

## Abstract

.....

Project Code: PDF/44/2541

Project Title: TOTAL EVALUATION OF HEAVY  
MACHINERY CONDITIONS THROUGH CONTAMINANT  
AND USED OIL PROPERTIES

Investigator: Associate Professor Surapol RAADNUI (Ph.D.)

E-mail Address: [srr@kmitnb.ac.th](mailto:srr@kmitnb.ac.th)

Project Period: 2 Years

Wear of machinery, earth moving vehicles in this particular work, is an anticipated consequence of surface contact between interacting engines' parts such as shafts, bearings, gears and bushings which occurs even in properly lubricated systems. As component loading, system investments and maintenance cost have risen, so that the need for highly reliable and longlasting systems has become very important. Engine condition evaluation techniques utilizing used oil/wear debris/contaminant analysis are highlighted. The most important aspects research carried out in this work were: multivariate monitoring chart for used oil analysis results' assessment, Filter Debris Analysis (FDA), Failure Root Cause Analysis (FRCA).

Keywords: Used Oil Analysis, Wear Debris, Contaminant

## การศึกษาอนุภาคสารปนเปื้อนและสารหล่อลื่นเพื่อประเมินสภาพเครื่องจักรกลหนักแบบสมบูรณ์

การสึกหรอของเครื่องจักร โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับเครื่องจักรหนักงานดินเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งเป็นผลมาจากการสึกหรอที่บริเวณจุดสัมผัสของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่มีการเคลื่อนที่เช่น เพลา รอกเส้น ฟันเฟือง หรือบูชแบบต่างๆ โดยที่ถึงแม้ว่าจะมีวิธีการหรือชนิดของสารหล่อลื่นที่ดีเพียงใดก็ตาม เนื่องจากการที่ภาระการใช้งาน ราคาของเครื่องจักร เครื่องยนต์และค่าใช้จ่ายในการซ่อมและบำรุงรักษาที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจสอบเครื่องจักรกลหนักที่มีความน่าเชื่อถือสูง และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าในอดีต เทคนิคในการประเมินสภาพเครื่องยนต์ของเครื่องจักรกลหนักโดยวิธีการวิเคราะห์สารหล่อลื่น การวิเคราะห์สิ่งสกปรก การวิเคราะห์เศษโลหะจากการสึกหรอเพื่อทำการประเมินสภาพเครื่องยนต์ได้ถูกดำเนินการวิจัยอย่างเป็นระบบ โดยหลักการสำคัญที่ได้ทำการวิจัยและพัฒนาขึ้นคือ แผนภูมิการติดตามสภาพน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ชนิดหลายตัวแปร การวิเคราะห์ได้กรองน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและการวิเคราะห์หารากของสาเหตุการชำรุดอย่างเป็นระบบ

คำหลัก : การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว การวิเคราะห์เศษโลหะและสิ่งสกปรก

### จุดเริ่มต้นหรือที่มาของผลงานวิจัย/พัฒนา

เนื่องจากการที่ในปัจจุบันนี้การทำการติดตามสภาพเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์โดยการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นยังไม่แพร่หลายในประเทศไทยมากนัก และผู้ที่มีความรู้ทางด้านนี้ยังมีไม่มากนัก นอกเหนือไปจากนั้นในประเทศต่างๆทั่วโลกก็ยังมีผู้เชี่ยวชาญในงานทางด้านนี้น้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับผู้เชี่ยวชาญในสาขาวิชาอื่นๆ ดังนั้นปัจจุบันนี้โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศไทยนั้นก็ยังไม่สามารถนำเอาเทคโนโลยีในการติดตามสภาพเครื่องยนต์เพื่อทำการประเมินสภาพเครื่องจักร/เครื่องยนต์มาใช้ประโยชน์อย่างสูงสุดได้

