

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมการทำเหมืองถ่านหินลิกไนต์ ซึ่งต้องผลิตถ่านลิกไนต์เพื่อส่งให้กับโรงไฟฟ้าเป็นปริมาณ 15-18 ล้านตันต่อปีและตลอดปี อุตสาหกรรมดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรกลหนักขนาดใหญ่ ทำงานภายใต้สิ่งแวดล้อมที่เต็มไปด้วยฝุ่นดินและถ่านหิน เนื่องจากลักษณะของหน้างานต้องเป็นไปอย่างนั้น ทั้งหน้าแล้ง หน้าหนาวและหน้าฝน การซ่อมและบำรุงรักษาเครื่องจักรกลเป็นหัวใจหลักที่จะสามารถทำให้เครื่องจักรกลหนักขนาดใหญ่เหล่านี้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีจำนวนเพียงพอต่อการใช้งานได้ตลอดเวลา ในขณะที่เดียวกันค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการซ่อมและบำรุงรักษา ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมและคุ้มค่ากับการลงทุน

การบำรุงรักษาเครื่องจักรกลสมัยใหม่ (3, 4) มุ่งเน้นการบำรุงรักษาตามสภาพของเครื่องจักร (condition base maintenance) หรือการบำรุงรักษาเชิงรุก (proactive maintenance) หรือการบำรุงรักษาแบบให้ความไว้วางใจสูง (reliability base maintenance) ซึ่งการบำรุงรักษาตามที่กล่าวแล้วข้างต้นต่างมุ่งเน้นการคิดค้นและประยุกต์ใช้เทคโนโลยี เครื่องมือ และเทคนิคต่างๆ จากทั่วทุกมุมโลกในปัจจุบันมาใช้งาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลสูงสุดต่อหน่วยงาน การบำรุงรักษาดังกล่าวจะมีการติดตามสภาพของเครื่องจักร (machine health condition monitoring) เป็นระยะ ๆ ที่เหมาะสม วิธีการดังกล่าวแล้วเช่น การทดสอบแบบไม่ทำลาย (nondestructive testing หรือ NDT) การวิเคราะห์สภาพการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลโดยวิธีต่าง ๆ เช่น spectrometer oil analysis (SOA), wear debris analysis, oil contamination, filtergram, ferrography, การทดสอบประสิทธิภาพ (performance test) เช่นการวัดอัตราการไหล (flowrate) การวัดความดัน (pressure) การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน (vibration analysis) เพื่อวิเคราะห์ความผิดปกติของเครื่องจักรกล เช่น การไม่สมดุลย์ (out of balance) การโก่งงอของเพลลา (misalignment/bent shaft) การชำรุดของแบริ่ง (damaged bearings) การชำรุดหรือสึกหรอของเฟืองเกียร์ (damaged or worn gears) การหลวมคลอนทางกล (mechanical looseness) ของระบบต่าง ๆ ในเครื่องจักรกล

แบริ่ง (bearing) เป็นชิ้นส่วนหลักทางด้านเครื่องกล ที่จะต้องมีใช้งานอยู่ในทุกเครื่องจักรกลที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แบริ่งแบบ anti-friction bearing ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก 4 ชิ้น คือ รางนอก (outer race), รางใน (inner race), ลูกกลิ้ง (ball หรือ roller) และ ราง (cage) แบริ่งแบบนี้จะมีค่า clearance ระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของตัวเองและกับชิ้นส่วนที่สวมอยู่น้อยมาก เช่น เพลลาหรือเสื้อของแบริ่ง จากเหตุผลดังกล่าวเมื่อเกิดการชำรุดขึ้นที่แบริ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบกับชิ้นส่วนที่แบริ่งรองรับอยู่หรือชิ้นส่วนที่ส่งถ่ายกำลังจากส่วนที่แบริ่งรองรับอยู่ หรือหากเกิดเศษโลหะขึ้นในระบบ จะทำให้เกิดการชำรุดแบบลูกโซ่และเกิดการชำรุดแบบรุนแรง (catastrophic failure) ตามมา ส่งผลให้เสียค่าใช้จ่ายด้านอะไหล่ในการซ่อมบำรุงสูง

