

ศึกษาสมบัติกายภาพ-เคมีและโทรโบโลยีของน้ำมันไฮดรอลิกพื้นฐานจากน้ำมันพืชเก่าใช้แล้ว

อภิชาติ เสริมพนิชกิจ^{1*}, จำลอง ปรอบแก้ว¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

ผู้เขียนติดต่อ: อภิชาติ เสริมพนิชกิจ E-mail: apicp@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยมากมายให้เหตุผลสำคัญในการเลือกน้ำมันจากพืชเป็นส่วนประกอบสำคัญในน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันไฮดรอลิกเพราะมีคุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดี ไม่เป็นพิษอันตรายและย่อยสลายเองตามกระบวนการทางชีวภาพโดยมาทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมที่มีอย่างจำกัดแต่ยังไม่พบว่ามีมีการนำน้ำมันพืชเก่าใช้แล้วมาศึกษา ฉะนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมีและโทรโบโลยีด้วยเครื่อง CSM แบบ Ball-on-disk ในน้ำมันไฮดรอลิกพื้นฐานจากน้ำมันพืชเก่าใช้แล้วซึ่งได้มาจากการนำน้ำมันพืชทอดประกอบอาหารซ้ำๆ หลายครั้งในตลาดสดจากนั้นมาผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นไบโอดีเซลแต่ยังมีข้อจำกัดในความหนืดรวมไปถึงการนำไปใช้เป็นสารหล่อลื่นชีวภาพในระบบไฮดรอลิก การเติมสารเติมแต่งเอทิลีน-ไวนิล อะซิเตท โพลีเอทิลีน (EVA) พบว่าเติม 5% wt เอทิลีน-ไวนิล อะซิเตท โพลีเอทิลีน (EVA) ในไบโอดีเซลนี้เพิ่มความหนืดจาก 5.81 cSt เป็น 48.6 cSt ที่ 40°C เมื่อพิจารณาจากความหนืด สามารถคัดกรองน้ำมันไฮดรอลิกในงานวิจัยที่มีความหนืดใกล้เคียงน้ำมันไฮดรอลิกเชิงพาณิชย์เบอร์ 46 (PTT46) และ 68 (PTT68) ได้ 3 ตัวอย่างแล้วนำมาศึกษา ผลของจุดวาบไฟสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ มอก.แต่จุดไหลเหวี่ยงเป็นปัญหา ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยและปริมาตรสึกหรอทั้ง 3 ตัวอย่างนี้อยู่ในช่วง 0.10 - 0.14 และ 0.006 - 0.023 mm³ ตามลำดับ และให้ผลการหล่อลื่นและต้านการสึกหรอที่ดีกว่า PTT68 ได้ค่า 0.155 และ 0.037 mm³ ตามลำดับที่เงื่อนไขการทดสอบเดียวกัน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าน้ำมันไฮดรอลิกพื้นฐานน้ำมันเก่าใช้แล้วทั้ง 3 ตัวอย่างมีศักยภาพทดแทนน้ำมันไฮดรอลิกพื้นฐานปิโตรเลียม

คำสำคัญ: น้ำมันพืชเก่าใช้แล้ว, น้ำมันไฮดรอลิก, โทรโบโลยี

Physico-Chemical and Tribological Studies of Hydraulic Fluid Based Wasted Vegetable Oil

Apichart Sermpnichakit^{1*}, Chamlong Prabkaew¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520.

Corresponding author: Apichart Sermpnichakit. E-mail: apicp@yahoo.com

Abstract

The main reason of several researches shows the plant oil as main ingredient into lubrication and hydraulic fluid because of good lubricating properties, non-toxic and biodegradability to substitute for the petroleum-based oil that has limited resources; but, there was no any researches to study in using of the wasted vegetable oil. The aim of this paper was to investigate the physio-chemical and tribological properties by CSM tribometer (Ball-on-disk) of hydraulic fluid based wasted vegetable oil. The wasted vegetable oil used for cooking many repeated time at the fresh market was studied and then it was made to be biodiesel by trans esterification process, but the limited range of biodiesel viscosity and this is constrains their use as suitable biolubricants in hydraulic system. Adding of 5% wt ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA) into this biodiesel was studied. It has been found that the viscosity of the biodiesel could increase from 5.81 to 48.6 cSt at 40°C. When consider in the viscosity, there are 3 samples from all hydraulic oil in this research which are near to the local commercial hydraulics oil no.46 and 68, were studied. The flush point was also higher than Thai Industrial Standard; but, pour point might be a problem. The coefficient of friction and wear volume of all three samples stay in the ranges 0.10 - 0.14 and 0.006 - 0.023 mm³ respectively; and better lubricity more wear resistance than PTT68 as 0.155 and 0.037 mm³ respectively at the same testing conditions. This is indicated in the hydraulic fluid based wasted vegetable oil was a good potential to substitute for local commercial petroleum-based oil.

Keywords: Wasted vegetable oil, Hydraulic oil, Tribology.

