

## วิธีการใหม่สำหรับการแยกสารปนเปื้อนอนุภาคของแข็ง ออกจากสารหล่อลื่นใช้แล้ว

### A NOVEL METHOD FOR SOLID PARTICLES SEPARATION FROM USED LUBRICANTS

สนธิรัตน์ อินทสนธิ<sup>1</sup>, ผดุงศิลป์ พิทักษ์<sup>2</sup>, อรวรรณ พรรณบัวหลวง<sup>3</sup>, โกสินทร์ชัย แผ้วไธสง<sup>4</sup>

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี

Sontinan Intasonti<sup>1</sup>, Phadungsilp Phitak<sup>2</sup>, Orawan Panbualuang<sup>3</sup>, Kosinchai Pawthaisong<sup>4</sup>

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Pathumthani University

E-mail: intasonti@gmail.com

Received: May 15, 2019

Revised: June 20, 2019

Accepted: June 25, 2019

#### บทคัดย่อ

เทคนิควิธีการดั้งเดิมในการแยกสารปนเปื้อนอนุภาคของแข็งออกจากสารหล่อลื่นใช้แล้วเพื่อการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์สามารถใช้ปลั๊กแม่เหล็กและเทคนิคเฟอร์โรกราฟี ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัดคือสามารถใช้แยกอนุภาคของแข็งเพื่อทำการตรวจวัดปริมาณและวิเคราะห์เศษการสึกหรอจากเศษโลหะจำพวกเหล็กเท่านั้นและไม่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงนำไปสู่แนวความคิดใหม่สำหรับเทคนิควิธีการแยกอนุภาคของแข็งออกจากสารหล่อลื่นใช้แล้วที่จะนำเสนอในบทความวิจัยฉบับนี้ โดยใช้วิธีการดูดด้วยสุญญากาศ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากอุปกรณ์ชนิดใหม่นี้สามารถใช้แยกอนุภาคการสึกหรอไม่ว่าจะเป็นเหล็กและสิ่งเจือปนของแข็งอื่น ๆ ได้ วิธีการใหม่นี้สามารถรองกักเก็บเศษอนุภาคการสึกหรอได้โดยเฉลี่ยประมาณ 88% ขนาดอนุภาคการสึกหรอที่แยกได้อยู่ในช่วงระหว่าง 0.45 ถึง 40, 41 ถึง 100 และมากกว่า 100 ไมโครเมตร สามารถแยกอนุภาคของแข็งออกจากสารหล่อลื่นตัวอย่างที่ใช้แล้วได้ถึง 4 ตัวอย่างต่อครั้ง โดยราคาต้นทุนเพียงหลักหมื่นแต่อุปกรณ์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันราคาถึงหลักแสน

คำสำคัญ: การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เศษการสึกหรอ สารหล่อลื่นใช้แล้ว

#### Abstract

Traditional techniques for separating wear debris (contaminants of solid particles) from used lubricants for predictive maintenance can use Magnetic Chip Detector (MCD) and Ferrography techniques. However, these two methods are restricted to measure the quantity and analysis of wear debris from ferrous metals only which cannot be used effectively. Therefore, this leads to a novel concept for debris extraction technique that proposed in this research by using vacuum filtration method to suspend solid particles in liquefied solution. The results of this new device can be used to extract any solid debris such

as ferrous particles and other solid impurities. Moreover, this novel method can filter out the average of wear particles about 88 percent and the size of separated wear particles are 0.45 to 40, 41 to 100 and over 100  $\mu\text{m}$ . Additionally, the device can separate wear particles from up to 4 samples of used lubricants at a time. With a cost of this device is less than ten thousand baht which is comparable to the equipment currently used that the price is almost one hundred thousand baht.

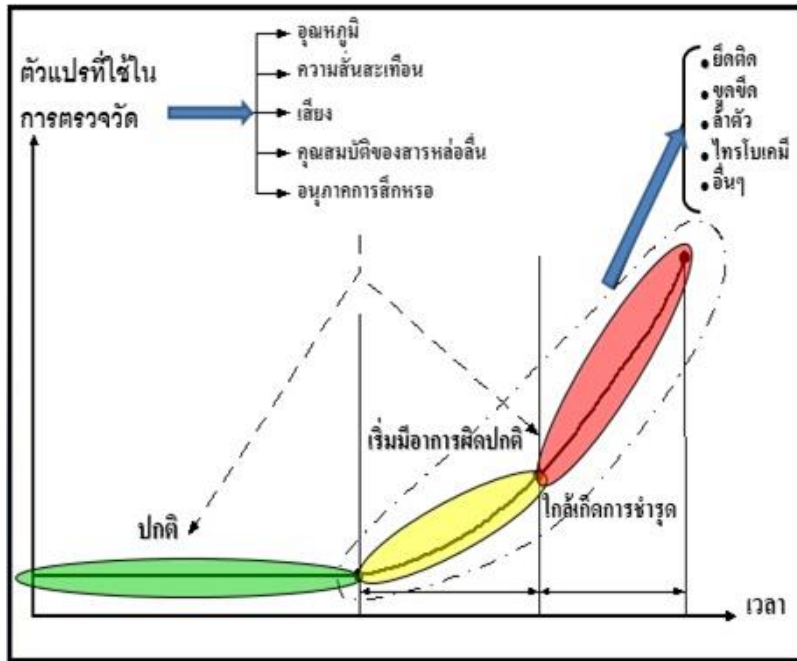
Keywords: Predictive Maintenance, Wear Debris, Used Lubricants