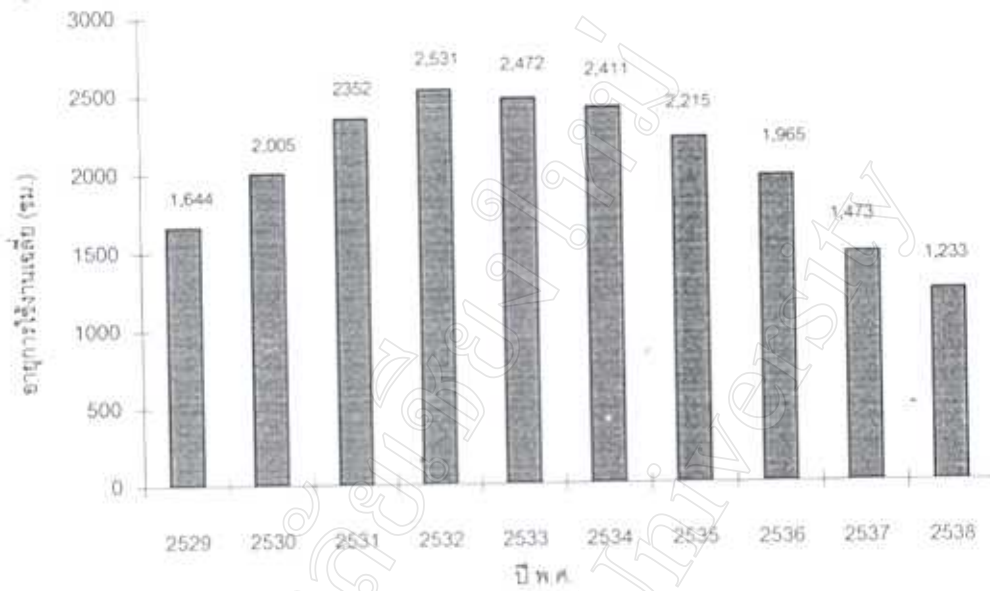
มาก และเครื่องจักรต้องจอดรออะไหล่เป็นเวลานาน ทำให้ผลผลิตตกต่ำ ต้องเสียค่าใช้จ่ายด้านค่าแรงสูง เนื่องจากต้องมีการล้าง (flush) ระบบให้สะอาดก่อนทำการซ่อมและปล่อยเครื่องจักรเข้าทำงานในระบบต่อไป นอกจากนี้การวิเคราะห์การชำรุดก็ยังทำได้ยากเมื่อเกิดการชำรุดแบบนี้ เพราะหาจุดเริ่มต้นของการชำรุดได้ยากขึ้น

กรณีการชำรุดของปั๊มไฮดรอลิกแบบเฟือง (gear type hydraulic pump) ซึ่งทำหน้าที่จ่ายน้ำมันไฮดรอลิกเข้าสู่กระบอกไฮดรอลิก (hydraulic cylinder) 2 ชุด เพื่อยกกระบะรถบรรทุกเท้าย (dump truck) ขนาด 85 ตัน การชำรุดดังกล่าวเกิดที่แบร้ง โดยมีลักษณะ (mode) การชำรุดแบบ contact stress fatigue failure (10, 28, 35, 36, 37) การชำรุดดังกล่าวเกิดขึ้นจากการใช้งานตามปกติ ถึงแม้จะมีการกำหนดอายุที่จะยกลงเพื่อทำการซ่อม ตามกำหนดเวลาแบบ time base maintenance หรือ preventive maintenance อยู่แล้ว แต่เนื่องจากเครื่องจักรแต่ละตัวมีเงื่อนไขการใช้งานที่ต่างกันตามสภาพภาระ (load) สภาพสิ่งแวดล้อมและผู้ใช้เครื่องจักร จึงยังคงมีการชำรุดของปั๊มไฮดรอลิกที่อายุต่าง ๆ กัน โดยเริ่มชำรุดที่แบร้ง การชำรุดเมื่อเกิดขึ้นแล้วเศษโลหะจากการสึกหรอ (wear debris) ซึ่งเป็นเหล็กที่มีความแข็งถึง 65 HRC. ก็จะทำให้เกิดการชำรุดลุกลามออกไป โดยเศษโลหะจะเข้าไปขัดตัวระหว่างผิวด้านข้างของฟันเฟืองกับแผ่นกันรุน (thrust plate) ทำให้ฟันเฟืองและแผ่นกันรุนชำรุดแบบรอยครูด (scratch) เกิดเศษโลหะ เศษโลหะเมื่อออกจากปั๊มไฮดรอลิกไปพร้อมกับน้ำมันจะเข้าสู่วาล์วควบคุมทิศทาง (directional control valve) มีโอกาสทำให้วาล์วดังกล่าวเกิดรอยครูดหรือขัดตัว เมื่อเศษโลหะผ่านจากวาล์วควบคุมทิศทางก็จะเข้าสู่กระบอกไฮดรอลิกเพื่อยกกระบะขณะใช้งาน เศษโลหะจะเข้าไปขัดตัวระหว่างแหวนลูกสูบ (piston ring) กับกระบอก (cylinder) เกิดรอยครูดเป็นเส้นยาวและเกิดเศษโลหะเพิ่มขึ้น เศษโลหะเมื่อออกจากกระบอกไฮดรอลิกสู่ถึงพักผ่านวาล์วควบคุม เมื่อปั๊มดูดน้ำมันในรอบการทำงานต่อไปก็จะมีเศษโลหะขนาดเล็กผ่านระบบกรองเข้าสู่ปั๊มอีก หมุนเวียนเช่นนี้ตลอดเวลาของการทำงาน จนการชำรุดลุกลามและรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ เป็นเหตุให้ต้องหยุดการใช้งานเครื่องจักรในที่สุด

