

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปผลจากการวิจัย

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องแบบลูกกลิ้งในบ่มไฮดรอลิคแบบเฟือง ได้กำหนดวัตถุประสงค์หลักคือ การกำหนดวิธีการในทางปฏิบัติ ในการตรวจสอบสภาพการชำรุดของรางนอกของแบบลูกกลิ้งในบ่มไฮดรอลิคแบบเฟือง และทำการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยแตกของรางนอกของแบบเฟือง เพื่อกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมในการวัดการสั่นสะเทือน โดยการวัดการสั่นสะเทือนและการทดสอบทั้งหมด ดำเนินการทดสอบบนเครื่องจักรจริง เพื่อนำผลสรุปจากการศึกษาไปใช้ในการบำรุงรักษาบ่มไฮดรอลิคแบบ Predictive maintenance โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

การศึกษาได้กำหนดเงื่อนไขของตัวเครื่องจักรที่สำคัญคือ ทำการทดสอบที่รอบเดินเบาตามปกติของเครื่องยนต์ประมาณ 720 rpm. ภาวะของบ่มไฮดรอลิคขณะทำการวัดคงที่เท่ากับ 2,000 psi. อุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิคทางด้านดูด ณ จุดวัดเดียวกัน ต่างกันไม่เกิน 3°C ติดตั้งหัววัดความเร่ง 2 จุด บริเวณกึ่งกลางของฝาครอบบ่มไฮดรอลิคด้านหน้าและด้านหลัง ห่างกันประมาณ 125 มม. ซึ่งเป็นเสื้อของแบบทั้ง 4 ตัว (เหมือนกันทั้งหมด) ทำการใส่ปาดผิวและฝังสลักเกลียวบริเวณที่ติดตั้งหัววัดความเร่ง เมื่อติดตั้งหัววัดความเร่งเข้ากับสลักเกลียวหรือแม่เหล็กจะใช้จารบีแบบซิลิโคน ทาผิวบาง ๆ ทุกครั้ง เพื่อให้การส่งผ่านสัญญาณดีขึ้น

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดคือ CSI รุ่น 2115 DX หัววัดความเร่งยี่ห้อ WR732A มีค่า mounted resonance ประมาณ 50 kHz ผลการวัดแสดงกราฟในรูปของโดเมนความถี่ หน่วยวัดของการสั่นสะเทือนหรือแอมพลิจูดวัดเป็นความเร่ง g's

กำหนดความถี่ที่ทำการวัดเป็น 2 ช่วง คือ 20 - 30,000 Hz เพื่อศึกษาการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการถูกกระตุ้น (excited vibration) โดยแรงกระตุ้นที่เกิดจากการชำรุดของแบบเฟือง ทำให้เกิด resonance ขึ้นกับโครงสร้างของระบบที่ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือน ช่วงความถี่อีกช่วงที่ทำการวัดคือ 0.5 - 400 Hz เพื่อศึกษาการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากการชำรุดโดยตรงของแบบเฟือง (generated vibration) และให้กำเนิด BPF (Ball Pass Frequency) หรือความถี่ที่เม็ดแบบวิ่งผ่านรอยที่ชำรุด การวัดในช่วง 0.5 - 400 Hz นี้ ทำการศึกษาเป็น 2 ลักษณะ คือ การวัดสัญญาณโดยตรง และการวัดสัญญาณโดยการปรับปรุงสัญญาณแบบ envelope demodulation ซึ่งมีการกรองสัญญาณแบบ high pass ที่ 5,000 Hz การวัดทุกช่วงความถี่แบ่งการติดตั้งหัววัดความเร่งเป็น 2 แบบคือ ติดตั้งโดยใช้สลักเกลียวและแม่เหล็ก