## บทนำ

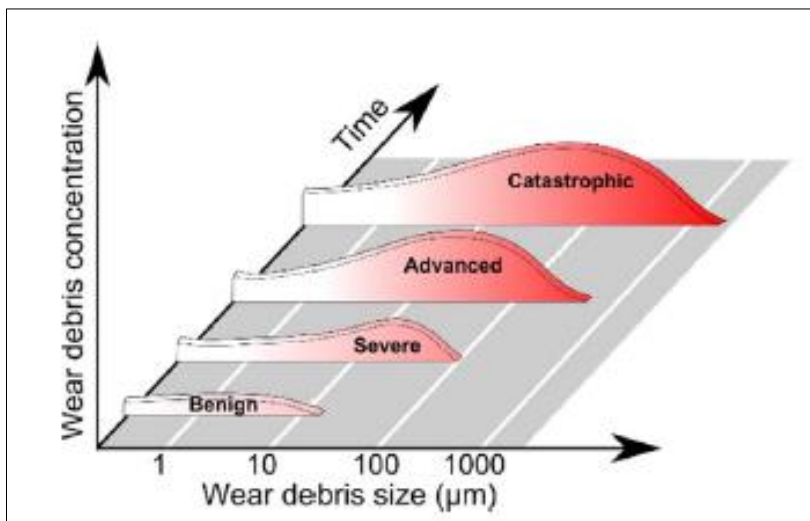
ในปัจจุบันสถานประกอบการและภาคอุตสาหกรรมได้มีการใช้เครื่องจักรกลกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งภายในเครื่องจักรนั้นจำเป็นต้องใช้สารหล่อลื่น เพื่อลดแรงเสียดทาน ลดการเกิดเสียงดัง ลดแรงสั่นสะเทือน ชะล้างเศษโลหะจากชิ้นส่วนภายใน ป้องกันสนิมและการกัดกร่อน ซึ่งสารหล่อลื่นจะต้องถูกเปลี่ยนถ่ายตามระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งเราสามารถนำสารหล่อลื่นที่ใช้แล้วมาตรวจวิเคราะห์การสึกหรอของชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรเปรียบเสมือนกับการเจาะเลือดภายในร่างกายของคนไข้เพื่อนำมาวินิจฉัยโรคและสามารถรักษาโรคได้ตรงหรือถูกจุด จึงเป็นที่มาของแนวความคิดในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แยกสารปนเปื้อนอนุภาคของแข็งออกจากสารหล่อลื่นใช้แล้วเพื่อการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ดังนั้นการวิเคราะห์สารหล่อลื่นใช้แล้วจึงเป็นอีกวิธีของการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ที่สามารถบ่งชี้คุณภาพของสารหล่อลื่น การกำหนดอายุการเปลี่ยนถ่ายสารหล่อลื่นรวมทั้งสามารถใช้ในการตรวจสอบสภาพและการสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรได้อีกด้วย