จากการค้นคว้าข้อมูลจากเอกสารอ้างอิง [1] มีการรวบรวมข้อมูลไว้ว่าแต่ละประเทศนั้นแม้ว่าจะเป็นประเทศที่พัฒนาแล้วก็ตามนั้น อย่างน้อย 10%ของผลผลิตมวลรวมประชาชาติ (GROSS NATIONAL PRODUCT: GNP) จะต้องใช้ไปสำหรับการซ่อมบำรุงเครื่องจักรกล/อุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต ซึ่งจากหลักฐานดังกล่าวนี้เป็นตัวเลขที่สามารถทำให้ประเมินได้อย่างหยاب ๆ ว่าประเทศต่าง ๆ ต้องสูญเสียเงินตราอย่างมหาศาลในการซ่อมเครื่องจักร ซึ่งนักวิชาการการซ่อมบำรุงได้เล็งเห็นความสำคัญในด้านนี้จึงได้เร่งพัฒนาศาสตร์ในด้านการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานแล้วเพื่อนำเอาผลการวิเคราะห์นั้นมาทำการประเมินสภาพของเครื่องจักร/เครื่องยนต์ในแง่ของการ "พยากรณ์" แทนที่จะรอให้เครื่องจักรชำรุดแล้วค่อยดำเนินการแก้ไข ข้อดีของการดำเนินการในเชิงพยากรณ์คือ

- คาดคะเนเวลาก่อนที่เครื่องจักรจะชำรุดได้โดยประมาณ
- คาดคะเนได้ว่าชิ้นส่วนใดกำลังจะชำรุด ซึ่งจะช่วยให้สามารถจัดเตรียมอะไหล่สำหรับการซ่อมได้ก่อนข้างถูกต้องและมีหลักการ
- จัดเตรียมวางแผนการใช้ทรัพยากรในการซ่อมได้อย่างมีระบบ (แรงงาน-เครื่องมือ-งบประมาณ-วิธีการ-อะไหล่)
- สามารถทำการดำเนินการต่างๆโดยขัดกับแผนการผลิตน้อยที่สุด
- หลีกเลี่ยงการชำรุดอย่างค่อเนื่องโดยเปรียบได้กับ "การตัดไฟเสียแต่ต้นลม"
- สามารถหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุในบางกรณีของการทำงานกับระบบที่เกี่ยวข้องหรือมีผลอย่างมากต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ควบคุมเครื่องจักรหรือผู้โดยสาร เช่นในอากาศยาน เป็นต้น

สำหรับในประเทศไทยหน่วยงานที่ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการใช้เทคโนโลยีทางด้านการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วของรถชนแวล็กโนดที่เป็นรถขนส่งขนาดใหญ่ในราคาคันละประมาณ 15 ล้านบาทที่มีใช้อยู่ในการไฟฟ้าฝ่ายผลิตที่เหมืองแม่เมาะเป็นจำนวน 45 คัน ซึ่งหากว่าไม่ดำเนินการการซ่อมบำรุงในลักษณะของการพยากรณ์การบำรุงรักษาแล้วนั้น งบประมาณและการจัดสรรวางแผนทรัพยากรในการซ่อมบำรุงแทบที่จะเป็นไปได้เลย และผลร้ายที่สุดที่จะเกิด

ขึ้นกับประเทศโดยส่วนรวมก็คือการที่โรงไฟฟ้าไม่สามารถดำเนินการผลิตไฟฟ้าได้เนื่องจากการขาดแร่ลิกไนต์และจะทำให้สูญเสียเป็นอย่างมากต่อประเทศโดยส่วนรวม

แม้ว่าในปัจจุบันการไฟฟ้าฝ่ายผลิตจะสามารถใช้ประโยชน์จากการนำผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นมาใช้ประโยชน์แล้วก็ตาม แต่การนำผลการวิเคราะห์น้ำมันมาแสดงผลและวิเคราะห์ในรูปแบบของแผนภูมินั้นนับว่ายังไม่เหมาะสมและมักจะใช้ประสบการณ์ในการแปลความหมายและนำเอาข้อมูลที่มีอยู่ในคู่มือหรือที่มีการให้ข้อมูลสืบต่อกันมาจากวิศวกรในอดีต ซึ่งสิ่งเหล่านี้ยังต้องการการศึกษาวิจัยอย่างมีระบบเพื่อที่จะสามารถทำให้ได้วิธีการนำเสนอผลการวิเคราะห์ที่สามารถทำให้เป็นการง่ายต่อผู้วิเคราะห์, ต้องเป็นแผนภูมิที่ง่ายต่อความเข้าใจในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร, ต้องสามารถแสดงผลการบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่าง ๆ ได้มากกว่า 3 ตัวแปรในแผนภูมิเดียวกัน, ต้องเป็นแผนภูมิที่ประหยัดเนื้อที่การใช้กระดาษและเนื้อที่ในเครื่องประมวลผล (คอมพิวเตอร์) และต้องสามารถนำเอาแผนภูมิดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ได้กับผลการวิเคราะห์สภาพเครื่องจักรเชิงพยากรณ์ในรูปแบบอื่นๆ ได้เช่นผลการวิเคราะห์สัญญาณความสั่นสะเทือน (Vibration Analyzer) หรือการวิเคราะห์ความสกปรกในน้ำมัน (Contamination Control) เป็นต้น

