

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว เพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลว

Study on Optimum Pyrolytic Conditions of Waste Lube Oil for Producing Liquid Fuel

วิสาฯ มานะสมบูรณ์พันธ์* และ สุวรรณี จรรย์ยาพูน

Wisa Manasomboonphan* and Suwanee Junyapoon

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะไพโรไลซิสที่เหมาะสมในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว โดยทำการทดลองในถังปฏิกรณ์ไพโรไลซิสภายใต้ระบบสุญญากาศที่มีการกวนแบบต่อเนื่อง 60 รอบต่อนาที ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้ โดยแปรค่าอุณหภูมิที่ 200, 300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนที่ 0.1, 0.45, 0.75 และ 1.0 ลิตรต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการไพโรไลซิส 1, 2 และ 3 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า สภาวะในการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 0.45 ลิตรต่อนาที และเวลาที่ใช้ในการไพโรไลซิส 2 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสม โดยได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 41.7% โดยปริมาตร

คำสำคัญ : กระบวนการไพโรไลซิส, น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว, เชื้อเพลิงเหลว

Abstract

This research studied the optimum pyrolytic conditions for producing liquid fuel from waste lube oil. The experiment was carried out in a stirred reactor at 60 rpm under vacuum conditions. Factors affecting on yield of liquid fuel product were investigated by varying pyrolytic temperature at 200, 300, 400 and 500 °C, purge nitrogen gas flow rate at 0.1, 0.45, 0.75 and 1.0 L/min and pyrolytic time at 1, 2 and 3 hrs. The experimental results showed that pyrolytic temperature at 300 °C, nitrogen gas flow rate at 0.45 L/min and pyrolytic time for 2 hours were the optimum conditions for producing liquid fuel from waste lube oil. Under these conditions, the yield of 41.7 % by volume of liquid fuel was obtained.

Keywords: pyrolysis process, waste lube oil, liquid fuel

*E-mail address : kibptone99erc@gmail.com โทรศัพท์: 034-466242 โทรสาร: 034-466243

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้น้ำมันหล่อลื่นปริมาณสูงขึ้น เนื่องจากการเติบโตของอุตสาหกรรมรถยนต์ ทำให้เกิดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วในแต่ละปีมากกว่า 240 ล้านลิตรต่อปี [1] โดยทั่วไปน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอน ตัวทำละลาย โลหะหนักต่างๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและยากต่อการบำบัด วิธีที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ได้แก่ การเผาไหม้เพื่อนำมาใช้เป็นพลังงาน การกลั่นภายใต้ระบบสุญญากาศ และการบำบัดโดยเคมีไฮโดรเจน [2] อย่างไรก็ตาม วิธีบำบัดเหล่านี้สามารถบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วได้เพียงบางส่วน แต่ยังคงเหลือกากของเสียซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม [3] ปัจจุบันการบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วโดยกระบวนการไพโรไลซิสได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น นอกจากจะได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซินซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์แล้ว [3] ส่วนที่เหลือยังสามารถนำไปใช้ในกระบวนการเผาไหม้ได้ กระบวนการไพโรไลซิสเป็นการสลายตัวด้วยความร้อนภายใต้ระบบสุญญากาศ บังคับที่มีผลต่อกระบวนการไพโรไลซิส ได้แก่ อุณหภูมิ ความดัน เวลา ชนิดของถังปฏิกรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสประกอบด้วยน้ำมันที่มีค่าความร้อนสูง ประมาณ 40-60% ก๊าซต่างๆ 10-30% ส่วนที่เหลือเป็นของแข็ง [4-7] และมีโอกาสเกิดไดออกซินและฟูแรนน้อยกว่าการเผาไหม้โดยตรง อย่างไรก็ตาม วิธีนี้มีข้อเสียคือ มีคาร์บอนในน้ำมัน มีกลิ่นค่อนข้างเหม็น และใช้ต้นทุนค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องนำเข้าถังปฏิกรณ์ไพโรไลซิสจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเพื่อผลิตเชื้อเพลิงเหลว โดยใช้ถังปฏิกรณ์ระดับ pilot scale ที่สร้างขึ้นเองเพื่อลดต้นทุนในการนำเข้าถังปฏิกรณ์จากต่างประเทศ และเพิ่มมูลค่าของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

