



สัญญาเลขที่ RSA 4580043

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การวิเคราะห์สารหล่อลื่นใช้แล้วเพื่อประเมินสภาพรองลื่น

โดย

ชื่อ-นามสกุล รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล ราษฎร์นัย

สังกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)



สัญญาเลขที่ RSA 4580043

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การวิเคราะห์สารหล่อลื่นใช้แล้วเพื่อประเมินสภาพร่องลื่น

โดย

ชื่อ - นามสกุล รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล ราษฎร์นัย
สังกัด คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

สัญญาเลขที่ RSA4580043

โครงการ: การวิเคราะห์สารหล่อลื่นใช้แล้วเพื่อประเมินสภาพร่อน

ผู้เสนอ : ดร. สุรพล ราษฎร์นุ้ย
หน่วยงาน : ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ระยะเวลาดำเนินการ : 3 ปี

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

สภาวะเศรษฐกิจทั่วโลกในปัจจุบันมีการชะลอตัวลง ทำให้ทุกองค์กรอุตสาหกรรมต้องดำเนินการให้สามารถแข่งขันในตลาดระดับชาติและในตลาดโลกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนหนึ่งของค่าใช้จ่ายที่มีการสูญเสียไปนั้น เกิดขึ้นจากการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรแบบฉุกเฉิน (Breakdown Maintenance: BM) หรือการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM) ตามระยะเวลา เช่นการเปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่หรือสารหล่อลื่น โดยภาพรวมแล้วนั้นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในระดับโลกในการซ่อมบำรุงมีมูลค่ามหาศาล เช่นมีการระบุว่า

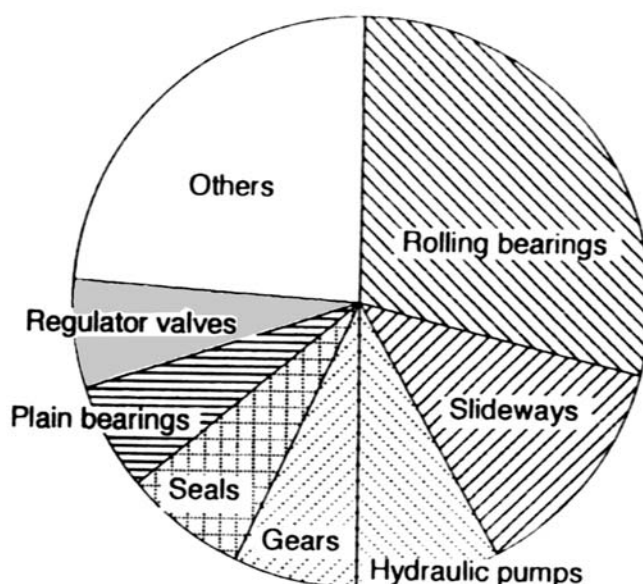
- Even in 1970s, the overall maintenance cost of mechanical systems amounted to nearly 4% of nominal gross national product (GNP) in Japan (Y. Kimura, “Maintenance tribology: its significance and activity in Japan”, Wear, 207(1997), pp.63-66)

- Right now, British industry can act to save a collective £1.5 billion on bottom line costs each year. (IMechE document: Facts on Friction, Tribology Action, 1995)

- Maintenance cost run into hundreds of billions of dollars per year around the globe. (Preface of the Proceedings of Systems Integrity and Maintenance, 2000)

ดังนั้นความสำคัญของการพัฒนาวิธีการบำรุงรักษาแนวทางใหม่ เช่นการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance: PdM) จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตามวิธีการที่ควรพัฒนาขึ้นใช้ในประเทศไทยหรือโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (Small and Medium Enterprise: SME) นั้นควรจะเป็นรูปแบบที่ลงทุนน้อย, ไม่ต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญและสามารถประเมินสภาพชิ้นส่วนเครื่องจักรได้อย่างง่าย ถูกต้องและแม่นยำในระดับหนึ่ง

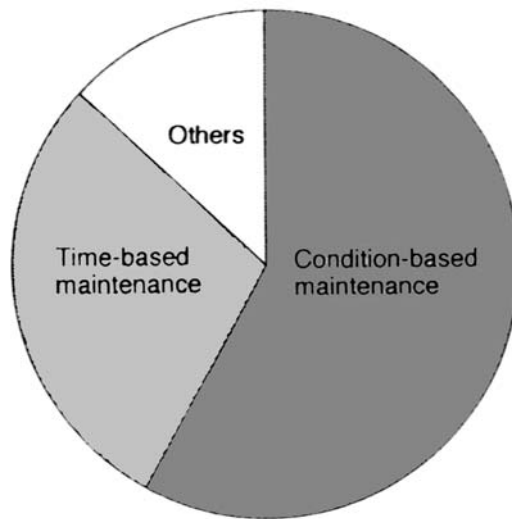
จากภาพที่ 1 ซึ่งแสดงถึงลักษณะการชำรุดของชิ้นส่วนเครื่องจักรทางกลที่เกิดขึ้นในประเทศญี่ปุ่น (ซึ่งโดยรวมแล้วในทุกประเทศก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน) จะเห็นได้ว่าตลับลูกปืนหรือรองลื่น (Bearings) มีสัดส่วนไม่น้อยกว่า 30% ของการชำรุดทั้งหมด



ภาพที่ 1 สัดส่วนการเสียหายของชิ้นส่วนเครื่องจักร

(Y. Kimura, "Maintenance tribology: its significance and activity in Japan", Wear, 207 (1997), pp.63-66)

ต่อเนื่องกันนั้นในภาพที่ 2 เป็นวิธีการหลักๆที่มีการนำมาใช้ในการบำรุงรักษาตลับลูกปืน หรือรองลื่นสำหรับประเทศที่พัฒนาแล้ว จะเห็นว่า 2 ส่วนหลักๆของแนวทางบำรุงรักษา คือ แบบการเปลี่ยนรองลื่นตามเวลาหรือการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Time-Based-Maintenance: TBM) กับการบำรุงรักษาตามสภาพหรือการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Condition-Based-Maintenance: CBM or Predictive Maintenance: PdM)



ภาพที่ 2 สัดส่วนวิธีการบำรุงรักษารองลื่น

(Y. Kimura, "Maintenance tribology: its significance and activity in Japan", Wear, 207 (1997), pp.63-66)

โดยหลักการแล้วเกือบทั้ง 100% ของจำนวนตลับลูกปืนหรือรองลื่นจะเป็นการหล่อลื่นด้วยจาระบีหรือน้ำมันหล่อลื่น ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าหากสามารถพัฒนาแนวทางประเมินสภาพรองลื่นตัวจากสารหล่อลื่นใช้แล้วจะสามารถทำให้เกิดประโยชน์อย่างมากต่อการคาดคะเนสภาพรองลื่นและเป็นแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและลดโอกาสการเกิดการชำรุดของเครื่องจักรแบบฉุกเฉินได้ระดับหนึ่ง

2. วัตถุประสงค์

2. เเสาะหาแนวทางในการลดค่าใช้จ่ายจากการซ่อมบำรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์แบบฉุกเฉิน(Breakdown Maintenance: BM) และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM)
3. พัฒนาแนวทางใหม่ในการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์สำหรับรองลื่นอุตสาหกรรม
4. ประเมินสภาพรองลื่น โดยใช้หลักการในการวิเคราะห์สารหล่อลื่นใช้แล้ว

3. ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีของรองลื่น สารหล่อลื่นและการหล่อลื่น สำหรับหล่อลื่นรองลื่น
2. ศึกษาวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบการทดสอบในลักษณะ TRIBOTEST, COMPONENT TEST และ BENCH TEST
4. ทำการจำลองแบบการสึกหรอในห้องทดลอง โดยใช้เครื่องทดสอบแบบ TRIBOTESTER ชนิดต่างๆ(อาทิแบบ Pin-On-Disk, Four-Ball เป็นต้น)
5. ทำการทดสอบแบบ COMPONENT TEST
6. ทำการทดสอบรองลื่นในระดับแท่นทดสอบ (BENCH TEST)
7. จัดเก็บผลการทดสอบเพื่อจัดทำฐานข้อมูลของการเปลี่ยนแปลงสภาพสารหล่อลื่นและเศษโลหะจากการสึกหรอที่เกิดขึ้น
8. รวบรวมสารหล่อลื่นใช้แล้วจากอุตสาหกรรมเพื่อนำมาเปรียบเทียบ และวิเคราะห์

ถึงความสามารถในการประเมินสภาพร่องสีจากการวิเคราะห์สารหล่อลื่นใช้แล้ว

9. จัดทำรูปเล่มงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

4. แผนการดำเนินงานวิจัย

กิจกรรม	รอบ 6 ด. ที่ 1	รอบ 6 ด. ที่ 2	รอบ 6 ด. ที่ 3	รอบ 6 ด. ที่ 4	รอบ 6 ด. ที่ 5	รอบ 6 ด. ที่ 6
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

การวิจัยส่วนที่หนึ่ง เรื่อง การวิเคราะห์สาเหตุการชำรุดของมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดเล็ก ในช่วงรัน-อิน

มอเตอร์นับได้ว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญยิ่งในอุตสาหกรรมทุกประเภท ทั้งนี้เนื่องจากเป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานทางกล โดยที่พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากการเผาไหม้ และไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเหมือนพลังงานความร้อนที่แปลงให้เป็นพลังงานทางกลในเครื่องยนต์สันดาปภายนอก (ไอน้ำที่ได้จากการต้มน้ำให้เป็นไอน้ำในบอยเลอร์ (Boiler) ด้วยการเผาไหม้เชื้อเพลิง แล้วจึงนำไอน้ำไปขับลูกสูบ) หรือในเครื่องยนต์สันดาปภายใน เช่น เครื่องยนต์เบนซิน เครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งทำให้เกิดความร้อนและพลังงานจากการเผาไหม้ ทำให้ลูกสูบมีการขับเคลื่อนไปสู่ระบบส่งกำลัง เป็นต้น

องค์ประกอบของมอเตอร์โดยหลักการเบื้องต้นแล้วคงมี 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ชุดโรเตอร์ และชุดสเตเตอร์ โดยที่ชุดโรเตอร์ที่มักเรียกกันว่า “ทუნ” ที่มีขดลวดพันเป็นขดๆ อยู่บนประกอบอยู่บนเพลลาของมอเตอร์ที่จะหมุนรอบแกนตามอำนาจของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างชุดโรเตอร์กับสเตเตอร์ โดยที่ด้านหัวเพลลาและท้ายเพลลาจะมีชุดอุปกรณ์ที่จะมารองรับภาระพร้อมกับทำให้เพลลาหมุนรอบตัวเอง สิ่งเหล่านี้ถูกกำหนดชื่อไว้ว่า “Bearing” โดยความหมายของศัพท์ “Bear” เป็นคำกริยา (Verb) ในภาษาอังกฤษแปลว่า “หนุน ค้ำ ทนหรือรับภาระ” ดังนั้นแท้จริงจึงหมายถึงสิ่งที่นำมาประกอบไว้กับเพลลาเพื่อทำการหนุน ค้ำ และรับภาระจากเพลลาและรวมไปถึงทำให้เพลลาหมุนรอบตัวเองได้ ตามพฤติกรรมเบื้องต้นของการเคลื่อนที่นั้นมักมีกฎเกณฑ์ของความจริงที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ว่าต้องมีแรงเสียดทาน (Friction) เกิดขึ้นที่จุดสัมผัสไม่มากนักน้อย นอกจากนั้นเมื่อมีแรงเสียดทานก็จะต้องเกิดการสึกหรอตามมาไม่มากนักน้อยอีกเช่นกัน (Wear) ท้ายที่สุดหากต้องการลดค่าแรงเสียดทานและการสึกหรอก็จำเป็นต้องใช้สารหล่อลื่น (Lubricants) ซึ่งไม่ว่าจะเป็นสารหล่อลื่นในลักษณะของจาระบีหรือน้ำมันหล่อลื่นที่มีราคาแพงหรือถูกมากเพียงใด ก็จะทำให้เกิดการสึกหรอหรือเสื่อมสภาพของวัสดุคู่สัมผัสที่มีการเคลื่อนที่สัมผัสต่อกันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

ตลับลูกปืนหรือรองลื่นในมอเตอร์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ

1. รองลื่นแบบกบ (Plain Bearing) บางครั้งเรียกว่า Frictional, Sliding หรือ Journal Bearing

2. รองลื่นแบบเม็ดลูกกลิ้ง (Rolling Element Bearing) โดยรองลื่นประเภทนี้ยังสามารถแบ่งย่อยออกเป็น

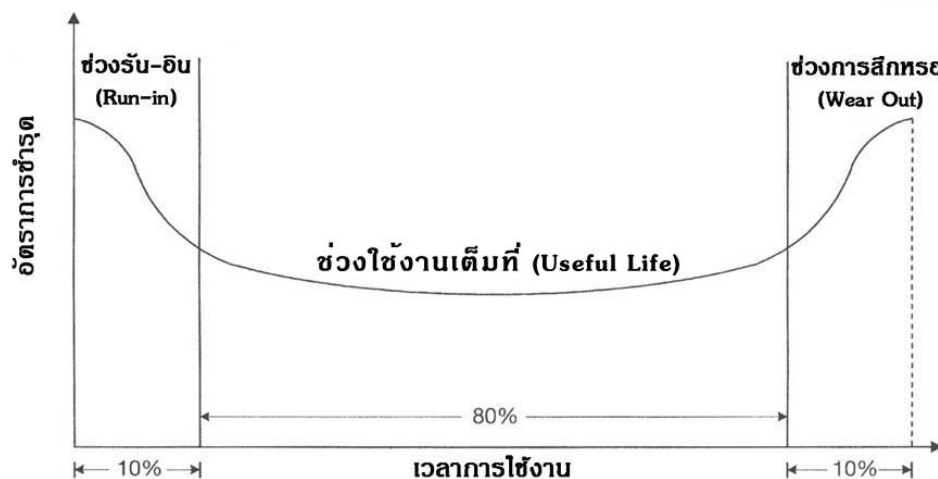
- รองลื่นเม็ดลูกกลิ้งทรงกลม (Ball Bearing)
- รองลื่นเม็ดลูกกลิ้งทรงกระบอก (Cylindrical Roller Bearing)
- รองลื่นเม็ดลูกกลิ้งรับแรงในแนวแกนและแนวรัศมี (Spherical Trust

Bearing)

จากประสบการณ์ทั่วๆ ไปมักจะพบว่ามอเตอร์มีสาเหตุการชำรุดหลากหลายรูปแบบ แต่ส่วนหนึ่งมักมีปัญหาเริ่มต้นจากรองลื่น (Bearing) ชำรุดเป็นปัจจัยแรก (Primary Failure) ซึ่งอาจจะเกิดจากการใช้งานผิดวิธี (ภาระสูงเกินไป ความเร็วสูงหรือต่ำเกินไป) สิ่งแวดล้อมผิดปกติ (ไอรกด ไอน้ำทะเล ฝุ่น สิ่งสกปรก) เมื่อรองลื่นหรือตลับลูกปืนเสื่อมสภาพหรือสึกหรอจนเกินค่าที่ยอมรับได้ จะทำให้เพลลาเยื้องตัวไม่ได้ ศูนย์ โยนตัว ฯลฯ มีผลทำให้ตัวทუნและสเตเตอร์ขาดเสถียรภาพและทำให้เกิดการชำรุดในที่สุด โดยที่เรียกการชำรุดในลักษณะนี้ว่าการชำรุดชั้นลูกกลาม หรือชั้นต่อเนื่อง (Secondary Failure) โดยสรุปการชำรุดมักเกิดขึ้นจากเงื่อนไขเบื้องต้นดังนี้

1. การออกแบบระบบไม่ดี
2. การใช้วัสดุคุณภาพต่ำ
3. การใช้เทคโนโลยีการผลิตที่ไม่ดี
4. การใช้เทคนิคการประกอบที่ไม่ดี
5. การติดตั้งไม่ถูกต้อง
6. การใช้งานที่ไม่ถูกต้อง
7. การซ่อมทำผิดวิธี
8. การบำรุงรักษาที่ไม่ถูกต้อง
9. การควบคุมสภาพแวดล้อมไม่ดี

ในกรณีศึกษานี้มีโรงงานผลิตมอเตอร์ขนาดเล็กแห่งหนึ่งได้รับการร้องเรียนจากลูกค้าที่ซื้อผลิตภัณฑ์มอเตอร์ไปใช้ แล้วพบว่ามอเตอร์ชำรุดก่อนกำหนดเป็นจำนวนมาก และช่วงเวลาของการชำรุดมักเกิดขึ้นหลังการใช้งานไปเพียงระยะเวลาสั้นๆ หลังการเริ่มใช้งาน ซึ่งโดยนัยของปัญหาแล้วบ่งบอกได้ว่ามีปัญหาในช่วงของรัน-อิน (Run-In Failure) ดังแสดงลักษณะการชำรุดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ตามเส้นโค้งรูปอ่างน้ำ



รูปที่ 1 เส้นโค้งรูปอ่างน้ำ (Bathtub Curve)

ซึ่งปัจจัยที่น่าจะทำให้เกิดการชำรุดในช่วงรัน-อินคือ

- การออกแบบที่ไม่ดี
- วัสดุในการผลิตคุณภาพต่ำ
- เทคนิคในการประกอบไม่ดี
- การใช้งานผิดวิธี
- การติดตั้งที่ไม่ถูกต้อง

จากการสอบถามทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้ พบว่าเดิมทีนั้นมอเตอร์มีอายุขัยค่อนข้างปกติ ซึ่งทำให้น่าจะสรุปได้ว่าการออกแบบ เทคนิคการประกอบ การใช้งานและการติดตั้งน่าจะไม่เป็นปัจจัยหลัก และจากการหาข้อมูลพบว่า สิ่งที่แตกต่างกันไปจากเงื่อนไขเดิมคือ กรรมวิธีการผลิต เพราะทางโรงงานได้เปลี่ยนยี่ห้อของวานิชที่ใช้ในการผลิต (วานิชอาบเส้นลวดทองแดงจากยี่ห้อเดิมที่เคยใช้ มาเป็นยี่ห้อใหม่ โดยที่เงื่อนไขอื่นๆ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง คือแบบของมอเตอร์และวัสดุทุกอย่างยังคงเดิม (ยกเว้นแต่ยี่ห้อวานิช)) การประกอบมอเตอร์ในสายการผลิตเหมือนเดิม เวลาในการอบแห้งและอุณหภูมิในการอบแห้งมอเตอร์ยังคงไว้ในเงื่อนไขเดิม

