิเมตร อัตราการป้อนตัด 0.03 มิลลิเมตร/ฟัน



ข) การตัดปกติ: ความเร็วรอบตัด 6,000 รอบต่อนาที ความลึกตัด 1 มิลลิเมตร อัตราการป้อนตัด 0.02 มิลลิเมตร/ฟัน

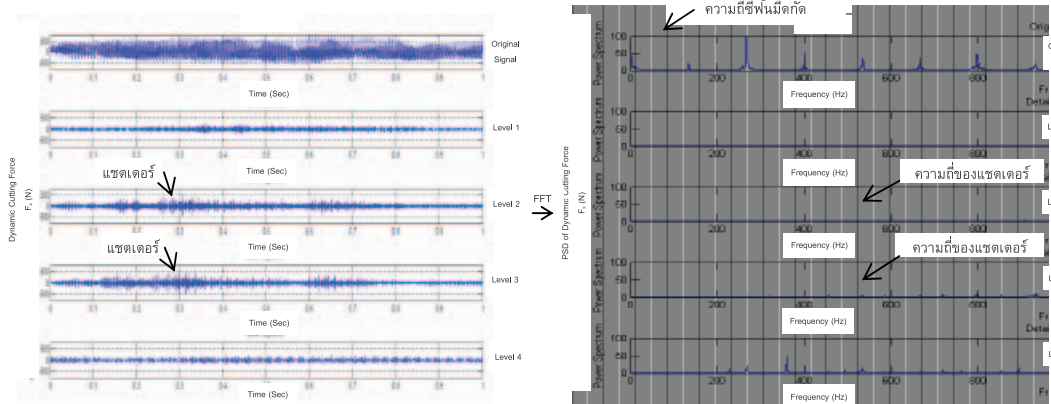
รูปที่ 5 ตัวอย่างของแรงตัดไดนามิกทั้ง 3 แกน จากกระบวนการกัดและการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว

ในบางกรณี การตรวจจับแชตเตอร์ด้วยการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว ไม่สามารถตรวจจับแชตเตอร์ได้ดังรูปที่ 6 จากสัญญาณโดยสังเกตได้จากโดเมนความถี่ของสัญญาณนำเข้าจะไม่พบความถี่ของแชตเตอร์ และพบเพียงความถี่ของซีพินเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม การแปลงเวฟเลตในระดับที่เหมาะสม สามารถตรวจจับแชตเตอร์ได้อย่างชัดเจน โดยสังเกตได้จากแอมพลิจูดที่สูงขึ้นเนื่องจากแชตเตอร์ที่เกิดขึ้น [10] ในสัญญาณรายละเอียดระดับที่ 2 และ 3 และแอมพลิจูดที่สูงขึ้นนี้เองที่แสดงถึงขณะเวลา ณ จุดที่เกิดแชตเตอร์

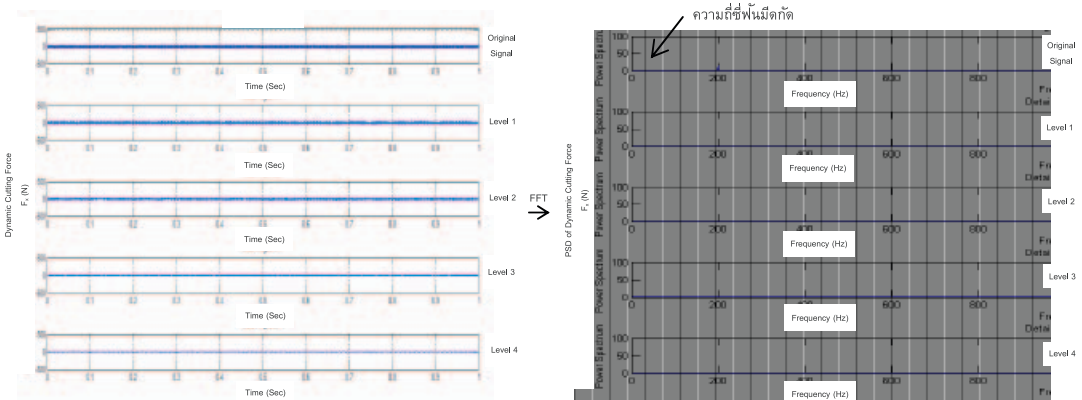
นอกจากนี้ เพื่อยืนยันว่าสัญญาณรายละเอียดสามารถตรวจจับแชตเตอร์ได้จริง จึงทดลองนำวิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วมาใช้ ซึ่งผลที่ได้คือพบความถี่ที่ตำแหน่งเดียวกัน