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ [สุรพล ราชภูริบุญ, 2560 และสุรพล ราชภูริบุญ, 2549] เป็นการพยากรณ์ความรุนแรงของปัญหาเครื่องจักรกลก่อนที่จะเกิดการชำรุดเสียหายและวินิจฉัยตำแหน่งที่เกิดให้ได้เพื่อกำหนดแนวทางแก้ไขวางแผนทรัพยากรในการบำรุงรักษา ซึ่งตัวแปรที่ใช้ในการตรวจวัด เช่น อุณหภูมิ, ความสั่นสะเทือน, เสียง, คุณสมบัติของสารหล่อลื่น และอนุภาคการสึกหรอ เครื่องจักรอาจเกิดการชำรุดเสียหายตามกลไกการสึกหรอตามมาตรฐาน DIN 50320 ดังรูปที่ 1 กลไกการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive Wear) การสึกหรอแบบนี้เกิดขึ้นจากการสัมผัสกันของ Asperities ซึ่งทำให้เกิดขึ้นของเนื้อวัสดุที่เชื่อมติดเข้าด้วยกันที่เรียกว่า Junction และขาดออกจากกัน ซึ่งเรียกว่า การเชื่อมเย็น (Cold Welding) ในระดับโมเลกุลการยึดติดเป็นการสึกหรอที่มักเกิดขึ้นเมื่อมีการสั่นไถลแบบไร้สารหล่อลื่นและมักจะมีเศษโลหะเกิดขึ้นระหว่างผิวหน้าสัมผัส การเกิดการสึกหรอชนิดนี้อาจเกิดขึ้นได้แม้เพียงมีการใช้งานเพียงครั้งเดียว และมีผลทำให้ผิววัสดุชิ้นงานมีการชำรุดเสียหายได้ ในกรณีที่ผิวชิ้นงานมีสารหล่อลื่นหากเกิดการสึกหรอชนิดนี้ก็บ่งบอกได้ว่ามีฟิล์มหล่อลื่นที่บางเกินไปนั่นเอง กลไกการสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasive Wear) การขูดขีดเกิดจากการที่เนื้อวัสดุหลุดหายไปจากการถูกขีดข่วน หรือถูกขูดเป็นร่องลึก (2 - Body Abrasion) หรือเกิดจากการที่มีผงฝุ่นสิ่งสกปรกที่มีความแข็งมาก ๆ แทรกอยู่ระหว่างผิวคู่สัมผัส และทำให้เกิดร่องลึกหรือรอยขีดข่วน (3 - Body Abrasion) หากมีการกรองน้ำมันหล่อลื่นให้สะอาดจะทำให้การสึกหรอแบบนี้เกิดขึ้นน้อยลง การสึกหรอแบบนี้เกิดขึ้นกับปัจจัยดังต่อไปนี้คือ ชนิดของอนุภาคสิ่งสกปรก (ความแข็งและรูปร่างของอนุภาค), ขนาดของอนุภาค, ปริมาณของสิ่งสกปรก, ชนิดของวัสดุคู่สัมผัสและปัจจัยการใช้งาน เช่น ความเร็วรอบ ภาระ ชนิดของสารหล่อลื่น และอุณหภูมิ ต่อมาการล้าตัว (Material Fatigue) เป็นการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของเนื้อวัสดุ ซึ่งจะให้เห็นว่าผิววัสดุมีหลุม มีรอยแตกหรือรอยแยก (Spalling and Fissuring or Crack) อันเป็นผลมาจากการเสียรูปทั้งในลักษณะเสียรูปแบบถาวรหรือการคืนรูปได้ (Plastic and Elastic Deformation) การเกิดการล้าตัวมักเกิดขึ้นกับชิ้นงานหรือชิ้นส่วนที่รับภาระสลับหรือเป็นวงรอบ (Cycle Load) ระหว่าง  $10^3$  ถึง  $10^8$  รอบของภาระสลับจะมีโอกาสทำให้เกิดตามด หลุม หรือรอยแตกร้าวเกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานการเกิดการล้าตัวของวัสดุมักเกิดขึ้นกับชิ้นงานที่มีรูปแบบการหล่อลื่นแบบไฮโดรไดนามิก (Hydrodynamic) หรือแบบอีลาสโตรไฮโดรไดนามิก (Elastro Hydrodynamic) สำหรับปฏิกิริยาไทรโบเคมีคอล (Tribocchemical Reactions) ผลพวงของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างผิววัสดุคู่สัมผัสกับสารหล่อลื่นในระหว่างผิวคู่สัมผัสภายใต้การเคลื่อนที่ที่มีความกดดัน ชั้นผิวของปฏิกิริยาดังกล่าวมีความไวต่อปฏิกิริยาเคมี โดยทั่วไปชั้นผิวฟิล์มดังกล่าวจะมี

เสถียรภาพน้อยต่อค่าแรงเฉือน (ภายใต้การหล่อลื่นแบบ Boundary) แต่หากชั้นผิวฟิล์มดังกล่าวทำให้เกิดการสึกหรอมากขึ้น อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวจะเรียกสิ่งเหล่านี้ว่า การสึกหรอแบบกัดกร่อน (Corrosive Wear) การวิเคราะห์ระดับความรุนแรง [สุรพล ราชภูร์นัย, 2549] ในการวิเคราะห์ความรุนแรงขั้นต้นคือ การวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคเศษโลหะจากการสึกหรอซึ่งอาจเกิดจากการขัดถูกันเสียดสีกันของชิ้นส่วนภายในเครื่องจักรกลโดยทั่วไปเมื่อมีการสึกหรอที่รุนแรงมากขึ้น ขนาดของอนุภาคจะมีขนาดใหญ่มากขึ้นและปริมาณเศษโลหะจะมีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งเป็นสิ่งที่สามารถบ่งชี้ถึงสภาวะของเครื่องจักรกลดังรูปที่ 2 เป็นความก้าวหน้าของการสึกหรอเมื่อใช้งานเครื่องจักรกลไปในระยะเวลาานาน ๆ ปริมาณของอนุภาคเศษที่หลุดออกมาจะสูงขึ้นและมีขนาดที่ใหญ่มากขึ้น



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับตัวแปรที่ใช้ในการตรวจวัด (โกสินทร์ชัย แผ้วไธสง, 2562)



รูปที่ 2 ขนาดของอนุภาคเศษโลหะซึ่งบ่งชี้สภาวะของเครื่องจักรกล (โกสินทร์ชัย แผ้วไธสง, 2562)