1. บทนำ

สิ่งรอบตัวเราทุกวันนี้ไม่ว่าจะหันไปทางไหนมักพบผลิตภัณฑ์ทำมาจากปิโตรเลียมกันอย่างแพร่หลาย เช่น พลาสติก น้ำมัน แก๊สทุ้งต้ม เป็นต้น หากยังใช้ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ในปริมาณมากก็ย่อมจะนำไปสู่ภาวะขาดแคลนในที่สุดและยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่องตามมา ดังนั้นในปัจจุบันมนุษย์จึงพยายามค้นหาและค้นคว้าเกี่ยวกับแหล่งพลังงานและวัตถุดิบแทนอื่น ๆ มาแทนที่หรือเพื่อลดการใช้ปิโตรเลียมให้น้อยลง ในทำนองเดียวกันปิโตรเลียมก็ถูกใช้เป็นตัวเติมหลักสำหรับสารหล่อลื่นในอุตสาหกรรมและเป็นที่ยอมรับเสียด้วยเพราะมันมีช่วงความหนืดที่หลากหลาย, สามารถเข้ากันได้กับชิ้นส่วนและเครื่องจักรในอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี แต่มันก่อให้เกิดสารพิษเสี่ยงอันตรายและย่อยสลายเองตามกระบวนการชีวภาพได้ยาก มีการประเมินกันว่าน้ำมันหล่อลื่นราว 12 ล้านตันถูกทิ้งและปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมทุกปี (Quinchia et al., 2010) ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาเริ่มมีความนิยมในสารหล่อลื่นที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น มีงานวิจัยและพัฒนาสินค้าใหม่ๆ ที่ยั่งยืนจากเคมีสีเขียว (Green Chemistry) เช่น น้ำมันสกัดจากพืชเป็นสารหล่อลื่นตามธรรมชาติได้ดี (Alejandrina et al., 2010) ซึ่งไม่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต, ย่อยสลายเองตามกระบวนการทางชีวภาพ (Sevim and Svajus, 2010) และเป็นสารระเหยเป็นไอต่ำ (Quinchia et al., 2014) นอกจากนี้พวกมันสามารถนำมารีไซเคิลและกลับมาใช้ใหม่ได้โดยอาศัยการดัดแปลงโครงสร้างทางเคมี (Tirth et al., 2017; Josiah and Quan, 2016) ยังพบอีกว่าสารหล่อลื่นธรรมชาติจากน้ำมันพืชจะสร้างผิวหรือฟิล์มปกป้องต่อการขัดถู (Mendoza et al., 2011) แต่ในช่วงอุณหภูมิต่ำจุดไหลเทของน้ำมันพืชมักเป็นปัญหา (Sevim and Svajus et al., 2010) ต้องแก้ไขโดยการเติมสารเติมแต่งหรือดัดแปลงโครงสร้างทางเคมี (Piyush and Bo., 2007), พืชส่วนใหญ่ที่เป็นวัตถุดิบหลักในน้ำมันพืชและถูกนำมาใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นได้แก่ ปาล์ม (Golshokouh et al., 2013; Yaogang et al., 2017) ทานตะวัน (Mendoza et al., 2011), ถั่วเหลือง (Lou and Honary, 1996), ละหุ่ง (Quinchia et al., 2010), สนุ่นดำ (Ruggiero et al., 2016), เมล็ดยางพารา (Kamalakar et al., 2016) เป็นต้น

เป็นที่รู้กันดีว่าน้ำมันไฮดรอลิกมีหน้าที่หลักคือ เป็นตัวส่งผ่านกำลังหรือแรงดันจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งในระบบไฮดรอลิก นอกจากนี้ยังทำหน้าที่หล่อลื่นอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฮดรอลิก ลดแรงเสียดทาน ป้องกันการสึกหรอ รักษาความสะอาด และยังช่วยระบายความร้อนอีกด้วย จัดว่าเป็นกลุ่มสารหล่อลื่นที่มีความสำคัญและมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางในโรงงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภทรวมทั้งในงานก่อสร้าง โดยมีปริมาณการใช้มากที่สุดเป็นอันดับที่สองรองจากน้ำมันเครื่องยนต์ (ยูคอน, 2016) แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยยังไม่พบงานวิจัยและค้นคว้าการนำน้ำมันพืชมาใช้แล้วมาศึกษาเป็นน้ำมันไฮดรอลิกหรือสารหล่อลื่นทั่วไป เหตุที่สนใจในน้ำมันพืชมาใช้แล้วเพราะว่า รศ.ดร.วิทยา กุลสมบูรณ์ (ไทยโพสต์, 2012) ผู้จัดการแผนงานคุ้มครองผู้บริโภคด้านสุขภาพ สำนักงานกองทุน

สนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.) กล่าวว่า ในปี 2012 ประเทศไทยมีปริมาณการบริโภคน้ำมันพืชประมาณ 8 แสนตันต่อปี โดยร้อยละ 50% เป็นการบริโภคในครัวเรือน อีกร้อยละ 50 ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร แต่น้ำมันเก่าใช้แล้วกลับพบว่าถูกนำกลับมาเป็นพลังงานไบโอดีเซลเพียงร้อยละ 5 ซึ่งน่าเป็นห่วงว่าน้ำมันทอดซ้ำที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอาหารนี้หายไปไหน มีการกำจัดอย่างไร ทั้งในสิ่งแวดล้อมหรือมีกระบวนการฟอกเพื่อกลับมาขายให้ผู้บริโภคใหม่ การใช้น้ำมันพืชเก่ากลับมาประกอบอาหารซ้ำมีความเสี่ยงต่อการก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ จากที่กล่าวมาข้างต้นเป็นแรงผลักดันให้ผู้วิจัยต้องการเพิ่มช่องทางเลือกการประยุกต์ใช้ประโยชน์น้ำมันพืชเก่าใช้แล้วโดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ-เคมีและสมบัติโทรโพลีเพื่อพัฒนาน้ำมันพืชเก่าใช้แล้วให้เทียบเคียงกับคุณสมบัติน้ำมันไฮดรอลิกที่จำหน่ายตามท้องตลาด

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัตถุดิบ

น้ำมันพืชเก่าใช้แล้ว (WVO) จากการทอดปาท่องโก๋ซ้ำหลายครั้งในเตาทอดก่อนที่จะนำมันจะถูกนำไปทิ้ง ผู้วิจัยจึงขอซื้อเพื่อมาวิจัยจากนั้นกำจัดเศษอาหารและสิ่งสกปรกโดยกรองด้วยไส้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงของรถบรรทุกแล้วต้มด้วยความร้อน 110°C เป็นเวลา 15 min. เพื่อกำจัดความชื้น, สำหรับโซเดียมไฮดรอกไซด์, เมทานอลถูกใช้ในกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (ธาดาและคณะ, 2558), เพื่อผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชเก่าใช้แล้ว เอทิลีนไดออกไซด์ อะซิเตทโคโพลิเมอร์ (EVA) ประกอบด้วย 30.4% wt ของไวโนลอะซิเตทถูกใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อปรับความหนืด (Quinchia et al., 2010) EVA ไม่เป็นสารพิษและเสี่ยงอันตรายแต่คงคาดหวังการย่อยสลายได้เองทางชีวภาพไม่ได้ (Syahrullail et al., 2013) และ Omega904 (Sovereign Lubricants (UK) Ltd, 2016) ซึ่งประกอบด้วยสารต้านทานการสึกหรอ (AW), และป้องกันการเกิดการออกซิเดชันหรือต่อต้านการแปรสภาพของน้ำมันหล่อลื่นด้วย น้ำมันไฮดรอลิกในท้องตลาดมีวางจำหน่ายหลากหลายยี่ห้อ ในงานวิจัยนี้เลือก PTT Hydraulic 46 (PTT46) และ PTT Hydraulic 68 (PTT68) ผลิตโดยบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ กับน้ำมันไฮดรอลิกของงานวิจัยนี้ สำหรับผลการทดสอบคุณสมบัติกายภาพ-เคมีของทั้ง PTT46 และ PTT68 จะอ้างอิงจากผลทดสอบของผู้ผลิตโดยตรง