ปัจจัยต่างๆ เท่าที่ได้สอบถามทั้งฝ่ายผู้ผลิตและฝ่ายผู้ซื้อไม่มีอะไรแตกต่างไปจากวิธีการแต่เดิมอย่างมีนัยสำคัญเลย ยกเว้นกรณีของวานิชเคลือบลวดทองแดง เท่านั้น ดังนั้นผู้เขียนจึงได้ขอให้หน้าส่งร่องลื่นที่ชำรุดจากการใช้งานในช่วงรัน-อินมาเพื่อศึกษาวิเคราะห์คือ

1. ลักษณะของรางวิ่ง
2. ลักษณะของเม็ดลูกกลิ้ง
3. ลักษณะของจาระบีใช้แล้ว

ทั้งนี้เพื่อทำการวิเคราะห์หา “รากของสาเหตุ” (Root Cause of Failure) เพื่อระบุดันตของปัญหา วิธีการที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์คือ การถ่ายภาพขยายของรางวิ่งและเม็ดลูกกลิ้ง เพื่อศึกษากลไกการสึกหรอที่เกิดขึ้น และการวิเคราะห์จาระบีเพื่อศึกษาลักษณะของเศษโลหะและ/หรือสิ่งสกปรกที่เป็นต้นเหตุของการชำรุดของแบริ่งก่อนกำหนด (ลูกค้าที่ซื้อผลิตภัณฑ์ไประบุว่าก่อนที่มอเตอร์จะชำรุดในช่วงรัน-อินดังกล่าว ตลับลูกปืนจะมีเสียงดังและหากใช้ต่อไปจะไหม้หรือทำให้ลูกปืนติดและมอเตอร์ชำรุดในที่สุด)

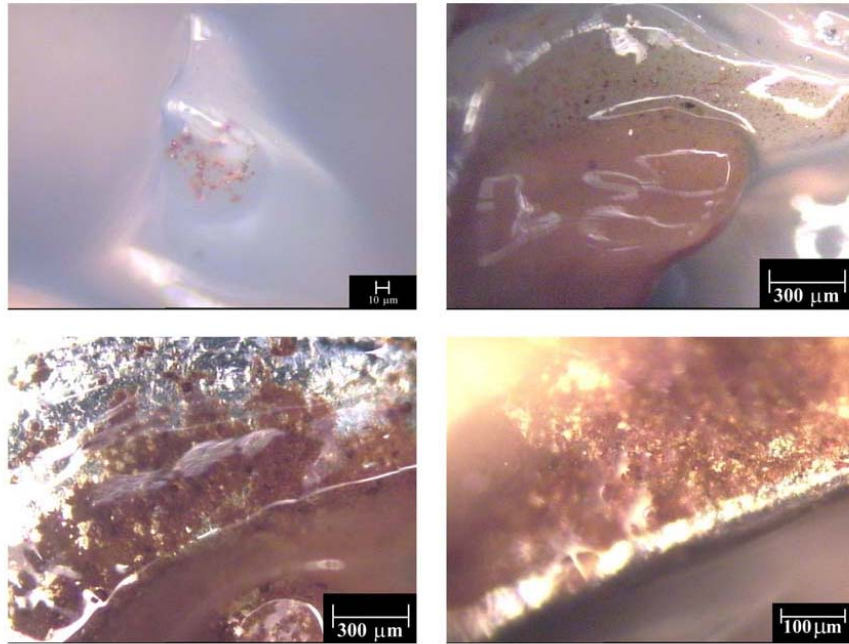
ผลการวิเคราะห์



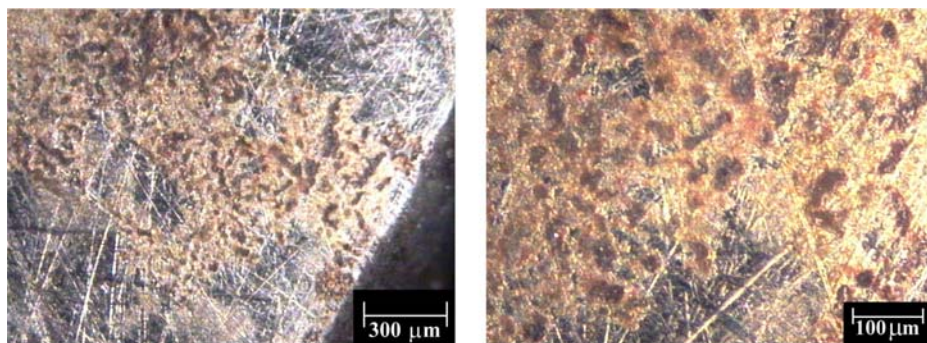
รูปที่ 2 ร่องลื่นหลังจากแกะฝาซีลออก

จากรูปที่ 2 พบว่ามีสิ่งปนเปื้อนอยู่ในจาระบี โดยทำให้จาระบีที่ถูกปนเปื้อนเป็นสีน้ำตาล (หมายเลข 1) และมีคราบสีน้ำตาลอยู่ที่รางวิ่งด้านหนึ่ง (หมายเลข 2) ในขณะที่อีกด้านหนึ่งของร่องลื่นนั้นไม่มีคราบดังกล่าว และเมื่อนำร่องลื่นไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ เพื่อวิเคราะห์สิ่งสกปรกในจาระบี พบว่าจาระบีในร่องลื่นดังกล่าวมีสิ่งปนเปื้อนที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีน้ำตาลใส และมีเศษโลหะปนเปื้อนอยู่บางส่วนแสดงดังรูปที่ 3

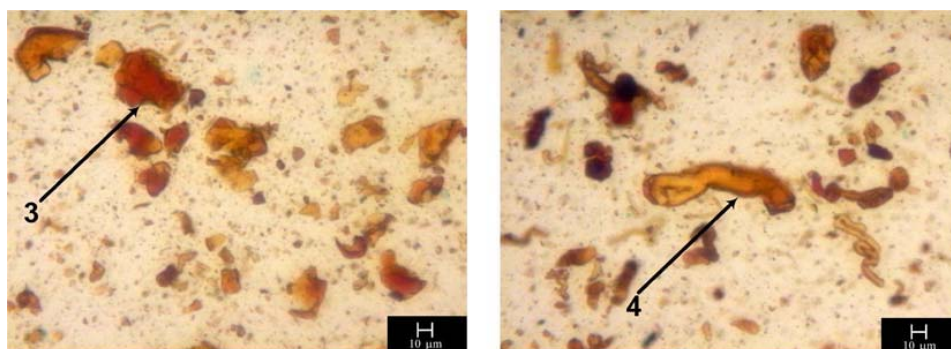
เมื่อนำเอาร่องลื่นไปส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์แล้ว จึงแยกเอาจาระบีบางส่วนในร่องลื่นที่มีสีน้ำตาลปนเปื้อนอยู่ไปป้ายบนกระจกสไลด์และนำไปส่องดูลักษณะของสิ่งปนเปื้อนอย่างละเอียดอีกครั้งหนึ่ง พบว่าสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในจาระบีนั้นมีสีน้ำตาลใส ซึ่งไม่น่าจะเป็นเศษของสนิมเหล็ก เนื่องจากมีลักษณะโปร่งแสง (หมายเลข 3 ในรูปที่ 5) และบางส่วนมีลักษณะคล้ายของเหลวที่แข็งตัว (หมายเลข 4 ในรูปที่ 5)



รูปที่ 3 ลักษณะสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในจาระบีของร่องลื่น



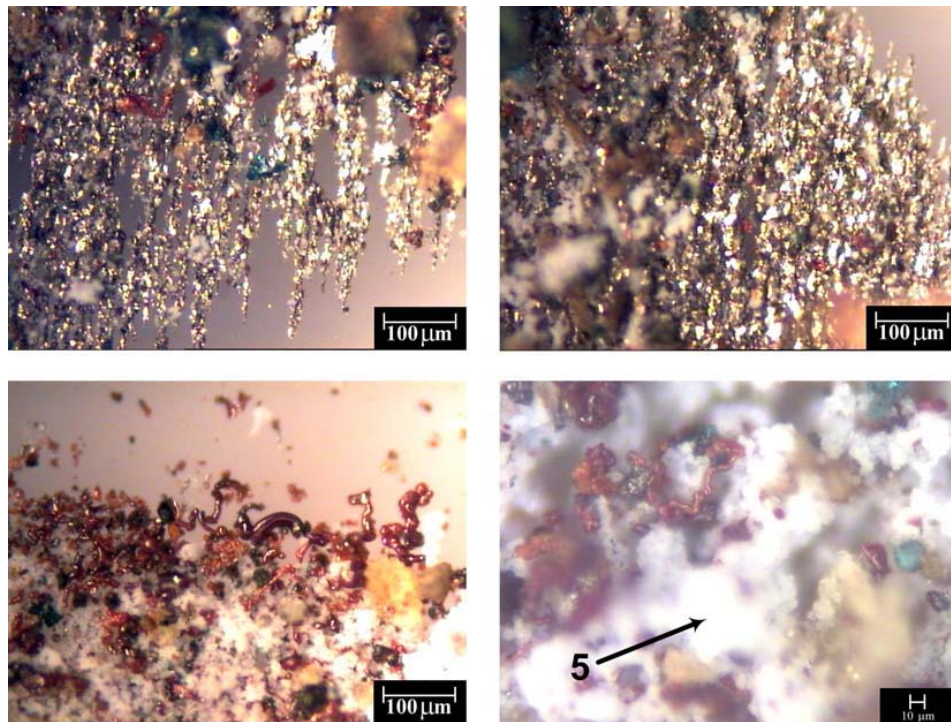
รูปที่ 4 ลักษณะของคราบสีน้ำตาลที่เกาะอยู่ที่ผิวด้านนอกของรางวิ่ง



รูปที่ 5 ลักษณะของสิ่งปนเปื้อนสีน้ำตาลโปร่งแสงที่ปะปนอยู่ในจาระบี

หลังจากนำร่องลื่นไปละลายจาระบีออกจากรางวิ่งด้วยวิธีการนำไปต้มในน้ำมันไฮดรอลิค และนำไปวิเคราะห์ด้วยเฟอโรโรกราฟฟี เพื่อศึกษาสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในจาระบี พบว่าในจาระบีดังกล่าวมีเศษโลหะที่คาดว่าเกิดจากการสึกหรอปะปนอยู่ แต่มีปริมาณไม่มากนัก และไม่พบเศษโลหะขนาดใหญ่ที่แสดงว่าเกิดการสึกหรอ

อย่างรุนแรง ส่วนสิ่งปนเปื้อนที่มีสีน้ำตาลดั่งที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ พบว่ามีปริมาณมากกระจายอยู่ทั่วแผ่นสไลด์เฟอร์โรแกรมและไม่อยู่ในแนวแรงของสนามแม่เหล็ก แสดงว่าไม่มีส่วนประกอบของเหล็กบนอนุภาคสิ่งปนเปื้อน และจากแผ่นสไลด์เฟอร์โรแกรมพบว่ามีสิ่งปนเปื้อนสีขาวกระจายอยู่ในแผ่นสไลด์ ซึ่งอาจจะเป็นส่วนประกอบของจาระบีเอง (สารอุ้มน้ำมัน) (หมายเลข 5 ในรูปที่ 6) และพบสิ่งปนเปื้อนขนาดใหญ่ที่ไม่ใช่เหล็กปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก



รูปที่ 6 ลักษณะของสิ่งปนเปื้อนจากแผ่นสไลด์เฟอร์โรแกรม

สรุปผลการทดสอบ

จากผลการวิเคราะห์ภาพถ่ายเศษโลหะในจาระบีและจากสไลด์เฟอร์โรแกรม พบว่ามีสิ่งแปลกปลอมที่มีลักษณะสีน้ำตาลโปร่งแสงและไม่มีผลกระทบจากสนามแม่เหล็กของเฟอร์โรกราฟฟ์ จึงมีความเป็นไปได้สูงที่สิ่งแปลกปลอมในจาระบีจะเป็นเศษของวานิชที่ละลายออกมาในระหว่าง การอบแห้งเข้าสู่บรรจุภัณฑ์และทำให้เกิดเป็นสิ่งสกปรกปนเปื้อนจนแบร์ริงเกิดการชำรุดในช่วงเวลารัน-อิน

การวิจัยส่วนที่สอง เรื่อง การวิเคราะห์จาระบีใช้แล้วจากตลับลูกปืนแบบเม็ด ลูกกลิ้งที่ใช้จนถึงช่วงสึกหรอ

ตามที่ทราบกันโดยทั่วไปว่ารองลื่นหรือตลับลูกปืนมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการใช้งานในอุตสาหกรรมทุกประเภท ทั้งนี้เพราะทุก ๆ อุปกรณ์ที่มีการหมุนของเพลานี้ไม่ว่าจะมีวัตถุประสงค์ใด เช่น เพื่อถ่ายทอดแรงหรือพลังงาน เพื่อควบคุมทิศทาง เพื่อควบคุมความเร็ว ฯลฯ นั้น ตรงจุดหัวและท้ายเพลาก็จะต้องรองรับไว้ด้วยแบร้ง (หรืออาจจะเรียกว่ารองลื่นหรือตลับลูกปืน) ส่วนใหญ่ของตลับลูกปืนที่ใช้จะเป็นประเภทใดประเภทหนึ่งของตลับลูกปืนชนิดที่มีเม็ดลูกกลิ้งภายใน บางครั้งตลับลูกปืนประเภทดังกล่าวนี้ในภาษาอังกฤษนิยมเรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า “Anti-Friction Bearing” ซึ่งมีหลายคนเข้าใจในความหมายผิด ๆ ว่าเป็นแบร้งประเภทที่ “ไร้แรงเสียดทาน” ซึ่งจะขออธิบายว่าโดยหลักแล้วนั้นรองลื่นแบ่งเป็น 2 ประเภทตาม “ปริมาณ” หรือ “ขนาด” ของแรงเสียดทานคือ

1. “Frictional Bearing” หรือ “Sliding Bearing” โดยที่ความหมายของ Frictional Bearing คือ รองลื่นประเภทที่มีแรงเสียดทานสูงเกิดขึ้นในขณะที่มีการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนที่เป็นคู่สัมผัสบางกรณีจะเรียกแบร้งแบบนี้ว่า “Sliding Bearing” ซึ่งก็หมายถึงว่าชิ้นงานคู่สัมผัสมีการเคลื่อนที่ “เข้าหากัน” หรือ “ออกจากกัน” หรือขึ้นไต่ขึ้นหนึ่งหยุดนิ่งและคู่สัมผัสมีการเลื่อนไถลเข้าหาหรือเลื่อนไถลออกไปหรือเลื่อนไถลไป ๆ กลับ ๆ ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่เกี่ยวข้องกับการ “ลื่นไถล” ทั้งสิ้น ลักษณะของการเคลื่อนที่ดังกล่าวจะก่อให้เกิดแรงเสียดทานสูงมาก แต่ที่ยังคงมีรองลื่นแบบนี้อยู่ก็เนื่องจากในงานที่มีภาระกระทำสูง ๆ หรือในเพลานี้ที่มีขนาดหรือน้ำหนักสูงมาก ๆ เช่น เกลาในโรงไฟฟ้าต่าง ๆ ที่ขับเคลื่อนเทอร์ไบน์ อาจมีน้ำหนักมากถึง 1000 ตัน ก็ได้ หรือในกรณีของรองลื่นเพลาช้อเหวี่ยงรถยนต์ที่ในแต่ละครั้งของวงรอบในการจุดระเบิดนั้นจะมีแรงกระทำในช่วง 2 ถึง 3 ตันเลยทีเดียว จึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องใช้รองลื่นที่มีลักษณะเป็นพื้น (Plain Bearing) เพื่อให้แรงกระทำมหาศาลที่เกิดขึ้นมีการกระจายออกไปนั่นเอง ในบางครั้งรองลื่นในลักษณะนี้จึงถูกเรียกกันว่า “แบร้งกบ” แต่หากเป็นขนาดเล็ก ๆ ที่ดีเป็นปลอกตรงหัวเพลานี้ ท้ายเพลาก็เรียกกันว่า “บุช (Bush)” การลื่นไถลบนรองลื่นแล้วทำให้เกิดการเสียดทานสูงนั้นเนื่องมาจาก:

- ความหยาบผิวของวัสดุทำรองลื่นที่เป็นกลุ่มโลหะขาว (White Metals) หรือโลหะกลุ่มแบบบิท (Babbitt Metals: Babbitt เป็นการตั้งชื่อตาม Sir Isaac Babbitt ที่เป็นผู้ริเริ่มการใช้วัสดุกลุ่มนี้ ที่ประกอบด้วยสารประกอบของตะกั่วและดีบุกในช่วงปี ค.ศ. 1839 เป็นต้นมา) ซึ่งวัสดุกลุ่มดังกล่าวนี้ ในปัจจุบันได้มีการผสมกลุ่มทองแดง-ตะกั่ว-ดีบุก-บรอนซ์ และขึ้นรูปให้เป็นแบร้ง ซึ่งข้อด้อยของวัสดุกลุ่มดังกล่าวคือไม่สามารถทำการขัดละเอียดผิวได้ จึงทำให้ค่าความหยาบผิวของรองลื่นแบบนี้มีค่า R_a หรือ R_q อยู่ในย่านละเอียดมากไม่ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับเพลานี้ซึ่งเป็นวัสดุกลุ่มเหล็กกล้าที่สามารถทำผิวละเอียดได้ จึงทำให้มีโอกาสการยึดติดกันหรือเกิดการไขว้กันของ Asperities ได้มากนั่นเอง (Cold Welding & Interlocking of Asperities)

- การลื่นไถลที่มีความเสียดทานสูงจากเหตุข้างต้นทำให้เกิดผลตามมาก็คือ ความร้อนสะสมโดยเฉพาะในเนื้อวัสดุของแบร้งกบ ซึ่งไม่สามารถขับตัวเคลื่อนที่ไปไหนได้เลย เนื่องจากเป็นรองลื่นแบบยึดแน่น ความร้อนสะสมยิ่งมากก็ยิ่งเร่งให้เกิดการยึดติดง่ายขึ้นและมากขึ้น รวมถึงทำให้ความแข็งของเนื้อวัสดุลดลง ก็จะเป็นปัจจัยช่วยให้มีการป้าย (Smearing) หรือหลุดออกไปของเนื้อแบร้งโดยอาจจะไป

ติดอยู่บนเพลลา (ที่มักจะมีผิวแข็งและความแข็งแรงของเนื้อวัสดุมากกว่า) หรืออาจจะหลุดออกไปเป็นเศษโลหะในสารหล่อลื่นก็เป็นได้