ราคาอะไหล่ในระบบไฮดรอลิครวมทั้งหมดเท่ากับ 1.10 ล้านบาท (hydraulic pump 60,000 บาท, วาล์วควบคุมทิศทาง 50,000 บาท, กระบอกไฮดรอลิก 500,000 บาทต่อชุด รวม 2 ชุด คิดราคา 1 ดอลลาร์อเมริกา เท่ากับ 26 บาท)

จากข้อมูลสถิติการซ่อมปั๊มไฮดรอลิกในรอบ 10 ปี จากรูป 1.1 แสดงอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2,032 ชั่วโมง และมีการชำรุดของแบร้งในปั๊มไฮดรอลิก จำนวนเฉลี่ย 15 ครั้ง/ปี จากจำนวนที่เข้าซ่อม 64 ครั้ง/ปี การชำรุดของแบร้งแบบรุนแรงในปั๊มไฮดรอลิก(ปีละ 4 - 5 ครั้ง) ส่งผลให้ชิ้นส่วนอื่น ๆ ในปั๊มไฮดรอลิก เช่น เฟืองเกียร์ เลื้อของปั๊ม แผ่นกันรุนด้านข้าง ชำรุดตามไปด้วย ดังแสดงในรูป 1.2 และ 1.3 และยังส่งผลให้เกิดการชำรุดที่กระบอกไฮดรอลิกตามไปด้วย ดังแสดงในรูป 1.4 และ 1.5 ส่งผลให้เสียค่าใช้จ่ายด้านอะไหล่ต่อครั้งประมาณแปดแสนถึงหนึ่งล้านบาท คิดเป็นปีละประมาณ 3 - 4 ล้านบาท

ผลการวิเคราะห์การชำรุดเบื้องต้นของแบร้ง พบว่า 95 - 100 % ของจำนวนครั้งที่เกิดการชำรุดเกิดขึ้นที่แบร้งของปั๊มไฮดรอลิก การชำรุดเกิดขึ้นที่รางนอกของแบร้ง ส่วนกรณีเกิดการชำรุดขึ้นที่รางในและเม็ดแบร้งเป็นการชำรุดลุกลามของรางนอกลุกลามไปที่เม็ดแบร้งและลุกลามไปยังรางในเป็นจุดสุดท้ายตามรูป 1.6 ผลการตรวจสอบวัสดุของรางนอกของแบร้งเป็นหลักมาตรฐานวัสดุ AISI 52100 ความแข็งบริเวณรางนอกของแบร้งเฉลี่ย 65 HRC ส่วนเม็ดแบร้งแบบ cylindrical วัสดุทำจากเหล็กมาตรฐาน AISI 52100 ความแข็งเฉลี่ย 62 HRC ส่วนรางในของแบร้งหรือคือ shaft and gear journal เนื่องจากแบร้งนี้ไม่มีรางใน แต่นำเอา shaft journal



รูป 1.1 อายุการใช้งานโดยเฉลี่ยของปั๊มไฮดรอลิค รถบรรทุกเท้าย ขนาด 85 ตัน ในช่วง 10 ปี



รูป 1.2 การชำรุดแบบรอยขีด (scratch) ที่แผ่นกันรูดด้านข้าง เมื่อเบรคเกิดการชำรุดแบบรุนแรง ในปั๊มไฮดรอลิคแบบเฟือง



รูป 1.3 การสึกหรอของเสื้อสูบไฮดรอลิค จากสาเหตุการชำรุดของแบริ่ง ทำให้เพื่องเกียรไปกัดเสื้อสูบ



รูป 1.4 การชำรุดของกระบอกไฮดรอลิคเป็นจำนวนมาก ในช่วงที่เกิดการชำรุดอย่างรุนแรงของแบริ่งในปั๊มไฮดรอลิค



รูป 1.5 ลักษณะการชำรุดแบบรอยครูดภายในกระบอกไฮดรอลิค โดยมีสาเหตุจากการชำรุดแบบรุนแรงของแบริ่งในปั๊มไฮดรอลิค



รูป 1.6 การชำรุดของเม็ดแบริ่ง จากสาเหตุการชำรุดที่รางนอกของแบริ่งก่อน และจะลุกลามถึงรางในของแบริ่งต่อไป

