บทที่ 5

การสรุปผลของวิทยานิพนธ์

สรุปผลการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน

การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลา เมื่อพิจารณาในส่วนของ Time wave form พบลักษณะของพัลส์และรูปแบบของการมอดูเลตมากขึ้นตามการสึกหรอโดยเฉพาะในวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging ในส่วนแนวโน้มของสัญญาณพบแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของสัญญาณตามการสึกหรอที่เพิ่มขึ้นเฉพาะการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 RPM เท่านั้น โดยการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM ไม่พบแนวโน้มที่ชัดเจน ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการทดลองที่ความเร็วรอบ 800 RPM มีการส่งผ่านแรงที่น้อยกว่าการทดลองที่ความเร็วรอบ 500 RPM ทำให้โอกาสที่ฟันเฟืองหลุดจากการขบกันในขณะส่งผ่านการเคลื่อนที่มากกว่า เมื่อการสึกหรอเพิ่มขึ้นช่องว่างระหว่างฟันที่ขบกัน (Back lash) ก็มากขึ้นด้วยทำให้ฟันเฟืองมีโอกาสหลุดจากการขบกันมากขึ้น โดยค่า RMS และ Peak มีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นของสัญญาณเมื่อการสึกหรอเพิ่มขึ้นที่เด่นชัดกว่าค่า Kurtosis และ Crest Factor และในกรณีของ RMS พบว่าการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะโดยชุดสัญญาณ 100 ชุด สามารถช่วยลดขนาดของสัญญาณรบกวนลงได้ โดยสัญญาณรบกวนในที่นี้คือสัญญาณการสั่นสะเทือนต่างๆ ที่ไม่ได้มีความถี่ที่สอดคล้องกับความเร็วรอบหมุนของเพลาในที่นี้อาจหมายถึงความถี่ธรรมชาติ และสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เกิดจากเพลาของเฟืองตาม

เมื่อทำการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนความถี่ ไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนในยอดสเปกตรัมที่ความถี่ 1xGMF ส่วนยอดสเปกตรัมที่แถบความถี่ข้าง 3 ฮาร์มอนิกแรกทั้งทางซ้ายและขวาของ 1xGMF ของทั้งเฟืองขับและเฟืองตามไม่พบแนวโน้มที่มีรูปแบบคงที่ โดยรวมยอดสเปกตรัมที่แถบความถี่ข้างทางด้านซ้ายของ 1xGMF มีจำนวนแถบความถี่มากกว่าและแอมพลิจูดที่เด่นชัดกว่ายอดสเปกตรัมที่แถบความถี่ข้างทางด้านขวา เมื่อพิจารณาแนวโน้มแถบความถี่ข้างที่ฮาร์มอนิกไกลๆ จะพบแนวโน้มแอมพลิจูดที่น่าสนใจในแถบความถี่ข้างที่มีความถี่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของชุดทดสอบหรือใกล้เคียง โดยในการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 200 W ยอดสเปกตรัมที่ความถี่ 6xSBPL ประมาณ 166.6 Hz ซึ่งเป็นยอดที่ตรงกับความถี่ธรรมชาติโหมดที่ 1 ในแนวระดับของชุดทดสอบ ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกจนเฟืองมีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ 33.2 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นจนเฟืองมีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ 83.0 เปอร์เซ็นต์ สัญญาณที่เก็บในแนวระดับมีแนวโน้มที่เด่นชัดกว่าสัญญาณที่เก็บ

ในแนวดิ่ง และที่แถบความถี่ข้างที่ความถี่ 7xSBPL ประมาณ 158.3 Hz มีแนวโน้มของสัญญาณคล้ายกัน ส่วนที่สภาวะ 500 RPM 340 W พบแนวโน้มของแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นตามระดับสึกหรอที่ชัดเจนที่ความถี่ 7xSBPL ทั้งแนวดิ่งและแนวระดับ ส่วนที่สภาวะ 800 RPM 200 W มีแนวโน้มของแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างที่ 10xSBPL ประมาณ 213.3 Hz และ 14xSBPL ประมาณ 160.0 Hz เพิ่มขึ้นตามการสึกหรออย่างช้าๆ ในช่วงตั้งแต่เริ่มทดลองจนเฟืองมีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ 49.8 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนเฟืองมีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ 66.4 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทดลองที่สภาวะ 800 RPM 340 W พบแนวโน้มแอมพลิจูดของแถบความถี่ข้างที่ 10xSBPL พบแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตั้งแต่เริ่มทดลองจนมีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ 49.8 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นแนวโน้มจะลดลงจนถึงระดับสึกหรอสุดท้าย และที่ความถี่ 14xSBPL แอมพลิจูดเพิ่มขึ้นช้าๆ โดยตลอด