2.2 กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์และกลีเซอรอล โดยมีตัวเร่งในปฏิกิริยาทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ได้เร็วขึ้นในงานวิจัยนี้ใช้ตัวเร่งชนิดเบสคือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ธาดาและคณะ, 2558) ได้เป็นไบโอดีเซล (BIOD) ตามขั้นตอนแผนภาพ (Figure 1)

2.3 การเติมสารเติมแต่ง

เติม 5% wt ของ EVA ใน BIOD ที่อุณหภูมิ 120°C คนผสมให้เข้ากันนานเป็นเวลา 60 – 90 นาที จน EVA ละลายหมด สำหรับการสารต้านทานการสึกหรอ (AW), ให้ผสม 0.5% โดยปริมาตรของ Omega904 ในน้ำมันไฮดรอลิกแล้วคนผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้องสำหรับงานวิจัยนี้นอกจากเติม 5% wt ของ EVA ยังศึกษาที่ 8% wt ของ EVA ด้วย

ในงานวิจัยได้มีออกแบบการทดลองโดยเตรียมน้ำมันไฮดรอลิกที่พัฒนาขึ้นเองหลายตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์จุดที่เหมาะสมที่สุดและเพื่อความสะดวกในการอ้างอิงได้กำหนดรหัสน้ำมันไฮดรอลิกไว้ใน (Table 1)

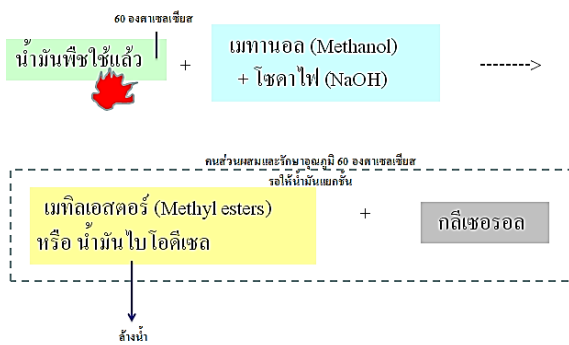


Figure 1 Esterification of wasted vegetable oil to form biodiesel.

Table 1 Codes of hydraulic oil and their composition.

รหัส	องค์ประกอบพื้นฐาน	สารเติมแต่ง
PTT46	ปิโตรเลียม	น้ำมันไฮดรอลิกในท้องตลาด
PTT68	ปิโตรเลียม	น้ำมันไฮดรอลิกในท้องตลาด
WVO	น้ำมันพืชใช้แล้ว	ไม่มี
WVO+EVA5	น้ำมันพืชใช้แล้ว	EVA 5%
WVO+EVA8	น้ำมันพืชใช้แล้ว	EVA 8%
WVO+EVA5+AW	น้ำมันพืชใช้แล้ว	EVA 5%+AW
WVO+EVA8+AW	น้ำมันพืชใช้แล้ว	EVA 8%+AW
BIOD	น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว	ไม่มี
BIOD+EVA5	น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว	EVA 5%
BIOD+EVA8	น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว	EVA 8%
BIOD+EVA5+AW	น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว	EVA 5%+AW
BIOD+EVA8+AW	น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว	EVA 8%+AW

ผลกระทบของแรงเสียดทานและความสึกหรอ ในรายงานงบประมาณของรัฐบาลสหรัฐอเมริกาปี 1997 พบว่าการประยุกต์ใช้ศาสตร์โทรโบลิยีสามารถประหยัดงบประมาณได้ถึง 16.25 พันล้านเหรียญสหรัฐ (Theo et al., 2011) ด้วยเหตุนี้ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานและการสึกหรอจึงถูกศึกษาด้วยเครื่องโทรโบมิเตอร์ CSM แบบ Ball on Disk (Figure 2A) เป็นเครื่องมือวัดที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมีหลักการการทำงาน (Figure 2C) (วารุณี, 2547) กำหนดแรงกด (N) คงที่บน Ball ส่วนที่แผ่นจานหมุนติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงบิด

2.4 การวิเคราะห์คุณสมบัติกายภาพ-เคมี

ความหนืดของน้ำมันตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40°C และ 100°C ตามมาตรฐาน ASTM D-445 ถูกศึกษา โดยค่าความหนืดทั้ง 2 อุณหภูมิถูกนำมาคำนวณดัชนีความหนืด (VI) ซึ่งเป็นตัวชี้บอกความสามารถในการเปลี่ยนแปลงความหนืดตามสภาพอากาศและอุณหภูมิของไหลในช่วงการปฏิบัติงานแสดงในสมการที่ (1) ตามมาตรฐาน ASTM D2270-04

$$VI = 100 \times \frac{L - U}{L - H} \quad (1)$$

โดยที่ L, H คือค่าจากตารางความหนืดที่ 100°C ใน ASTM D2270-04 และ U คือค่าความหนืดที่ 40°C

จุดวาบไฟตามมาตรฐาน ASTM D-93 ถูกศึกษาเพื่อประเมินความเหมาะสมด้านความปลอดภัยสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิสูงจุดไหลเทตามมาตรฐาน ASTM D5950-14 เพื่อประเมินการไหลของน้ำมันไฮดรอลิกเมื่ออยู่ในสภาพอากาศหนาวเย็น

2.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติโทรโบลิยี

ความบกพร่องที่เกิดจากการออกแบบทางวิศวกรรม เครื่องกลทำให้สูญเสียงบประมาณมากกว่าที่ควร อันเนื่องมาจาก