โดยสรุปนั้นจะเห็นได้ว่าผู้วิจัยมีความต้องการจะนำเอาผลของการวิเคราะห์สภาพน้ำมันที่จะเรียกว่า "ข้อมูลดิบ" เพื่อนำมาประเมินผลและสร้างแผนภูมิที่ใช้ในการติดตามสภาพเครื่องจักร/เครื่องยนต์ โดยที่หวังว่าจะได้ประโยชน์สูงสุดในแง่ต่าง ๆ ต่อไปนี้

- การแปลผลจากแผนภูมิที่มีการสังเกตได้ง่าย ๆ ถึงแนวโน้มการชำรุด
- การคาดคะเนถึงสาเหตุของการชำรุดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่สามารถมองเห็นจากแผนภูมิ
- ลดเนื้อที่หรือทรัพยากรที่ต้องใช้ในการนำเสนอแผนภูมิ
- สร้างความเข้าใจพื้นฐานสำหรับเป็นแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์ต่อเครื่องจักรกลต่างในอนาคต เพื่อให้มีการลดต้นทุนในส่วนของการผลิตลง

#### วัตถุประสงค์ของโครงการ

- สร้างแผนภูมิตดตามสภาพเครื่องจักรในการบันทึกผลการวิเคราะห์น้ำมันชนิดหลายตัวแปร
- วิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะการกระจายทางสถิติและหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรที่ทำการศึกษา
- พัฒนาแผนภูมิชนิดหลายตัวแปรเพื่อใช้เป็นต้นแบบของแผนภูมิสำหรับการแสดงผลจากการวัดค่าสำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการพยากรณ์การบำรุงรักษาด้วยวิธีอื่น ๆ

### ภูมิหลังของวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับผลงานวิจัย/พัฒนา

การใช้แผนภูมิเพื่อทำการแสดงผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในปัจจุบันยังไม่เคยมีการดำเนินการในลักษณะของแผนภูมิหลายตัวแปร (MULTIVARIATE MONITORING CHARTS) มาก่อนเลย ผลงานวิจัยที่สามารถอ้างอิงถึงได้ในกรณีของการใช้งานโดยทั่วไปในระดับนานาชาติจะเป็นเพียงลักษณะของแผนภูมิตดตามสภาพชนิดตัวแปรเดียว (UNIVARIATE MONITORING CHARTS) ได้แก่:

- Univariate Monitoring charts ของบริษัท BRITISH PETROLEUM [2]
- Histogram แสดงการกระจายของค่าข้อมูลดิบของ Dr. A.R. Massoudi [3]
- Univariate Monitoring charts ของกลุ่มงานวิจัยด้าน Wear Analysis ในประเทศเบลเยียม [4]
- การประยุกต์ใช้เทคนิคด้านการสร้างแผนภูมิควบคุมชนิดตัวแปรเดียวสำหรับผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นที่เคยถูกเสนอผลงานในการประชุมนานาชาติในประเทศสหรัฐอเมริกา [5]

จากการค้นคว้าตรวจสอบด้านเอกสารพบว่ายังไม่เคยมีการพิจารณาถึงการสร้างแผนภูมิตดตามสภาพแสดงผลการวิเคราะห์น้ำมันชนิดหลายตัวแปรมาก่อนเลย

### ข้อเสียหรือข้อบกพร่องของผลงานอื่นๆที่มีอยู่ในปัจจุบัน

1. ใช้เพียงตัวแปรหนึ่งตัวในแต่ละแผนภูมิทำให้:
  - สิ้นเปลืองเนื้อที่และทรัพยากร
  - ยากต่อการแปลความหมายเนื่องจากหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ยาก
  - ยุ่งยากต่อการแปลความหมาย
2. ไม่มีการวิเคราะห์ข้อมูลดิบอย่างเป็นระบบและนำเสนออย่างเหมาะสม

ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดทำ/พัฒนาสร้างแผนภูมิที่มีการลดและการแก้ไขข้อบกพร่องของแผนภูมิแบบดั้งเดิมที่มีอยู่ในการติดตามสภาพผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นดังนี้