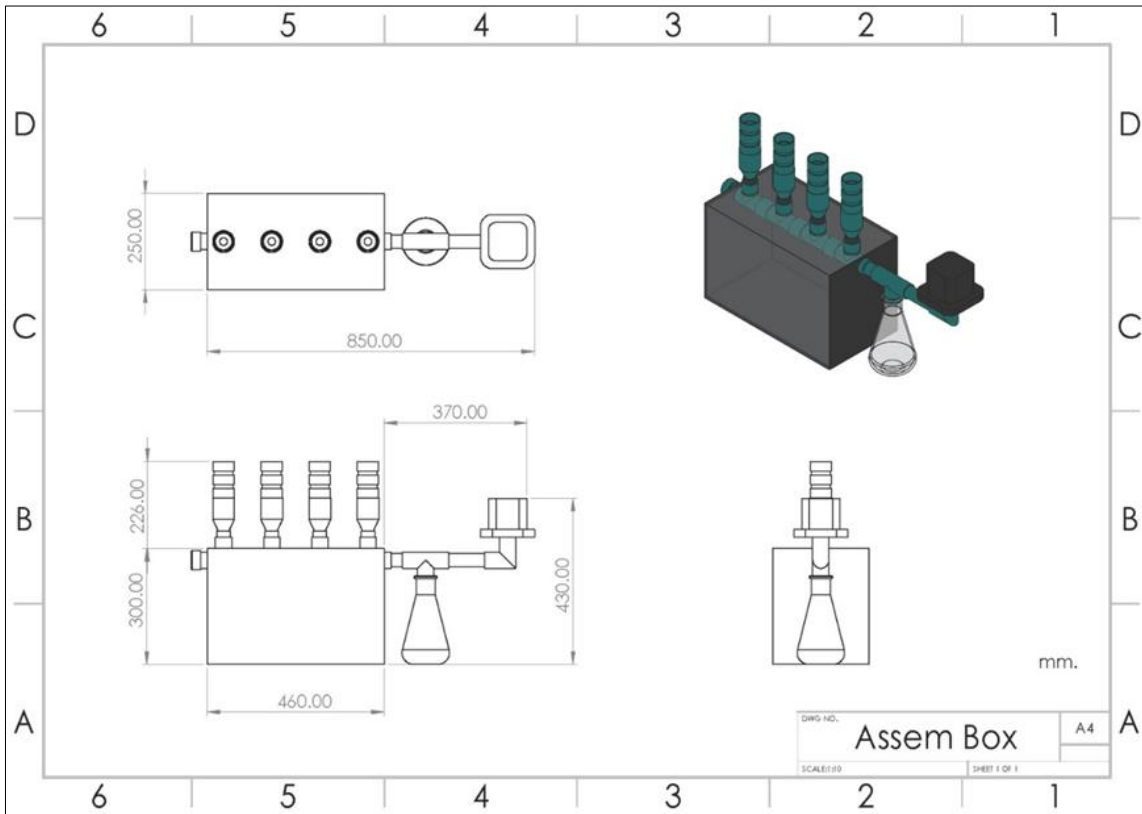
Raadnu, S. [Raadnu, S, 2002] ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์อนุภาคของแข็งจำพวกเศษเหล็กจากการสึกหรอโดยใช้ปลั๊กแม่เหล็ก (MCD : Magnetic Chip Detector) ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในแง่ของการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ วิเคราะห์การล้าตัวของผิวฟันเพื่อช่วยให้ประเมินความรุนแรงของปัญหาได้โดยการพิจารณาจากขนาดและปริมาณของเศษเหล็กบน MCD ช่วยให้วินิจฉัยถึงปัญหาการสึกหรอได้โดยการวิเคราะห์รูปร่างพื้นฐานของเศษเหล็ก ต่อมามีการนำเทคนิควิธีการวิเคราะห์ปริมาณ ขนาดและรูปร่างของโลหะกลุ่มเหล็กโดยใช้วิธีที่เรียกว่า เฟอร์โรกราฟี (Ferromgraphy) [Raadnu, S, 2014] ซึ่งเทคนิคดังกล่าวสามารถแยกเศษเหล็กจากสารหล่อลื่นใช้แล้วเรียงตัวเป็นขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็กเพื่อวิเคราะห์จาระบีใช้แล้วในชิ้นส่วนแบร็งเม็ตลูกกลิ้งซึ่งนับเป็นหนึ่งในชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่สำคัญเพื่อจะช่วยให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลดลงสามารถยืดอายุการใช้งานเครื่องจักรกลได้โดยการวิเคราะห์จาระบีใช้แล้วเพื่อจะได้ดำเนินการหาแนวทางแก้ไขปัญหาก่อนที่เครื่องจักรจะชำรุดเสียหายหรือพัง เวลาต่อมา Raadnu, S. and Kleesuwan, S. [Raadnu, S, 2005 and Raadnu, S, 2006] ได้มีการใช้วิธีการวิเคราะห์โลหะ สิ่งสกปรกโดยการวัดค่าทางไฟฟ้าซึ่งถ้ามีเศษโลหะ สิ่งสกปรก น้ำปนอยู่ในสารหล่อลื่นสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะส่งผลโดยตรงกับคุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น ค่าไดอิเล็กทริก ค่าความนำไฟฟ้า ค่าความต้านทานทางไฟฟ้า แต่ข้อจำกัดของวิธีการนี้คือไม่สามารถวัดสิ่งสกปรกที่เป็นฉนวนทางไฟฟ้าได้ไม่สามารถบอกปริมาณเศษโลหะที่เจือปนได้และไม่สามารถระบุได้ถึงสาเหตุของปัญหาว่ากลไกการ สึกหรอหรือการเกิดขึ้นของเศษมาจากสาเหตุอะไร ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคนิคในการวิเคราะห์เศษโลหะจากการสึกหรอและสิ่งสกปรกจากไส้กรองใช้แล้ว (FDA : Filter Debris Analysis) [Raadnu, S, 2004] โดยตัดแบ่งเนื้อไส้กรองเป็นแผ่นเล็ก ๆ ใช้หลักการแยกเศษโลหะหรือของแข็งออกด้วยความสั่นสะเทือนโดยใช้เครื่องเขย่าอัลตราโซนิค