เป็นรางในของแบริ่งแทน ผลการทดสอบวัสดุเป็นเหล็กมาตรฐาน AISI 1045 ความแข็งที่ผิวใช้งานเฉลี่ย 62 HRC ลักษณะการชำรุดของรอยแผลเป็นแบบ contact stress fatigue ซึ่งเกิดการชำรุดแบบ fatigue ที่ผิวรายนอก โดยเกิดในตำแหน่งและทิศทางของ load zone คือบริเวณด้านดัดของปั๊มไฮดรอลิค ซึ่งการชำรุดแบบ fatigue ถือว่าเป็นการชำรุดตามอายุการใช้งานที่ผู้ผลิตออกแบบไว้

สำหรับแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหามาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือการป้องกันการชำรุดหรือยืดอายุการใช้งานของแบริ่งออกไปให้นานกว่า 1,200 ชั่วโมง (ใช้ตัวเลขนี้มาตั้งแต่ปี 2538) ซึ่งอายุดังกล่าวถือว่าเป็นอายุที่ค่อนข้างสั้น เมื่อเทียบกับอายุการใช้งานของปั๊มไฮดรอลิค โดยทั่ว ๆ ไปในงานอุตสาหกรรมซึ่งแนวทางที่อาจพิจารณานำมาแก้ไข ปรับปรุง เช่น การเปลี่ยนแบบของปั๊มไฮดรอลิค จากปั๊มแบบเฟืองรองรับเพลลาเฟืองด้วย roller bearing เปลี่ยนเป็นปั๊มแบบเฟืองรองรับเพลลาเฟืองด้วย plain bearing หรือเปลี่ยนเป็นปั๊มแบบลูกสูบ(piston type hydraulic pump)

อีกแนวทางหนึ่งสำหรับการป้องกันความรุนแรงของการชำรุด คือการพิจารณาใส่ไส้กรองเพื่อกรองน้ำมันที่ออกจากปั๊มไฮดรอลิค และการติดตามสภาพการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในปั๊มไฮดรอลิค โดยการตรวจสภาพสารหล่อลื่น เช่น วิธีการ filtergram วิธีการ SOA หรือ วิธีการ vibration analysis ฯลฯ

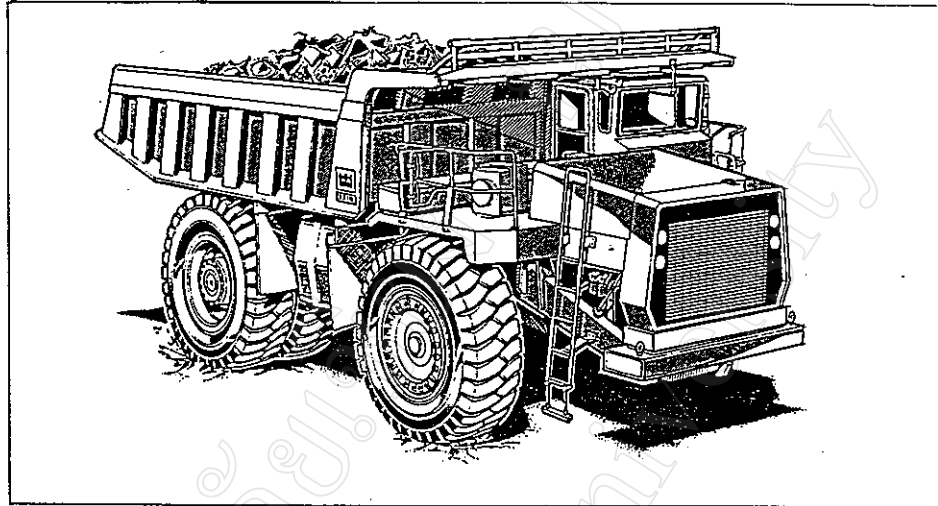
การพิจารณาใส่ไส้กรองเพื่อกรองน้ำมันที่ออกจากปั๊ม ก่อนเข้าสู่ตัวสวิตช์ควบคุมทิศทางและสลับวาล์วไฮดรอลิค เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะช่วยป้องกันการชำรุดลูกกลาม แต่จะเกิด pressure drop ในระบบและเกิดความร้อนสูง ปัจจุบันอุณหภูมิของน้ำมันในระบบมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 65 - 80 °C หากใส่ไส้กรองเข้าไปจะต้องมีการติดตั้งใส่ oil cooler เพื่อลดอุณหภูมิการทำงานของน้ำมันในระบบลง

