

การคืนสภาพน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม Recovery of Lube Base Oil from Used Lubricant Oil by Mixed Solvent Extraction

ณัฐชา เพ็ชรชัย¹

nattacha.p@en.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

เทคนิคการสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดและเป็นหนึ่งในวิธีที่มีค่าใช้จ่ายน้อยในการคืนสภาพน้ำมันพื้นฐาน (Base oil) จากน้ำมันเครื่องใช้แล้ว งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการคืนสภาพน้ำมันพื้นฐานจากน้ำมันเครื่องใช้แล้ว โดยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายผสม ตัวทำละลาย 3 ชนิดที่ศึกษา ได้แก่ 2-โพรพานอล, 1-บิวทานอล, และ เมทิลเอทิลคีโตน พบว่าที่สัดส่วนผสม 40:30:30 ร้อยละโดยน้ำหนัก สามารถลดปริมาณโลหะหนักได้มากที่สุดโดยเหลือเหล็ก 38.96 มก./กก. แคลเซียม 1565.63 มก./กก. และไม่มีอะลูมิเนียม น้ำมันที่บำบัดแล้วจะนำไปฟอกสีโดยการกลั่นสุญญากาศในช่วงอุณหภูมิ 320-420 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 40 มิลลิบาร์ ผลได้ของน้ำมันพื้นฐานที่กลั่นได้ 87.34% และพบว่าไม่มีเหล็กกับอะลูมิเนียม แต่ยังคงมีแคลเซียมเหลืออยู่ 6.778 มก./กก. น้ำมันหล่อลื่นที่ได้มีคุณสมบัติตามมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นที่กรมธุรกิจพลังงานประกาศไว้

คำสำคัญ: การสกัดด้วยตัวทำละลาย, น้ำมันเครื่องใช้แล้ว, น้ำมันพื้นฐาน, โลหะหนัก

Abstract

Solvent extraction technique is one of the most efficiently extraction processes and the cheapest technique for recovering base oil from used lubricating oil. This research was to study recovery of base oil from used lubricant oil by mixed solvent extraction method. The three solvents were studied: 2-propanol, 1-butanol, and methyl-ethyl-ketone. The result showed that the mixture ratio by weight of solvents at 40:30:30 give the best performance of reducing the highest amount of heavy metals: Iron was reduced to 38.96 mg/kg, calcium 1565.63mg/kg and none aluminium. The color of the treated oil was also improved color by using vacuum distillation process at temperature of 320 to 420 °C with 40 mbar pressure. The distilled base oil yield was 87.34 %wt and there was no iron and aluminium found only 6.778 mg/kg of calcium remains in it. The properties of base oil meet the requirements of lubricant oil by the department of energy standard.

Keywords: solvent extraction, used lubricating oil, base oil, heavy metal.