- การที่แบร์ริงกามีลักษณะเป็นพื้นที่ก็ยังเป็นปัจจัยเสริมที่จะทำให้เกิดการยึดติดได้มากขึ้น เนื่องจากมีจุดสัมผัสระหว่างเพลลากับแบร์ริงเป็นจำนวนมากจุดกว่า (หากเปรียบเทียบกับกรณีของแบร์ริงเม็ดลูกกลิ้ง) หากเคยได้ยินภาษาของพิธีกรในการพากย์ฟุตบอลมักได้ยินคำว่า “ห้ามให้เวลากับพื้นที่” แก่นักเตะกองหน้าโดยทั่วไปเพราะหากให้ทั้งเวลาและพื้นที่กับบุคคลเหล่านี้ก็หมายถึงมีโอกาสที่ลูกฟุตบอลจะติดอยู่ที่เท้านักเตะตลอดเวลาและมีโอกาสทำประตูได้สูง ดังนั้นในกรณีของ แบร์ริงกาก็เช่นเดียวกันคือ เราหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องให้พื้นที่กับแบร์ริงกาน เพราะข้อจำกัดของการรับแรงและการเสียรูปถาวรภายใต้ภาระสูงๆ ดังนั้นในกรณีของแบร์ริงกานคือ ต้อง “อย่าให้เวลา” ในการสัมผัสกันของเพลลากับแบร์ริงให้มากเกินไป ซึ่งหากให้เวลากับพื้นที่เยอะๆ จะทำให้แบร์ริงสึกหรอมาก ดังนั้นจึงเป็นการสมควรเป็นอย่างยิ่ง ที่ทางรัฐบาลออกโฆษณาประชาสัมพันธ์ว่าหากรถยนต์ใช้ความเร็วได้คงที่ที่ไม่มากไม่น้อยคือ ประมาณ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ผู้เป็นเจ้าของรถยนต์ก็จะประหยัดค่าน้ำมันเชื้อเพลิง และประเทศชาติก็จะประหยัดค่าน้ำมันเชื้อเพลิงลงได้นั่นเอง เพราะที่ความเร็วประมาณ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมงนั้น ช่วงเวลาสัมผัสระหว่างเพลลา-แบร์ริงมีน้อยลง หากการสัมผัสน้อยลงของ Asperities และความดันน้ำมันเหมาะสมในช่วงความเร็วดังกล่าว จะทำให้ขอบเขตการหล่อลื่นอาจประมาณอยู่ที่ “Hydrodynamic Lubrication” นั่นเอง (ขอบเขตการหล่อลื่นแบบสมบูรณ์หรือแบบเต็มฟิล์ม)

2. “Anti-Friction Bearing” หรือ “Rolling Element Bearing” ในกรณีนี้คือการที่รอลีนมีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนคือ เม็ดลูกกลิ้ง (ทรงกลม ทรงกระบอก หรือทรงโค้ง) รางวิ่งด้านในและรางวิ่งด้านนอก (ในบางประเภทอาจจะมีองค์ประกอบที่จัดให้เม็ดลูกกลิ้งอยู่ในตำแหน่งที่แน่นอนตายตัวด้วย “รังลูกปืน” (Cage)) ซึ่งมีการเคลื่อนที่ (ในอุดมคติ) แบบกลิ้งเพียงอย่างเดียว เมื่อการเคลื่อนที่แบบกลิ้งก็จะทำให้แรงเสียดทานและการสึกหรอต่ำลงเพราะ:

- ให้พื้นที่ในการสัมผัสตัวของ Asperities ของรางวิ่ง (ด้านในและด้านนอก) กับเม็ดลูกกลิ้งน้อยลงกว่ากรณีรอลีนแบบกาน
- เนื่องจากวัสดุทั้งรางวิ่งและเม็ดลูกกลิ้งเป็นเหล็กกล้า จึงทำให้สามารถทำให้ผิวมีความเรียบสูงมากได้ จากกระบวนการขัดละเอียด (เช่น Polishing) ทำให้มีโอกาสเกิดการเชื่อมติดหรือการไขว่กันของ Asperities ลดลงมาก (Reduce Cold Welding & Interlocking of Asperities)
- เม็ดลูกกลิ้งของรอลีนมีการเคลื่อนที่ไปรอบๆ เพลลา และไปรอบๆ รางวิ่ง ซึ่งมีทั้งบริเวณที่เรียกว่า “Load Zone” และ “Unload Zone” โดยหมายถึงบริเวณที่ลูกกลิ้ง กลิ้งตัวไปสู่จุดหรือบริเวณที่เป็นารับภาระ และคายภาระของเพลลาที่กระทำต่อแบร์ริง ดังนั้นความร้อนที่เกิดขึ้นก็จะมีโอกาสสะสมอยู่ในเม็ดลูกกลิ้งน้อยกว่าในกรณีของแบร์ริงกาน และสามารถที่จะนำความร้อนออกไประบายได้ดีกว่ากรณีของแบร์ริงกานที่อยู่หนึ่งกับที่

จากทั้ง 3 ส่วนข้างต้นรวมถึงการเคลื่อนที่แบบกลิ้งตัว (Rolling Friction) จึงทำให้ส่งผลต่อการเสียดทานที่เกิดขึ้นน้อยกว่ากรณีการเลื่อนไถล (Sliding Friction) จึงทำให้มีการเรียกแบร์ริงลักษณะนี้ว่า “Anti-Friction” นั่นคือ ไม่ได้หมายความว่าไม่มีแรงเสียดทาน แต่หมายถึงว่ามีการ “ต่อต้าน” การเกิดการเสียดทานหรืออีกนัยหนึ่งคือ มีแรงเสียดทานแต่มีค่าน้อยหรือมีค่าต่ำๆ นอกจากนี้ ข้อมูลที่ควรทราบคือ รอลีนแบบเม็ดลูกกลิ้งนั้นมีการใช้สารหล่อลื่น 2 ประเภทหลักๆ คือ จาระบีและน้ำมันหล่อลื่น โดยทั่วไปแล้วประมาณ 90% ของแบร์ริงเม็ดลูกกลิ้งใช้จาระบีเป็นสารหล่อลื่น ส่วนอีก 10%

ที่หล่อใช้น้ำมันหล่อลื่น ดังนั้นในกรณีศึกษาที่มุ่งสนใจที่จะศึกษาวิเคราะห์จะปีใช้แล้ว เพื่อนำมาประเมินสภาพของตลับลูกปืน

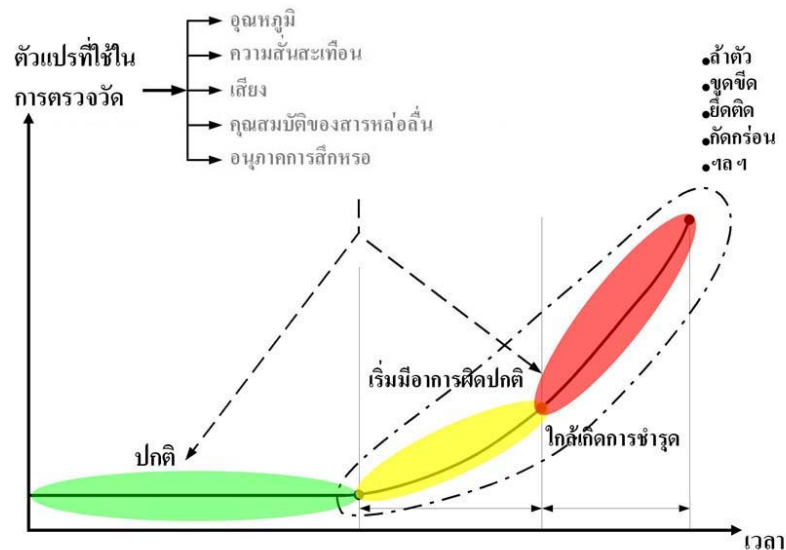
เทคโนโลยีในการบำรุงรักษาชิ้นส่วนเครื่องจักร ซึ่งรวมไปถึงตลับลูกปืนแบบเม็ดลูกกลิ้ง ซึ่งอาจแบ่งเป็นวิธีการบำรุงรักษาหลัก 4 ประเภทคือ

1. การซ่อมเมื่อตลับลูกปืนชำรุด (Breakdown Maintenance: BM) ลักษณะการดำเนินการคือ ใช้งานไปจนกระทั่งตลับลูกปืนชำรุด โดยไม่ต้องดำเนินการดูแลรักษาใดๆ เลย อาจจะเหมาะสมกับอุปกรณ์หรือรองลื่นในเครื่องจักรที่ไม่สำคัญ หรือไม่คุ้มค่าต่อการดูแลรักษาแบบอื่นๆ แต่จะไม่เหมาะสมกับแบบริ่งที่อยู่ในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่สำคัญมากๆ โดยเฉพาะต่อชีวิตและชื่อเสียงขององค์กร เช่น กิจการการบินทั้งในแง่ของพลเรือนและทางทหาร เป็นต้น

2. การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM) เป็นการถอดเปลี่ยนตลับลูกปืนตามระยะเวลา (Time-Based Maintenance: TBM) ซึ่งบางครั้งเรียกค่าระยะเวลาที่เหมาะสมที่จะดำเนินการถอดเปลี่ยนก่อนที่จะเกิดการชำรุดว่า “Mean Time Before Failure: MTBF” วิธีการแบบนี้เริ่มมีการนิยมใช้มากขึ้นในปัจจุบัน ทั้งนี้เพื่อลดโอกาสเสี่ยงที่จะต้องหยุดเครื่องจักรฉุกเฉิน และในเครื่องจักรที่สำคัญๆ ต่อทั้งกระบวนการผลิต-ชีวิต-ทรัพย์สินของโรงงาน ฯลฯ

3. การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance: PdM) เป็นการวิเคราะห์สภาพของตลับลูกปืน เพื่อประเมินว่าควรต้องดำเนินการต่อไปอย่างไรต่อไปตาม “สภาพจริง” (Condition-Based Maintenance: CBM) ซึ่งอาจจะใช้การวัดวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ เช่น การสั่นหรือ ที่ก่อให้เกิด “พลังงาน” สูญเสียที่เกิดขึ้นภายในระบบหรือในตลับลูกปืนคือ

- คลื่นเสียงความถี่สูง (Acoustic Emission)
- คลื่นกระแทก (Shock Pulse or Stress Wave Analysis)
- เสียงที่หูคนได้ยินหรือไม่ได้ยิน (Industrial Stethoscope or Human Ears)
- ความร้อน (ThermoCouple/ Thermometer หรือ Thermography)
- ความสั่นสะเทือน (Vibration Signal Analysis both Time and Frequency Domain)
- การวิเคราะห์สารหล่อลื่นใช้แล้ว (Used Lubricant Analysis)
- สมรรถนะของตลับลูกปืน (Performance Analysis)



รูปที่ 1 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

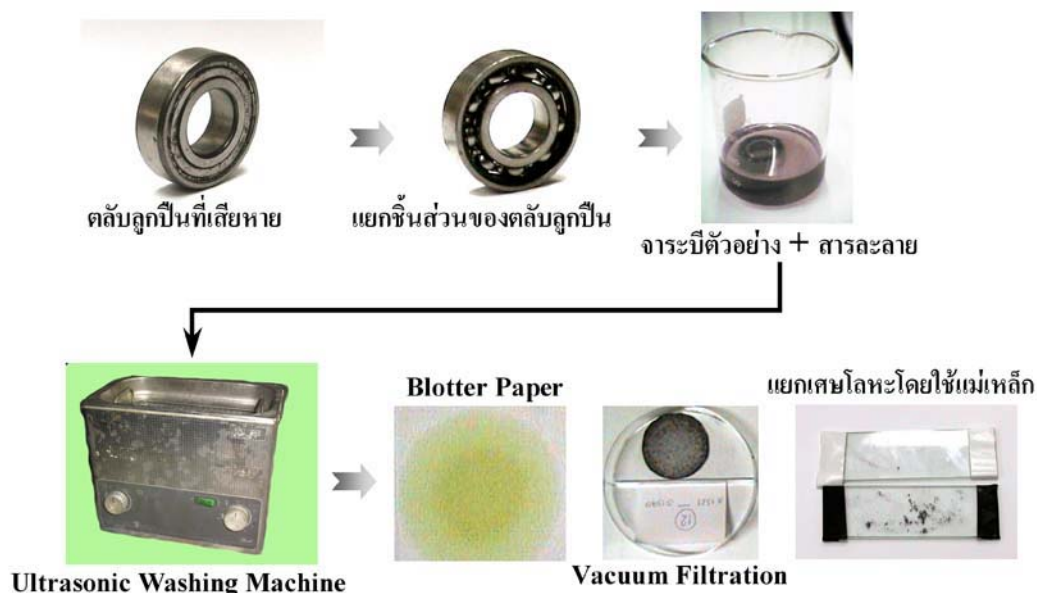
4. การบำรุงรักษาเชิงรุก (Proactive Maintenance) เป็นการพิจารณาแก้ไขปัญหาดังแต่เริ่มต้นที่รากของสาเหตุ ซึ่งอธิบายได้ง่ายที่สุดคือ ปัจจัยหลักส่วนหนึ่งที่ทำให้ร่องลื่นแตกคือ สิ่งสกปรกจากภายนอก (External Solid Particles) ดังนั้น การบำรุงรักษาเชิงรุกที่ดีคือ ต้องป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกเข้าไปทำลายร่องลื่นตั้งแต่เริ่มต้น เช่น หากต้องการหล่อลื่นแบร์ริงสำคัญๆ ด้วยน้ำมันหล่อลื่น วิศวกรออกแบบที่ดีที่มีวิสัยทัศน์ด้านการบำรุงรักษาเชิงรุก จะพิจารณาเลือก “ไส้กรอง” น้ำมันหล่อลื่นที่มีสมรรถนะสูง เพื่อช่วยป้องกันสิ่งสกปรกไม่ให้เข้าไปทำลายร่องลื่นหรืออาจจะต้องดูแลไม่ให้จาระบีหรือน้ำมันในคลังพัสดุปนเปื้อนด้วยสิ่งสกปรก เป็นต้น ตัวอย่างกิจกรรมในลักษณะดังกล่าวเป็นแนวทางของการบำรุงรักษาเชิงรุก

ในกรณีศึกษานี้จึงได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ตลอดจนรูปแบบ “Sealed-for-Life Bearing” เพื่อเป็นการเริ่มต้นวิเคราะห์เฉพาะโลหะที่อยู่ในจาระบีใช้แล้วตั้งแต่เริ่มใช้งานจนกระทั่งสิ้นอายุขัย ทั้งนี้เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นในการประยุกต์กับหลักการวิเคราะห์เฉพาะโลหะจากการสึกหรอ ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่ามีความเป็นไปได้ที่จะเกิดกลไกการสึกหรอดังนี้

- กลไกการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive Wear) ทั้งในกรณีปกติ (Normal Adhesive Wear) และแบบที่ผิดปกติ (Severe Adhesive Wear)
- กลไกการสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasive Wear) ที่อาจจะเกิดขึ้นจากสิ่งสกปรกภายนอกหรือเศษโลหะที่เกิดจากการสึกหรอภายในเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างหน้าสัมผัสได้อีก
- กลไกการสึกหรอแบบล้าตัว (Fatigue Wear) ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่ร่องลื่นใช้งานจนสิ้นอายุขัย (หรือไปถึงค่า L_{10} ซึ่งคือ ค่าคำนวณอายุขัยการล้าตัว (Fatigue Life Estimation)) หรืออาจจะเกิดการล้าตัวในกรณีที่สิ่งสกปรกแรงให้เกิดตามดหรือทำให้เกิดหลุมบนรางวิ่ง (Debris Indentation)
- กลไกการกัดกร่อน (Corrosive Wear) อาจจะเป็นการกัดกร่อนจากการเสื่อมสภาพของสารหล่อลื่น (Oxidized Lubricant) หรือกัดกร่อนจากการที่มีความชื้นในระบบ (Rust) หรือเกิดเฟรตติ้ง (Fretting Corrosion) (ในกรณีของเฟรตติ้งมักจะเกิดในบริเวณที่เพลสัมผัสกับรูในของแบร์ริงหรือวงนอกของแบร์ริงที่สัมผัสกับตัวเสื้อหรือตัวเรือน (Bearing Housing))

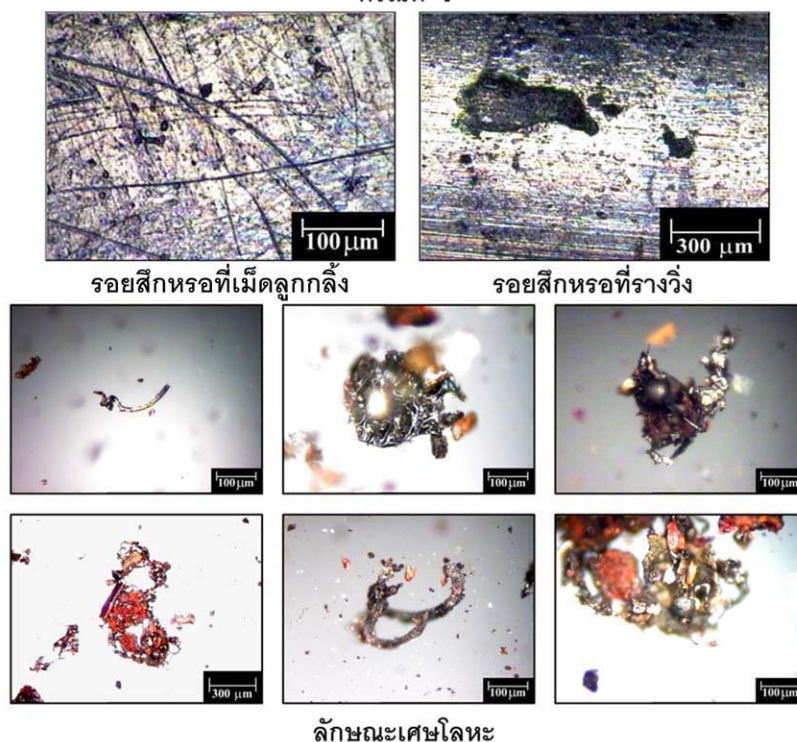
การวิเคราะห์เศษโลหะในจาระบี

การศึกษาวិเคราะห์ลักษณะเศษโลหะ (เศษเหล็ก) ในจาระบีที่ใช้แล้วจากตัวอย่างจริงในร่องลื่นแบบกลิ้งตัวใช้แล้วเบอร์ 6202 ZZ จำนวน 3 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นการวิเคราะห์เบื้องต้นก่อนที่จะนำไปสู่การศึกษาวิเคราะห์ขั้นต่อไปในงานวิจัยในอนาคต (ร่องลื่นประเภทนี้เป็นร่องลื่นที่ไม่ต้องมีการอัดหรือเปลี่ยนถ่ายจาระบีตลอดอายุขัย ซึ่งมีผลทำให้เศษโลหะหรือเศษเหล็กและสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ จะยังคงสะสมตัวอยู่ในจาระบีใช้แล้วทั้งหมดตามข้อสมมุติฐานในทางทฤษฎี)