กับความถี่ของแชตเตอร์ที่ 1150 เฮิรตซ์ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองก่อนหน้านี้ แต่ในทางกลับกันในระดับที่ 1 และ 4 ไม่พบความถี่ของแชตเตอร์ดังกล่าว เนื่องจากในระบับดังกล่าวไม่เหมาะสมกับช่วงความถี่ของแชตเตอร์นั่นเอง

จากการทดลองตรวจจับแชตเตอร์ จากเงื่อนไขการทดลองทั้งหมดที่กำหนดขึ้นในงานวิจัยนี้รวม 96 เงื่อนไขการทดลอง พบว่าการแปลงเวฟเลตสามารถตรวจจับการตัดที่เกิดแชตเตอร์ได้ทั้งหมด 20 เงื่อนไขการทดลองและเงื่อนไขการตัดปกติ 76 เงื่อนไขการทดลอง แต่วิธีการแปลงฟูเรียร์ตรวจจับได้เพียง 17 เงื่อนไขการทดลองที่เป็นการตัดที่เกิดแชตเตอร์ และ 79 เงื่อนไขการทดลองที่เป็นการตัดปกติ



ก) การตัดที่เกิดแซดเตอร์: ความเร็วรอบตัด 8,000 รอบต่อนาที ความลึกตัด 4 มิลลิเมตร อัตราการป้อนตัด 0.03



ข) การตัดปกติ: ความเร็วรอบตัด 6,000 รอบต่อนาที ความลึกตัด 1 มิลลิเมตร อัตราการป้อนตัด 0.02 มิลลิเมตร/ฟัน

รูปที่ 6 ตัวอย่างของแรงตัดไดนามิกในแกน x จากกระบวนการกัดและการแปลงเวฟเลิตในระดับที่ 1-4

5. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้ได้ทดลองการแปลงเวฟเลิตในระดับที่ 1 ถึงระดับที่ 4 ซึ่งเป็นช่วงของระดับที่เหมาะสมกับช่วงความถี่ของแซดเตอร์ โดยระดับที่เหมาะสมที่สุดในการตรวจจับแซดเตอร์ ในงานวิจัยนี้อยู่ในระดับที่ 2 หรือ 3 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมา [11]

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่าวิธีการแปลงเวฟเลิตมีข้อได้เปรียบ เมื่อเทียบกับวิธีการแปลงฟูเรียร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่การแปลงฟูเรียร์ไม่สามารถตรวจจับแซดเตอร์ที่เกิดขึ้นได้

นอกจากนี้ วิธีการแปลงเวฟเลิตยังสามารถแสดง

รายละเอียดข้อมูลได้ทั้งในรูปแบบของโดเมนเวลา และโดเมนความถี่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมนเวลาที่วิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วไม่สามารถทำได้ ซึ่งทำให้ทราบถึงช่วงเวลาที่เกิดแซดเตอร์ได้ และยังให้ผลการตรวจจับที่ดีกว่าวิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว โดยประสิทธิภาพในการตรวจจับเท่ากับ 100% แต่วิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วนั้นสามารถตรวจจับได้เพียง 89.5% เท่านั้น แต่ยังคงใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่าวิธีการแปลงฟูเรียร์แบบเร็วอยู่เล็กน้อย

เพื่อทดสอบว่าวิธีการแปลงเวฟเลิต สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับเงื่อนไขการตัดอื่นๆ ได้ โดยในงานวิจัยนี้