วิธีการ SOA เป็นวิธีการที่ได้เคยนำมาใช้ประมาณ 5 ปี แต่ไม่ประสบผลสำเร็จ เนื่องจากลักษณะการชำรุดของแบริ่งเป็นแบบ fatigue wear ซึ่งจะเกิดเศษโลหะลักษณะเป็นชิ้น (fatigue chunk) เศษดังกล่าวมีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน ซึ่งเป็นขนาดที่เกินขอบเขตที่การวัดด้วย SOA จะวัดได้ คือจะต้องมีขนาดไม่เกิน 8 ไมครอน

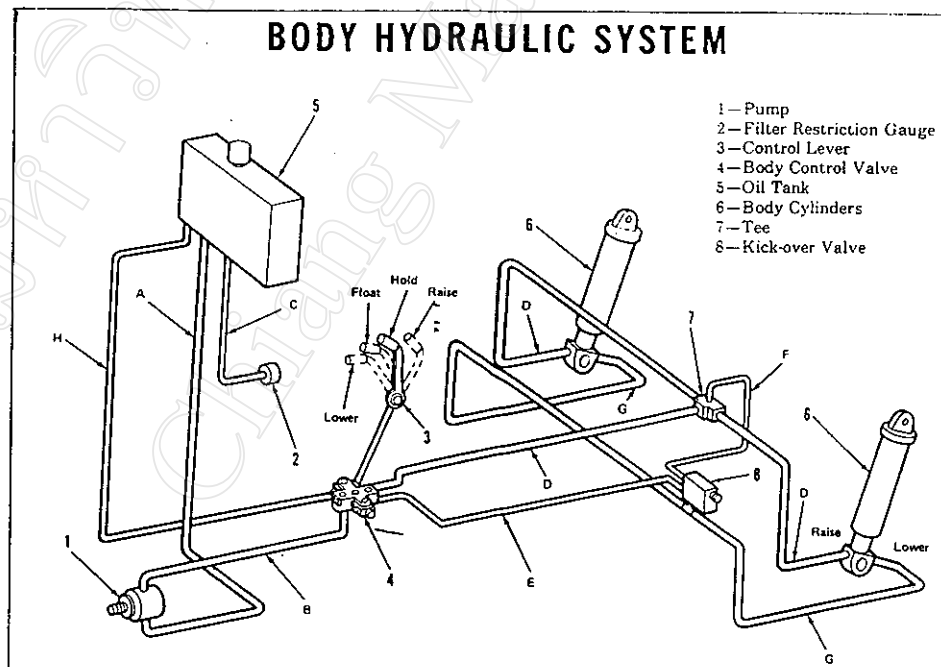
วิธีการ filtergram (19) เป็นการกรองสิ่งแขวนลอยในสารหล่อลื่นเพื่อศึกษา ชนิด ขนาด รูปร่าง และน้ำหนัก เป็นวิธีการที่น่าสนใจมากวิธีการหนึ่ง ซึ่งจะใช้งานได้ผลดีกับการติดตามสภาพของแบริ่งแบบ anti-friction ซึ่งขณะนี้ยังไม่ค่อยแพร่หลายมากนัก โดยเฉพาะในระบบที่มีปริมาณน้ำมันมากเพราะหากเศษจากการชำรุดมีปริมาณน้อยก็จะวิเคราะห์ได้ยาก

วิธีการ vibration analysis เป็นวิธีการหนึ่งที่จะป้องกันการชำรุดแบบลูกกลามของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลซึ่งทำงานอยู่ในระบบเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบริ่ง ไม่ให้เกิดความเสียหายลูกกลามอย่างรุนแรง จนต้องเสียผลผลิตเพราะเครื่องจักรทำงานไม่ได้ และยังต้องเสียค่าใช้จ่ายต่อเนื่องอื่น ๆ ตามมา อีกหลายประการ เช่น ค่าอะไหล่ ค่าแรง ค่าสารหล่อลื่น ฯลฯ

จากข้อมูลและเหตุผลที่กล่าวแล้วข้างต้น จึงเป็นที่มาของโครงการวิจัยนี้ โดยจะศึกษาวิธีการ vibration analysis ในรูปแบบของโดเมนความถี่ (frequency domain) มาใช้ในการวิเคราะห์สภาพของแบริ่ง โดยเฉพาะจุดเริ่มแรกที่แบริ่งเกิดการชำรุดในปั๊มไฮดรอลิคแบบเฟือง ซึ่งติดตั้งเป็นต้นกำลังในระบบไฮดรอลิคยกกะบะของรถบรรทุกเท้ายาวขนาด 85 ตัน ตามรูป 1.7 และมิวจระบบไฮดรอลิคดังแสดงตามรูป 1.8 โดยให้สามารถระบุได้ว่าแบริ่งได้เริ่มเกิดการชำรุดขึ้นแล้ว สามารถกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมที่ควรทำการวัดการสั่น