การวิเคราะห์สัญญาณเซปส์ตรัม ในทุกสภาวะการทดลองแนวโน้มแกมนิจูดของเซปส์ตรัมที่คิวเฟรนซี่ 1/P, 2/P และ 3/P มีลักษณะที่คล้ายกันในวิธีการเก็บสัญญาณแบบเดียวกัน โดย 1/P จะให้แนวโน้มที่เด่นชัดที่สุด และแนวโน้มแกมนิจูดของเซปส์ตรัมที่ 1/P, 2/P, 3/P และ 1/W ที่ได้จากวิธีการเก็บสัญญาณทั้ง 3 วิธีในแต่ละสภาวะการทดลองคล้ายกันในเกือบทุกสภาวะ ยกเว้นที่สภาวะ 500 RPM 200 W พบแนวโน้มของ 3/P จากวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Synchronous Time Averaging และ 1/P จากวิธีการเก็บสัญญาณแบบ Zoom Processing ที่เพิ่มขึ้นตามการสึกหรอ และ 1/W ที่ลดลงตามระดับการสึกหรอในทุกวิธีการเก็บสัญญาณ ส่วนที่สภาวะ 500 RPM 340 W แกมนิจูดของเซปส์ตรัมที่คิวเฟรนซี่ 1/P, 2/P และ 3/P มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามการสึกหรอในขณะที่แกมนิจูดของเซปส์ตรัมที่คิวเฟรนซี่ 1/W มีแนวโน้มที่ลดลง ส่วนที่สภาวะ 800 RPM 200 W แนวโน้มแกมนิจูดของเซปส์ตรัมที่คิวเฟรนซี่ 1/P, 2/P และ 3/P เพิ่มขึ้นตามการสึกหรอตั้งแต่เริ่มทดลองจนเฟืองมีการสึกหรอที่ปลายฟันประมาณ 49.8 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นแนวโน้มจะลดลงจนถึงระดับสึกหรอสุดท้าย ส่วนที่แกมนิจูดของเซปส์ตรัมที่คิวเฟรนซี่ 1/W มีแนวโน้มที่ลดลงตามการสึกหรอ และที่สภาวะ 800 RPM 340 W การเก็บสัญญาณโดยวิธี Zoom Processing พบแนวโน้มแกมนิจูดของเซปส์ตรัมที่คิวเฟรนซี่ 1/P เช่นเดียวกับการทดลองที่ 800 RPM 200 W

ความเป็นไปได้ในการใช้สัญญาณบนโดเมนเวลา สเปกตรัม และเซปส์ตรัม ในการวิเคราะห์การสึกหรอของเฟือง

จากข้อสรุปข้างต้นพบว่าไม่มีวิธีการวิเคราะห์ใดที่ให้ผลการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์แบบ การวิเคราะห์ควรทำการวิเคราะห์สัญญาณทั้ง 3 โดเมนร่วมกัน ทั้งนี้การเก็บสัญญาณแต่ละครั้งเครื่องวิเคราะห์สามารถให้ข้อมูลของทั้ง 3 โดเมน โดยสัญญาณบนโดเมนเวลาค่า RMS และ Peak จะให้แนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามระดับการสึกหรอ สัญญาณสเปกตรัมที่แถบความถี่ข้างที่ตรงกับความถี่ธรรมชาติของชุดทดสอบก็ให้แนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามการสึกหรอที่ชัดเจน ส่วนการวิเคราะห์เซปส์ตรัมแม้ว่าแนวโน้มแกมนิจูดของเซปส์ตรัมจะไม่ชัดเจนนัก แต่การวิเคราะห์เซปส์ตรัมสามารถบอกได้ว่าการสึกหรอเกิดขึ้นที่เฟืองตัวใด โดยจะปรากฏแกมนิจูดที่เด่นชัดในสัญญาณเซปส์ตัมที่คิวเฟรนซี่ 1/(ความถี่ของเฟืองตัวที่มีปัญหา)

ควรเก็บสัญญาณด้วยกระบวณการขยายความละเอียดของโดเมนความถี่ควบคู่กันกับการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่ โดยเลือกให้แสดงสัญญาณสเปกตรัมรอบๆ 1xGMF ด้วยขนาดของพิสัยที่ครอบคุมชุดแถบความถี่ข้างที่สนใจ ซึ่งจะช่วยให้สามารถแยกแยะชุดแถบความถี่ข้างอันเนื่องมาจากเฟืองแต่ละตัวออกจากกันได้โดยง่าย