¹ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

1. บทนำ

ปัจจุบันอัตราการเพิ่มขึ้นของจำนวนรถยนต์ ส่งผลให้น้ำมันเครื่องใช้แล้วที่ถูกถ่ายออกมาจากรถยนต์มีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย หากแต่ไม่มีการจัดเก็บและกำจัดอย่างถูกวิธีหรือน้ำมันเครื่องใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำอีกย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษพบว่า มีปริมาณน้ำมันเครื่องใช้แล้วเพียงร้อยละ 20-40 ที่มีภาคเอกชนจัดเก็บ เพื่อนำมาทำการปรับปรุงคุณภาพ แล้วจำหน่ายเป็นน้ำมันเตาเกรดซีสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนหน่วยงานขององค์กรท้องถิ่นเมื่อมีการจัดเก็บน้ำมันเครื่องใช้แล้วมา ก็จะใช้วิธีการเผาหรือฝังกลบ [1] กระบวนการนำน้ำมันเครื่องใช้แล้วกลับมาใช้ประโยชน์ สามารถแบ่งเป็น 4 วิธี ได้แก่ 1) การใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นร่วมกับการใช้ดินขาว 2) การกลั่นสุญญากาศ 3) การสกัดด้วยตัวทำละลาย และ 4) การไพโรไลซิส โดยใช้อุณหภูมิสูงเพื่อทำลายพันธะภายในและระหว่างโมเลกุลของสารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งแต่ละวิธีให้ผลที่ต่างกันโดยวิธีที่ 1 ถึงวิธีที่ 3 จะได้ผลิตภัณฑ์ เป็นน้ำมันพื้นฐาน (base oil) ส่วนวิธีที่ 4 จะได้น้ำมันเชื้อเพลิง หากเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีการคืนสภาพน้ำมันพื้นฐานแล้วนั้น วิธีการใช้ตัวทำละลายจะเป็นวิธีที่เกิดมีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากลดปริมาณโลหะหนักได้ดี ค่าใช้จ่ายขึ้นกับราคาของตัวทำละลายที่เลือกใช้ อีกทั้งยังสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีก เทคนิคการคืนสภาพน้ำมันเครื่องด้วยการใช้ตัวทำละลายสกัดเป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายน้อย ให้ประสิทธิภาพดี โดยปัจจัยที่สำคัญในการสกัด ได้แก่ ชนิดตัวทำละลาย อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อน้ำมันเครื่อง อุณหภูมิและความดันในการสกัด Elbashir N.O. และคณะ [2] น้ำมันเครื่องใช้แล้วมีโลหะหนักหลายชนิดปนเปื้อน เช่น เหล็ก 76 มล.ก./กก. อลูมิเนียม 8 มล.ก./กก. และแคลเซียม 1,357 มล.ก./กก. เป็นต้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบการคืนสภาพน้ำมันพื้นฐานวิธีเก่าที่ใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นและดินขาว พบว่าวิธีสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์สามารถลดโลหะหนักได้มากกว่าวิธีการใช้กรดร่วมกับดินขาว Hamad A. และคณะ [3] เมื่อเติมตัวทำละลายลงในน้ำมันเครื่องใช้แล้ว ตัวทำละลายจะละลายในน้ำมันและทำให้สิ่งปนเปื้อน เช่น โลหะหนัก เถ้า และอื่น ๆ ตกตะกอนลงมา dos Reis และ Jeronimo [4] การใช้ตัวทำละลายที่ใช้สกัดน้ำมันเครื่อง

ใช้แล้วที่อัตราส่วน 0.5:1, 0.8:1 และ 1:1 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิห้อง พบว่า ที่อัตราส่วน 1:1 ให้ผลการลดปริมาณโลหะหนักสูงที่สุดโดยมีความสามารถในการสกัดด้วยตัวทำละลายเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ 1-บิวทานอล เมทิลเอทิลคีโตน 2-โพรพานอล สามารถลดปริมาณเหล็ก แมงกานีส และสังกะสี ได้มากตามลำดับ และเมื่อนำไปกลั่นสุญญากาศที่อุณหภูมิ 380-420 องศาเซลเซียส จะได้ น้ำมันพื้นฐานที่มีคุณสมบัติตามประกาศกรมธุรกิจพลังงานเรื่องน้ำมันหล่อลื่น [5]

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการคืนสภาพน้ำมันพื้นฐานจากน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ผสม ซึ่งสุกัญญา แก้วผาสุขและคณะ [5] พบว่า 1-บิวทานอลสามารถลดปริมาณโลหะหนักได้ดี แต่เนื่องจากราคาต่อลิตรค่อนข้างสูง จึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการคืนสภาพ น้ำมันพื้นฐานมากไปด้วย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาหาสัดส่วนผสมของตัวทำละลายอินทรีย์ 3 ชนิด คือ 1-บิวทานอล, เมทิลเอทิลคีโตน และ 2-โพรพานอล ที่สามารถลดปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ เหล็ก อลูมิเนียม และแคลเซียม เพื่อลดต้นทุนในการสกัดโลหะหนักออกจากน้ำมันเครื่องใช้แล้ว และศึกษาการนำตัวทำละลายผสมมาใช้ซ้ำ

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบและสารเคมี

น้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วในงานวิจัยนี้เป็นชนิดที่ไม่ทราบแหล่งที่มา เกิดจากน้ำมันเครื่องหลายชนิดผสมกัน เมื่อนำมาวัดสมบัติต่าง ๆ ได้ผลดังตารางที่ 1 ส่วนตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ 2-โพรพานอล ยี่ห้อ EMSURE, 1-บิวทานอล ยี่ห้อ UNIVAR และเมทิลเอทิลคีโตน ยี่ห้อ UNILAB