ผลการศึกษาพบว่า การวัดในช่วงความถี่สูง 20 - 30,000 Hz แสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของแอมพลิจูดอย่างชัดเจนในช่วงความถี่สำคัญ 3 ช่วง คือ 7 - 9 kHz, 15 - 18 kHz และ 24 - 27 kHz โดยเมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนของแอมพลิจูดที่เพิ่มขึ้นสูงสุดใน 3 ช่วงความถี่ข้างต้น พบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของแอมพลิจูดเท่ากับ 2.2 เท่า กรณีติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยสลักเกลียวและเท่ากับ 3.0 เท่า เมื่อติดตั้งหัว

วัดความเร่งด้วยแม่เหล็ก ให้เพิ่มความสนใจหรือทำการติดตามเป็นกรณีพิเศษ เนื่องจากอาจมีการชำรุดของ แบริงในปั๊มไฮดรอลิค ลักษณะเฉพาะของค่าอัตราส่วนของแอมพลิจูดคือ จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงเริ่มต้นของการชำรุด และมีแนวโน้มคงที่หรือลดลงเล็กน้อย เมื่อแบริงเกิดการชำรุดรุนแรงมากขึ้น และการ วัดในช่วงความถี่สูงสรุปได้ว่า การติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็กเกิดค่า mounted resonance ที่ความถี่ ประมาณ 15.5 kHz

ผลของการวัดในช่วงความถี่ 0.5 - 400 Hz วัดโดยการปรับปรุงสัญญาณแบบ Envelope demodulation พบว่า เมื่อแบริงเกิดการชำรุดจะมีการเปลี่ยนแปลงที่สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนและเกิดขึ้นพร้อม กัน 2 ประการคือ การเพิ่มขึ้นของแอมพลิจูดของ 1FTF และการเกิด side band ขึ้นที่ 1GMF โดยความถี่ของ side band มีค่าเท่ากับ $\pm 1FTF$ จากการทดสอบ 8 ใน 9 คัน จะเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวขึ้นเมื่อติดตั้งหัววัดด้วย สลักเกลียว และเกิดขึ้น 7 ใน 9 คัน เมื่อติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็ก การวัดแบบนี้จะช่วยในการสนับสนุน การวัดในช่วงความถี่สูง เพื่อยืนยันว่าแบริงเกิดการชำรุดหรือไม่ เพื่อใช้ในการตัดสินใจหยุดหรือใช้งานเครื่องจักร ต่อไป ส่วนการวัดในช่วงความถี่ 0.5 - 400 Hz แบบวัดโดยตรงไม่สามารถแสดงให้เห็นความแตกต่างของ spectrum ตลอดช่วงการชำรุดของแบริงได้ จึงไม่สามารถนำมาใช้งานตามที่ต้องการได้

เมื่อแบริงเริ่มเกิดการชำรุดแล้ว จะมีอายุการใช้งานต่อไปโดยไม่เกิดผลกระทบต่อระบบได้อีกไม่เกิน 22 % ของอายุการใช้งานรวมหรือ 260 ชั่วโมง ช่วงระยะเวลาที่ควรทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนไม่ควรหวั่นกั นเกิน 130 ชั่วโมงใช้งานของเครื่องจักร (หรือ 50 % ของอายุแบริงที่เหลืออยู่) เพื่อป้องกันการชำรุดรุนแรงที่จะเกิด ขึ้นในระบบไฮดรอลิค

จากผลการวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมา สามารถนำผลสรุปไปใช้ในงานจริงได้ โดยเสนอให้ทำการวัดที่ ภาวะของปั๊มไฮดรอลิคอยู่ในภาวะ relief pressure (2,200 - 2,400 psi) คันบังคับระบบไฮดรอลิคอยู่ที่ตำแหน่ง ยกกระเบขึ้นสูงสุด เลือกการติดตั้งหัววัดความเร่งด้วยแม่เหล็กและใช้จารบีทาผิวทุกครั้งที่ทำกรวัด เลือกการ วัดที่ความถี่สูง 5,000 - 30,000 Hz เป็นการวัดหลัก ส่วนการวัดในช่วง 0.5 - 400 Hz แบบ demodulate ใช้วัด เพื่อช่วยสนับสนุนหรือยืนยันว่าแบริงเกิดการชำรุดอีกทางหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยที่ได้ สำหรับการติด ตามสภาพการชำรุดของแบริงแบบลูกกลิ้งในปั๊มไฮดรอลิคแบบเฟืองโดยวิธีการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ก็นับได้ ว่าดีกว่าวิธีการวิเคราะห์น้ำมันแบบ spectrometer oil analysis (เคยทดลองใช้วิธีการนี้ 5 ปี และได้ผลเท่าที่ ควร) หรือหากเปรียบเทียบกับวิธีการ filtergram ก็ยังนับว่าทำได้สะดวก รวดเร็ว ประหยัด และเห็นผลได้ชัดเจน กว่า ทั้งนี้คู่มือปฏิบัติการวัดการสั่นสะเทือนในปั๊มไฮดรอลิคได้แสดงไว้ในภาคผนวก ต.

5.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้ได้รับประโยชน์โดยตรงตามวัตถุประสงค์หลักที่ตั้งไว้ และเกิดประโยชน์จากผลพลอยได้อยู่หลายประการ ซึ่งทำให้นหน่วยงานประหยัดค่าใช้จ่ายได้อย่างมาก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.2.1 นำผลสรุปจากงานวิจัยไปใช้ในการบำรุงรักษาปั๊มไฮดรอลิคของรถบรรทุกเท้ายขนาดใหญ่ 85 คัน ที่ฝ่ายการผลิตเหมืองแม่เมาะ เพื่อป้องกันการชำรุดแบบรุนแรงในระบบไฮดรอลิค และเพื่อให้เกิดประโยชน์ สูงสุดจากการใช้งานเครื่องจักร

5.2.2 นำผลสรุปจากงานวิจัยและปัญหาอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างทำวิจัยไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในงานติดตามสภาพเครื่องจักร โดยวิธีการวิเคราะห์การสั่นสะเทือน ซึ่งฝ่ายการผลิตเหมือนแม่เฒ่ากำลังดำเนินการอยู่ให้เกิดผลดียิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น การปรับ parameter ในการวัด การปรับปรุงเทคนิคในการติดตั้งหัววัดและการทดสอบลักษณะเฉพาะของการสั่นสะเทือนเมื่อเบรคและเฟืองเกียร์ชำรุด โดยทำกรณีศึกษาในชุด gearbox ของระบบสายพานลำเลียงถ่านลิกไนต์

5.2.3 เป็นฐานข้อมูลในการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบในการนำเทคนิคด้านการติดตามสภาพเครื่องจักรวิธีต่าง ๆ มาใช้งาน เช่น SOA, filtergram, ferrography, oil contamination และ vibration analysis

5.2.4 นำผลการวิจัยไปใช้ในการทำวิจัยเรื่อง อายุความล้าของแบบลูกกลิ้งเมื่อเปลี่ยนพื้นที่รับภาระ และจะนำไปใช้ในงานวิจัยด้านเบรคและวิศวกรรมหล่อลื่นเรื่องอื่น ๆ ต่อไป เพื่อนำผลการวิจัยมาใช้ในการพัฒนางานซ่อมและบำรุงรักษาเครื่องจักรกลของหน่วยงาน ใน กฟผ. และหน่วยงานอื่น ๆ ในประเทศไทย

5.2.5 นำอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิจัยมาประสมเข้ากับประสบการณ์ที่มี ทำการยืดอายุการใช้งานของเบรคในชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลออกไปอย่างน้อย 2 เท่าตัว เช่น ใน gear box, planetary gear และระบบส่งกำลังในเครื่องจักรกล ทำให้ลดค่าใช้จ่ายของหน่วยงานที่เกิดจากเบรคลงได้จากเดิมประมาณ 50 %