แรงเสียดทาน (F) คำนวณได้จากแรงบิดคูณรัศมีการหมุนของบอลบนแผ่นจาน ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (μ) จึงสามารถวัดได้โดยตรงจากสมการที่ (2) (วารุณี, 2547) Ball ทำจากวัสดุเหล็กหล่อเหนียว (FCD450) ซึ่งเป็นวัสดุหลักของปั๊มไฮดรอลิก Ball มีลักษณะส่วนหัวเป็นครึ่งทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 mm. ส่วนด้านปลายเป็นแท่งทรงกระบอกพร้อมปาดเรียบ (Figure 2B) เพื่อจับยึดให้มั่นคงกับเครื่อง CSM โดยขัดถูกกับ Disk ทำจากวัสดุ FCD450 เช่นเดียวกันโดยมีรูปร่างแผ่นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 mm. และ

หนา 5 mm. (Figure 2B) เงื่อนไขการทดสอบเครื่องไทรโบมิเตอร์ CSM ตาม (Table 2.) เพื่อจำลองสถานการณ์การสึกห่อ หลังจาก นั้นนำ Ball ตรวจสอบวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ OLYMPUS BX60 ด้วยเลนส์กำลังขยาย 5X0.15BD เพื่อวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง บริเวณที่สึกห่อ (s) ของ Ball (Figure 3) สำหรับการคำนวณ ปริมาณการสึกห่อบน Ball ตามสมการที่ (3) และ (4) (ปรกรณ์และ คณะ, 2559) ตามลำดับ

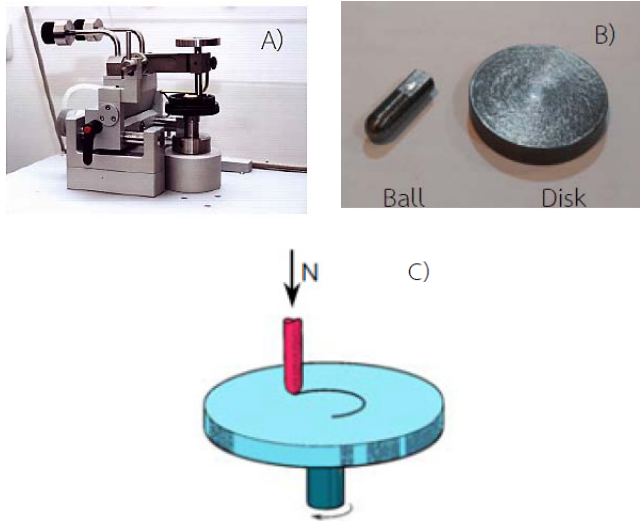


Figure 2 A) CSM Tribometer B) Ball and Disk Specimen C) The working of Ball-on-Disk.

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (2)$$

$$h = \frac{8r - \sqrt{64r^2 - 16s^2}}{8} \quad (3)$$

$$V = \pi h^2 \left[r - \frac{h}{3} \right] \quad (4)$$

โดยที่ V คือปริมาตรการสึกห่อ (mm^3), s คือเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่จุดสึกห่อ (mm), h คือความสูงของส่วนที่สึกห่อ (mm) และ r คือรัศมี Ball (mm).

Table 2 Testing condition of CSM Tribometer.

เงื่อนไขทดสอบ	Ball on Disk
น้ำหนักกดทับ	15 N
ความเร็วเชิงเส้น	10 cm s^{-1}
รัศมีการหมุนของ Ball	7.53 mm
จำนวนรอบ	1,022 cycles
อุณหภูมิทดสอบ	อุณหภูมิห้อง (25 °C)

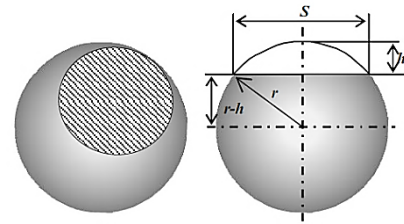


Figure 3 Wear characteristic on Ball.

3. ผลและวิจารณ์

3.1 ผลของคุณสมบัติกายภาพ-เคมี

(Table 3) แสดงผลทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ของ น้ำมันไฮดรอลิกที่พัฒนาขึ้น ความหนืดของ BIOD มีค่า 5.81 cSt ที่ 40°C ความหนืดนี้ต่ำเกินไปสำหรับที่จะนำไปใช้งานไฮดรอลิก จึงต้อง ปรับปรุงความหนืดของ BIOD ด้วยการเติม EVA 5% wt ผลที่ได้ทำให้ BIOD+EVA5 มีความหนืดเพิ่มขึ้นเป็น 48.6 cSt ที่ 40°C ความหนืดที่ได้นี้เป็นที่พอใจเพราะมีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนืดของ PTT46 ที่ 40°C ดังนั้น EVA จึงเป็นสารเติมแต่งในการปรับปรุงความหนืดในน้ำมันพืช (Quinchia et al., 2010) ในทำนองเดียวกันหากเติม EVA 8% wt ใน BIOD ทำให้ BIOD+EVA8 มีความหนืดเพิ่มสูงขึ้นเป็น 418 cSt ที่ 40°C แต่ความหนืดที่สูงกว่า PTT68 มากและสูงมากเกินไปไม่เหมาะกับระบบไฮดรอลิกเพราะทำให้เกิดปัญหาต่อการไหลอย่างไรก็ตามความหนืดระดับนี้เป็นความหนืดของสารหล่อลื่นในชุดเกียร์อุตสาหกรรมและเรือเดินสมุทร ดังนั้นความสำคัญของตัวปรับความหนืดจึงเป็นที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ในงานที่หลากหลายสำหรับน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันพืช ในทำนองเดียวกันความหนืดของ BIOD+EVA5 ที่ 100°C มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับและสูงกว่า PTT68 เล็กน้อยเท่านั้น มีข้อสังเกตในผลการทดลองของผลความหนืด WVO (ไม่มี EVA) ที่ 40°C และ 100°C มีค่าใกล้เคียงกับความหนืด PTT46 และ PTT68 ด้วยดังนั้นหากพิจารณาจากค่าความหนืดสามารถคัดกรองน้ำมันไฮดรอลิกพื้นฐานน้ำมันพืชเก่าใช้แล้วได้ ดังนี้ BIOD+EVA5, BIOD+EVA5+AW และ WVO เพราะค่าความหนืดใกล้เคียง PTT46 และ PTT68

ดัชนีความหนืด (VI) คือตัวเลขที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกับอุณหภูมิโดยการเปรียบเทียบกับน้ำมันมาตรฐาน น้ำมันที่มีค่า VI สูงจะมีค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปน้อยกว่าน้ำมันที่มีค่า VI ต่ำ ดังนั้น VI ที่สูงจึงเป็นคุณสมบัติที่ดีของน้ำมันไฮดรอลิก

ค่า VI ของ BIOD+EVA5, BIOD+EVA5+AW และ WVO ทั้งหมดนี้มีค่ามากกว่าทั้ง PTT46 และ PTT68 โดยทั่วไปแล้วค่า VI ที่สูงเป็นคุณสมบัติโดยธรรมชาติของน้ำมันพืชอยู่แล้ว (Mendoza et al., 2011).