2. วิธีการทดลอง

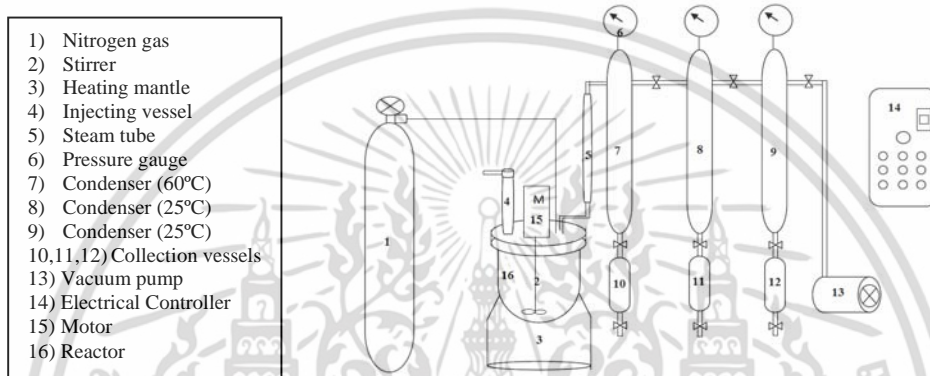
2.1 การเตรียมน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่ใช้ในการทดลองถูกเก็บรวบรวมจากศูนย์บริการรถยนต์ และโรงงานอุตสาหกรรมในท้องถิ่น จากนั้นนำไปกำจัดน้ำออกโดยการต้มที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วกรองตะกอนออกด้วยตะแกรงขนาด 100 เมช จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ, จุดวาบไฟ, ค่าความจุความร้อน, ปริมาณคลอไรด์, ปริมาณซัลเฟอร์, ค่าความหนืด, ปริมาณน้ำและตะกอน และปริมาณเถ้า ตามวิธีมาตรฐาน ASTM [8-13]

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

2.2.1 การสร้างถังปฏิกรณ์ไพโรไลซิส

ถังปฏิกรณ์ไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วในการทดลองนี้ ถูกสร้างขึ้นโดยมีองค์ประกอบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1



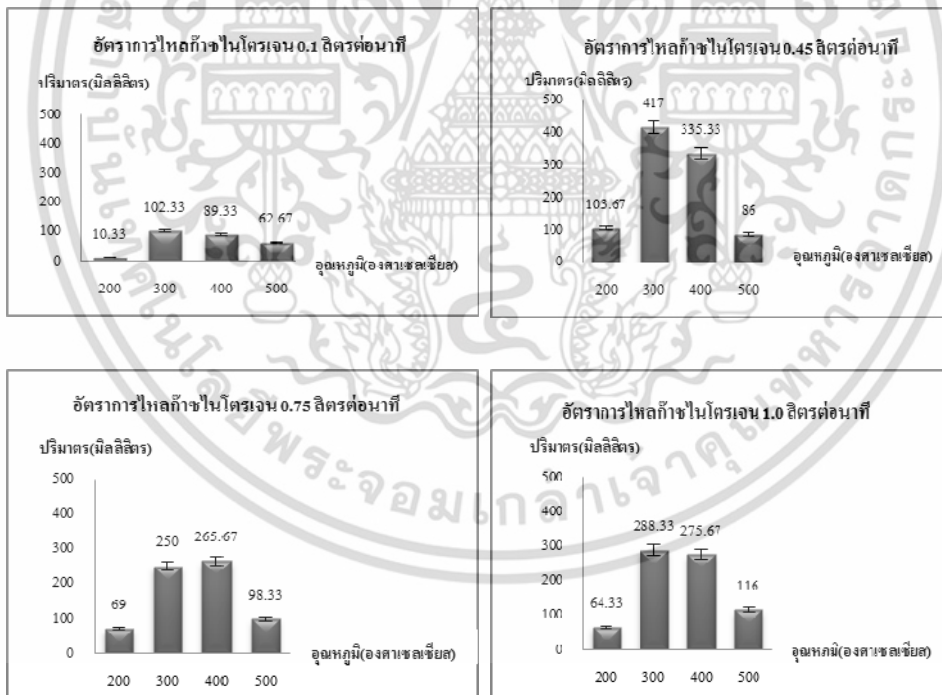
รูปที่ 1 ถังปฏิกรณ์ไพโรไลซิส (Pyrolytic reactor)