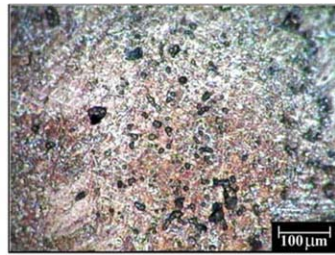
รูปที่ 2 กรรมวิธีการแยกเศษโลหะออกจากจาระบี

กรณีที่ 1

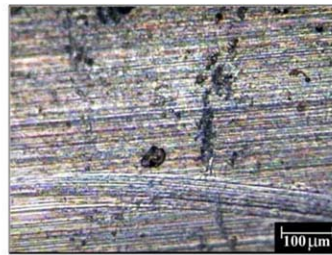


รูปที่ 3 ลักษณะผิวรอยสึกหรอและเศษโลหะของร่องลื่นกรณีที่ 1

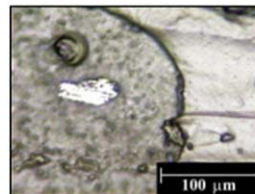
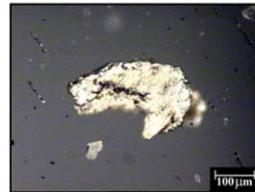
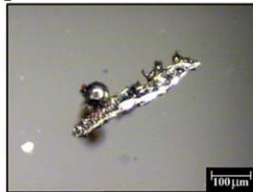
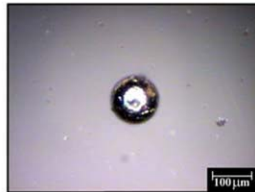
กรณีที่ 2



รอยสีกหรอที่เม็ดลูกกลิ้ง



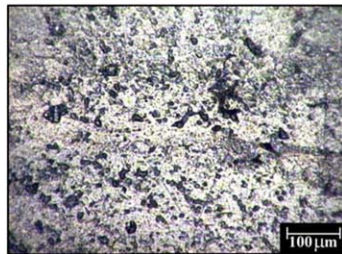
รอยสีกหรอที่รางวิ่ง



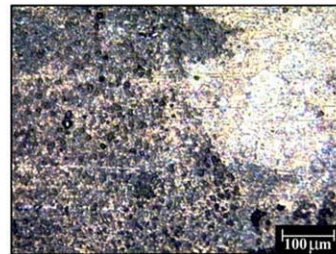
ลักษณะเศษโลหะ

รูปที่ 4 ลักษณะผิวรอยสีกหรอและเศษโลหะของร่องสีนกรณีที่ 2

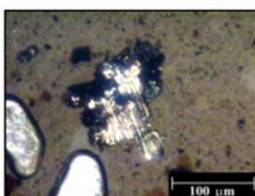
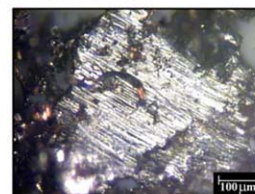
กรณีที่ 3



รอยสีกหรอที่เม็ดลูกกลิ้ง



รอยสีกหรอที่รางวิ่ง



ลักษณะเศษโลหะ

รูปที่ 5 ลักษณะผิวรอยสีกหรอและเศษโลหะของร่องสีนกรณีที่ 3

รูปที่ 3 ถึง 5 แสดงลักษณะการสึกหรอของรางวิ่ง เม็ดลูกกลิ้ง และเศษโลหะที่พบในจาระบีใช้แล้ว ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของเศษโลหะรูปแบบต่างๆ (Wear debris morphology) จากที่ปรากฏอยู่ในวรรณกรรมวิจัย โดยที่สามารถทำให้ประเมินถึงสภาวะหรือกลไกที่ทำให้ร่องลื่นที่เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ดังกล่าวว่ามีสาเหตุใดบ้างที่ส่งผลให้ร่องลื่นไม่สามารถใช้งานได้นจนถึงช่วงอายุไขการล้าตัว (Calculated Fatigue Life: L_{10})

จากลักษณะของภาพถ่ายของผิวรอยสึกหรอทั้งที่รางวิ่งและเม็ดลูกกลิ้ง เศษเหล็กและสิ่งปนเปื้อนในจาระบีใช้แล้วที่ทำการวิเคราะห์ สามารถประเมินได้ว่ากลไกที่ทำให้ร่องลื่นทั้งสามตัวอย่างเสื่อมสภาพอาจจะมีเงื่อนไขที่เป็นสาเหตุของการชำรุดของร่องลื่นดังนี้

1. จาระบีเสื่อมสภาพหรือมีการแห้งตัวของจาระบีจนทำให้ขาดสารหล่อลื่น
2. สภาพไรสารหล่อลื่นทำให้เนื้อโลหะสัมผัสกันโดยตรง (Metal to Metal contact) ก่อให้เกิดเศษเหล็กแบบยึดติดหรือแบบลื่นไถลแบบรุนแรง
3. เศษเหล็กที่เกิดขึ้นจะมีความแข็งค่อนข้างสูง (Worked Hardening) และมีโอกาสทำให้เกิดการขัดสีกับซีลกันฝุ่นของร่องลื่น
4. ละอองและความชื้นเข้าสู่ภายในร่องลื่นได้ง่ายยิ่งขึ้น
5. ฝุ่นละอองและเศษโลหะที่แข็งมากกว่าเนื้อโลหะของ ร่องลื่นจะทำให้เกิดการขูดขีดเนื้อโลหะให้เป็นรอย
6. เมื่อเนื้อโลหะบนรางวิ่งเป็นรอยขรุขระจะเป็นการเร่งให้เกิดการล้าตัวที่รวดเร็วยิ่งขึ้น (Abrasive-Induced Fatigue)

จากข้อสันนิษฐานทั้งหมดที่เป็นเหตุจึงทำให้มีผลเกิดขึ้นของรูปร่างของเศษเหล็กและสิ่งปนเปื้อนที่สามารถวิเคราะห์ได้จากจาระบีใช้แล้วดังที่กล่าวมา

สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยในเบื้องต้นนี้ทำให้สรุปได้ดังนี้

1. มีความเป็นไปได้ในการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ขั้นต้นและขั้นสูงของร่องลื่นโดยการวิเคราะห์สารหล่อลื่นใช้แล้ว
2. นอกเหนือจากการทำการประเมินสภาพความผิดปกติของร่องลื่นจากคุณสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นเช่น สี ยังสามารถดำเนินการในส่วนอื่นได้อีก เช่น การวิเคราะห์รูปร่างของเศษโลหะในจาระบีใช้แล้วเพื่อเป็นข้อมูลประกอบได้อีก
3. ในการวิเคราะห์ขั้นตอนถัดไป โดยเฉพาะสำหรับร่องลื่นของเครื่องจักรที่สำคัญๆนั้นควรดำเนินการในการวิเคราะห์ค่าอื่นๆ เช่น ระดับความแข็ง-อ่อนของจาระบีใช้แล้ว ค่าจุดหยดของจาระบีใช้แล้ว ค่าความเป็นกรด-ด่างของจาระบีใช้แล้ว และการวิเคราะห์ด้วยอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Y., Kimura, "Maintenance tribology: its significance and activity in Japan", Wear, 207 (1997), pp. 63-66
- [2] FAG Rolling Bearing Handbook, December 1996
- [3] The Tools for Trouble-Free Operation, SKF, April 1998
- [4] Koyo Bearing Handbook, 1974
- [5] S. Raadnui, "On-Going COMADEM Research at King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok", International Journal of COMADEM (Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management), Vol. 8(2), April 2005, pp. 48-55

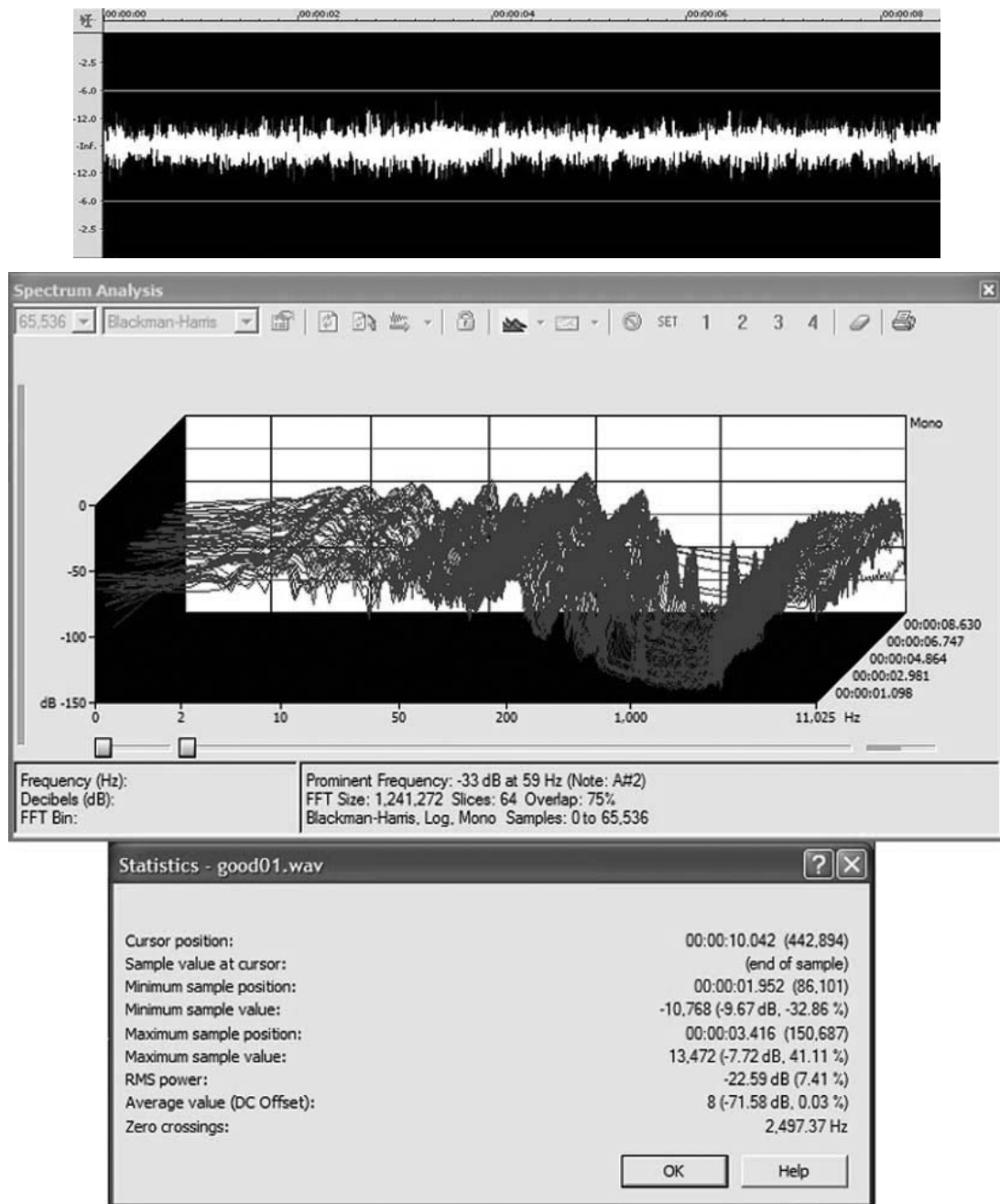
การวิจัยส่วนที่สาม เรื่อง การวิเคราะห์สภาพแบร้งจากการวัดและวิเคราะห์เสียง

รอกลิ้นแบบกลิ้งตัวเป็นชิ้นส่วนพื้นฐานของเครื่องจักรกล ซึ่งมีการใช้กันอยู่เป็นจำนวนมากในเครื่องจักรทุกประเภท บ่อยครั้งที่รอกลิ้นเกิดการชำรุดเสียหายและมีผลทำให้ต้องหยุดเครื่องจักรเพื่อทำการซ่อมบำรุงทำให้สูญเสียกำลังการผลิต ทำให้มีการคิดค้นเทคนิคในการเฝ้าระวังสภาพของรอกลิ้น ซึ่งเป็นกลยุทธ์ในการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่มุ่งหวังให้สามารถทราบอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของรอกลิ้นและอาจจะรวมถึงค้นหาสาเหตุของการเสื่อมสภาพของรอกลิ้น เพื่อให้ฝ่ายซ่อมบำรุงสามารถวางแผนแก้ไขล่วงหน้าได้ จึงเป็นที่มาของการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับเสียง การวิเคราะห์จาระบีใช้แล้ว และลักษณะผิวรอยสึกหรอของรอกลิ้นแบบกลิ้งตัวที่มีระดับความรุนแรง (Severity) ของความเสียหายแตกต่างกันบนเครื่องทดสอบรอกลิ้นที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์และบันทึกค่าสัญญาณเสียงในระหว่างการทดสอบ หลังจากนั้นทำการแยกส่วนรอกลิ้นเพื่อวิเคราะห์ลักษณะผิวรอยสึกหรอและจาระบีในรอกลิ้น เพื่อนำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับความรุนแรงของความเสียหายของรอกลิ้นกับสัญญาณเสียงที่บันทึกได้ในระหว่างการทดสอบ

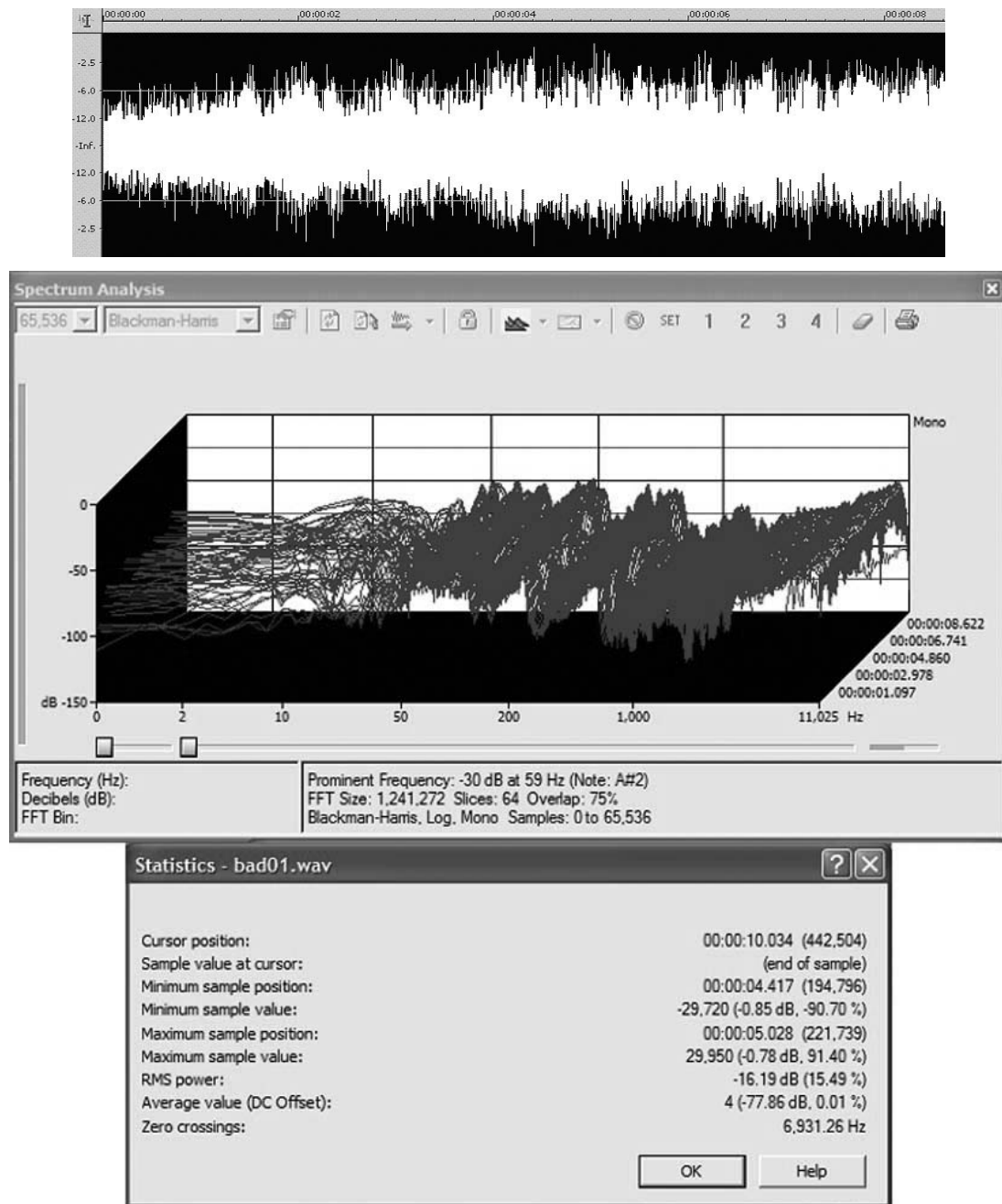
การวิเคราะห์ระดับเสียง

ในการดำเนินการทดลองขั้นต้นต้องการทราบความเป็นไปได้ที่จะใช้คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน (Condenser Microphone) ซึ่งเป็นไมโครโฟนขนาดเล็กแบบพกพาและมีราคาถูกในการจำแนกความแตกต่างระหว่างรอกลิ้นแบบลูกกลิ้งที่ดีและที่เสียแล้ว สำหรับเครื่องทดสอบที่สร้างขึ้นโดยจำลองให้มีการทำงานและโครงสร้างคล้ายเครื่องจักรจริงคือ มีตัวเรือน (Housing) เฟืองงาน (Spindle) ตลับลูกปืน (Bearing) เบอร์ 6202ZZ ทั้งดีและเสียมาสวมกับเฟืองทั้งสองฝั่ง ฝาครอบปิดตลับลูกปืน (Cover) และออกแบบให้มีช่องสำหรับต่อไมโครโฟน เพื่อใช้ในการวัดเสียงและบันทึกเสียงได้ โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลังและขับเคลื่อนด้วยสายพานตัววี (V-Belt) เพื่อให้เสียงที่เกิดขึ้นบนเครื่องทดสอบมีการถูกรบกวนน้อยที่สุดด้วยความเร็วรอบ 1400 รอบต่อนาที และรองรับฐานเครื่องทดสอบและฐานมอเตอร์ด้วยแผ่นยางรองรับการสั่นสะเทือนที่อาจส่งผลกระทบต่อเสียงที่ต้องการวัด