2.2 การคืนสภาพน้ำมันพื้นฐานด้วยตัวทำละลายผสม

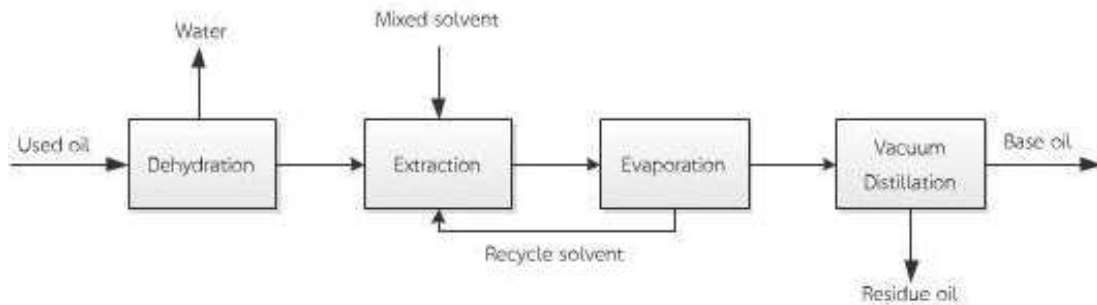
มี 4 ขั้นตอน (ดังรูปที่ 1) ประกอบด้วย การกำจัดน้ำ (Dehydration) การสกัด (Extraction) การระเหยตัวทำละลาย (Evaporation) และการกลั่นสุญญากาศ (Vacuum Distillation) ในขั้นตอนแรกนำน้ำมันเครื่องใช้แล้วมากำจัดน้ำ โดยการให้ความร้อนที่ 150 องศาเซลเซียส กวนที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งน้ำมันเครื่อง

จำนวน 165 กรัม ทำการผสมตัวทำละลาย 3 ชนิดคือ 2-โพรพานอล, 1-บิวทานอล และเมทิลเอทิลคีโตน ที่สัดส่วน 30:40:30, 25:40:35, 20:50:30, 40:30:30 และ 45:20:35 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำมาสกัดกับน้ำมันเครื่อง ใช้แล้ว ในอัตราส่วน 1:1 ควบคุมอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส กวนที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที นาน 24 ชั่วโมง แล้ว ตั้งทิ้งไว้ 7 วันเพื่อให้โลหะหนักตกตะกอน ทำการระเหย ตัวทำละลายออกจากน้ำมันด้วยระบบสุญญากาศ ตัวทำละลายจะระเหยและควบแน่นเป็นของเหลวแยกไว้ บันทึคน้ำหนักตัวทำละลายที่ระเหยได้เทียบกับน้ำมันเริ่มต้น นำน้ำมันที่ผ่านการสกัดไปกรองสุญญากาศเพื่อแยก น้ำมันส่วนที่มีโลหะหนักตกตะกอนออก นำน้ำมันที่บำบัด แล้วไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS) ยี่ห้อ Varian รุ่น Spectra AA 240 FS แล้วทำการเลือกสัดส่วนตัวทำละลาย

ที่สามารถลดปริมาณโลหะหนักได้มากที่สุดมากล้นภายใต้ สภาวะสุญญากาศ เพื่อแยกน้ำมันพื้นฐาน (Base oil) ออกมาที่ความดัน 40 มิลลิบาร์ ช่วงอุณหภูมิ 320-420 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนนี้สามารถลดปริมาณโลหะหนัก และปรับสีของน้ำมันให้ดีขึ้น

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของน้ำมันเครื่องใช้แล้วก่อนบำบัด

คุณสมบัติ	ค่าที่ได้
จุดวาบไฟ (°C)	200
ความถ่วงจำเพาะ	0.899
ความหนืด (cSt.) ที่อุณหภูมิ 100 °C	9.12
ค่าสี	>8.00
ปริมาณเหล็ก (มก./กก.)	57.05
ปริมาณอะลูมิเนียม (มก./กก.)	2.90
ปริมาณแคลเซียม (มก./กก.)	2350.96



รูปที่ 1 กระบวนการบำบัดน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยการสกัด

ตารางที่ 2 มาตรฐานการทดสอบสมบัติของน้ำมัน

สมบัติ	มาตรฐาน	อุปกรณ์
จุดวาบไฟ °C	ASTM D93	ยี่ห้อ Pensky Martens รุ่น HFP 380
ความหนืด @40°C	ASTM D445	ยี่ห้อ Tomson รุ่น Tv 2500
ค่าสี	ASTM D1500-96	ยี่ห้อ Lovibond รุ่น petroleum AF650
ความถ่วงจำเพาะ	ASTM D1298	ไฮโดรมิเตอร์ชนิดแก้ว