หากอุณหภูมิของสารหล่อลื่นสูงขึ้นเกินกว่าจุดวาบไฟทำให้สารให้ไอระเหยออกมาได้อีก ก็จะทำให้เกิดการลุกติดไฟต่อเนื่องไปเรื่อยๆที่อุณหภูมินี้จะเรียกว่า จุดไหมไฟ (Fire point) มักจะสูงกว่าจุดวาบไฟ

ประมาณ 10-20°C และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเลยจุดไหม้ไฟไปอีกก็จะถึงจุดลุกติดไฟได้เอง (Auto-ignition temperature) ซึ่งที่อุณหภูมินี้สารนั้นจะสามารถลุกติดไฟได้เองโดยไม่ต้องมีแหล่งกำเนิดไฟ ดังนั้นอุณหภูมิในการปฏิบัติใช้งานควรต่ำกว่าจุดวาบไฟของน้ำมันไฮดรอลิกที่ถูกเลือกใช้ ผลการทดลองพบว่าจุดวาบไฟ BIOD+EVA5 และ BIOD+EVA5+AW มีค่าเท่ากันคือ 174°C ต่ำกว่าจุดวาบไฟของ PTT46 และ PTT68 ซึ่งมีค่า 241 และ 251°C ตามลำดับ ขณะที่จุดวาบไฟของ WVO ไม่สามารถวัดค่าได้เพราะเกินความสามารถของ

เครื่องทดสอบ แม้ว่าผลทดสอบจุดวาบไฟของ BIOD+EVA5 และ BIOD+EVA5+AW จะต่ำกว่า PTT46 และ PTT68 แต่จุดวาบไฟของพวกมันก็มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 977-2551 น้ำมันไฮดรอลิก-พื้นฐานน้ำมันแร่ (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2551) กำหนดเกณฑ์จุดวาบไฟต่ำสุดที่ 168°C สำหรับน้ำมันไฮดรอลิก VG68 อ้างถึงการทดสอบแบบ Pensky-Martens Closed cup เช่นเดียวกับการทดสอบของงานวิจัยนี้

Table 3 Results of physical and chemical properties.

รหัส	ความหนืด @40°C, cSt	ความหนืด @100°C,cSt	ดัชนีความหนืด	จุดวาบไฟ °C	จุดไหลเท °C
PTT46	47.1 ¹	6.92 ¹	102 ¹	241 ^{1,2}	-9
PTT68	68.98 ¹	8.9 ¹	102 ¹	256 ^{1,2}	-9
WVO	51.5	9.1	159	NA ⁴	6
WVO+EVA5	573	39.6	110	NA ⁴	6
WVO+EVA8	NA ⁴	70.2	NA	NA ⁴	NA
WVO+EVA5+AW	562	37.7	105	NA ⁴	6
WVO+EVA8+AW	NA ⁴	72	NA	NA ⁴	NA
BIOD	5.81	2.01	157	176 ³	NA
BIOD+EVA5	48.6	11.25	233	174 ³	NA
BIOD+EVA8	418	23.6	66	194 ³	NA
BIOD+EVA5+AW	57.1	11	188	174 ³	NA
BIOD+EVA8+AW	324	23.6	92	188 ³	NA

Note: ผลการทดสอบจากผู้ผลิตโดยตรง, ² ทดสอบแบบ Cleveland Open Cup Tester, ³ ทดสอบแบบ Pensky-Martens Closed Cup Tester
⁴ ไม่สามารถแสดงผลได้เพราะเกินความสามารถของเครื่องทดสอบ

เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันลดต่ำลงความหนืดหรือความต้านทานการไหลของน้ำมันจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนในที่สุดน้ำมันจะหยุดไหล อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันเริ่มหยุดไหลเรียกว่า “จุดไหลเท” โดยปกติคุณสมบัติการไหลและต้านทานต่อสภาพอากาศที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันพืชเป็นปัญหาหลัก (Sevim and Svajus, 2010) จาก (Table 1) พบว่าจุดไหลเทของ BIOD+ EVA5, BIOD+EVA5+AW และ WVO มีค่าสูงกว่าจุดไหลเทของ PTT46 และ PTT68 และสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.977-2551 อีกด้วย การปรับโครงสร้างทางเคมี (Josiah and Quan, 2016) สามารถช่วยแก้ปัญหาและปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันพืชที่อุณหภูมิต่ำได้

3.2 ผลของคุณสมบัติไทรโบโลยี

น้ำมันไฮดรอลิกทั้ง 3 ที่ถูกคัดกรองจากผลของคุณสมบัติกายภาพและเคมีว่าคุณสมบัติเบื้องต้นใกล้เคียงกับ PTT46 และ PTT68 จึงนำมาศึกษาคุณสมบัติไทรโบโลยีด้วยเครื่อง CSM แบบ Ball on Disk ที่เงื่อนไขการทดสอบเดียวกันตาม (Table 2) สำหรับ (Figure 4) เป็นกราฟแสดงค่า COF ที่เวลาใดๆ ระหว่างผิวสัมผัส Disk และ Ball โดยมีน้ำมันไฮดรอลิกที่ศึกษาเป็นสารหล่อลื่น ลักษณะกราฟ COF จะเข้าสู่สภาวะคงที่ ณ. เวลาหนึ่ง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยแสดงใน (Figure 5) พบว่าน้ำมันไฮดรอลิกที่ถูกเลือกทั้ง 3 ตัวอย่างมี