2.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

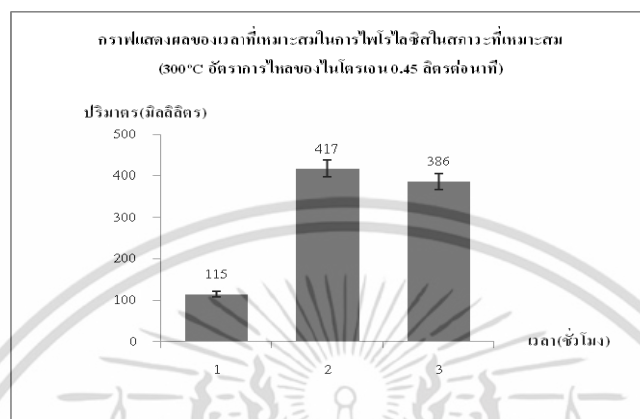
เติมน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วปริมาตร 1 ลิตรลงไปในถังปฏิกรณ์ขนาด 10 ลิตร ให้ความร้อนแก่น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วในถังปฏิกรณ์จนกระทั่งอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยกวนใบพัดที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาที เพื่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนภายในถังปฏิกรณ์อย่างสม่ำเสมอ จากนั้นผ่านก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในถังปฏิกรณ์โดยแปรค่าอัตราการไหลที่ 0.1, 0.45, 0.75 และ 1.0 ลิตรต่อนาที เพื่อไล่อากาศออกจากระบบ แปรค่าอุณหภูมิการไพโรไลซิสที่ 200, 300, 400 และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิและอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ได้ไปแปรค่าเวลาในการไพโรไลซิสที่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง ผลผลิตที่ได้จะถูกควบคุมเน้นในหอคอยแน่น (รูปที่ 1) วัดปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการทดลอง จากนั้นนำเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่สภาวะเหมาะสมไปวิเคราะห์หาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ, จุดวาบไฟ, ค่าความจุความร้อน, ปริมาณคลอรีน, ปริมาณซัลเฟอร์, ค่าความหนืด, ปริมาณน้ำและตะกอน และปริมาณเถ้า ตามวิธีมาตรฐาน ASTM [8-13] โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำผลผลิตได้ไปคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

3. ผลการทดลอง

จากรูปที่ 2 พบว่าปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 400 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิระหว่าง 300 – 400 องศาเซลเซียส เป็นช่วงอุณหภูมิที่ได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวสูง ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับจุดเดือดของน้ำมันหล่อลื่นที่มีค่าระหว่าง 340-500 องศาเซลเซียส [14] จากผลการทดลองพบว่า ที่อัตราการไหลของก๊าซในโตรเจน 0.1 ลิตรต่อนาที จะได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวต่ำ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอัตราการไหลของก๊าซต่ำทำให้พาสารระเหยออกจากถังปฏิกรณ์ได้น้อย ในขณะที่อัตราการไหลของก๊าซในโตรเจนที่ 0.75 และ 1.0 ลิตรต่อนาที อาจมีอัตราการไหลของก๊าซที่สูงเกินไป ทำให้พาสารผลิตภัณฑ์ที่ระเหยออกจากระบบก่อนเกิดการควบแน่น ดังนั้น อัตราการไหลของก๊าซในโตรเจนที่เหมาะสมคือที่ 0.45 ลิตรต่อนาที เมื่อนำสภาวะไพโรไลซิสที่เหมาะสมที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสและอัตราการไหลของก๊าซในโตรเจนที่ 0.45 ลิตรต่อนาที มาแปรค่าเวลาในการไพโรไลซิสที่ 1, 2 และ 3 ชั่วโมง พบว่าที่เวลา 2 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เหมาะสม โดยให้ผลิตภัณฑ์น้ำมันเชื้อเพลิงเหลวสูงสุดคือ 417 มิลลิลิตร (41.7%) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของก๊าซในโตรเจนในการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วต่อปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้