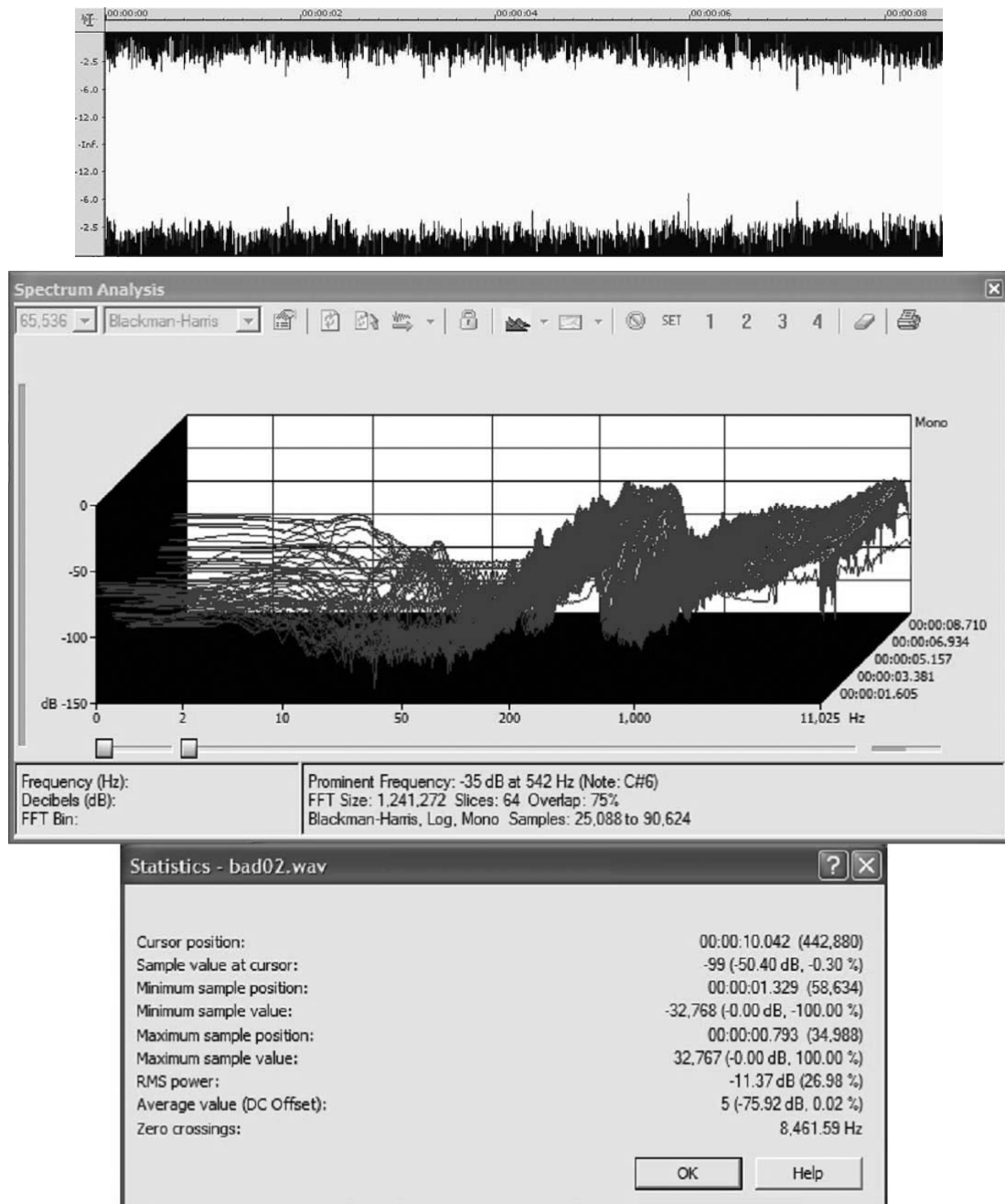
ระดับความดังของเสียงในหน่วย dB ที่วัดได้ในระหว่างการทดสอบ ณ ตำแหน่งห่างจากรอกลิ้น 5 มม. ตามแนวรัศมีของรอกลิ้น ระดับความดังของเสียงในช่วงความถี่ 100 Hz ถึง 10 kHz ถูกบันทึกและทำการวิเคราะห์ด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์เสียง (Cool Editor) ตัวอย่างในการแสดงผลผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 1 ถึงรูปที่ 3 ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์สามารถวิเคราะห์ผลทางสถิติของข้อมูลดิบที่บันทึกได้ เช่น ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของระดับความดังของเสียงแสดงดังรูปที่ 4



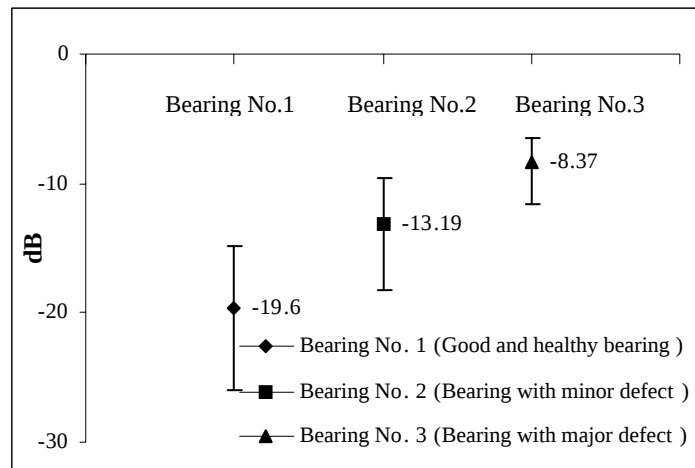
รูปที่ 1 ระดับเสียงที่วัดได้จากรอสันตัวที่ 1 (แมริ่ง 6202ZZ ตัวใหม่)



รูปที่ 2 ระดับเสียงที่วัดได้จากกรงลื่นตัวที่ 2 (แปรง 6202ZZ มีการชำรุดเล็กน้อย)



รูปที่ 3 ระดับเสียงที่วัดได้จากเครื่องตัวที่ 3 (เครื่อง 6202ZZ มีการชำรุดรุนแรง)



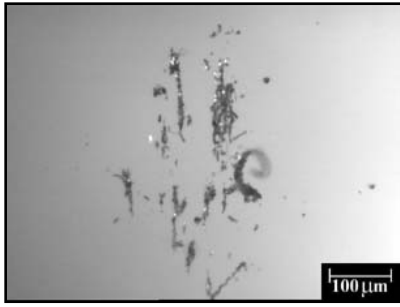
รูปที่ 4 การวิเคราะห์ระดับเสียงทางสถิติในการทดสอบ

การวิเคราะห์เศษโลหะจากการสึกหรอและสิ่งแปลกปลอมในจาระบี

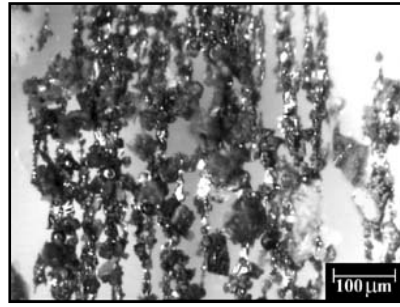
หลังจากวัดระดับเสียงของรองลื่นบนเครื่องทดสอบแล้ว รองลื่นทั้งหมดจะถูกแยกส่วนออกมา เพื่อวิเคราะห์ลักษณะผิวรอยสึกหรอ จาระบีที่อยู่ในรองลื่นจะถูกนำมาวิเคราะห์เศษโลหะจากการสึกหรอและสิ่งแปลกปลอมภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เพื่อนำมาใช้ในประเมินกลไกการสึกหรอ และระดับความรุนแรงของความเสียหายของรองลื่นเปรียบเทียบกับระดับของเสียงที่วัดได้ รูปที่ 5 (ก) ถึง (ค) แสดงรูปร่างลักษณะของเศษโลหะจากการสึกหรอของรองลื่นตัวที่ 1 ถึง 3 ตามลำดับ

การวิเคราะห์ผิวรอยสึกหรอ

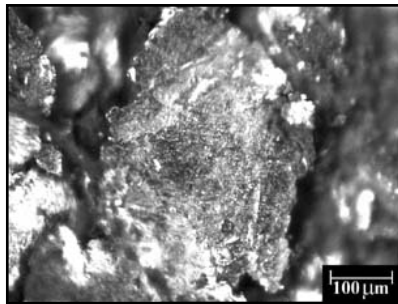
หลังจากแยกส่วนประกอบของรองลื่นและล้างจาระบีด้วยสารละลายในเครื่องล้างอัลตราโซนิค (Ultrasonic Washing Machine) เพื่อนำไปวิเคราะห์เศษโลหะและสิ่งแปลกปลอมในจาระบีแล้ว รังวริงตัวนอก รังวริงตัวใน และเม็ดลูกกลิ้ง จะถูกนำไปวิเคราะห์ลักษณะผิวของรอยสึกหรอที่เกิดขึ้นด้วยสายตาและภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ในการเปรียบเทียบรองลื่นทั้ง 3 ตัว รองลื่นตัวที่ 1 เป็นรองลื่นสภาพดี (รองลื่นใหม่ที่ยังไม่ได้ใช้งานมาก่อน) และรองลื่นตัวที่ 3 เป็นรองลื่นเสีย พบว่ารองลื่นตัวที่ 3 เกิดรอยสึกหรอแบบเป็นหลุมลึก (Pitting) ทั้งบนรังวริงและเม็ดลูกกลิ้ง เปรียบเทียบกับรองลื่นตัวที่ 1 และ 2 ที่ผิวทั้งรังลื่นและเม็ดลูกกลิ้งของรองลื่นยังเรียบทั้งคู่ ซึ่งประเมินได้ว่าสภาพของรองลื่นตัวที่ 1 และ 2 เป็นรองลื่นสภาพดีและดีพอใช้ตามลำดับ รูปที่ 6 ถึง 8 แสดงผิวหน้ารอยสึกหรอของรองลื่นตัวที่ 1 ถึง 3



5(ก) ลักษณะเศษโลหะจากการสึกหรอปกติ
(ร่องลื่นตัวที่ 1)

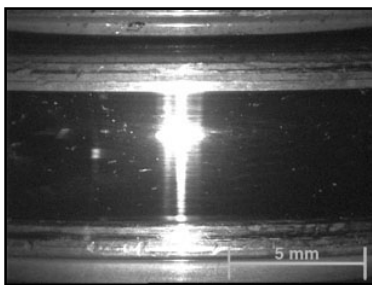


5(ข) สิ่งแปลกปลอม เศษโลหะลักษณะทรงกลมและ
ออกไซด์สีดำ (ร่องลื่นตัวที่ 2)

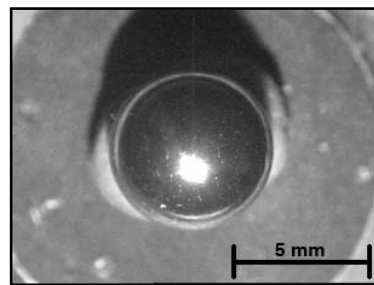


5(ค) ลักษณะเศษโลหะจากการฉีกตัว (ร่องลื่นตัวที่ 3)

รูปที่ 5 ลักษณะเศษโลหะจากการสึกหรอและสิ่งแปลกปลอมจากร่องลื่นตัวที่ 1 ถึง 3



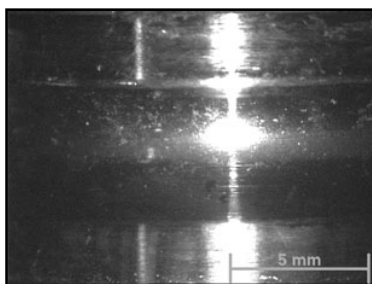
6(ก) ผิวยรอยสึกหรอแบบปกติของรางวิ่ง



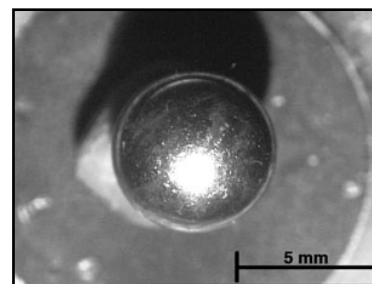
6(ข) ผิวยรอยสึกหรอแบบปกติของเม็ด

ลูกกลิ้ง

รูปที่ 6 ลักษณะผิวยรอยสึกหรอของร่องลื่นตัวที่ 1



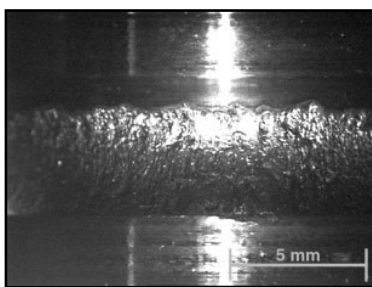
7(ก) ผิวยรอยสึกหรอปานกลางของรางวิ่ง



7(ข) ผิวยรอยสึกหรอปานกลางเม็ด

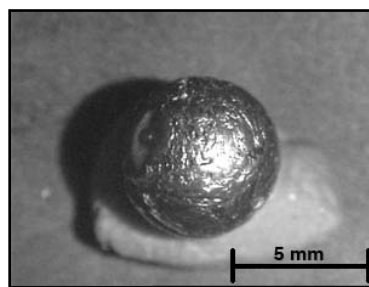
ลูกกลิ้ง

รูปที่ 7 ลักษณะผิวยรอยสึกหรอของร่องลื่นตัวที่ 2



8(ก) รางวิ่งสีกหระเป็นหลุมลึก (Pitted)

ลูกกลิ้งสีกหระเป็นหลุมลึก



8(ข) เม็ด

รูปที่ 8 ลักษณะผิวยรอยสีกหระของรองลื่นตัวที่ 3

สรุป

ในการเปรียบเทียบระดับเสียง การวิเคราะห์เศษโลหะและผิวยรอยสีกหระของรองลื่นในการทดสอบนี้ แสดงให้เห็นว่าระดับเสียงสามารถบ่งบอกถึงระดับความรุนแรงของการสีกหระของรองลื่นได้ ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถบ่งบอกถึงรายละเอียดของสาเหตุของการชำรุดเสียหายหรือกลไกการสีกหระที่ทำให้เกิดเสียงขึ้นมาก็ได้ ในอนาคตเมื่อมีการวิจัยอย่างต่อเนื่องถึงการแจกแจงระดับความถี่ของเสียงที่เกิดขึ้น อาจจะมีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์ ประเมินสภาพและสรุปถึงสาเหตุการสีกหระและชำรุดของรองลื่นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็วยิ่งขึ้น ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากต่องานบำรุงรักษาเชิง-พยากรณ์ในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Raadnui, "Multi-Parameter Analysis Condition Monitoring Technique for Grease-Lubricated Rolling Element Bearings", Int. J. of Applied Mechanics and Engineering, Vol. 9, pp. 87-91
- [2] S. Raadnui, "An Integrated Approach Condition Monitoring of Grease-Lubricated Rolling Element Bearings" Int. J. of Applied Mechanics and Engineering, Vol. 9, pp. 93-98

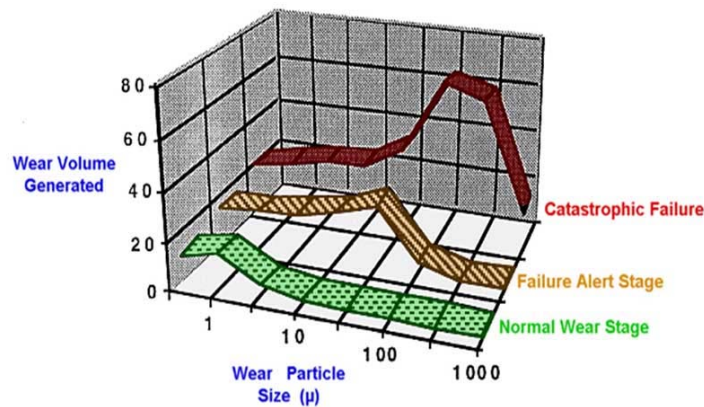
การวิจัยส่วนที่สี่เรื่อง การพัฒนาเซนเซอร์วิเคราะห์สภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ออนไลน์

ปัจจุบันการตรวจวัดปริมาณเศษโลหะในน้ำมันหล่อลื่น สามารถตรวจวัดเศษโลหะจำพวกเศษเหล็กได้โดยง่าย โดยทั่วไปอาศัยปลั๊กแม่เหล็กดูดจับเศษโลหะจำพวกเหล็ก “Magnetic Chip Detector (MCD)” ส่วนโลหะที่ไม่ใช่เหล็กและสิ่งเจือปนอื่นๆ ไม่สามารถตรวจวัดด้วยปลั๊กแม่เหล็กได้ จึงเป็นแนวความคิดในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดปริมาณเศษโลหะและสิ่งเจือปนในน้ำมันหล่อลื่น โดยใช้หลักการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ส่วนการวัดค่าแรงดัน กระแสและความต้านทาน จากการทดสอบยังไม่สามารถตรวจวัดเศษโลหะในรูปค่าเชิงปริมาณได้ ในการทดลองได้ทำการผสมพารา-มิเตอร์ที่สนใจ ได้แก่ ปริมาณเศษโลหะ ปริมาณน้ำ และปริมาณฝุ่นละอองเจือปนที่ระดับต่างๆ 3 ระดับ จากผลการทดลองปรากฏว่าค่าที่ได้มีการตอบสนองดีมากในการวัดค่าทางไฟฟ้า โดยเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของค่าคงที่ไดอิเล็กทริก

บทนำ

การทำงานของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีการเคลื่อนที่ย่อมเกิดการขัดสีกัน ทำให้เกิดการสึกหรอและเกิดเศษโลหะหลุดออกมาจากชิ้นส่วนแล้วเข้าไปผสมอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งปริมาณเศษโลหะจากการสึกหรอจะสะสมอยู่ในสารหล่อลื่นเพิ่มมากขึ้นด้วย ปริมาณเศษโลหะที่เพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติแสดงให้เห็นว่าระบบอาจจะมีปัญหาในเรื่องการสึกหรอเกิดขึ้น โดยอาจจะมีสาเหตุหลายประการ เช่น สารหล่อลื่นที่ใช้ไม่เหมาะสม สารหล่อลื่นที่ใช้อยู่อาจเกิดการเสื่อมสภาพ เป็นต้น จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายสารหล่อลื่น และถ้าเราไม่สามารถชะลอการเกิดการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลได้ก็จะนำไปสู่การชำรุดเสียหายของชิ้นส่วนแบบฉับพลันได้ (Breakdown) ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้เกิดแนวความคิดเรื่องการบำรุงรักษาเครื่องจักรขึ้นมา โดยการบำรุงรักษาแบบเดิมคือ การรอให้เครื่องจักรชำรุด (BM: Breakdown Maintenance) หรือการเปลี่ยนตามช่วงเวลา (PM: Preventive Maintenance) ซึ่งการเปลี่ยนชิ้นส่วนหรือถ่ายสารหล่อลื่นตามช่วงเวลาในบางครั้งชิ้นส่วนหรือสารหล่อลื่นอาจจะยังไม่เสื่อมสภาพหรือเสื่อมสภาพไปก่อนหน้านั้นแล้วก็ได้ ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงสภาพที่แท้จริงของอุปกรณ์ และสารหล่อลื่น จึงทำให้เกิดวิธีการบำรุงรักษาตามสภาพ (CBM: Condition Based Maintenance) ที่พยายามทำการประเมินสภาพของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลและสารหล่อลื่น เพื่อนำไปใช้พยากรณ์และติดตามสภาพของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่อไป อุปกรณ์วัดปริมาณเศษโลหะในน้ำมันหล่อลื่นเป็นแนวความคิดหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้ในการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ และการติดตามสภาพของเครื่องจักรกล และยังสามารถทราบระดับความรุนแรงของการสึกหรอได้ ถ้านำเศษโลหะบนแผ่นกริด (Grid) ไปวิเคราะห์ต่อไป