การเก็บสัญญาณด้วยการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาแบบเข้าจังหวะ ช่วยให้สามารถวิเคราะห์รูปแบบการสั่นสะเทือนของสัญญาณบนโดเมนเวลาได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสัญญาณรบกวนถูกลดขนาดลงทำให้สามารถสังเกตการมอดูเลตของสัญญาณบนโดเมนเวลาที่มีคาบที่สอดคล้องกับความเร็วรอบของเฟืองขับได้ชัดเจนยิ่งขึ้น การเก็บสัญญาณด้วยวิธีการนี้สามารถช่วยลดสัญญาณรบกวนช่วงความถี่กว้างและเรโซแนนซ์ที่ความถี่สูงๆ ของสเปกตรัมออกไปได้มาก นอกจากนี้ยังสามารถขจัดชุดแถบความถี่ข้างจากความถี่ของเฟืองตัวอื่นๆที่ไม่ใช่เฟืองที่อยู่บนเพลาเดียวกับเพลาที่ติดตั้งแทกโคมิเตอร์ออกได้ สัญญาณเซปส์ตรัมของการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการนี้จะให้แกมนิจูดที่คิวเฟรนซี่ 1/(ความถี่เฟืองตัวที่มีปัญหา) ที่เด่นชัดกว่าการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนความถี่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อเสนอแนะและการศึกษาวิจัยต่อไป

1. จากการทดลองที่สภาวะ 500 RPM 340 W ซึ่งเป็นสภาวะที่ชุดเฟืองมีการส่งผ่านแรงมากที่สุด การสึกหรอของฟันเฟืองที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ประสิทธิภาพในการส่งผ่านแรงและการเคลื่อนที่ลดลง จากเหตุผลดังกล่าวทำให้พบการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบหมุนของมอเตอร์ในการทดลองที่สภาวะนี้ตั้งแต่ระดับสึกหรอที่ 2 ขึ้นไปมากกว่า ± 2 RPM ซึ่งมีผลต่อการเก็บสัญญาณด้วยวิธีการเฉลี่ยบนโดเมนเวลาเข้าจังหวะทำให้ชุดสัญญาณไม่เข้าจังหวะกันอย่างสมบูรณ์ ปัญหาของความเร็วรอบที่ไม่คงที่ดังกล่าวอาจแก้ไขโดยการติดตั้งล้อช่วยแรงบนเพลาของเฟืองขับ เพื่อเพิ่มความเฉื่อยให้แก่เพลาของเฟืองขับซึ่งอาจทำให้ความเร็วรอบของเฟืองขับมีความเสถียรมากขึ้น
2. จากโพรไฟล์ของฟันเฟืองที่มีการสึกหรอพบว่า เมื่อฟันเฟืองมีการสึกหรอเกิดขึ้นเนื้อของทองเหลืองจะไหลออกมากองรวมกันอยู่ที่บริเวณขอบของฟันเฟืองจนเกิดมีลักษณะเป็นครีบ เมื่อทำการวัดโพรไฟล์โดยเครื่องขยายโพรไฟล์ครีบดังกล่าวจะมาบังทางเดินของแสงทำให้เกิดเป็นเงาที่ยื่นออกมาบังเงาของโพรไฟล์ที่แท้จริง ปัญหาดังกล่าวอาจแก้ไขโดยการออกแบบให้เฟืองตามมีหน้าสัมผัสที่กว้างกว่าเฟืองขับเพื่อลดการสะสมของเนื้อทองเหลืองที่ขอบของฟันเฟืองเมื่อเฟืองขับมีการสึกหรอ
3. เนื่องจากมีผลจากความถี่ธรรมชาติของชุดทดลอง เพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของการสึกหรอต่อการสั่นสะเทือนควรสร้างชุดทดลองให้มีความแข็งแรงและมีมวลมากขึ้นเพื่อทำให้ความถี่ธรรมชาติของชุดทดลองอยู่นอกช่วงความถี่จากการทดลอง
4. เพื่อเพิ่มกรณีศึกษาของปัญหาที่เกิดกับชุดเฟืองจึงควรศึกษาความสัมพันธ์ของสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบต่างๆ กับปัญหาอื่นๆ ของชุดเฟือง โดยอาจจะเพิ่มเทคนิคใหม่ๆในการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน เช่นการดีมอดูเลตทางแอมพลิจูด (Amplitude Demodulation), การดีมอดูเลตทางความถี่ (Phase Demodulation), ไซโคลสเตชันนารี่ (Cyclostationary) และ เวฟเลท (Wavelet) เป็นต้น