ในส่วนการออกแบบทางวิศวกรรมเป็นกระบวนการที่ประยุกต์ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์และแนวปฏิบัติด้านวิศวกรรมศาสตร์ให้เข้ากับความคิดริเริ่มและสร้างสรรค์ของผู้ออกแบบ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตหรือนวัตกรรมใหม่ อย่างไรก็ตามความสำเร็จของการออกแบบขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นอีกหลายประการ เช่น ความสะดวก และความปลอดภัยในการใช้งาน การใช้ทรัพยากร อย่างมีประสิทธิภาพ ผลิตภัณฑ์มักประกอบด้วยชิ้นส่วนย่อยมากมายที่ทำงานร่วมกัน ดังนั้นในการออกแบบจึงอาจเป็นการออกแบบชิ้นส่วนย่อยเพื่อนำไปประกอบเข้ากับชิ้นส่วนอื่น ๆ Pahl, et al. [Pahl, G., et al, 2007] และ Cross [Cross, N, 2008] กล่าวถึงการออกแบบทางวิศวกรรมอย่างเป็นระเบียบและวิธีการขั้นตอนการออกแบบเพื่อให้ได้การออกแบบอย่างเหมาะสม ตรงตามความต้องการของลูกค้าและผู้ออกแบบซึ่งมี 4 ขั้นตอนหลัก คือ เริ่มต้นจากทำความเข้าใจปัญหาหรือความต้องการ จากนั้นออกแบบแนวความคิด การทำให้เกิดเป็นรูปร่างของแนวความคิดสุดท้ายเป็นการออกแบบรายละเอียด ก่อนนำไปสู่การผลิตขึ้นรูปหรือสร้างเป็นต้นแบบใช้งานต่อไป Hubka, Andreasen and Eder [Hubka, V., Andreasen, M. M. and Eder, 1988] นำเสนอการใช้การออกแบบทางวิศวกรรมอย่างเป็นขั้นตอน ด้วยการนำตัวอย่างต่าง ๆ มาใช้เพื่อให้ได้แนวความคิดการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด โดยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดัง [Pahl, G., et al, 2007] และ [Cross, N, 2008] ได้กล่าวเอาไว้ โดยเริ่มต้นการออกแบบด้วยการทำความเข้าใจกับปัญหาและความต้องการ จากนั้นวิเคราะห์ฟังก์ชันการทำงาน ดำเนินการออกแบบโดยวิเคราะห์จากฟังก์ชันการทำงานพร้อมทั้งประยุกต์ใช้หลักการทางฟิสิกส์เข้ามาช่วยในการออกแบบ เพื่อเกิดเป็นทางเลือกต่าง ๆ ให้ตอบสนองต่อความต้องการ เลือกแต่ละรูปแบบที่ได้ประกอบกันขึ้นเป็นแนวความคิดต่าง ๆ อีกทั้งยังมีการประเมินแนวความคิดเพื่อคัดเลือกแนวความคิดที่เหมาะสมที่สุดออกมา

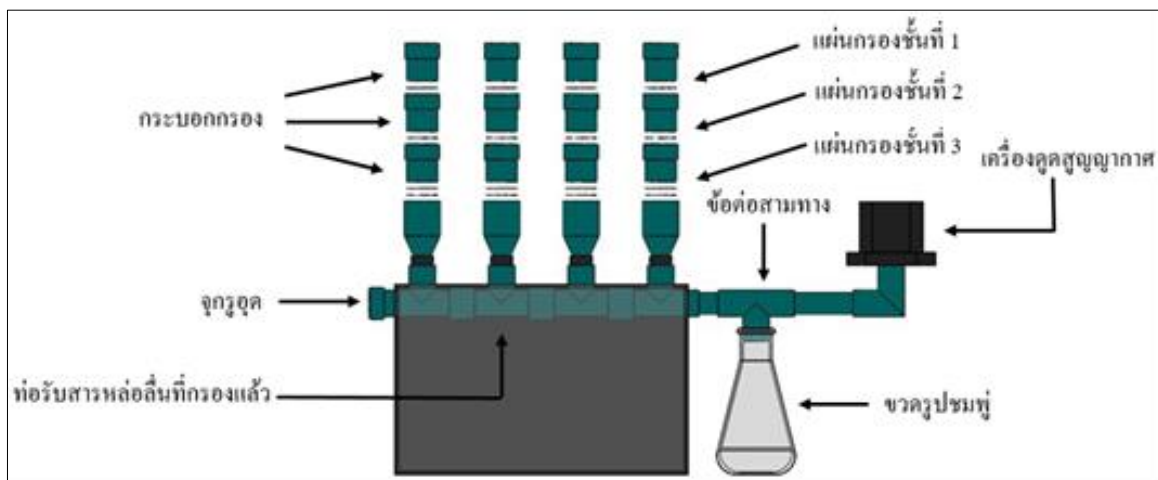
### การออกแบบและสร้างอุปกรณ์แยกสารปนเปื้อนอนุภาคของแข็งออกจากสารหล่อลื่นใช้แล้ว