5.3 ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

5.3.1 เบรคเป็นส่วนที่จำเป็นและมีความสำคัญมากในชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีการหมุน การเกิดการชำรุดขึ้นที่เบรคเป็นสิ่งที่ทุกคนไม่ยากให้เกิดขึ้น เพราะจะมีความเสียหายแบบลูกโซ่ตามมาอีกเป็นจำนวนมาก เช่น อันตรายนอกจากเศษของเบรคจะเร่งรัดให้เกิดการชำรุดของเบรคเองเร็วขึ้น เกียร์ที่ขบกันจะเกิดการเยื้องศูนย์ ทำให้เกิดการชำรุดขึ้นที่หน้าฟันเกียร์อย่างรวดเร็ว การชำรุดของเบรคในมอเตอร์ไฟฟ้า จะทำให้โรเตอร์เสียดสีกับสเตเตอร์เกิดการชำรุดรุนแรงมาก ดังนั้นการชำรุดของเบรคหากมีการตรวจพบตั้งแต่เนิ่น ๆ และสามารถวางแผนดำเนินการแก้ไขได้ในเวลาอันสั้นก็จะเกิดผลเสียต่อองค์กรน้อยที่สุด

อย่างไรก็ตามความยากในการวิเคราะห์เรื่องเบรคแบบลูกกลิ้ง ก็ยังคงเหมือนกับการวิจัยที่ผ่านมา มาในเรื่องแอมพลิจูดของ BPF ของเบรคมักจะต่ำ การปรากฏของ PF ไม่ว่าจะแอมพลิจูดสูงหรือต่ำ มีความเป็นไปได้สูงที่แสดงว่าเบรคเกิดการชำรุด การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในบางชิ้นส่วนหรือเครื่องจักรยังมีความจำเป็นที่จะต้องวัดค่าการสั่นสะเทือนทั้งในรูปของ time domain และ Frequency domain ทำนองเดียวกันกับการวิจัยนี้ที่ยังอาศัยเทคนิคการวัดที่ความถี่สูง (แบบ linear) และที่ความถี่ต่ำแบบ envelope demodulation พร้อม ๆ กันไปในบางครั้ง เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือสูง มีการตัดสินใจที่ถูกต้องในการบริหารงานซ่อมบำรุงเครื่องจักรกล

5.3.2 การวิจัยนี้ได้กำหนดองค์ประกอบที่ละเอียดที่สุดของเครื่องมือ เพื่อให้การวัดได้ข้อมูลที่ละเอียดที่สุด เช่น ค่าจำนวนเส้นบนแกนความถี่ (number of line) 3,200 เส้น ในการใช้งานจริง อาจทดลองลดจำนวนดังกล่าวเป็น 1600 เส้น หรือ 800 เส้น ได้ เพื่อลดเวลาในการเก็บข้อมูลให้น้อยลง เพราะว่าเวลาในการเก็บข้อมูลเท่ากับ จำนวนเส้น/ช่วงความถี่ที่วัด (15)

5.3.3 น่าจะมีการวิจัยถึงสาเหตุและกลไกอย่างละเอียดที่ทำให้ค่าการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นที่ปั๊มไฮดรอลิกมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของน้ำมันไฮดรอลิก โดยเฉพาะการวัดในช่วง 20 - 30,000 Hz

5.3.4 จากแนวคิดเรื่อง BPF เรื่องอายุความล้าของแบริ่งที่กำหนดโดย ISO หรือ AFBMA และพื้นที่รับภาระจริงของแบริ่งในการใช้งาน น่าจะมีความเป็นไปได้ในการทำวิจัยเพื่อยืดอายุความล้าของแบริ่ง โดยการเปลี่ยนพื้นที่รับภาระของชั้นส่วนในแบริ่ง

5.3.5 จากปัญหาการชำรุดซ้ำของแบริ่ง ในการทดสอบในช่วงแรก และพบว่าการชำรุดของแบริ่งจะเร็วขึ้นเมื่อเกิด shock load ขึ้นในระบบ และได้ทราบอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันในระบบแล้ว ควรพิจารณาหาวิธีลดอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันในระบบ โดยใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือในการหน่วง เพื่อลดอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันในระบบไฮดรอลิก เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแบริ่งต่อไป