- แสดงผลในแผนภูมิเดียวจากการบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรหลายค่าโดยพล็อตเปรียบเทียบกันกับแกนเวลา
- ทำการวิเคราะห์ข้อมูลดิบอย่างมีระบบเพื่อหารูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลเพื่อสามารถทำให้หารูปแบบการกระจายตัวทางสถิติที่เหมาะสมแล้วนำมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของการกระจายแต่ละแบบ แล้วจึงนำเอาค่าพารามิเตอร์มากำหนดเป็นช่วงต่างๆในแผนภูมิตดตามสภาพ
- สามารถแปลความหมายจากแผนภูมิได้ง่าย

- ลดปริมาณเนื้อที่ของทรัพยากรที่ต้องใช้ในการนำเสนอผลงาน
- นำแผนภูมิไปใช้ประโยชน์ต่อการแสดงผลจากการวิเคราะห์จากเครื่องมือแบบอื่นๆ ที่ใช้ในการทำการซ่อมบำรุงแบบการพยากรณ์

ผลงานวิจัยที่ได้พัฒนาขึ้นเป็นผลงานที่ได้ถูกนำไปใช้จริงๆ ในงานการประเมินสภาพเครื่องจักรกลและเครื่องยนต์ของรถชนแร่ขนาดใหญ่ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง และสามารถที่จะนำไปใช้ในการกิจการด้านการซ่อมบำรุงของเครื่องจักรที่ใช้สารหล่อลื่นใดๆก็ได้ เพียงแต่ต้องมีการบันทึกข้อมูลดิบอย่างมีระบบและต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าขอบเขตและรูปแบบของการกระจายตัวของข้อมูล ประโยชน์ที่จะได้รับจากการใช้นั้นทำให้สามารถประเมินสภาพเครื่องจักรได้อย่างสะดวกและง่ายต่อการเข้าใจโดยหลักการ "อาณาเขตของรูปกราฟยิ่งโตมากเท่าใด เครื่องจักรจะยิ่งมีสภาพที่เสื่อมหรือใกล้ที่จะชำรุดมากเท่านั้น" (THE BIGGER, THE WORSE OF MACHINE'S CONDITION)

คุณสมบัติเด่นของงานวิจัยการสร้างแผนภูมิติศตามสภาพเครื่องจักรจากการติดตามผลการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นคือ

- ยังไม่เคยมีการคิดค้นแผนภูมิในลักษณะนี้มาก่อน
- แปลผลและเข้าใจได้ง่าย
- ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ง่าย ในกรณีที่มีข้อมูลย้อนหลังไปในอดีต
- ใช้แผนภูมิเพียงแผนภูมิเดียวในการบันทึกค่าของตัวแปรหลายๆตัวใน การ วิเคราะห์ คำนวณเดียวกัน
- ประหยัดทรัพยากรในการนำเสนอผลการวิเคราะห์น้ำมัน
- สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการบันทึก-แสดงผล-วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ในระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ได้อีก

#### หลักการ วิธีการ และกรรมวิธี ของการวิจัย/พัฒนา

การจัดการระบบการทำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ในเหมืองแม่เมาะที่ใช้เป็นกรณีศึกษาในที่นี้ นั้น มีการทำการสุ่มตัวอย่างน้ำมันและมีการทำการวิเคราะห์น้ำมัน แต่ยังคงขาดรูปแบบการประเมินผล-แสดงผลการวิเคราะห์ที่เหมาะสมและไม่ชัดเจน ดังนั้นในการวิจัยในที่นี้จึงต้องการที่จะทำการรวบรวมข้อมูลดิบ-แยกแยะประเภทของข้อมูล-การวิเคราะห์ข้อมูล-ประเมินผล-สร้างแผนภูมิชนิดหลายตัวแปรสำหรับรถบรรทุกขนส่งแร่ขนาดใหญ่จำนวน 45 คันของเหมืองแม่เมาะ โดยที่ต้องการจะนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลดิบมาเปรียบเทียบกับค่าขอบเขตที่ระบุจากบริษัทผู้ผลิตรถดังกล่าวสำหรับช่วง/ขอบเขตที่จะยอมรับหรือไม่ยอมรับสภาพของน้ำมันหล่อลื่น

จากความรู้เบื้องต้นในงานการซ่อมบำรุงที่ว่า การที่จะมีระบบในเครื่องจักรกลใด ๆ ที่มีความน่าเชื่อถือ (RELIABILITY) ของระบบเครื่องจักรกลใด ๆ ให้มีค่าสูงๆ นั้นต้องมีปัจจัยหลัก ๆ ต่อไปนี้