รูป 1.7 รถบรรทุกเทท้ายขนาดบรรทุก 85 ตัน ที่ใช้ในการวิจัย



รูป 1.8 โครงสร้างและชิ้นส่วนในวงจรไฮดรอลิค ของรถบรรทุกเทท้ายขนาด 85 ตัน
หมายเลข 1 คือ ปั๊มที่ใช้ทำการวิจัย

สถานะของแบริ่ง กำหนดเทคนิคที่สำคัญและเหมาะสมในการวัด กำหนดตำแหน่งจุดวัดที่เหมาะสม สามารถ กำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมให้ผู้ใช้เครื่องจักรได้ใช้เครื่องจักรต่อไปอีกนานเท่าไรจึงจะนำเครื่องจักรเข้าซ่อม เพื่อ เปลี่ยนปั๊มไฮดรอลิคตัวใหม่ขึ้นใช้งานแทน หรือเพื่อให้ตรงกับรอบการบำรุงรักษาที่กำหนดไว้ในแผนงานแล้ว เพื่อให้การหยุดเครื่องจักรสั้นที่สุด และเสียผลผลิตน้อยที่สุด กล่าวโดยสรุปคือนำผลสรุปของการวิเคราะห์การ สันสถานะของแบริ่งมาใช้ในการบำรุงรักษาปั๊มไฮดรอลิคแบบ predictive maintenance โดยไม่เกิดความเสียหายจากการชำรุดลุกลามของแบริ่ง

1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการวิเคราะห์การสันสถานะของแบริ่งแบบลูกกลิ้งในปั๊มไฮดรอลิคแบบเฟือง เพื่อให้ทราบสภาพของแบริ่งว่าเริ่มเกิดการชำรุดหรือชำรุดแล้วในระยะเวลาที่ยังไม่เกิดอันตรายต่อระบบ เพื่อนำผลสรุปการวิเคราะห์ดังกล่าวไปใช้ในการบำรุงรักษาชิ้นส่วนของเครื่องจักรแบบ predictive maintenance ซึ่งวิธีการที่จะไปสู่เป้าหมายของการบำรุงรักษาแบบดังกล่าวของแบริ่งแบบลูกกลิ้งนี้ได้มีผลงานวิจัยในส่วนที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ดังนี้

1.2.1 Taylor, J. I. (26) : การชำรุดของ anti-friction bearing ในช่วงความถี่ไม่เกิน 2,000 Hz จะให้กำเนิดความถี่ของ ball pass frequency (BPF) ออกมา การวิเคราะห์รูปร่าง ความถี่ แอมพลิจูดและผลต่าง ผลรวมของความถี่ จะเป็นตัวบ่งชี้การชำรุดของแบริ่ง

1.2.2 Eshleman, R. L. (16) : harmonic ของ BPF ในแบริ่งสามารถถูก modulate โดย fundamental train frequency หรือรอบในการหมุนของชิ้นส่วนได้ และการเกิด resonance เกิดจากการถูกกระตุ้นโดย mass unbalance หรือ misalignment ได้

1.2.3 Kuhnell, B. T. and Stecki, J. S. (19) : analytic ferrography เป็นวิธีที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งในการติดตามสภาพการชำรุดของแบริ่ง แบบ fatigue failure ส่วนการวิเคราะห์การสันสถานะก็ยังสามารถทำได้โดยการวัดในช่วงความถี่ 20 Hz - 20 kHz โดยทดสอบ bearing บนเพลลาและขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าในช่วง 48 ชั่วโมง ของการทดสอบ

1.2.4 Berggren, J. C. (5) : สำหรับ rolling element bearing การเสื่อมสภาพในช่วงแรกจะให้นกำเนิดสัญญาณเสียงที่มีความถี่อยู่ในช่วง ultrasonic noise ต่อมาเป็นช่วง audible noise และช่วงที่เป็นสัญญาณการสันสถานะที่วัดค่าได้ สุดท้ายคือการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ตัวแบริ่ง

1.2.5 Mitchell, J. S. (20) : การทำ condition monitoring ของเครื่องจักรเพื่อบำรุงรักษาแบบ predictive maintenance โดยใช้ FFT vibration spectra อาจจะนำมาเปรียบเทียบกับ base-line หรือสถิติที่เป็นปกติได้ อย่างไรก็ตามแล้วแต่การสร้างกฎเพื่อการเปรียบเทียบเป็นสิ่งที่ยากมาก เนื่องจากความซับซ้อนของการสันสถานะ ประสิทธิภาพและการทดสอบจากของจริง จะช่วยในการกำหนดหลักเกณฑ์ได้ดีที่สุด