อุปกรณ์แยกอนุภาคของแข็งจะทำการกรองแยกอนุภาคเรียงลำดับตามขนาดของอนุภาคของแข็งจากขนาดโตสูงสุดโตปานกลางและขนาดเล็กออกจากตัวอย่างสารหล่อลื่นใช้แล้วโดยขึ้นอยู่กับขนาดของตะแกรงกรองที่ต้องการ สำหรับการหาปริมาณโดยน้ำหนักของเศษโลหะหรือสิ่งเจือปนของแข็งอื่น ๆ สามารถหาได้จากการชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งสารที่มีความละเอียดสูงและยังสามารถนำตะแกรงกรองดังกล่าวไปตรวจวิเคราะห์รูปร่างพื้นฐานของเศษโลหะหรืออนุภาคของแข็งด้วย

สายตาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ส่วนตัวอย่างสารหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่ไม่ต้องการที่ได้จากการกรองจะถูกเก็บไว้โดยส่วนที่รองรับสารหล่อลื่นสามารถถอดออกหรือระบายสารหล่อลื่นออกได้ ชุดตะแกรงกรองหรือแผ่นกรองที่แห้งแล้วสามารถนำไปตรวจสอบและวิเคราะห์ได้ทันที โดยที่หนึ่งตัวอย่างสารหล่อลื่นใช้แล้วจะผ่านแผ่นกรองสามชั้น (อนุภาคขนาดใหญ่, ขนาดกลางและอนุภาคขนาดเล็ก) นอกจากนี้อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถดำเนินการแยกอนุภาคของแข็งออกจากตัวอย่างสารหล่อลื่นใช้แล้วได้ถึง 4 ตัวอย่างในเวลาเดียวกัน ลักษณะของอุปกรณ์ต้นแบบที่ออกแบบและสร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 3 ถึง 5 เป็นอุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้หลักการดูดด้วยสุญญากาศ (vacuum filtration method)



รูปที่ 3 ออกแบบอุปกรณ์ต้นแบบ (โกสินทร์ชัย แผ้วไธสง, 2562)



รูปที่ 4 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของอุปกรณ์ต้นแบบ (โกสินทร์ชัย แผ้วไธสง, 2562)



รูปที่ 5 อุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้น (โกสินทร์ชัย แผ้วไธสง, 2562)

รายการอุปกรณ์และงบประมาณที่ใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์แยกสารปนเปื้อนอนุภาคของแข็งออกจากสารหล่อลื่นใช้แล้ว สามารถสรุปจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้และงบประมาณที่ใช้ในการดำเนินการดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายการอุปกรณ์ และงบประมาณที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ

รายการที่	รายละเอียด	จำนวน (หน่วย)	ราคา (บาท)
1	กล่องอะคริลิก (Acrylic)	1	1,320
2	ชุดตัวกรอง (Polyvinylchloride : PVC)	9	54
3	ชุดท่อรองสารหล่อลื่น (Polyvinylchloride : PVC)	1	202
4	ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 1,000 ml	1	1,375
5	บีกเกอร์ (beaker) ใส่สารหล่อลื่นตัวอย่าง	4	320
6	ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) 210 w 220 v 50 HZ	1	250
7	สารละลายเฮปเทน ( $C_7H_{16}$ )	1	2,450
8	ขวดหยอดสาร	1	175
9	แท่งคนสาร	1	45
10	กล่องจุลทรรศน์ USB	1	1,120
11	กระดาษกรองละเอียด 0.45 ไมครอน $\varnothing$ 47 mm.	1	1,380
12	ตะแกรงลวด $\varnothing$ 47 mm.	2	41
13	ตะแกรงพลาสติก $\varnothing$ 47 mm.	2	92
14	วัสดุสิ้นเปลืองอื่น ๆ	-	1,381
	ราคารวม	-	10,205

### การทดลอง

1 เตรียมการชั่งน้ำหนักแผ่นกรองแต่ละชั้นและบันทึกน้ำหนักของแผ่นกรองแต่ละชั้นก่อนทำการทดลองดังรูปที่ 6 เพื่อจะนำน้ำหนักแผ่นกรองมาหักลบให้ได้น้ำหนักของอนุภาคของแข็งที่แยกได้จริง



รูปที่ 6 เตรียมการชั่งน้ำหนักแผ่นกรอง (โกสินทร์ชัย แผ้วโรสง, 2562)

- 2 ชั่งน้ำหนักสิ่งปนเปื้อน (จำลองเศษ เช่น เศษโลหะ, ฝุ่น, ทราย) ที่จะนำไปผสมกับสารหล่อลื่น
- 3 เตรียมสารหล่อลื่นใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานเทใส่ปิกรเกอร์ในปริมาณ 100 ml ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เตรียมสารหล่อลื่น (โกสินทร์ชัย แผ้วโรสง, 2562)