ค่าเฉลี่ย COF ต่ำกว่า PTT68 และ BIOD+EVA5+AW มีค่าเฉลี่ย COF ต่ำที่สุดเพราะมีสารต่อต้านการสึกหรอ เห็นได้ว่าน้ำมันไฮดรอลิกที่ถูกเลือกเหล่านี้ให้คุณสมบัติการหล่อลื่นที่ดีกว่าน้ำมันไฮดรอลิกเชิงพาณิชย์อย่าง PTT68. L.A. Quinchia et al. (2014) อธิบายไว้ว่า EVA ในน้ำมันพืชช่วยลดความเสียดทานของพื้นผิวสัมผัสและการสึกหรอด้วย และใน WVO มีน้ำมันพืชเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นสารหล่อลื่นที่ดีอยู่แล้วโดยมีสายโซ่โมเลกุลของกรดไขมันในน้ำมันพืชเป็นตัวช่วยสร้างชั้นฟิล์มระหว่างผิวสัมผัสทั้ง 2 ทำให้มันไม่สัมผัสกันโดยตรง (Alessandro et al., 2017).

ผลจากกล้องจุลทรรศน์ (Figure 6) แสดงพื้นผิวหน้าตัดบริเวณที่สึกหรอและเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณสึกหรอของ Ball เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาตรการสึกหรอแสดงใน (Figure 5) พบว่าปริมาตรสึกหรอของน้ำมันไฮดรอลิกทั้ง 3 ตัวอย่างมีต่ำกว่า PTT68 อย่างเห็นได้ชัดและเป็นแนวโน้มเดียวกันกับค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยด้วย เนื่องจากผลของ EVA ตามคำอธิบายข้างต้น และเป็นที่น่าสนใจว่าผลของ WVO (ปราศจาก EVA) ก็น่าสนใจ เพราะ WVO มีน้ำมันพืชเป็นองค์ประกอบหลักโดยมีกรดไขมันเป็นส่วนประกอบซึ่งเป็นสารหล่อลื่นที่ดีอยู่แล้ว และงานวิจัย Syahrullail et al., (2013) แสดงให้เห็นว่าน้ำมันปาล์มให้คุณสมบัติต่อต้านการสึกหรอที่ดีกว่าน้ำมันไฮดรอลิกพื้นฐานน้ำมันแร่

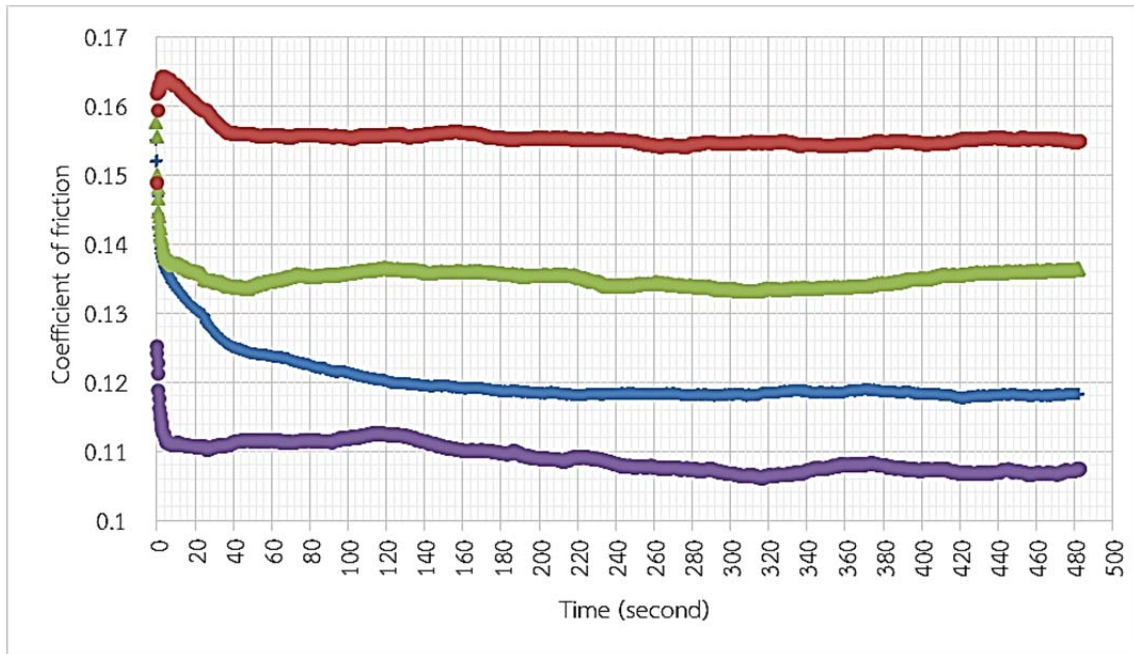


Figure 4 Coefficient of friction at distance of ball by CSM tribometer.