อุปกรณ์วัดปริมาณเศษโลหะในน้ำมันหล่อลื่นนี้ ใช้วัดปริมาณเศษโลหะที่เกิดจากการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล ซึ่งกลไกการสึกหรอแต่ละประเภทจะมีความสัมพันธ์กับชนิดขนาดและรูปร่างลักษณะอนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้น ก็จะทำให้เราวิเคราะห์สภาพเครื่องจักรและสภาพความรุนแรงของการสึกหรอได้ดังในกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงขนาดของเศษโลหะ เปรียบเทียบกับปริมาณเศษโลหะที่เกิดขึ้นและบอกถึงระดับของการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักร แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของเศษโลหะ, อัตราการเกิดขึ้นของเศษโลหะและระดับความรุนแรงของการชำรุดของเครื่องจักร

การสึกหรอจะขึ้นอยู่กับสภาพสิ่งแวดล้อม ชนิดและลักษณะของแรงที่กระทำ ความเร็วสัมพัทธ์ของชิ้นส่วนที่สัมผัสกัน สภาพการหล่อลื่น อุณหภูมิ ความแข็งที่ผิว คุณสมบัติความเหนียวของวัสดุ ความหยาบผิว การมีอนุภาคแปลกปลอมแทรกตัวอยู่ระหว่างผิวที่มีการเสียดสี ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงาน การสัมผัสกันสนิทของชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ทำงานคู่กัน โดยตัวแปรต่างๆ ที่กล่าวมาจะมีผลต่อการสึกหรอ ซึ่งวิศวกรส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่งและต้องหาวิธีการชะลอให้เกิดน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

การวัดการสึกหรอสามารถทำได้โดยการวัดขนาดของรูปทรง (Dimensional Measurement) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope) หรือกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา (Optical Microscope) และการวัดปริมาณการสึกหรอโดยการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักที่มีความแม่นยำสูง รูปร่าง

ลักษณะที่ปรากฏและปริมาณการสึกหรอที่วัดได้สามารถนำมาใช้อธิบายลักษณะพฤติกรรมการสึกหรอของชิ้นส่วนอุปกรณ์ได้ จากโครงการนี้ สามารถนำผลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ หาสาเหตุและที่มาของการสึกหรอนี้ได้

เช่น

1. การตรวจสอบปริมาณน้ำเจือปน โดยทั่วไปแล้วไม่ควรจะมีปริมาณน้ำเจือปนเกินกว่า 0.3% โดยปริมาตร ($\leq 3,000$ พีพีเอ็ม) ปกติการปนเปื้อนของน้ำในน้ำมันหล่อลื่น มักเกิดจากการใช้งานในระยะสั้น ๆ มีการติดเครื่องและดับเครื่องบ่อยๆ ถ้าพบในปริมาณมากอาจจะเกิดจากการรั่วซึมของระบบระบายความร้อน
2. การตรวจสอบเศษโลหะ ฝุ่นละออง สารแขวนลอย และเขม่าจากการเผาไหม้ ซึ่งทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีความหนืดเพิ่มขึ้น

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant) เป็นคุณสมบัติพื้นฐานของสสารชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับกับจุดเดือดจุดหลอมเหลว ความหนืด หรือดัชนีการหักเห ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเป็นค่าวัดแรงยึดเหนี่ยวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สลับขั้วไปมา (คือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สลับขั้วไปมาระหว่างขั้วบวกและลบที่ความถี่ใด ๆ) กับโมเลกุล เป็นค่าที่ไม่มีหน่วยในสารประกอบบริสุทธิ์ ค่าของจุดเดือด จุดหลอมเหลว ความหนืด และดัชนีการหักเห จะมีความสัมพันธ์กับค่าคงที่ไดอิเล็กทริก เช่น ในขณะที่ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น จุดหลอมเหลวและจุดเดือดของโมเลกุลอย่างง่ายก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

ค่าความหนืดของสสารนั้นพบว่ามีความสัมพันธ์กันกับค่าคงที่ไดอิเล็กทริกในเรื่องของจุดเดือด โดยจุดเดือดของสสารเกือบทุกชนิดเกิดขึ้นในขณะที่มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 1.4 cSt ในกรณีของจุดเดือดนั้นคือ การที่ความร้อนให้พลังงานแก่โมเลกุลจนกระทั่งชนะแรงยึด

เหนี่ยวนำระหว่างโมเลกุลและกระจายตัวเป็นก๊าซ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกก็เป็นส่วนหนึ่งของการวัดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ซึ่งถูกเอาชนะด้วยความร้อนด้วยเช่นกัน

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสูญญากาศโดยคำจำกัดความแล้วมีค่าเท่ากับหนึ่ง ขณะที่โลหะมีค่าไม่มีสิ้นสุด เนื่องจากโลหะมีคุณสมบัติเป็นตัวนำ ความหนาแน่นของก๊าซมีค่าประมาณ 1 ในพันส่วนของความหนาแน่นของเหลวและของแข็ง ดังนั้นจึงมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกค่อนข้างต่ำ ส่วนนี้ไม่เป็นไปตามกฎนี้เนื่องจากมีค่าไดอิเล็กทริกสูงมากและขึ้นกับอุณหภูมิ เฮกเซนมีอะตอมคาร์บอน 6 อะตอมเป็นสารประกอบพาราฟินิก แต่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกน้อยกว่าเบนซีน ซึ่งมีอะตอมคาร์บอน 6 อะตอมเช่นกัน แต่เป็นสารประกอบอะโรมาติก น้ำมันหล่อลื่นจากไฮโดรคาร์บอนนั้นมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ประมาณ 2.1 ถึง 2.8 ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความหนืดของน้ำมัน ปริมาณสัดส่วนของพาราฟินิก แนพทาณิกและสารเพิ่มคุณภาพที่ผสมเข้าไป ขณะที่ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกซึ่งถูกอ้างอิงสำหรับสารต่างๆ นั้นค่าที่ได้ขึ้นอยู่กับความถี่ของสนามไฟฟ้าและอุณหภูมิของสารนั้น

ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกนั้นแสดงถึงผลรวมของสองส่วนของคุณสมบัติของสารที่แตกต่างกันคือ ความเป็นขั้วและโมเมนต์ของคู่ประจุไฟฟ้าความเป็นขั้ว เป็นคุณสมบัติพื้นฐานของอะตอมและโมเลกุลของทุกชนิดความเป็นขั้วเป็นการวัดปฏิกิริยาของอิเล็กตรอนในโมเลกุลกับสนามไฟฟ้า ทุกๆ อะตอมและโมเลกุลประกอบด้วยประจุบวกคือ นิวเคลียส และถูกล้อมรอบโดยประจุลบคืออิเล็กตรอน เช่น ไฮโดรเจนอะตอมเดี่ยว (มี 1 ประจุบวกและ 1 ประจุลบ) อยู่ระหว่างแผ่นขนาน 2 แผ่น ถ้ามีการสร้างศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นขนานทั้ง 2 นี้ นิวเคลียสของอะตอมไฮโดรเจนก็จะเคลื่อนที่ไปทางแผ่นที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ ส่วนอิเล็กตรอนก็จะเคลื่อนที่ไปทางแผ่นที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก ซึ่งการเคลื่อนที่ของนิวเคลียสและอิเล็กตรอนนี้เป็นการทำให้อะตอมหรือโมเลกุลเกิดความเป็นขั้ว การเคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นนี้เป็นสัดส่วนกับสนามไฟฟ้า (ที่ศักย์ไฟฟ้าที่สูงเพียงพอ) จนกระทั่งเกิดการลัดวงจรของวัสดุฉนวน การลัดวงจรเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนระหว่างแผ่นขนานของตัวเก็บประจุ ขนาดของศักย์ไฟฟ้าระหว่างแผ่นขนานทั้ง 2 ขณะเกิดการลัดวงจรเรียกว่า ความแข็งแรงของไดอิเล็กทริก (Dielectric Strength)

การทดสอบ

การดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็น	2	ส่วน	ดังนี้
1. การศึกษาค้นคว้าข้อมูลและทฤษฎีต่าง ๆ	๑	ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ	
2. การออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับการวัด ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เซ็นเซอร์ (Sensor) วัด			

เศษปริมาณโลหะและอุปกรณ์สำหรับการทดลองใช้วัดค่าความต้านทาน(R) แรงดัน (V) และกระแส (A) และวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมีหลักการสำคัญ คือ ใช้การวัดค่าประจุของวัสดุไดอิเล็กทริกที่กักอยู่ระหว่าง แผ่นตัวนำ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของค่าประจุนี้มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการเก็บประจุ ในการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำมันหล่อลื่นที่มีสิ่งสกปรกเจือปนค่าคงที่ไดอิเล็กทริกจะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมซึ่งขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่มีในน้ำมันหล่อลื่น

3. การออกแบบการทดลอง แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

3.1 การออกแบบการทดลองสำหรับวัดค่าทางไฟฟ้าของ Sensor คือ วัดค่าความต้านทาน(R) แรงดัน (V) และกระแส (A) เทียบกับการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในแบบต่าง ๆ เพื่อต้องการศึกษาพารามิเตอร์ใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง โดยมีพารามิเตอร์ที่สนใจดังนี้

- ปริมาณ น้ำเจือปน แบ่งเป็น 4 ระดับ โดยผสมน้ำปริมาณ 0 %, 0.33%, 0.66 % และ 1.00 % โดยปริมาตร

- ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 300 ไมครอน แบ่งเป็น 4 ระดับ โดยผสมฝุ่นละออง (ทราย) 0, 0.3, 0.6 และ 0.9 กรัม

- ปริมาณเศษโลหะ แบ่งเป็น 4 ระดับ โดยผสมผงโลหะ น้ำหนัก 0, 0.3, 0.6 และ 0.9 กรัม ในน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการทดลอง

- ขนาดของเศษโลหะ แบ่งเป็น 4 ระดับ คือ

- ก) ช่วงระหว่าง 600 ถึง 850 ไมครอน

- ข) ช่วงระหว่าง 425 ถึง 600 ไมครอน

- ค) ช่วงระหว่าง 300 ถึง 425 ไมครอน

- ง) และต่ำกว่า 300 ไมครอน

- อัตราการไหลของน้ำมัน โดยใช้วาล์วควบคุมโดยจะแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ไม่มีการไหล (ปิดวาล์ว) เปิดครึ่งวาล์ว และเปิดเต็มวาล์ว

- น้ำมันที่ใช้ในการทดลอง แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ทดลองกับน้ำมันที่ผ่านการใช้งานมาแล้วและน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน

3.2 การออกแบบการทดลอง สำหรับการวัดค่าเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการผสมด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษาเนื่องจากจุดประสงค์ของการทดลองนี้คือการทราบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ต้องการศึกษาพารามิเตอร์ใดมีผลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกหรือไม่ ถ้าจะมีผลอย่างไรจึงเลือกใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล-ผสม โดยมีพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษา 3 ตัว ดังนี้

- ปริมาณ น้ำเจือปน แบ่งเป็น 3 ระดับ โดยผสมน้ำปริมาณ 0 %, 0.33% และ 0.66 % โดยปริมาตร

- ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 300 ไมครอน แบ่งเป็น 3 ระดับ โดยผสมฝุ่นละออง (ทราย) 0, 100 และ 200 มิลลิกรัม

- ปริมาณเศษโลหะขนาดเล็กกว่า 300 ไมครอน แบ่งเป็น 3 ระดับ โดยผสมผงโลหะ น้ำหนัก 0, 100 และ 200 มิลลิกรัม

4. การเตรียมการก่อนการทดลอง

4.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำมันสำหรับใช้ในการทดลอง โดยทำการผสมพารามิเตอร์ต่าง ๆ กับน้ำมันหล่อลื่นตามอัตราส่วนที่กำหนด

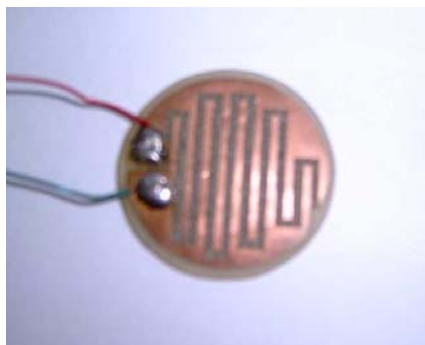
4.2 สำหรับการผสมเศษโลหะและทรายที่ผสมในน้ำมันจะต้องมีการแยกขนาดเศษโลหะและทรายออกเป็นขนาดต่าง ๆ โดยใช้ตะแกรงร่อนทราย (Sieve) ร่อนแยกขนาดต่าง ๆ ก่อน

4.3 สำหรับการผสมน้ำกับน้ำมันหล่อลื่น จะต้องทำการเขย่า ให้เข้ากัน และ ทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง

4.4 การสร้างอุปกรณ์วัดตามที่ได้ออกแบบไว้

- สร้างเซ็นเซอร์(Sensor) สำหรับการวัด โดย เซ็นเซอร์ (Sensor) มีขนาด 2 ขนาด ซึ่งมีขนาด รูเจาะ 0.6 มม. และ 1 มม. มีขั้นตอนดังนี้

- ก) ออกแบบและกำหนดขนาดต่างๆของเซ็นเซอร์
- ข) ลอกแบบที่ออกแบบไว้ติดลงบนแผ่นวงจร (Print circuit board)
- ค) เจาะรูตามที่ออกแบบ (Lay out) ไว้ และตัดตามรูป
- ง) กัดแผ่นวงจร(Print circuit board) ด้วยกรด



รูปที่ 2 ภาพเซ็นเซอร์

- สร้างอุปกรณ์ในการทดลองซึ่งใช้จำลองการไหลในระบบโดยใช้อุปกรณ์ง่ายๆก่อน ในที่นี้ใช้ท่อ PVC



รูปที่ 3 ภาพอุปกรณ์ในการทดลองซึ่งใช้จำลองการไหลในระบบ

5. การทดลองวัดและปรับปรุงอุปกรณ์

5.1 สำหรับการวัดค่าทางไฟฟ้าเพื่อหาความเป็นไปได้ของ เซ็นเซอร์(Sensor) ซึ่งวัดค่าความต้านทาน(R) แรงดัน (V) และกระแส (A) โดยทำการทดลองหาว่าทั้งความต้านทาน แรงดัน และกระแสไฟฟ้า การวัดแบบใดที่จะสามารถนำมาวัดปริมาณเศษโลหะได้บ้างโดย ทำการทดลองที่พารามิเตอร์ต่าง ๆ โดย เครื่องวัดเอนกประสงค์ (Digital Multimeter)



รูปที่ 4 เครื่องวัดเอนกประสงค์ (Digital Multimeter)

ขั้นตอนการวัด ดังนี้

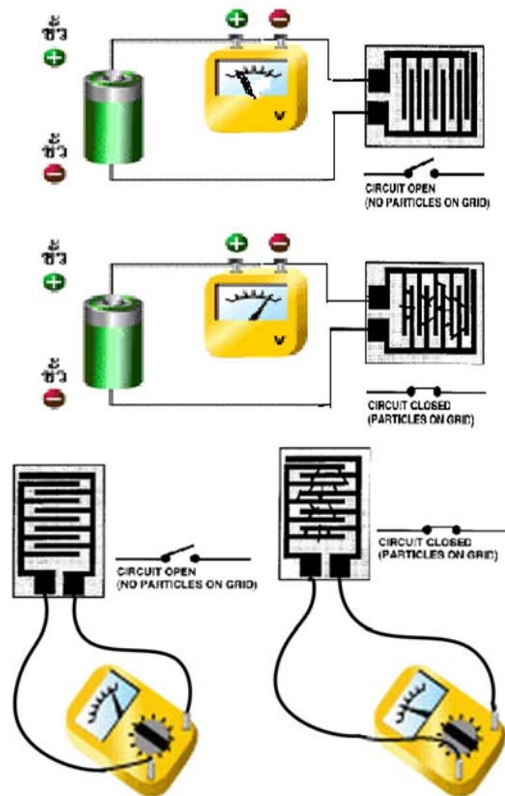
1. ต่ออุปกรณ์ที่สร้างขึ้นกับเซ็นเซอร์(Sensor) และ เครื่องวัดเอนกประสงค์ (Digital Multimeter) เพื่อวัดค่าต้านทาน แรงดันและกระแส

2. จ่ายแรงดันกระแสตรงเข้าไปในวงจรโดยปรับค่าความถี่ของค่าที่วัดให้เหมาะสม

3. วัดค่าแรงดัน กระแส และความต้านทานและบันทึกผล

4. นำค่าแรงดัน กระแส และความต้านทานไปวิเคราะห์ผล

ทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว โดยทำการวัดค่าโดยใช้อุปกรณ์เดียวกันเพื่อวัดค่าต้านทาน แรงดันและกระแส แล้วทำการวิเคราะห์ผล



รูปที่ 5 ภาพการต่ออุปกรณ์วัดความต้านทาน กระแส และแรงดันไฟฟ้า

5.2 การวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสำหรับการทดลองนี้ จะใช้การวัดโดยทางอ้อมกล่าวคือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกนั้นมีความสัมพันธ์กับค่าประจุ ดังนั้นในการทดลองจะใช้การวัดค่าคาปาซิแตนซ์ของน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการผสมด้วยพาราไมเตอร์ต่างๆ ลักษณะที่ต่ออนุกรมในวงจรก็สามารถบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกได้ ในทางปฏิบัติแล้วตัวเก็บประจุเมื่อใส่เข้าไปในวงจรก็จะทำตัวเป็นตัวต้านทานโดยเป็นความต้านทานที่ขนานอยู่กับตัวเก็บประจุ โดยความต้านทานที่เกิดขึ้นนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุไดอิเล็กทริกและลักษณะของตัวเก็บประจุแต่ละชนิด เมื่อเราจ่ายแรงดันเข้าไปในวงจร ตัวเก็บประจุที่ต่อเข้ากับวงจรก็จะสามารถเก็บประจุได้ ทำให้ค่าคาปาซิทิฟรีแอคแตนซ์มีการเปลี่ยนแปลง ทำให้กระแสในวงจรเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยที่การเปลี่ยนแปลงนี้ทราบได้จากการวัดค่าคาปาซิแตนซ์ที่ต่ออนุกรมในวงจร เมื่อเราทำการกำหนดค่าพาราไมเตอร์ต่าง ๆ แล้ว ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจึงเป็นเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกภายในตัวเก็บประจุ โดยมีขั้นตอนการวัด ดังนี้

