

การแยกสัญญาณการสั่นสะเทือนของกล่องเฟืองทด เพื่อการวิเคราะห์ความผิดปกติของเฟือง

Vibration Signal Separation for Fault Diagnosis of Gears in a Gearbox

ทรงศักดิ์ สุวรรณศรี^{1*} และ เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40002

โทร 0-4320-2845 โทรสาร 0-4320-2849 *อีเมล songsak@kku.ac.th

บทคัดย่อ

การตรวจสอบความผิดปกติของเฟือง ที่อยู่ภายในกล่องเฟืองทดจากสัญญาณการสั่นสะเทือนของกล่องเฟืองเอง มักอาศัยการตีความจากแผนภาพการกระจายของความเร็วกับเวลาของสัญญาณดังกล่าว ซึ่งการตีความสรุปความผิดปกติของเฟืองจากแผนภาพนี้ เป็นความยุ่งยากสำหรับนักวิเคราะห์ที่ประสบการณ์ยังน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีที่ภายในกล่องเฟืองนั้นมีการขบของเฟืองมากกว่าหนึ่งคู่ บทความนี้ได้นำเสนอถึงแนวคิดในการนำสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้มาผ่านการแยกออกเป็นหลายสัญญาณก่อน โดยแต่ละสัญญาณที่แยกออกมานั้นมีคุณสมบัติ ที่เอื้ออำนวยต่อการหาความผิดปกติโดยลำพังในแต่ละจุดของการขบของเฟือง แล้วจึงสร้างแผนภาพการกระจายของความเร็วกับเวลาของสัญญาณที่แยกออกมา ตลอดจนตีความสรุปความผิดปกติของเฟืองภายหลัง แนวคิดนี้ได้นำมาสาธิตกับกล่องเฟืองทดที่มีการทดสองชั้นโดยชั้นที่หนึ่งของการทด มีการสลัประเกอบเฟืองที่ทั้งปกติและผิดปกติอีกสามระดับความรุนแรงเข้าไป ผลที่ได้พบว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผนภาพการกระจายของความเร็วกับเวลาของสัญญาณเดิม ที่มาจากการวัดและสัญญาณที่ผ่านการแยกออกมา แผนภาพหลังแสดงถึงความผิดปกติของเฟืองได้ชัดเจนกว่า

Abstract

Fault detection of gears in a gearbox from its vibration signal usually relies on the inspection of the time-frequency distribution diagram of the signal. It is troublesome to draw a conclusion on whether any of the gears are faulty or not especially for inexperienced maintenance engineers. The trouble becomes even more complicated when the gearbox in question is multi-stage. This article presents an idea of pre-processing a vibration signal obtained directly from a gearbox by separating it into new signals. Each of which has properties favorable for diagnosing its corresponding pair of meshing gears. The time-distribution diagram of a specific new signal is then constructed and

accordingly the diagnosis can be carried through. The idea presented is demonstrated with a vibration signal from a two-stage gearbox with simulated faults of different severities. The result shows that the time-frequency distribution diagram of a separated signal reveals fault features more clearly than that of the original one.

1. คำนำ

บทความนี้ ในตอนต้นนำเสนอแนวคิดในการปรับปรุงสัญญาณการสั่นสะเทือนของกล่องเฟืองทด โดยมุ่งให้ได้สัญญาณที่มีความเหมาะสมยิ่งขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติของเฟืองทด ในแต่ละชั้นของการทด หลังจากนั้นนำเสนอผลการทดสอบแนวคิดนี้กับสัญญาณที่ได้จากกล่องเฟืองทดสองชั้น ทั้งสัญญาณก่อนการปรับปรุง สัญญาณที่ปรับปรุงเพื่อการหาความผิดปกติของเฟืองในชั้นที่ 1 ซึ่งมีความผิดปกติจริงในเฟืองตัวขับ และสัญญาณที่ปรับปรุงสำหรับชั้นที่ 2 ของการทดซึ่งเฟืองทั้งคู่ยังปกติ