จึงได้ทดลองส้อมเงื่อนไขการตัดอื่นๆ นอกเหนือจากเงื่อนไขที่กำหนดในงานวิจัยนี้ ทั้งขนาดมีดตัด ความเร็วรอบตัด ความลึกตัดและอัตราการป้อนตัด โดยยังคงใช้ชิ้นงานเดิมดังตารางที่ 2 ซึ่งผลที่ได้ คือการแปลงเวฟเลตยังคงสามารถตรวจจับ chatter ได้ แต่ระดับที่เหมาะสมในการตรวจจับ chatter อาจเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเปลี่ยนขนาดของมีดตัดทำให้น้ำหนักเปลี่ยนไป ซึ่งส่งผลต่อความถี่ธรรมชาติและความถี่ของ chatter ที่เปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการตัดเพิ่มเติม

ลำดับที่	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	อัตราการป้อนตัด (มิลลิเมตร/ฟัน)	ความเร็วรอบตัด (รอบต่อนาที)	ความลึกตัด (มิลลิเมตร)
1	4	1	2000	2
2	4	1	8000	2
3	4	2	4000	2
4	4	2	10000	3
5	4	2	2000	2
6	4	2	5000	3
7	4	2	8000	2
8	4	3	1000	2
9	4	3	5000	3
10	4	3	1000	2
11	10	1	2000	3
12	10	1	8000	4
13	10	2	3000	6
14	10	2	8000	3
15	10	2	2000	7
16	10	2	5000	4
17	10	2	8000	6
18	10	3	1000	7
19	10	3	5000	4
20	10	3	9000	6
21	12	1	2000	8
22	12	1	8000	6
23	12	2	4000	10
24	12	2	9000	6
25	12	2	2000	8
26	12	2	5000	8
27	12	2	8000	6
28	12	3	2000	8
29	12	3	4000	8
30	12	3	8000	8

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนในการวิจัยจาก The Asahi Glass Foundation ในปี พ.ศ. 2553 ประเทศญี่ปุ่นและศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูงและวิศวกรรมที่ยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Kwak, "Application of Wavelet Transform Technique to Detect Tool Failure in Turning operations," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 28, Issue 11, pp. 1078-1083, 2005.
- [2] E. Kuljanic, G. Totis, and M. Sortino, "Development of an Intelligent Multisensor Chatter Detection System in Milling," *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 23, Issue 5, pp. 1704-1718, 2009.
- [3] Y. Altintas and M. Weck, "Chatter Stability of Metal Cutting and Grinding," *Annals of the CIRP*, vol. 53, no. 2, pp. 619-642, 2004.
- [4] S. Tangjitsitharoen and N. Pongsathornwivat, "Development of Chatter Detection in Milling Processes," *The International Journal of advanced Manufacturing Technology*, 10.1007/s00170-012-4228-7.
- [5] P. S. Addison, *The Illustrated Wavelet Transform Handbook, Introductory Theory and Applications in Science, Engineering, Medicine and Finance*, Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 2002.
- [6] A. Graps, "An Introduction to Wavelets," *Computational Science & Engineering, IEEE*, vol. 2, Issue 2, pp. 50-61, 1995.
- [7] A. Bijaoui and G. Jammal, "On the Distribution of the Wavelet Coefficient for a Poissons Noise,"



- Signal Process*, vol. 81, no.9, pp. 1789–1800, 2001.
- [8] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 2nd Edition. USA: John Wiley & Sons, 2004.
- [9] L. Xiaoli, Y. Yingxue, and Y. Zhejun, “On-line Tool Condition Monitoring System with Wavelet Fuzzy neural network,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 8, pp. 271-276, 1997.
- [10] S. Tangjitsitjaroen and T. Moriwaki, “Intelligent Monitoring and Identification of Cutting States of Chips and Chatter on CNC Turning Machine,” *Journal of Manufacturing Processes*, 2008.
- [11] L. Xiaoli, S. Dong, and Y. Zhejun, “Discrete Wavelet Transform for Tool Breakage Monitoring,” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 39, pp. 1935–1944, 1999.