1. ต่ออุปกรณ์วัดค่าที่สร้างขึ้นกับเครื่องกำเนิดสัญญาณ
2. จ่ายแรงดันกระแสตรงเข้าไปในวงจร(ในที่นี้ใช้เครื่อง RCL Meter ซึ่งมีอยู่แล้ว) โดยปรับค่าความถี่และแรงดันที่เหมาะสม
3. วัดค่าคาปาซิแตนซ์และบันทึกผล
4. นำค่าที่วัดได้ ไปวิเคราะห์ผล โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)



รูปที่ 6 ภาพเครื่องคาปาซิแตนซ์ RCL Meter



รูปที่ 7 ภาพการต่ออุปกรณ์วัดคาปาซิแตนซ์ RCL Meter กับอุปกรณ์

ผลการทดสอบ

ผลการทดลอง แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ผลการทดลองวัดค่า ความต้านทาน กระแส และแรงดัน กับ พารามิเตอร์ที่สนใจ และผลการทดลองวัดค่าคงที่ไดโพลีทริกกับพารามิเตอร์ที่สนใจ โดยใช้พารามิเตอร์ 3 ตัวคือ น้ำ ทray และ เศษโลหะ ผสมกับน้ำมันที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว แล้วทำการวัดด้วยเครื่องวัดอเนกประสงค์ (Digital Multimeter)

1. ผลการทดลองวัดค่าความต้านทาน กระแส และแรงดัน พบว่า ทray และน้ำเมื่อทำการทดลอง แล้วปรากฏว่าเครื่องวัดไม่สามารถตรวจวัดได้ มีเฉพาะเศษโลหะเท่านั้นที่มีผลต่อสัญญาณที่ได้ผลที่ได้เป็น ดังนี้ดังนี้

1.1 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการวัดค่าความต้านทานไม่สามารถบอกระดับของ ปริมาณเศษโลหะเนื่องจากค่าที่วัดได้จะเป็นค่าระหว่าง 0 กับ 1 ซึ่งจะบอกได้ว่ามีหรือไม่มีเท่านั้น (Go & No Go)

1.2 จากการทดลองในส่วนของกระแส และแรงดัน สามารถตรวจวัดได้ว่ามีเศษโลหะเจือปนใน น้ำมันได้ แต่ไม่สามารถบอกได้ว่ามีมากน้อยเพียงใด และเศษโลหะที่มีขนาดเล็กกว่ารูของเซ็นเซอร์ (Sensor) และรอดผ่านรูไปจะไม่สามารถวัดได้ รวมถึงสิ่งสกปรกที่เป็นฉนวนก็ไม่สามารถวัดได้เช่นกัน ซึ่ง ถ้านำวิธีการนี้ไปใช้งานก็สามารถทำได้แต่จะสามารถตรวจจับได้ แต่จะขาดความเที่ยงตรง

2. ผลการทดลองวัดค่าคงที่ไดโพลีทริกของน้ำมันหล่อลื่นผสมด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า พารามิเตอร์ ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ ไดโพลีทริกมากที่สุดคือ เศษโลหะ รองลงมาคือ ทray และ น้ำ ตามลำดับ มีผลทำให้ค่าค่าที่ไดโพลีทริกเพิ่มขึ้น

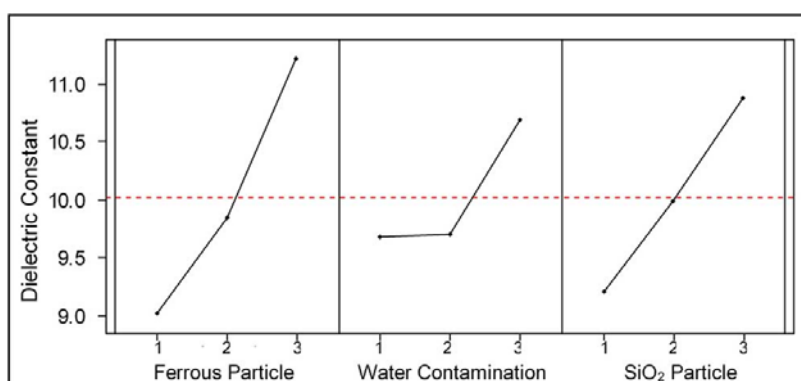
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมัน โดยตรงด้วยเช่นกัน สามารถเรียงลำดับ ความสำคัญของพารามิเตอร์ซึ่งมีผลต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกได้ดังนี้

ลำดับที่ 1 เศษโลหะ

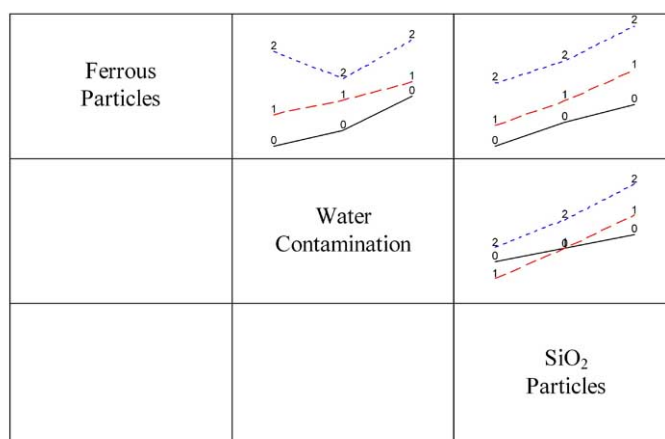
ลำดับที่ 2 ทরาย

ลำดับที่ 3 น้ำ

ส่วนผลกระทบจากอิทธิพลร่วมของพารามิเตอร์นั้นถ้าเทียบกับอิทธิพลของพารามิเตอร์หลักแล้วถือว่าน้อยมาก จึงถือได้ว่าผลกระทบจากอิทธิพลร่วมไม่มีผลกระทบต่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริกอย่างมีนัยสำคัญโดยค่า F วิฤฤฤ คือ $F_{0.01, 2, 27}$ เท่ากับ 5.49



รูปที่ 8 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากตัวแปรหลัก



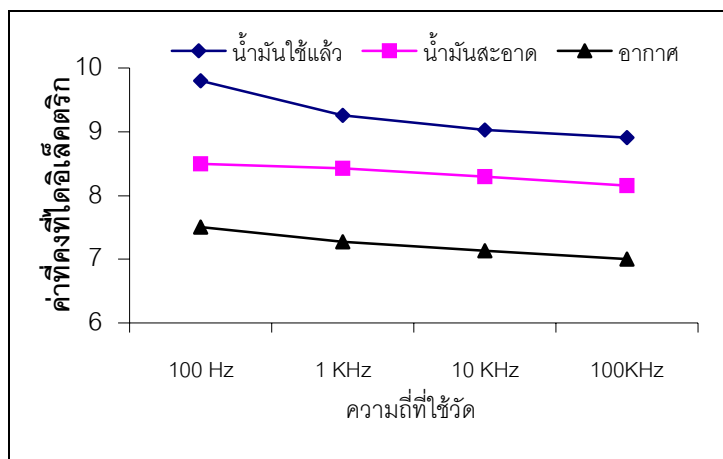
รูปที่ 9 กราฟแสดงผลกระทบร่วมของพารามิเตอร์ต่างๆ

3. ผลการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว

ทดลองวัดค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานมาแล้วเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ยังไม่ได้ใช้งานมาก่อน (น้ำมันใหม่) ในการทดลองนี้วัดหลายค่าความถี่เพื่อแสดงให้เห็นว่าการวัดที่ค่าความถี่ต่างกันมีผลต่างกัน ได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 แสดงผลการวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว

Frequency	100 Hz	1 KHz	10 KHz	100KHz
อากาศ	7.5 pF	7.27 pF	7.13 pF	7 pF
น้ำมันสะอาด	8.5 pF	8.43 pF	8.3 pF	8.16 pF
น้ำมันใช้แล้ว	9.8 pF	9.26 pF	9.03 pF	8.91 PF



รูปที่ 10 กราฟแสดงผลการวัดค่าคงที่ของน้ำมันเก่าและใหม่ที่มีความถี่ต่างๆ

จากผลการทดลองจะเห็นว่าน้ำมันที่ผ่านการใช้งานมาแล้วจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงกว่าน้ำมันที่สะอาด จึงทำให้เราสามารถวิเคราะห์ได้ว่า น้ำมันเมื่อผ่านการใช้งานมาแล้วหรือมีสิ่งสกปรกในน้ำมันจะทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น

สรุป

1. ผลการทดลองวัดค่า ความต้านทาน กระแส และแรงดัน เปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นที่ผสมพารามิเตอร์ จากการวิเคราะห์ผลการทดลองปรากฏว่า ทั้งความต้านทาน กระแส และแรงดัน สามารถวัดว่ามีเศษโลหะเจือปนในน้ำมันได้ แต่ไม่สามารถบอกปริมาณของเศษโลหะที่เจือปนได้ และเศษโลหะที่มีขนาดเล็กกว่ารูของเซ็นเซอร์ (Sensor) แล้วลอดผ่านรูไปจะไม่สามารถวัดได้ รวมถึงสิ่งสกปรกที่เป็นฉนวนก็ไม่สามารถตรวจวัดได้เช่นกัน ซึ่งถ้าจะนำวิธีการนี้ไปใช้งานก็สามารถนำไปใช้งานได้ แต่จะขาดความเที่ยงตรง

2. ผลการทดลองวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นสะอาดที่ผสมพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษา คือ ปริมาณเศษโลหะ ปริมาณทราย และ ปริมาณน้ำ จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคงที่ไดอิเล็กทริกมากที่สุด คือ เศษโลหะ รองลงมาคือ ทราย และ น้ำ เรียงตามลำดับได้ดังนี้

ลำดับที่ 1 ปริมาณเศษโลหะเจือปน	มีค่า F เท่ากับ	57.08
ลำดับที่ 2 ปริมาณทรายเจือปน	มีค่า F เท่ากับ	32.42
ลำดับที่ 3 ปริมาณน้ำเจือปน	มีค่า F เท่ากับ	15.45

3. ผลกระทบจากอิทธิพลร่วมของพารามิเตอร์นั้นถ้าเทียบกับอิทธิพลของพารามิเตอร์หลักแล้วมีค่าน้อย

มากจึงสามารถพิจารณาได้ว่าผลกระทบจากอิทธิพลร่วมไม่มีผลกระทบต่อค่าคงที่ไดอิเล็กทริกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติโดยค่า F วิฤติ คือ $F_{0.01,2,27}$ เท่ากับ 5.49

4. จากการทดลองวัดค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของน้ำมันที่ผ่านการใช้งานมาแล้วเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ยังไม่ได้ใช้งานมาก่อน(น้ำมันใหม่) ในการทดลองนี้วัดหลายค่าความถี่เพื่อแสดงให้เห็นว่าการวัดที่ค่าความถี่ต่างกันมีผลต่างกันในการทดลองจึงควรใช้ความถี่เดียวกันตลอดการทดลอง จากผลการทดลองพบว่าน้ำมันที่ผ่านการใช้งานมาแล้วจะมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงกว่า น้ำมันที่สะอาด จึงมีความเป็นไปได้ว่าน้ำมันเมื่อผ่านการใช้งานมาแล้วหรือมีสิ่งสกปรกในน้ำมันจะทำให้ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Raadnui and S. Kleesuwan, "Low-Cost Condition Monitoring Sensor for Used Oil Analysis", Int. J. Wear, Vol. 259, 2005, pp. 1502-1506

การวิจัยส่วนที่ห้าเรื่อง การวิเคราะห์เศษโลหะจากปลั๊กแม่เหล็กจากเฟืองท้ายรถยนต์

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์โดยการวิเคราะห์เศษโลหะในสารหล่อลื่นอาจจะแบ่งเป็นกลุ่มย่อยสามกลุ่มหลักคือ

➤ การวิเคราะห์โลหะจากการสึกหรอนขนาดเล็กกว่าห้าไมครอนโดยใช้เครื่องทดสอบค่าธาตุแบบสเปกโตรมิเตอร์แบบต่างๆ เช่น Atomic Absorption (AA), Atomic Emission (AE), Inductively Couple Plasma (ICP), Rotrode Disk Electrode (RDE), Rotrode Filter Spectrometer (RFS)

➤ การวิเคราะห์เศษโลหะขนาดโตกว่าห้าไมครอนโดย Filtergram หรือ Ferrogram ซึ่งเป็นการศึกษารูปพรรณสัณฐานของเศษโลหะจากการสึกหรอเพื่อระบุทั้งระดับความรุนแรงและวินิจฉัยถึงสาเหตุของปัญหา (AF: Analytical Ferrography, DR: Direct Reading Ferrography)

➤ การวิเคราะห์เศษโลหะกลุ่มเหล็กขนาดใหญ่มากกว่าห้าไมครอนจากปลั๊กแม่เหล็ก (MCD: Magnetic Chip Detector)

โดยหลักการแล้วนั้นการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ต้องการทราบถึงระดับความรุนแรงของปัญหาและกลไกหรือสาเหตุของการเกิดปัญหาเหล่านั้น ในกรณีศึกษานี้มุ่งสนใจการวิเคราะห์เศษโลหะจากปลั๊กแม่เหล็ก เพราะเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้อยู่ในทั้งยานยนต์ไม่ว่าจะเป็นชุดเฟืองท้ายหรือห้องเกียร์ ในระบบไฮดรอลิกทั้งที่ติดตั้งไว้ในถังพักน้ำมันและในไส้กรองทางเดินน้ำมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอากาศยานทั้งในเชิงพาณิชย์หรือทางการทหาร บางครั้งมีการติดตั้งไว้ในระบบพื้นเฟืองทดขนาดใหญ่ในอุตสาหกรรมเป็นต้น ดังนั้นหากทำการศึกษาเบื้องต้นเป็นกรณีศึกษาเพื่อสร้างองค์ความรู้ในด้านนี้จากกรณีของเฟืองท้ายรถยนต์ที่มีใช้กันโดยทั่วไปผลที่ได้ก็จะสามารถถูกนำไปใช้ประยุกต์ได้กับอุปกรณ์แบบอื่นๆ ได้อย่างไม่ยุ่งยาก ความจริงแล้วปลั๊กแม่เหล็กเป็นอุปกรณ์ที่ราคาไม่แพง เป็นวิธีการง่ายๆ และเป็นวิธีการแรกๆ ของการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ในการวิเคราะห์เศษโลหะเลยทีเดียว เพียงแต่ว่าในประเทศของเรายังขาดผู้รู้และองค์ความรู้ที่เป็นปึกแผ่นเท่านั้นเอง

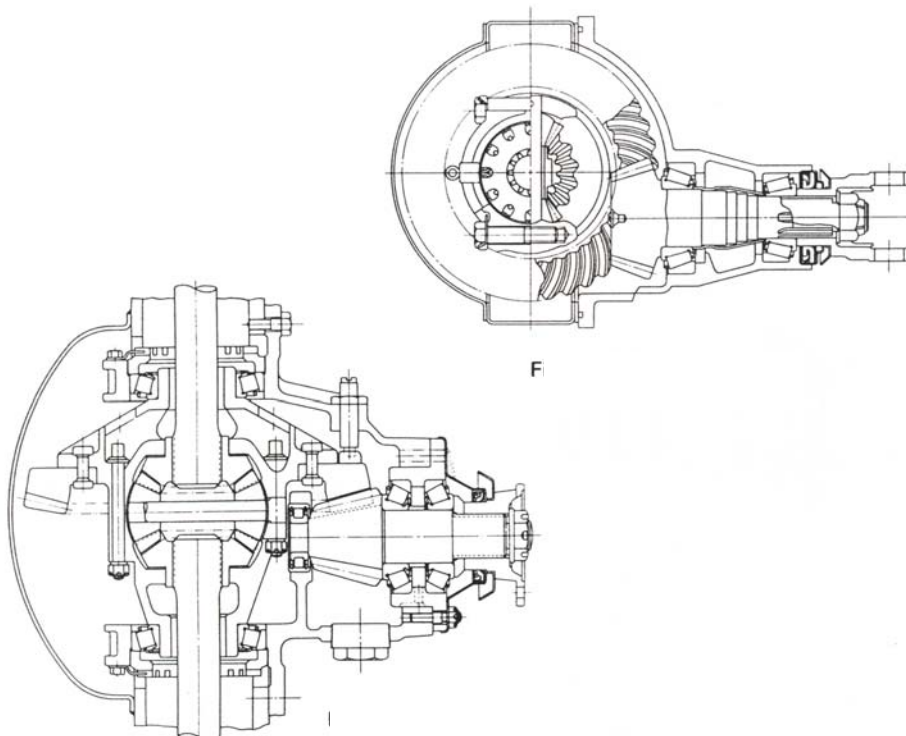
วัตถุประสงค์ของการใช้ปลั๊กแม่เหล็กนั้นมีความเข้าใจกันเพียงว่าเป็นชุดอุปกรณ์ที่ช่วยลดระดับปริมาณของเศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากการสึกหรอให้มีน้อยลงโดยไม่ให้แขวนลอยอยู่ในสารหล่อลื่นและเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างหน้าสัมผัสในระบบซึ่งหากเข้าไปแทรกจะทำให้เกิดการสึกหรอเพิ่มมากขึ้น (ในที่นี้มักเป็นระบบที่ไม่มีไส้กรองในระบบเช่นเฟืองท้ายรถยนต์ เฟืองเกียร์รถยนต์ทั้งระบบอัตโนมัติและระบบเกียร์ธรรมดา เพราะระบบเหล่านี้ไม่มีการติดตั้งไส้กรองในระบบไว้จึงไม่มีทางเลือกอื่นใดเหลืออยู่นอกจากการติดตั้งปลั๊กแม่เหล็กไว้) นอกจากนั้นในกรณีของระบบที่มีไส้กรองในระบบก็อาจจะมีแม่เหล็กถาวรติดตั้งไว้ภายในแกนของไส้กรองทั้งนี้เพื่อช่วยดูดเศษเหล็กไว้ที่แม่เหล็กแล้วทำให้เนื้อไส้กรองผ่องระยะเวลาในการอุดตันลงมาในระดับหนึ่งนั่นเอง อย่างไรก็ตามปลั๊กแม่เหล็กหรือแม่เหล็กถาวรดังกล่าวยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าที่เคยเข้าใจกัน ทั้งนี้เพราะหากทำการตรวจสอบสภาพของปลั๊กแม่เหล็กตามระยะเวลาตามที่ในอากาศยานทุกห้าสิบถึงหนึ่งร้อยชั่วโมงบินจะทำให้สามารถทำการวิเคราะห์แนวโน้มของทั้งปริมาณและขนาดของเศษเหล็กที่เกิดขึ้นรวมถึงประเมินอัตราการสึกหรอที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนที่สำคัญๆ ในระบบได้ หากมีเศษเหล็กขนาดใหญ่ที่น่าจะเป็นปัญหายังสามารถนำเศษเหล็กดังกล่าวไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีเครื่องวิเคราะห์ธาตุประกอบอยู่ (Scanning Electron Microscope with Energy Dispersive X-Ray Analysis: SEM with EDX Analysis) โดยที่หากมีข้อมูลทางโลหะ