2. แนวคิดเบื้องต้น

การเปลี่ยนแปลงสภาพตามอายุการใช้งาน ของเครื่องจักรอุตสาหกรรม สามารถตรวจสอบได้จากหลายทาง แต่ในปัจจุบันหนทางที่ยอมรับว่าประสบผลสำเร็จสูงสุด คือจากการพิจารณาแผนภาพการกระจายเวลา-ความถี่ของสัญญาณการสั่นสะเทือน ที่วัดมาจากเครื่องจักรนั้น [1] แต่การตีความแผนภาพการกระจายเวลา-ความถี่เป็นเรื่องยาก เนื่องจากประการแรก ธรรมชาติสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากเครื่องจักรนั้น เป็นสัญญาณรวม กล่าวคือ เป็นสัญญาณที่ประกอบด้วยความถี่ต่างๆ หลายความถี่จากแหล่งสั่นสะเทือนหลายๆ แหล่งภายในเครื่องจักรนั้น ประการที่ 2 ตามคำอ้างของ Liu [1] ที่ว่าข้อจำกัดประการหนึ่ง ในการใช้แผนภาพการกระจายเวลา-ความถี่ไม่ว่าจะใช้ในรูปสเปกตรัมชั่วขณะ (Instantaneous Power Spectrum, IPS) [2] หรือแบบการกระจายของวิกเนอร์-วิลส์ [3] คือการกระจายเหล่านี้มีพจน์ที่เกิดการรบกวน ทางเสียงข้อจำกัดนี้ทางหนึ่งคือ ก่อนที่จะ

วิเคราะห์ด้วยแผนภาพการกระจายเวลา-ความถี่ ให้ทำการแยกองค์ประกอบของสัญญาณ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับความผิดปกติของเครื่องจักรออกจากสัญญาณที่วัดได้ก่อน รายละเอียดดังจะนำเสนอในหัวข้อต่อไป

3. ระบบแยกสัญญาณ



รูปที่ 1 ผังการทำงานของระบบแยกสัญญาณ

รูปที่ 1 ระบบแยกสัญญาณรับเข้าสัญญาณเริ่มต้น S_0 ซึ่งเป็นสัญญาณการสั่นสะเทือน ที่วัดมาจากเครื่องจักรเข้าไป แล้วสร้างและส่งสัญญาณใหม่ $S_1, S_2, \dots, S_{etc}$ ออกมา โดยที่สัญญาณใหม่ที่สร้างขึ้นแต่ละสัญญาณ เป็นสัญญาณเฉพาะที่มีส่วนประกอบของความถี่ที่เหมาะสม สำหรับการวิเคราะห์ความผิดปกติแต่ละประเภทที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องจักร

กรณีตัวอย่างหากเครื่องจักรเป็นกล่องเฟืองทดสองชั้น ระบบแยกสัญญาณอาจจัดให้มีสัญญาณออกเพียง S_1, S_2 และ S_3 เท่านั้น โดย S_1 และ S_2 เป็นสัญญาณที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ความผิดปกติของการขบกันของคู่เฟืองทดชั้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วน S_3 อาจเป็นสัญญาณสำหรับวิเคราะห์ความผิดปกติของลูกปืนรองรับเพลาก็ได้