- การออกแบบที่ดี
- การเลือกใช้วัสดุที่ดีมีคุณภาพ
- กระบวนการผลิตหรือกระบวนการประกอบที่ดี
- การใช้งานที่ถูกต้องวิธี
- การบำรุงรักษาที่ดีเหมาะสม
- ใช้งานภายใต้สภาพสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม

จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรในฝ่ายของผู้ใช้คือ การใช้งาน-การบำรุงรักษา-การควบคุมสภาพแวดล้อม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลดิบเพื่อทำการเปรียบเทียบหาข้อแตกต่างระหว่างค่าขอบเขตระบุจากบริษัทผู้ผลิตกับค่าที่ประเมินจากการทำงานจริง ๆ ในประเทศไทยที่เหมืองแม่เมาะ ขั้นตอนการดำเนินงานมีดังต่อไปนี้

- รวบรวมข้อมูล
- แยกแยะข้อมูล
- จัดรวบรวมเป็นฐานข้อมูลในรูปแบบของไฟล์ข้อมูลที่เหมาะสมต่อการประมวลผลซอฟต์แวร์ทางสถิติ
- ศึกษาการกระจายตัวของข้อมูลดิบ
- คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรที่มีการวิเคราะห์
- นำตัวแปร-รูปแบบการกระจาย-พารามิเตอร์มาจัดสร้างแผนภูมิชนิดหลายตัวแปร
- ทดลองใช้ในการติดตามสภาพเครื่องจักร
- เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีการเดิมที่ใช้อยู่ในการไฟฟ้า
- ประเมินข้อดี-ข้อเสียของทั้งสองวิธี
- ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง
- จัดทำแผนภูมิเป็นรูปแบบมาตรฐาน
- นำไปใช้งานจริง
- จัดพิมพ์ผลงานวิจัย
- นำเสนอผลงานในที่ประชุมนานาชาติ
- นำเสนอผลงานต่อที่ประชุมผู้บริหารของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเหมืองแม่เมาะ

ประโยชน์ที่จะได้รับจากผลงานวิจัย และพัฒนา ที่ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคม ความมั่นคง และ การพัฒนาประเทศ

ประโยชน์ที่จะ ได้รับจากผลงานวิจัยคือ

- ลดโอกาสการเกิดการชำรุดอย่างฉุกเฉินของเครื่องยนต์รถยนต์ขนาดใหญ่
- ช่วยในการเพิ่มขีดความสามารถ/ความพร้อมใช้งาน/ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร
- สนับสนุนการทำการซ่อมบำรุงแบบพยากรณ์ ซึ่งจะทำให้ค่าซ่อมบำรุงลดลง
- สร้างฐานความรู้ใหม่ให้กับวงการอุตสาหกรรม
- ลดการใช้ทรัพยากรในการนำเสนอผลการวิเคราะห์น้ำมัน
- ลดมลภาวะจากการที่เครื่องจักรจะเสื่อมโทรมหรือหลวม หากไม่มีการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์
- สามารถสนับสนุนให้การไฟฟ้ามีระบบการขนส่งแร่ที่มีความพร้อมใช้งานที่น่าเชื่อถือ และเป็นทางหนึ่งที่จะสนับสนุนไม่ให้มีการหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าอย่างฉุกเฉิน

#### เอกสารอ้างอิง

1. OECD Glossary, 1965
2. Handbook for Lubricants' analysis, British Petroleum Co. Ltd., 1980
3. Contamination analysis, Proceeding of Condition Monitoring'91, Erding, Germany
4. Wear Analysis, Tribotesting Journal, March 1991
5. Statistical Quality Control techniques for Used oil analysis, Lubrication Engineering Journal, 1980

**Output จากโครงการวิจัยที่ได้รับทุนจาก สกว.**

**ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (REPRINTS ตามแนบ)**

- S. Raadnui, "Machinery health monitoring and maintenance tribology research at King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok", *Int. J. of Applied Mechanics and Engineering*, 2003, vol. 8, No.1, pp. 135-145
- S. Raadnui, "Plain bearing used debris analysis", *Int. J. of Applied Mechanics and Engineering*, 2002, vol. 7, Special Issue: SITC 2002, pp. 273-276
- S. Raadnui, "Worn surface evaluation", *Int. J. of Applied Mechanics and Engineering*, 2002, vol. 7, Special Issue: SITC 2002, pp. 161-166