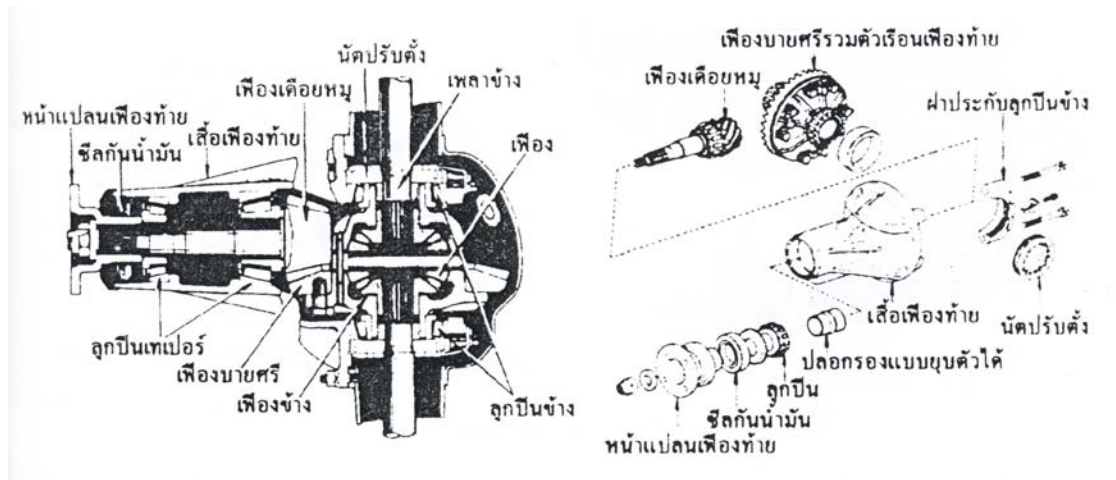
วิทยาของทุกชิ้นส่วนในระบบก็จะทำให้ทราบได้ว่าชิ้นส่วนใดของอุปกรณ์กำลังเกิดการสึกหรอที่รุนแรงและจะทำให้สามารถกำหนดแผนการใช้งานของเครื่องจักร เช่น เครื่องบินและสามารถกำหนดแผนการใช้คนเครื่องมือและจัดหาอะไหล่ได้อย่างแม่นยำและมีเหตุมีผล นอกจากนี้ยังสามารถทำการวิเคราะห์ได้ถึงกลไกการสึกหรอที่ทำให้เกิดเศษเหล็กดังกล่าวโดยการวิเคราะห์รูปพรรณสัณฐาน (Wear Debris Morphological Analysis) เช่นการวิเคราะห์ถึง

- ขนาด
- รูปร่าง
- สี
- ลักษณะผิวหน้า
- ลักษณะของขอบเศษเหล็ก
- ลักษณะของความหนาเศษเหล็ก

วิธีการศึกษา

การศึกษาในกรณีศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาเศษโลหะจากปลั๊กแม่เหล็กของเฟืองท้ายรถยนต์ โดยที่ทั่วไปมักจะมีการทำให้ปลั๊กอยู่ภายใน (Drain Plug) แม่เหล็กถาวรติดอยู่ภายในเพื่อช่วยให้เศษเหล็กที่เกิดขึ้นจากการใช้งานให้ตกตะกอนนอนกันและถูกดูดติดไว้ไม่ให้มีการเคลื่อนตัวและผสมหรือลอยปะปนในน้ำมันหล่อลื่นได้อีก ลักษณะขององค์ประกอบเฟืองท้ายรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 1





รูปที่ 1 ส่วนประกอบชุดเฟืองท้ายรถยนต์

ในกรณีศึกษาครั้งนี้ได้เลือกทำการศึกษากับเฟืองท้ายรถยนต์เก๋งโตโยต้า รุ่นโคโรลล่า ดีเอกซ์ ที่มีการติดตั้งปลั๊กแม่เหล็กไว้สองจุดดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 และลักษณะของปลั๊กแม่เหล็กที่ติดตั้งไว้ในชุดเฟืองท้ายแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 ชุดเฟืองท้ายรถยนต์โตโยต้าโคโรลล่า ดีเอกซ์



รูปที่ 3 ตำแหน่งของปลั๊กแม่เหล็กที่ชุดเฟืองท้าย



รูปที่ 4 ลักษณะของปลั๊กแม่เหล็ก

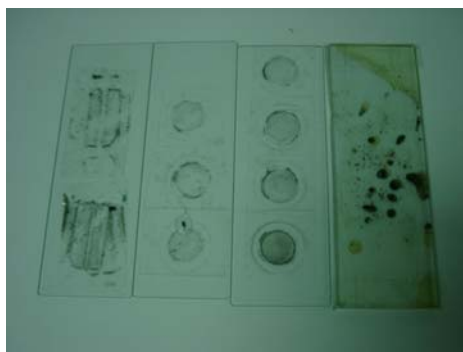
ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำเอาปลั๊กแม่เหล็กตัวอย่างสองลักษณะมาทำการศึกษาลักษณะของเศษเหล็ก คือลักษณะของปลั๊กแม่เหล็กที่มีปริมาณและขนาดของเศษเหล็กที่มีไม่มากจากรถยนต์คันที่หนึ่งกับรถยนต์อีก คันหนึ่งที่มีปริมาณและขนาดของเศษเหล็กที่มีมากผิดปกติ (รถยนต์ทั้งสองคันเป็นรถแท็กซี่ โตโยต้า โคโรลล่า รุ่น ดีเอ็กซ์ในรุ่นปีเดียวกัน) เมื่อได้ปลั๊กแม่เหล็กมาแล้วก็ทำการล้างคราบน้ำมันเฟืองท้ายที่ติดอยู่บนปลั๊ก แม่เหล็กออกโดยใช้โซลเว้นท์ที่เหมาะสม หลังจากนั้นก็ทำการป้ายเศษเหล็กบนปลั๊กแม่เหล็กลงบนแผ่นสไลด์ เพื่อนำไปวิเคราะห์ขนาดและรูปพรรณสัณฐานภายใต้กล้องจุลทรรศน์และทำการบันทึกภาพ รูปที่ 5 แสดงถึง ลักษณะของปลั๊กแม่เหล็กจากรถคันที่มีสภาพของปลั๊กแม่เหล็กที่เป็นปกติ ในขณะที่รูปที่ 6 แสดงสภาพของ ปลั๊กแม่เหล็กหลังการล้างด้วยโซลเว้นท์และรูปที่ 7 แสดงลักษณะของแผ่นสไลด์ที่ป้ายเศษเหล็กไว้เพื่อนำไป วิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์



รูปที่ 5 ปลั๊กแม่เหล็กที่ถอดออกมาวิเคราะห์



รูปที่ 6 ปลั๊กแม่เหล็กที่ล้างด้วยโซลเว้นท์แล้ว

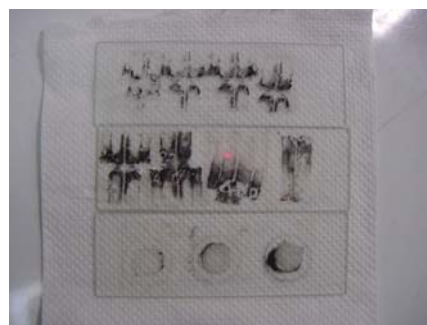
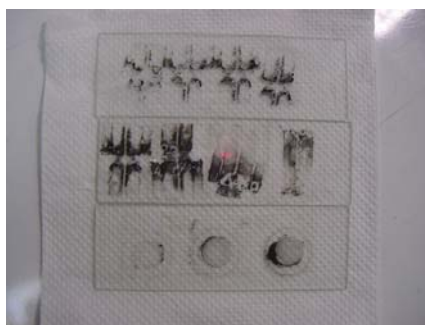


รูปที่ 7 สไลด์ของเศษเหล็กที่ได้เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์

ในกรณีถัดไปที่แสดงดังรูปที่ 8 และ 9 คือปลั๊กแม่เหล็กที่ได้มาจากการอีกคันหนึ่งซึ่งมีลักษณะของขนาดและปริมาณการสึกหรอที่ผิดปกติ ซึ่งการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไปคือการเปรียบเทียบลักษณะและการวินิจฉัยถึงกลไกของการสึกหรอของเศษเหล็กที่ได้จากการยนต์ทั้งสองคันนี้



รูปที่ 8 ปลีแม่เหล็กที่มีสภาพผิดปกติ

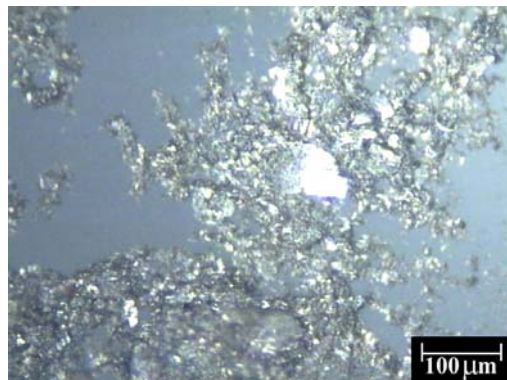


รูปที่ 9 แสดงสภาพของสไลด์ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์
ลักษณะของเศษเหล็กเปรียบเทียบระหว่างกรณีการสีกหรือแบบปกติและแบบที่ผิดปกติ

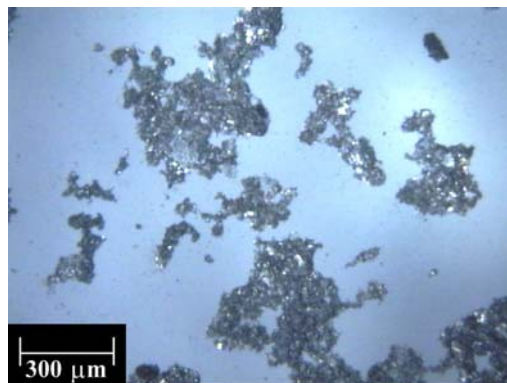
รูปที่ 10 ถึง 13 แสดงถึงลักษณะของเศษเหล็กที่มาจากเฟืองท้ายรถยนต์ที่มีสภาพปกติ โดยสรุป
ย่อคือ

1. มีปริมาณเศษเหล็กบนปลีแม่เหล็กสังเกตแทบไม่เห็นด้วยสายตา
2. ขนาดของเศษโลหะ (เศษเหล็ก) มีขนาดเล็กกว่า 50 ไมครอน ซึ่งนับได้ว่าปกติสำหรับระบบเฟืองท้ายรถยนต์

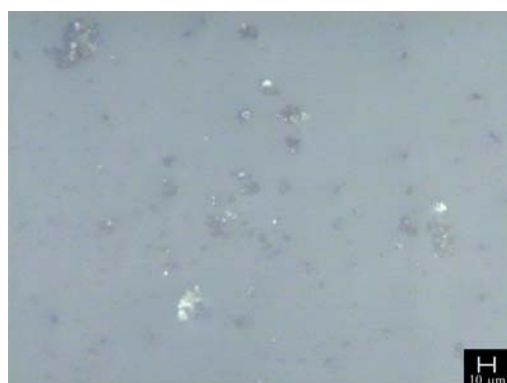
3. รูปร่างของเศษเหล็กจะมีลักษณะเป็นแผ่น-บาง-ผิวหน้าเรียบ ซึ่งบ่งบอกได้ถึงลักษณะของการสึกหรอแบบปกติ (Normal Rubbing or Normal Sliding Wear)



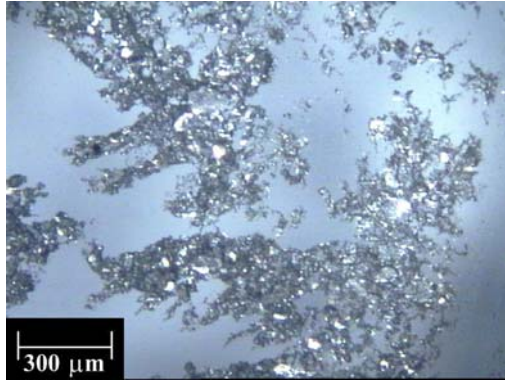
รูปที่ 10 ลักษณะของกลุ่มของอนุภาคการสึกหรอแบบปกติ
(Normal Rubbing or Normal Sliding Wear Particles)



รูปที่ 11 ลักษณะของกลุ่มของอนุภาคการสึกหรอแบบปกติ
(Normal Rubbing or Normal Sliding Wear Particles)



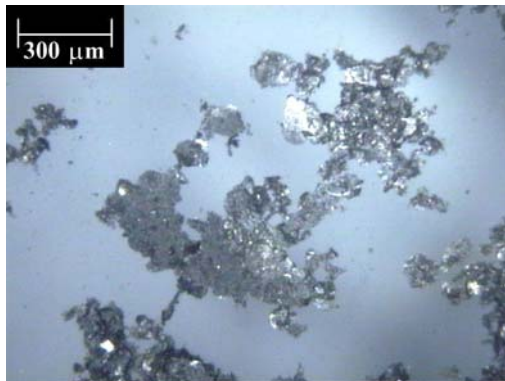
รูปที่ 12 ลักษณะของกลุ่มของอนุภาคการสึกหรอแบบปกติ
(Normal Rubbing or Normal Sliding Wear Particles)



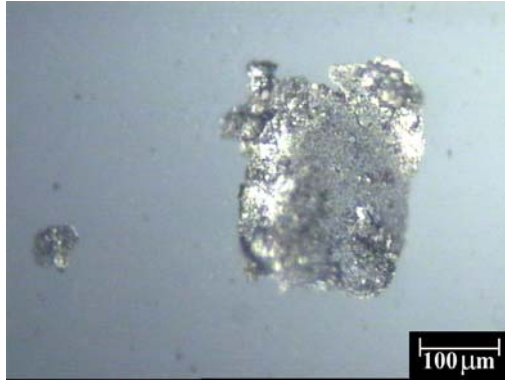
รูปที่ 13 ลักษณะของกลุ่มของอนุภาคการสึกหรอบแบบปกติ
(Normal Rubbing or Normal Sliding Wear Particles)

รูปที่ 14 ถึง 17 แสดงถึงลักษณะของเศษเหล็กที่มาจากเฟืองท้ายรถยนต์ที่มีสภาพผิดปกติ สรุปโดยย่อคือ

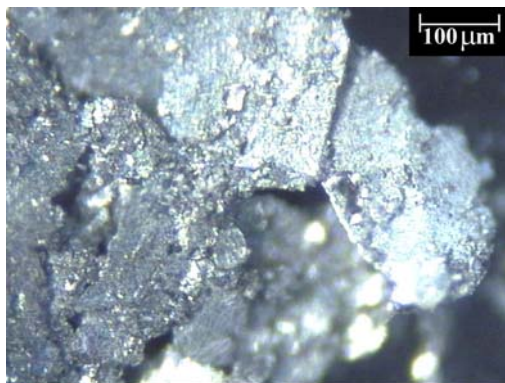
1. มีปริมาณเศษเหล็กบนปลั๊กแม่เหล็กจำนวนมาก สังเกตเห็นได้โดยง่ายด้วยตาเปล่า
2. ขนาดของเศษเหล็กมีขนาดโตกว่า 50 ไมครอน ซึ่งบ่งบอกได้ถึงมีระดับหรืออัตราการสึกหรอที่รุนแรง
3. จากการวิเคราะห์รูปร่างของเศษเหล็กภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบว่า
 - 3.1 มีเศษโลหะ (เหล็ก) ที่เกิดจากการยึดติดอย่างรุนแรง (Severe Adhesive Wear)
 - 3.2 มีเศษเหล็กที่เกิดจากการล้าตัวอย่างรุนแรง (Progressive Pitting or Fatigue Wear)



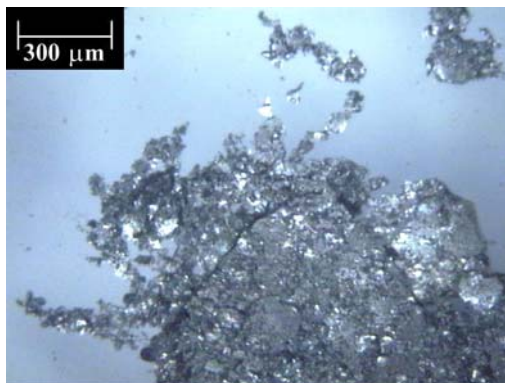
รูปที่ 14 ลักษณะของกลุ่มอนุภาคการสึกหรอบแบบผิดปกติ (Fatigue Wear Particles)



รูปที่ 15 ลักษณะของอนุภาคการสึกหรอแบบผิวดปกติ (Fatigue Wear Particle)



รูปที่ 16 ลักษณะของอนุภาคการสึกหรอแบบผิวดปกติ (Fatigue Wear Particles)



รูปที่ 17 ลักษณะของอนุภาคการสึกหรอแบบผิวดปกติ (Fatigue Wear Particles)

สรุป

จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ประเภทปลั๊กแม่เหล็ก (MCD) ที่ติดตั้งตรงจุดรูเดรนของชุดเฟืองท้ายสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในแง่ของการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์คือ

- ช่วยให้ประเมินความรุนแรงของปัญหาได้ (Problem Severity Assessment) โดยการพิจารณาได้จากขนาดและปริมาณของเศษเหล็กบน MCD
- ช่วยให้วินิจฉัยถึงปัญหาของการสึกหรอได้ (Problem Diagnosis) โดยการวิเคราะห์รูปร่างพรรณสัณฐานของเศษเหล็ก (Ferrous Debris Morphological Analysis)

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Raadnui, "Magnetic Chip Detector Wear Particle Analysis", Int. J. of Applied Mechanics and Engineering, 2002, Vol. 7, pp. 419-423