2.3 การทดสอบสมบัติของน้ำมัน

น้ำมันเครื่องใช้แล้วและน้ำมันเครื่องที่ผ่านการสกัด และกลั่นสุญญากาศจนได้เป็นน้ำมันพื้นฐาน จะนำมา ทดสอบสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ จุดวาบไฟ ความหนืด ค่าสีและ

ความถ่วงจำเพาะ ตามมาตรฐาน ASTM (ดังตารางที่ 2) เพื่อเทียบกับมาตรฐานของน้ำมันหล่อลื่นที่กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงานได้ประกาศไว้

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 สัดส่วนผสมของตัวทำละลาย

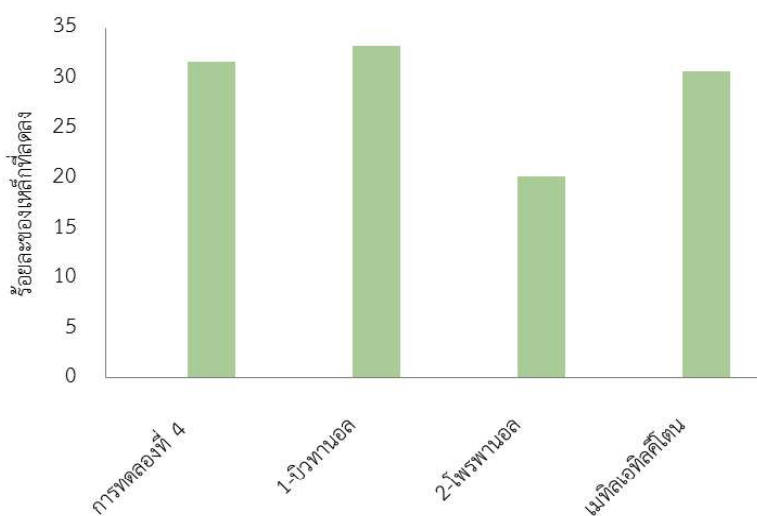
ในการศึกษาสัดส่วนผสมตัวทำละลายได้นำน้ำมันเครื่องที่ผ่านการบำบัดไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องวิเคราะห์ AAS ได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3 โลหะหนักที่มีอยู่ในน้ำมันเครื่องใช้แล้วจากการบำบัดด้วยตัวทำละลายผสม ผลปรากฏว่าการทดลองที่ 4 สามารถลดปริมาณโลหะหนักได้ดีที่สุดกว่าทุกการทดลอง โดยมีโลหะหนักที่เหลืออยู่ในน้ำมันเครื่อง ได้แก่ เหล็ก 38.96 มก./กก. ไม่มีลูมิเนียม และมีแคลเซียม 1565.63 มก./กก. จากผลดังกล่าวจึงเลือกการทดลองที่ 4 มาเป็นสัดส่วนตัวทำละลายผสมที่ดีที่สุด การสูญเสียตัวทำละลาย

ของแต่ละการทดลองใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 30 เนื่องมาจากกระบวนการระเหย

รูปที่ 2 เปรียบเทียบร้อยละการลดลงของเหล็ก ระหว่างการใช้ตัวทำละลายผสม (จากการทดลองที่ 4) กับการใช้ตัวทำละลายผสมชนิดเดียว [5] พบว่าตัวทำละลายผสมมีความสามารถดีกว่าการใช้สาร 2-โพรพานอลและเมทิลเอทิลคีโตนเพียงอย่างเดียว และการใช้ 1-บิวทานอลเพียงอย่างเดียว ให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณของเหล็กมากที่สุด แต่เมื่อเทียบค่าใช้จ่ายของ 1-บิวทานอลในตัวทำละลายผสมมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าการใช้ 1-บิวทานอลเพียงอย่างเดียว แต่ให้ผลการลดปริมาณเหล็กใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักของน้ำมันที่ผ่านการบำบัด