- 4 นำสิ่งปนเปื้อนจำลองที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 2 มาผสมลงในสารหล่อลื่นที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่ 3
- 5 นำแผ่นกรองที่ผ่านการชั่งน้ำหนักในขั้นตอนที่ 1 มาติดตั้งกับอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้น
- 6 นำสารหล่อลื่นเหลวในอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อทำการแยกอนุภาคของแข็งออกจากสารหล่อลื่น จากนั้นทำการเปิดเครื่องปั๊มสุญญากาศ เพื่อช่วยในการกรองสารหล่อลื่นโดยใช้หลักการแรงดูดอากาศจากปลายกระบอกกรองตามแรงโน้มถ่วง ดังรูปที่ 8 แสดงลักษณะการเทสารหล่อลื่นและการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบ





ดั่งรูปที่ 8 แสดงการเทสารหล่อลื่นและการทำงานของอุปกรณ์ต้นแบบ (โกสินทร์ชัย แผ้วไธสง, 2562)

7 เทสารละลายเฮปเทน ( $C_7H_{16}$ ) เพื่อทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารหล่อลื่นเพื่อลดความหนืดของสารหล่อลื่นช่วยให้การกรองง่ายขึ้นและยังช่วยทำให้แผ่นกรองแห้ง

8 หลังจากทำการกรองเสร็จแล้วทำการปิดป้มสูญญากาศและถอดชั้นกรองออกทีละชั้น

9 นำแผ่นกรองแต่ละชั้นที่มีสารปนเปื้อนอนุภาคของแข็งติดอยู่มาทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ที่อุปกรณ์ต้นแบบสามารถกักเก็บเศษอนุภาคของแข็งได้ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งสูตรการคำนวณแสดงดังสมการที่ 1

10 จากนั้นทำการบันทึกผลการทดลองจะได้ดังตารางที่ 2 ถึง 4 (ผลการทดลองเบื้องต้น 3 ตัวอย่าง)



ดั่งรูปที่ 9 นำแผ่นกรองมาชั่งน้ำหนัก (โกสินทร์ชัย แผ้วไธสง, 2562)

จากสูตร


$$S = \frac{m}{M} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่  $S$  คือ การกักเก็บสารปนเปื้อนอนุภาคของแข็งของอุปกรณ์ต้นแบบ (%)


$m$  คือ น้ำหนักสารปนเปื้อนอนุภาคของแข็งที่แยกได้ (mg)



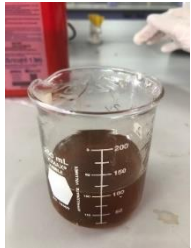
ตารางที่ 2 การทดลองการกรองสารหล่อลื่นที่ผสมกับทราย

สารหล่อลื่น	น้ำหนักของอนุภาคของแข็ง	ชั้น	น้ำหนักแผ่นกรองก่อนกรอง (mg)	น้ำหนักแผ่นกรองหลังกรอง (mg)	ผลต่างของน้ำหนักแผ่นกรอง (mg)
 น้ำมันผสมกับทราย	581.1	1	267.2	435.0	167.8
		2	231.5	422.4	190.9
		3	78.7	242.2	163.5
ผลรวมของเศษอนุภาคที่กรองได้					522.2
น้ำหนักเศษอนุภาคที่แยกได้ (%)					89.86 %

ตารางที่ 3 การทดลองการกรองสารหล่อลื่นที่ผสมกับโลหะ

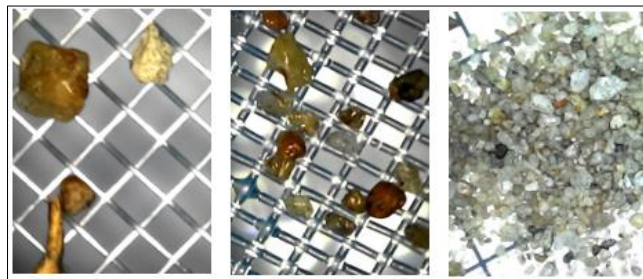
สารหล่อลื่น	น้ำหนักของอนุภาคของแข็ง	ชั้น	น้ำหนักแผ่นกรองก่อนกรอง (mg)	น้ำหนักแผ่นกรองหลังกรอง (mg)	ผลต่างของน้ำหนักแผ่นกรอง (mg)
 น้ำมันผสมทรายกับโลหะ	1,138.5	1	267.1	705.5	438.4
		2	231.4	560.2	328.8
		3	78.7	315.6	236.9
ผลรวมของเศษอนุภาคที่กรองได้					1,004.1
น้ำหนักเศษอนุภาคที่แยกได้ (%)					88.19 %

ตารางที่ 4 การทดลองการกรองสารหล่อลื่นที่ผสมทรายกับโลหะ

สารหล่อลื่น	น้ำหนักของอนุภาคของแข็ง	ชั้น	น้ำหนักแผ่นกรองก่อนกรอง (mg)	น้ำหนักแผ่นกรองหลังกรอง (mg)	ผลต่างของน้ำหนักแผ่นกรอง (mg)
 น้ำมันผสมโลหะ	829.2	1	267.0	560.7	293.7
		2	231.6	462.3	230.7
		3	78.8	255.4	176.6
ผลรวมของเศษอนุภาคที่กรองได้					701
น้ำหนักเศษอนุภาคที่แยกได้ (%)					84.53 %