1.2.6 Collacott, R. A. (11) : การเลือกตำแหน่งและทิศทางในการวัดสัญญาณเป็นสิ่งสำคัญ ทั้งนี้สัญญาณการสันสถานะที่มี high background จะทำให้การค้นหาค่าความผิดปกติเป็นไปได้ยาก การพัฒนาหาวิธีการเลือกเอาสัญญาณ background ออก จะช่วยแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้

1.2.7 Randall, R. B. (24) : ความไม่ปกติของเครื่องจักรเมื่อวัดการสั่นสะเทือนด้วย spectrum จะเห็นชัดเจนกว่าการวัดแบบ overall และเป็นประโยชน์ในการซ่อมบำรุง อย่างไรก็ตามความผิดปกติมักไม่แสดงให้เห็นชัดเจนง่าย ๆ และเดียว ๆ แต่มักปรากฏเป็นกลุ่ม เป็นชุด และบางครั้งไม่เป็นไปตามลำดับแนวโน้มของการชำรุด

การใช้มาตรฐาน DIN VDI 2056 หรือ ISO 2372 เพื่อประเมินการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกล เป็นการเฉลี่ยเครื่องจักรซึ่งไม่สามารถระบุได้ชัดว่าเครื่องจักรแต่ละตัวเฉลี่ยได้หรือไม่ และยังมี การแบ่งกลุ่มเครื่องจักรเป็น class ซึ่งแต่ละ class ก็ยังมีความแตกต่างกันมากด้วย

การเพิ่มขึ้นด้วยอัตราส่วนของ spectrum 2 - 2.5 เท่า แสดงถึงการเริ่มเปลี่ยนแปลงและการเปลี่ยนแปลงถึง 10 เท่าเป็นเรื่องอันตราย

1.2.8 Howard, I. M. and Swansson, N. S. (17) : การใช้เทคนิค high frequency resonance demodulation (HFRD) ในการทดสอบบน test rig ที่มีแบร์ริงหมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและเพิ่ม load จนแบร์ริงเริ่มเกิดการชำรุดในสภาพที่เป็น low noise environment สามารถจับความผิดปกติของ bearing ได้ตั้งแต่เริ่มต้น โดยใช้เทคนิคดังกล่าว

1.2.9 White, G. (13) : impulse ที่เกิดจากการวิ่งผ่านรอยแตกของ roller จะกระตุ้นให้เกิด resonance ที่ความถี่สูง ๆ และเมื่อมีการติดตั้งแบร์ริงเข้ากับเครื่องจักร การ resonance ที่เกิดขึ้นจะมีการหน่วงสูง แต่ก็ยังคงเกิด resonance อยู่ ผลของ spectrum ที่เกิดจะเป็นลักษณะรูปของป่า (forest pattern) เนื่องจากการทับกัน (smear) ของ harmonic และเป็นการยากมากที่จะวิเคราะห์และระบุจุดบกพร่องของแบร์ริง ถ้าสัญญาณดังกล่าวผ่านการ กรองและ rectify เพื่อทำ demodulate ให้กลับมาเป็นความถี่หลัก (fundamental) ของแบร์ริงก็จะง่ายต่อการวิเคราะห์

1.2.10 Jackson, C. (18) : การวัด resonance vibration จะมีผลในแนว vertical, horizontal และ axial 40 %, 40 %, และ 20 % ตามลำดับ นอกจากนี้ผลกระทบจาก pressure pulsations ซึ่งจะ excite เพลาและแบร์ริงให้เกิด resonance ได้ด้วย

1.2.11 Berry, J. E. (6) : 4 ขั้นตอน (stage) ของการชำรุดของแบร์ริง แบบ rolling element ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนคือ

ก. stage 1 จะปรากฏความถี่ในช่วง 20 - 60 kHz

ข. stage 2 จะมีการเคาะ (ring) ให้เกิด resonance ตามความถี่ธรรมชาติของชิ้นส่วนของแบร์ริงที่มีความถี่สูง ๆ (30-120 kHz)

ค. stage 3 จะเริ่มปรากฏ bearing fault ของ BPF, harmonic และ resonance ที่มีความถี่สูง

ง. stage 4 เกิดความถี่ในช่วง 1-3 RPM และ BPF ส่วนการเกิด resonance เริ่มหายไป และปรากฏเป็น noise floor แทน