การทดลองที่	ตัวทำละลาย (%wt)			ปริมาณโลหะหนัก (มก./กก.)			การสูญเสียตัวทำละลาย(%wt)
	2-โพรพานอล	1-บิวทานอล	เอทิลเมทิลคีโตน	เหล็ก	อะลูมิเนียม	แคลเซียม	
1	30	40	30	44.17	0.00	1831.42	35.53
2	25	40	35	51.03	0.00	1920.81	26.72
3	20	50	30	53.71	0.30	2006.50	32.55
4	40	30	30	38.96	0.00	1565.63	31.88
5	45	20	35	49.81	0.34	2074.32	33.12



รูปที่ 2 เปรียบเทียบร้อยละการลดลงของเหล็กระหว่างตัวทำละลายชนิดเดียวกับตัวทำละลายผสม

3.2 สมบัติของน้ำมันพื้นฐาน

น้ำมันที่ผ่านการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายในสัดส่วนของการทดลองที่ 4 มากล้นสุญญากาศที่ความดัน 40 มิลลิบาร์ ช่วงอุณหภูมิ 320-420 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 5 พบว่าน้ำมันที่ผ่านการกลั่นสุญญากาศ หลังจากผ่านกระบวนการบำบัดด้วยตัวทำละลายผสม มีจุดวาบไฟต่ำกว่ามาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นที่กรมธุรกิจพลังงานได้ประกาศไว้เล็กน้อย ความหนืดมากกว่า 3.8 cSt ค่าสี 4.5 ส่วนปริมาณโลหะหนักสามารถลดปริมาณเหล็ก และอะลูมิเนียมได้หมด แต่ยังคงมีแคลเซียมเหลืออยู่ปริมาณ น้อยมากเมื่อเทียบกับก่อนการบำบัด (คิดเป็นร้อยละ 71.2 ของปริมาณโลหะหนักที่ลดไปได้) ส่วนการทดลองที่ 5 ที่ใช้สัดส่วนตัวทำละลาย 45:20:35 ให้คุณสมบัติของน้ำมัน พื้นฐาน เช่น จุดวาบไฟและความหนืด น้อยกว่าการทดลอง

ที่ 4 ที่ใช้ปริมาณ 1-บิวทานอลมากกว่า ส่วนโลหะหนัก พบว่าไม่มีเหล็กและอะลูมิเนียมเหลืออยู่ แต่ยังคงมี ปริมาณแคลเซียมเหลือแต่มากกว่าการทดลองที่ 4 อีกทั้งได้ปริมาณน้ำมันพื้นฐานที่กลั่นได้น้อยกว่าเล็กน้อย

3.3 การใช้ตัวทำละลายผสมซ้ำ

เมื่อนำตัวทำละลายผสมทั้ง 5 การทดลองมาศึกษา การใช้ตัวทำละลายซ้ำ ดังตารางที่ 6 พบว่าการทดลองที่ 4 ก็ยังให้ผลการสกัดโลหะหนักที่ดีที่สุด โดยมีเหล็กเหลือ 47.49 มก./กก. อะลูมิเนียม 0 มก./กก. และ แคลเซียม 2039.17 มก./กก. แม้การนำตัวทำละลายมาใช้ซ้ำเป็นครั้งที่ 2 จะลดโลหะหนักได้ไม่เท่ากับการใช้ครั้งแรก แต่เมื่อเทียบกับ ความคุ้มค่าของการใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายการนำมา ใช้ซ้ำทำให้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำมันเครื่อง

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของน้ำมันพื้นฐานที่ผ่านกระบวนการบำบัด

คุณสมบัติ	น้ำมันเครื่อง ก่อนบำบัด	การทดลองที่ 4 หลังกลั่น	การทดลองที่ 5 หลังกลั่น	มาตรฐานน้ำมันหล่อ ลื่น [6]
จุดวาบไฟ (°C)	200	180	150	>182
ความถ่วงจำเพาะ	0.899	0.876	0.855	ไม่ระบุ
ความหนืด (cSt.) ที่อุณหภูมิ 100 °C	9.12	12	9.59	>3.8
ค่าสี	>8.0	4.5	4.5	ไม่ระบุ
ปริมาณเหล็ก (มก./กก.)	57.05	0	0	-
ปริมาณอะลูมิเนียม (มก./กก.)	2.90	0	0	-
ปริมาณแคลเซียม (มก./กก.)	2350.96	6.778	7.439	-
ปริมาณน้ำมันที่กลั่นได้ (%wt))	-	87.34	85.12	-