4. ความผิดปกติของเฟืองในกล่องเฟืองทด

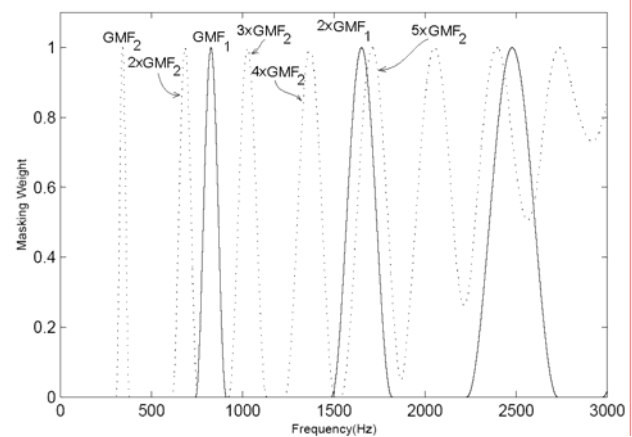
ความผิดปกติของกล่องเฟืองทด ที่เกี่ยวข้องกับเฟืองเกิดจากการขบกันที่ไม่เหมาะสมของเฟือง ซึ่งอาจมีต้นตอมาจากการติดตั้งที่ไม่เหมาะสมในรายที่ใช้งานใหม่ หรือเกิดจากความเสียหายของฟันเฟืองเองในรายที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ทั้งสองกรณีเมื่อวิเคราะห์จากสัญญาณการสั่นสะเทือน จะเห็นการสั่นสะเทือนที่ชัดเจนที่ความถี่ของการขบของเฟือง (garmesh frequency) และความถี่ที่เป็นฮาร์โมนิคของความถี่นี้ ตลอดจนความถี่ข้างเคียง (sideband) ของความถี่ดังกล่าวทั้งหมดด้วย

5. การสร้างสัญญาณสำหรับการวิเคราะห์การขบของเฟือง

สัญญาณสำหรับการวิเคราะห์การขบของเฟือง เฉพาะชั้นการทดเกิดจากการปรับปรุงคุณสมบัติของสัญญาณที่วัดมา ในสามประการดังต่อไปนี้ ประการแรกคงความสำคัญ หรือนำน้ำหนักเท่าเดิมแก่องค์ประกอบของสัญญาณที่ความถี่ของการขบกันของเฟือง และความถี่ที่เป็นฮาร์โมนิคของความถี่ของการขบนี้ ประการที่สองให้ความสำคัญลดลงเรื่อยๆ ในบริเวณข้างเคียงความถี่ในทีกล่าวถึงในประการแรก ทั้งนี้เพื่อรักษารายละเอียดของความถี่ข้างเคียงไว้ ประการสุดท้ายองค์ประกอบที่ความถี่อื่นๆ นอกเหนือจากทีกล่าวมาการจัดทั้งให้หมด

ในแง่ของการคำนวณมี 3 ขั้นตอนแรกเป็นการแปลงสัญญาณที่วัดมาซึ่งอยู่ในโดเมนของเวลาให้เป็นสัญญาณในโดเมนความถี่ ขั้นตอนมาคูณแต่ละความถี่ด้วยตัวคูณ (masking weight) ที่มีค่าระหว่าง 0 กับ 1 และตัวคูณดังกล่าวมีค่าที่ความถี่ต่างๆ ดังลักษณะที่แสดงรูปที่ 2 ขั้นสุดท้ายก็แปลงสัญญาณที่คูณแล้วกลับไปในโดเมนเวลาเช่นเดิม

ตัวอย่างค่าตัวคูณที่แสดงในรูปที่ 2 เป็นกรณีสำหรับสร้างสัญญาณเพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติ ของการขบกันของกล่องเฟืองทดที่มีการทดสอบสองชั้น เส้นทึบสำหรับชั้นที่ 1 และเส้นประสำหรับชั้นที่ 2 โดยมีความถี่ของการขบในชั้นที่ 1 และ 2 เป็น $GMF_1 = 826.2 \text{ Hz}$ และ $GMF_2 = 342.3 \text{ Hz}$ ตามลำดับ



รูปที่ 2 ค่าตัวคูณที่ความถี่ต่างๆ

6. กล่องเฟืองทดที่ใช้ทดสอบ

กล่องเฟืองทดที่ใช้ทดสอบ เป็นแบบทดสองชั้นที่มีการทำให้เกิดความบกพร่องขึ้นในการทดชั้นที่หนึ่ง ความบกพร่องที่จำลองขึ้น เป็นการกัดวัสดุออกจากฟันหนึ่งของเฟืองตัวเล็ก เป็นผลให้ความยาวของฟันดังกล่าวหายไป 25%, 50% และ 100% ตามแนวแกนเพลาดังกล่าวไปจะถึงตัวเลขดังกล่าว เป็นระดับความรุนแรงของความผิดปกติ ความถี่ของการขบของเฟืองที่ทดสอบชั้นที่ 1 เป็น 342.3 Hz และชั้นที่ 2 เป็น 826.2 Hz ความเร็วรอบของเพลาคับเป็น 24.3 rps