จากข้อมูลสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นกรณีต่าง ๆ กันนั้นยังมีการนิยามที่ควรศึกษาเพิ่มเติมสำหรับโครงการวิจัยนี้ ซึ่งเป็นกรณีของ roller bearing ในปั๊มไฮดรอลิคแบบเฟือง ซึ่งติดตั้งในเครื่องจักรที่เคลื่อนที่ได้ (mobile equipment) มีต้นกำลัง (prime mover) เป็นเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งเป็นลักษณะของ

reciprocating machine และส่งกำลังขับปั๊มไฮดรอลิกโดยผ่านเฟืองเกียร์อีก 1 ชุด นอกจากนี้ยังอาจจะมีผลกระทบจากการไหลและความชื้นใสของน้ำมันไฮดรอลิก ซึ่งผลกระทบดังกล่าวจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนรบกวน (noise) สูง อย่างไรก็ตามยังมีความเป็นไปได้ ที่จะศึกษานาวิธีการวัดการสั่นสะเทือนที่เหมาะสมและชัดเจนมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในงานบำรุงรักษาครบทุกเท้ายขนาด 85 ตัน ที่มีใช้ในงานของฝ่ายการผลิตเหมืองแม่เมาะ (กฟผ.) จังหวัดลำปาง

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของเครื่องแบบลูกกลิ้งในปั๊มไฮดรอลิกแบบเฟือง มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1.3.1 เพื่อกำหนดวิธีการในทางปฏิบัติ ให้สามารถตรวจสอบได้ว่าเครื่องในปั๊มไฮดรอลิกเกิดการชำรุดหรือไม่ โดยวิธีการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในรูปของ frequency domain และนำผลสรุปไปใช้ในการบำรุงรักษาแบบ predictive maintenance กับปั๊มไฮดรอลิกของรถบรรทุกเท้ายขนาด 85 ตัน โดยสามารถกำหนดจุดเริ่มต้น ช่วงห่างของการวัดและกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมให้กับผู้ใช้งานเครื่องจักรได้ส่งเครื่องจักรเข้าซ่อมภายหลังการตรวจพบการชำรุดของเครื่อง เพื่อป้องกันการชำรุดแบบรุนแรงไม่ให้เกิดขึ้นในระบบไฮดรอลิก

1.3.2 สามารถกำหนดองค์ประกอบที่สำคัญในการวัดให้เหมาะสม เช่น ตำแหน่งการวัด เงื่อนไขของเครื่องจักร (operating condition) ขณะทำการวัด การติดตั้ง และอุปกรณ์ช่วยต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัด

1.3.3 ศึกษาและเปรียบเทียบผลการเกิด mounted resonance ของหัววัดความเร่ง เมื่อติดตั้งด้วยสลักเกลียวและแม่เหล็ก เพื่อนำผลการศึกษาไปใช้ในงานวิเคราะห์การสั่นสะเทือนสำหรับเครื่องจักรอื่น ๆ ต่อไป

1.3.4 ศึกษาความถี่ที่ควรกรองสัญญาณออก เพื่อความเหมาะสมและง่ายต่อการวิเคราะห์

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้จะทำการศึกษาและทดลองจากเครื่องจักรจริง เพื่อกำหนดวิธีการในทางปฏิบัติในการติดตามสภาพของเครื่องในปั๊มไฮดรอลิกแบบเฟือง โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในรูปของ frequency domain ใช้เครื่องมือในการวัดและเก็บข้อมูลยี่ห้อ CSI รุ่น 2115DX โดยใช้ software สำเร็จรูปของ CSI ในการเก็บข้อมูล จำนวน BPF และจำนวนค่าอัตราส่วนของแอมพลิจูด ใช้หัววัดความเร่งแบบ piezoelectric และวัดค่าการสั่นสะเทือนในหน่วยของความเร่ง ทั้งนี้จะทำการศึกษากการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการชำรุดของเครื่องเป็น 2 รูปแบบ คือ

1.4.1 การสั่นสะเทือนที่เกิดจากการชำรุดของเครื่องโดยตรง (generated vibration) ซึ่งจะให้เกิดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการทางคณิตศาสตร์

1.4.2 การสั่นสะเทือนที่เกิดจากการถูกกระตุ้น (excited vibration) ซึ่งจะให้เกิดการสั่นสะเทือนที่เกิดการ resonance ของชิ้นส่วนในระบบที่ทำการศึกษา

สำหรับการทดสอบหาอัตราการเติบโตของรอยแตกของรางนอกของเบรคนั้น ทดสอบเพื่อกำหนดความเหมาะสมของระยะห่างของเวลาที่ควรวัดการสั่นสะเทือน และกำหนดเวลาที่เหมาะสมให้ผู้ใช้งานเครื่องจักรได้ต่อไปเมื่อตรวจพบความผิดปกติ ไม่ได้ทำการวิเคราะห์หาลึกลงไปในเชิงของกลศาสตร์การแตกหัก เพราะว่า

ภายใต้การทำงานที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาของเครื่องจักรและรูปแบบของการหลอกลวงบริเวณพื้นที่รับภาระเมื่อ
แรงเกิดซ้ำเกิดขึ้นแล้ว ทำการวิเคราะห์ได้ค่อนข้างยากจึงไม่ขอกล่าวถึง

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University