ค่าใช้จ่ายของตัวทำละลายผสมที่ใช้ในการทดลอง ที่ 4 คิดจากราคาของตัวทำละลายแต่ละชนิด 2-โพรพาน ออล ราคาลิตรละ 321 บาท 1-บิวทานอลราคาลิตรละ 590.64 บาทและเมทิลเอทิลคีโตน ราคาลิตรละ 483.64 บาท เมื่อใช้สัดส่วนผสม 40:30:30 โดยน้ำหนัก คิดเป็นค่าใช้จ่าย เฉพาะในส่วนของตัวทำละลายต่อกรัมน้ำมันเครื่องใช้แล้ว คือ 0.56 บาท เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายของการทดลอง ที่ใช้ตัวทำละลายชนิดเดียวคือ 1-บิวทานอล [5] ที่สามารถ ลดปริมาณโลหะหนักเหล็กได้ดีที่สุด ซึ่งจะมีค่าใช้จ่าย อยู่ที่ 0.73 บาท/กรัม ส่วนต้นทุนด้านพลังงานโดยเฉพาะ

ที่ใช้ในขั้นตอนการกลั่นสุญญากาศ ยังไม่ได้มีการคิดคำนวณไว้

4. สรุป

การคืนสภาพน้ำมันเครื่องพื้นฐานจากน้ำมันเครื่อง ใช้แล้วโดยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมจาก 2-โพรพานอล, 1-บิวทานอล และเมทิลเอทิลคีโตน ที่อัตราส่วนร้อยละโดย น้ำหนักที่ 40:30:30 ให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณ โลหะหนักใกล้เคียงกับการใช้ตัวทำละลาย 1-บิวทานอล ที่มีราคาสูงเพียงอย่างเดียว อีกทั้งยังสามารถนำตัวทำละลาย ผสมไปใช้สกัดโลหะหนักในน้ำมันเครื่องซ้ำได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่สกัดครั้งแรกกับการใช้ตัวทำละลายสกัดซ้ำ

การทดลองที่	ปริมาณโลหะหนักที่เหลืออยู่ในน้ำมันที่ผ่านการบำบัดแล้ว (มก./กก.)					
	เหล็ก		อะลูมิเนียม		แคลเซียม	
	ครั้งแรก	ใช้ซ้ำ	ครั้งแรก	ใช้ซ้ำ	ครั้งแรก	ใช้ซ้ำ
1	44.17	54.81	0	2	1831.42	2002.67
2	51.03	51.9	0	1.1	1920.81	1989.40
3	53.71	54.08	0.3	1.45	2006.50	2013.34
4	38.96	47.49	0	0	1565.63	2039.17
5	49.81	52.14	0.34	1.5	2074.32	2117.03

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนวิจัยที่ได้รับสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) งบประมาณแผ่นดินประจำปีพ.ศ. 2559 รวมทั้งภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนเครื่องมือวิเคราะห์โลหะหนัก

เอกสารอ้างอิง

- [1] ณัฐชา เพ็ชรยิ้ม. 2557. คีนซีพ่น้ำมันเครื่องใช้แล้วกันเถอะ. สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ทรูปเพิ้ล กรุ๊ปจำกัด.
- [2] N.O.Elbashirb.,S.M.AL-Zahrana., M.I.Abdul Mutalibc., A.E. Abasaeeda. 2002.A method of predicting effective solventextraction parameters for recycling ofused lubricating oils”. ChemicalEngineering and Processing: Process Intensification. 41(9) :765-769.
- [3] Ahmad Hamad., Essam Al-Zubaidy., Muhammad E.Fayed. 2005. Used lubricating oil recycling using hydrocarbon solvents. Journal of Environmental Management.74:153–159.
- [4] dos Reis, M.A., Silva Jeronimo, M., 1988. Waste lubricating oil re-refining by extraction flocculation A scientific basis to design efficient solvents. Industrial and Engineering Chemistry Resrarch.27, 1222-1228.
- [5] สุกัญญา แก้วผงสุขและชลธิดา สิทธิศักดิ์. 2555. การคีนสภาพน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานน้ำมันเครื่องใช้แล้วโดยใช้การสกัดด้วยตัวทำละลาย. ภาควิชาวิศวกรรมเคมีและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [6] ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน เรื่อง กำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น พ.ศ. 2554 [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://elaw.doeb.go.th/document_doeb/349_0001.pdf (15 กันยายน 2555).