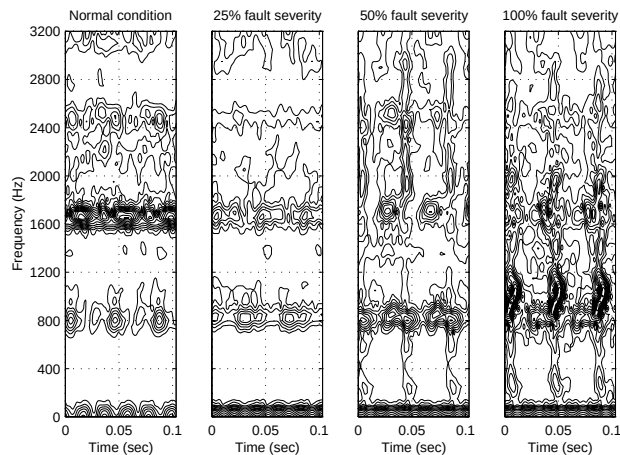
7. ผลการทดสอบ

รูปที่ 3, 4 และ 5 เป็นแผนภาพการกระจายเวลา-ความถี่ของสัญญาณการสั่นสะเทือน โดยในรูปที่ 3 เป็นสัญญาณเดิมที่วัดจากกล่องเฟืองทดโดยตรง ส่วนรูปที่ 4 และ 5 เป็นสัญญาณที่แยกเพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติของเฟืองในการทดชั้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ แผนผังแรกทางซ้ายมือของแต่ละรูป เป็นกรณีที่กล่องเฟืองไม่มีความผิดปกติ แผนภาพที่เหลืือทางขวามือ เป็นของกรณีที่เฟืองมีความผิดปกติตามลักษณะและระดับความรุนแรงดังกล่าวในหัวข้อก่อน

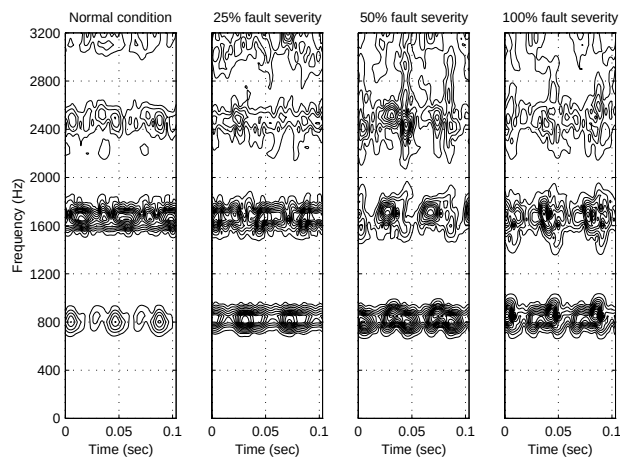
7. อภิปรายผลการทดสอบ

จากแผนภาพการกระจายเวลา-ความถี่ ของสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดจากกล่องเฟืองทดโดยตรง (รูปที่ 3) และ-ของสัญญาณที่แยก

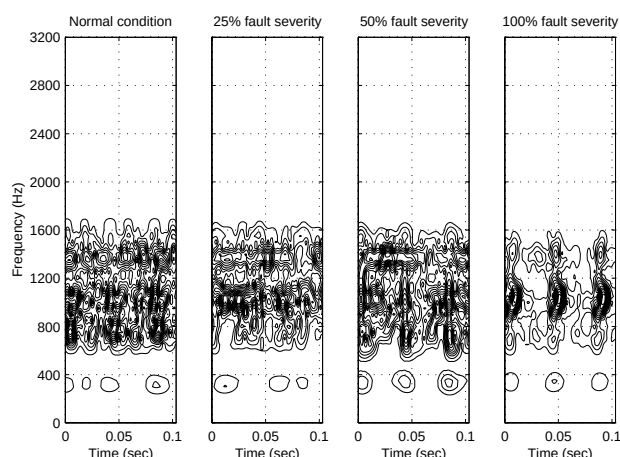
เพื่อตรวจสอบความผิดปกติของเฟืองในขั้นที่ 1 ของการทดสอบ (รูปที่ 4) ในกรณีซึ่งเฟืองมีความบกพร่อง จะเห็นว่าทั้งสองแผนภาพแสดง