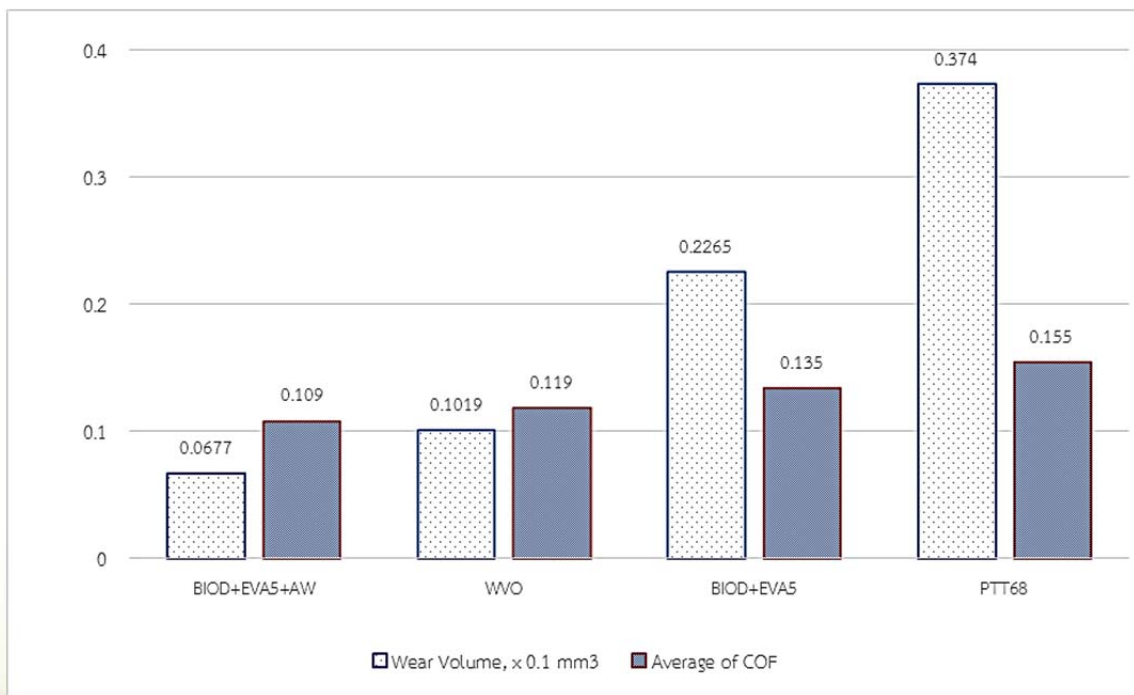


Figure 5 Comparison of average of COF and wear volume for hydraulic oils.

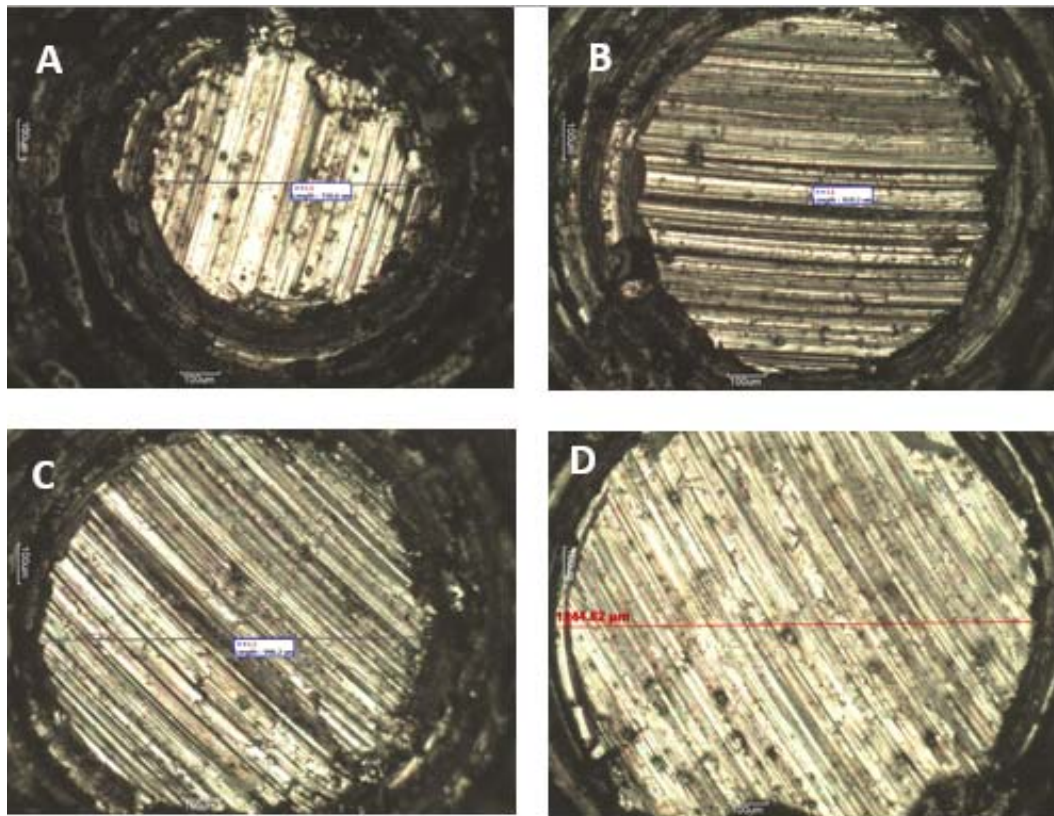


Figure 6 Wear characteristic on Ball by microscope A) BIOD+EVA5+AW, B) WVO, C) BIOD+EVA5 and D) PTT68.

4. สรุปผลงานวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ-เคมี และสมบัติโทรโพลีของน้ำมันไฮดรอลิกพื้นฐานน้ำมันพืชเก่าใช้แล้วที่พัฒนาขึ้นทำให้เชื่อได้ว่า มีศักยภาพทดแทนน้ำมันไฮดรอลิกพื้นฐานปิโตรเลียมได้ จากบทสรุปต่อไปนี้

- EVA เป็นตัวปรับความหนืดที่ดีโดยปรับความหนืดBIOD จาก 5.81 cSt เป็น 48.6 cSt (BIOD+EVA5) ที่ 40°C ทำให้ความหนืดมีค่าใกล้เคียงกับความหนืดของ PTT46 ที่ 40°C

- ดัชนีความหนืดน้ำมันไฮดรอลิกพื้นฐานน้ำมันพืชเก่าใช้แล้วทั้ง 3 ตัวอย่าง ได้แก่ BIOD+EVA5+AW, BIOD+EVA5 และ WVO มีค่าสูงกว่า PTT46 และ PTT68 ซึ่งคุณสมบัติที่ดีของน้ำมันไฮดรอลิก

- จุดวาบไฟของน้ำมันไฮดรอลิกพื้นฐานน้ำมันพืชเก่าใช้แล้วทั้ง 3 ตัวอย่าง สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.977-2551 ขณะที่จุดไหลเทสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานและอาจเป็นปัญหาเมื่อใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ

- น้ำมันไฮดรอลิกพื้นฐานน้ำมันพืชเก่าใช้แล้วทั้ง 3 ตัวอย่าง แสดงคุณสมบัติการหล่อลื่นและต่อต้านการสึกหรอที่ดีกว่า PTT68

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณเป็นอย่างสูงแต่กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือที่อนุเคราะห์การทดสอบ, ผศ.ดร. รัตน์พล มงคลรัตนสิทธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร เอื้อเพื่ออุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการเคมี, อาจารย์จีราภรณ์ ศรีประเสริฐ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี แนะนำและให้ความรู้การทดสอบโทรโพลีด้วยเครื่อง CSM.