### สรุปผลการทดลองและอภิปราย

อุปกรณ์ต้นแบบชนิดใหม่ที่สามารถแยกอนุภาคการสึกหรอไม่ว่าจะเป็นอนุภาคการสึกหรอของเหล็กและสิ่งเจือปนของแข็งอื่น ๆ ออกจากสารหล่อลื่นใช้แล้วได้ สามารถแยกอนุภาคของแข็งจากสารหล่อลื่นตัวอย่างได้ถึง 4 ตัวอย่างต่อครั้ง เมื่อเทียบกับอุปกรณ์ดั้งเดิมสามารถแยกอนุภาคของแข็งได้เพียงครั้งละ 1 ตัวอย่างสารหล่อลื่นเท่านั้น อุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้นนี้มีราคาต้นทุนเพียง 10,205 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่ใช้ในปัจจุบันมีต้นทุนถึงหลักแสน แนวโน้มในอนาคตคาดว่าจะสามารถใช้งานจริงในภาคอุตสาหกรรมได้เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถกักเก็บเศษอนุภาคของแข็งได้โดยเฉลี่ยประมาณ 88 % สามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับ “ลักษณะทางสัณฐานวิทยา” ของอนุภาคของแข็งได้ดังรูปที่ 10 ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ลักษณะรูปร่างของเศษอนุภาคการสึกหรอตามหลักทฤษฎีของการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ได้ในลำดับถัดไป



รูปที่ 10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ของแผ่นกรอง 3 ชั้น แสดงอนุภาคขนาดใหญ่, ขนาดกลางและขนาดเล็ก (โกสินทร์ชัย แผ้วโรสง, 2562)

ข้อดีสูงสุดของเทคนิคการกรองที่พัฒนาขึ้นใหม่คือการแยกอนุภาคของแข็งออกเป็นช่วงขนาดที่แตกต่างกัน สำหรับขอบเขตงานวิจัยขั้นแรกคือการกรองอนุภาคขนาดมากกว่า 100 ไมโครเมตร ชั้นที่สองคือการกรองอนุภาคขนาดมากกว่า 40 ไมโครเมตร และชั้นที่สามคือการกรองอนุภาคขนาด 0.45 ไมโครเมตร เป็นผลทำให้ขนาดอนุภาคที่แยกได้อยู่ในช่วง

ระหว่าง 0.45 ถึง 40, 41 ถึง 100 และมากกว่า 100 ไมโครเมตร เรียกว่า “มัลติฟิลเตอร์แกรม” และสามารถนำเศษที่ถูกแยกออกจากสารหล่อลื่นใช้แล้วมาทำการตรวจวิเคราะห์หาระดับความรุนแรงของปัญหาว่าอยู่ในระดับใดและวินิจฉัยสภาพเครื่องจักรเพื่อหาแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหาค่าการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรได้ในลำดับต่อไป

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยปทุมธานี คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ สถานที่และงบประมาณในการดำเนินงานวิจัย

### เอกสารอ้างอิง

- [1] สุรพล ราชภูริบุญ. (2560). *วิศวกรรมการบำรุงรักษาและเทคโนโลยีการบำรุงรักษา*. กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียน มจพ.
- [2] สุรพล ราชภูริบุญ. (2549). *วิศวกรรมการหล่อลื่นเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ : บ.ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน).
- [3] สุรพล ราชภูริบุญ. (2549). *การวิเคราะห์สารหล่อลื่นใช้แล้วเพื่อการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์และการบำรุงรักษาเชิงรุก*. กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียน มจพ.
- [4] Raadnui, S. (2002). “ Magnetic Chip Detector Wear Particle Analysis”. *International Journal of Applied Mechanics and Engineering (IJAME)*. Vol.7, : 419-423.
- [5] Raadnui, S. (2004). Low-cost used grease analysis for rolling element bearing (online cited August 28, 2014). Available from :URL:[http://www.Machinerylubrication.com/Read/672/grease analysis-bearings](http://www.Machinerylubrication.com/Read/672/grease%20analysis-bearings)
- [6] Raadnui, S. and Kleesuwan, S. (2005). Low-cost condition monitoring sensor for used oil. *International Journal of Wear*. 259: 1502-1506
- [7] Raadnui, S. and Kleesuwan, (2006). S. On and off line used oil analysis monitoring sensor. *Proceedings of the International Conference on Tribology (AITC-AIT 2006)*, University of Parma, Italy.
- [8] Raadnui, S. (2004). A new technique for Filter Debris Analysis. (online cited August 28, 2014). Available from :URL :<http://machinerylubrication.com/Read/25970/filter-debris-analysis>.
- [9] Pahl, G., et al. (2007). *Engineering Design – A Systematic Approach*. German : Springer.
- [10] Cross, N. (2008). *Engineering Design Methods : Strategies for Product Design* (4th ed). Chichester : John Wiley & Son.
- [11] Hubka V, Andreasen, M. M. and Eder, W. E. (1988). *Practical Studies in Systematic Design*. London : Butterworths.