รูปที่ 3 การกระจายเวลา-ความถี่ของสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดโดยตรงจากกล่องเฟืองทด



รูปที่ 4 แผนภาพเวลา-ความถี่ของสัญญาณที่แยกออกมาสำหรับเฟืองในการทดสอบขั้นที่ 1



รูปที่ 5 แผนภาพเวลา-ความถี่ของสัญญาณที่แยกออกมาสำหรับเฟืองในการทดสอบขั้นที่ 2

กิจกรรมการสั่นสะเทือนอย่างหนาแน่นทุก ๆ 0.04 วินาทีซึ่งเป็นคาบเวลาที่ฟันเฟืองที่บกพร่องเคลื่อนเข้าสู่อการขบ ความถี่ที่เกิดกิจกรรม

สั่นสะเทือนอย่างโดดเด่นและหนาแน่นอยู่ที่ GMF1 และ 2xGMF1 ซึ่งบ่งบอกว่าความบกพร่องอยู่ที่คู่เฟืองขบชั้นที่ 1

เมื่อระดับความรุนแรงของความบกพร่องสูงขึ้น ในแผนภาพทั้งสองก็แสดงกิจกรรม ณ เวลาและความถี่ที่เกี่ยวข้องกับการบกพร่องก็มีแนวโน้มขยายพื้นที่ออกมาตามความรุนแรงนั้น เพียงแต่ในรูปที่ 4 จะแสดงแนวโน้มได้ชัดเจนกว่า

รูปที่ 5 เป็นแผนภาพเวลา-ความถี่ของสัญญาณเพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติของคู่เฟืองทดในขั้นที่ 2 ในรูปนี้ ไม่แสดงกิจกรรมการสั่นสะเทือนในบริเวณโดบริเวณที่โดดเด่น ตลอดจนไม่แสดงแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงระดับความรุนแรงของความบกพร่อง ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงที่เฟืองทดในขั้นที่ 2 ทั้งคู่เป็นปกติ

8. สรุป

การแยกสัญญาณการสั่นสะเทือน ของกล่องเฟืองทดหลายชั้นเพื่อการตรวจสอบความผิดปกติของเฟือง ในการทดสอบแต่ละขั้นอย่างเป็นเอกเทศวิธีที่นำเสนอ เป็นประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ความผิดปกติของเฟืองจริง แผนภาพการกระจายเวลา-ความถี่ของสัญญาณที่แยกออกมาได้ชัดเจนถึงคู่เฟืองที่มีความผิดปกติ ตลอดจนสะท้อนระดับความรุนแรงของความผิดปกติได้ตรงกับความเป็นจริง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ Yelsilyurt [4] ที่ให้คำแนะนำเรื่องแผนภาพเวลา-ความถี่ และ Baydar [2] ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

1. Liu Z., "A Novel Time-Frequency Analysis Method for Mechanical Failure Detection" in International Conference on Hybrid Information Technology (ICHIT'06), Cheju Island, Korea, November 9-11, 2006, pp. 36-44.
2. Baydar N, Ball A. "Detection of gear deterioration under varying load conditions by using the instantaneous power spectrum", Mechanical System Signal Process, 2000 14(6):907-21.
3. McFadden PD, Wang WJ., "Analysis of gear vibration signatures by the weighted Wigner-Ville distribution", Proceeding of Institute Mechanical Engineers, Journal of Mechanical Engineering Science, 1992, pp 387-393.
4. Yesilyurt I., "The application of the conditional moments analysis to gearbox fault detection—a comparative study using the spectrogram and scalogram", NDT&E International, 2004, 37: pp 309-320.