6. เอกสารอ้างอิง

ไทยโพสต์. 2012. เสนอออกกฎหมายควบคุมน้ำมันทอดซ้ำ, แหล่งข้อมูล: <http://suchons.wordpress.com/2012/05/07/> เข้าถึงเมื่อ 11 พฤษภาคม 2557.

ธาดา ทรัพย์พิพัฒนา, ชนินทร ศรีมิ่งมิตร และ ธนวรรณ พิณรัตน์. 2558. ปัจจัยสำคัญของปฏิภานทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อการผลิตไบโอดีเซล, วิศวกรรมลาดกระบัง 32(2), 1-5

ปกรณ ชุมรม, วารุณี เปรมานนท์ และ คมกริช ละวรรณวงษ์. 2559. การประยุกต์ใช้การปรับสภาพผิวเพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอในแม่พิมพ์ตัด, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 12 (1), 13-27.

ยูคอน. 2016. น้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic oil) เกิดฟองดำ US synthetic เหนือระดับ - Yukon, แหล่งข้อมูล <http://www.yukonlubricants.com/product-category/lubricants-for-industrial/hydraulic-oil/> เข้าถึงเมื่อ 18 กุมภาพันธ์ 2560.



- วารุณี เปรमानนท์. 2547. พฤติกรรมด้านไทรบอโลยีของผิวสัมผัสระหว่างเหล็กทำพิมพ์และเหล็กกล้าไร้สนิมโดยการจำลองการทำงานบนเครื่องแบบ Ball-on-disk. การประชุมวิชาการเครื่องช่วยวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18 ประจำปี 2547. ขอนแก่น, มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม (2551). มอก.977-2551 น้ำมันไฮดรอลิก - พื้นฐานน้ำมันแร่, ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป, เล่มที่ 125 ตอนพิเศษ 98ง.
- Alejandrina Campanella, Eduardo Rustoy, Alicia Baldessari and Miguel A. Baltanás. 2010. Lubricants from chemically modified vegetable oils. *Bioresource Technology* 101, 245–254.
- Alessandro Ruggiero, Roberto D' Amato, Massimiliano Merola, Petr Valásek, Miroslav Müller. 2017. Tribological characterization of vegetal lubricants: Comparative experimental investigation on *Jatropha curcas* L. oil, Rapeseed Methyl Ester oil, Hydrotreated Rapeseed oil, *Tribology International* 109, 529-540.
- G.Mendoza, A.Igartua, B.Fernandez, F.Urquiola, S.Vivanco and R.Arguizoniz. 2011. Vegetable oils as hydraulic fluids for agricultural applications, *GRASAS Y ACEITES* 61(1), 29-38.
- I.Golshokouh, J.Y.Wira, N.A.Farid and S.Syahrullail. 2013. Palm fatty acid distillate as an alternative source for hydraulic oil, *Applied Mechanics and Materials* 315, 941-945.
- J.E. Martín-Alfonso and C.Valencia. 2015. Tribological, rheological, and microstructural characterization of oleogels based on EVA copolymer and vegetables oils for lubricant applications, *Tribology International* 90, 426–434.
- Josiah McNutt and Quan (Sophia) He. 2016. Development of biolubrications from vegetable oils via chemical modification, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 36, 1-12.
- K.Kamalakar, Amit Kumar Rajak, R.B.N Prasad, and M.S.L Karuna. 2013. Rubber seed oil-based biolubricant base stocks: A potential source for hydraulic oils, *Industrial Crops and Products* 51, 249–257.
- L.A.Quinchia, M.A.Delgado, C.Valencia, J.MFranco and C.Gallegos. 2010. Viscosity modification of different vegetable oils with EVA copolymer for lubricant applications, *Industrial Crops and Products* 32, 607–612.
- L.A.Quinchia, M.A. Delgado, T.Reddyhoff, C.Gallegos and H.A. Spikes. 2014. Tribological studies of potential vegetable oil-based lubricants containing environmentally friendly viscosity modifiers, *Tribology International* 69, 110-117.
- Lou A, and T.Honary. 1996. An investigation of the use of soybean oil in hydraulic systems, *Biosource Technology* 56, 41-47.
- Piyush S. Lathi and Bo Mattiasson. 2007. Green approach for the preparation of biodegradable lubricant base stock from epoxidized vegetable oil, *Applied Catalysis B: Environmental* 69, 207–212.
- Ruggiero A, D'Amato R., Merola M., Valásek P. and Müller M. 2016. On the tribological performance of vegetal lubricants: experimental investigation on *Jatropha Curcas* L. oil, *Procedia Engineering* 149, 431 – 437.
- Sevim Z. Erhan and Svajus Asadauskas. 2000. Lubricant basestocks from vegetable oils, *Industrial Crops and Products* 11, 277–282.
- Sovereign Lubricants (UK) Ltd. 2016. Omega 904 – Industrial Oil Concentrate, Available at: <http://sovereignomega.co.uk/omega-904-industrial-oil-concentrate/> Accessed on 28 March 2016.
- S. Syahrullail, N. Nuraliza, M.I. Izhan, M.K. Abdul Hamid, D. Md Razak. 2013. Wear Characteristic of Palm Olein as Lubricant in Different Rotating Speed, *Procedia Engineering* 68, 158 – 165.
- Theo Mang, Kirsten Bobzin, and Thorsten Bartels. 2011. *Industrial Tribology: Tribosystems, Friction, Wear and Surface Engineering, Lubrication*, Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Tirth M. Panchal, Ankit Patel, D.D. Chauhan, Merlin Thomas and Jigar V. Patel. 2017. A methodological review on bio-lubricants from vegetable oil based resources, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70, 65–70.
- Yaogang Wang, Changhe Li, Yanbin Zhang, Benkai Li, Min Yang, Xianpeng Zhang, Shuming Huo, Guotao Liu and Mingge Zhai. 2017. Comparative evaluation of the lubricating properties of vegetable-oil-based nanofluids between frictional test and grinding experiment, *Journal of Manufacturing Processes* 26, 94-104.