รูปที่ 3 ผลของเวลาในการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วต่อปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตได้

ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลเข้มและมีกลิ่นเหม็น มีคุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วก่อนและหลังการไพโรไลซิส และผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันไพโรไลซิส

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี	วิธีมาตรฐาน	ค่ามาตรฐานน้ำมันหล่อลื่น	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วก่อนไพโรไลซิส	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วหลังไพโรไลซิส
ความถ่วงจำเพาะ ที่ 15.6/15.6 °C	ASTM D 4052-09	<1	0.88	0.86
จุดวาบไฟ (°C)	ASTM D 93-10a	35	<40	<40
ค่าความจุความร้อน (Cal/g)	ASTM D 240-09	9,500	10,741	10,728
ปริมาณคลอไรด์ (mg/kg)	ASTM D 4929-07	-	63	63
ปริมาณซัลเฟอร์ (% wt)	ASTM D 4294-10	>1	0.438	0.438
ค่าความหนืดที่ 50 °C (mm ² /s)	ASTM D 445-11	72	46.74	18.08
ปริมาณน้ำและตะกอน (% vol)	ASTM D 1796-04	-	1.20	1.20
ปริมาณเถ้า (% wt)	ASTM D 482-07	-	0.7	0.574

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีพบว่า น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วหลังผ่านการบำบัดโดยกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่

0.45 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง มีค่าความถ่วงจำเพาะ จุดวาบไฟ ค่าความจุความร้อน ปริมาณคลอรีน ปริมาณซัลเฟอร์ ปริมาณน้ำและตะกอนไม่แตกต่างจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วก่อนผ่านการบำบัด แต่มีค่าความหนืดและปริมาณเถ้าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของน้ำมันหล่อลื่นทั่วไป พบว่ามีค่าจุดวาบไฟและค่าความจุความร้อนเกินค่ามาตรฐาน ส่วนค่าปริมาณซัลเฟอร์และความหนืดต่ำกว่ามาตรฐาน จากผลการทดลองพบว่าเชื้อเพลิงเหลวที่ผ่านการบำบัดโดยกระบวนการไพโรไลซิสมีค่าความจุความร้อนสูงและสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งจะทำให้การทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ และวิเคราะห์องค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอนในเชื้อเพลิงเหลวต่อไปในอนาคต

จากการประเมินผลความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อการไพโรไลซิสน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว 1 ลิตร พบว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดโดยการไพโรไลซิสจะได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 417 มิลลิลิตรซึ่งขายได้ราคา 25 บาทต่อลิตร คิดเป็นเงิน 10.43 บาท ส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่เหลือจากกระบวนการไพโรไลซิส 400 มิลลิลิตรซึ่งขายได้ราคา 17.50 บาทต่อลิตร คิดเป็นเงิน 7 บาท เมื่อหักค่าต้นทุนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว 11 บาทต่อลิตรและค่าไฟฟ้าที่ใช้ 2.4 บาท จะได้ผลกำไร 4.03 บาทต่อลิตร

4. สรุปผลการทดลอง

ดังปฏิกรณ์ไพโรไลซิสที่สร้างขึ้นสามารถบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วให้เป็นผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว โดยอาศัยหลักการการแตกตัวด้วยความร้อนภายใต้ระบบสุญญากาศ สภาวะเหมาะสมในการไพโรไลซิสที่ได้จากการทดลองนี้คือ ที่อุณหภูมิการไพโรไลซิส 300 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน 0.45 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลว 41.7% โดยปริมาตร

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยเชิงบูรณาการและเชิงพาณิชย์ และบริษัท ทีโออาร์ อินคัสตี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

เอกสารอ้างอิง

- [1] สิริพร แก่นสียา, 2546. แนวทางการจัดการน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 7(26) [Siriporn Kansiya, 2003. Waste lube oil management. *Environmental Journal*, 7(26) (in Thai).]
- [2] Ali, M.F., Rahman, F. and Hamdan, A.J., 1995. Techno-economic evaluation of waste lube oil refining. *International Journal of Production Economics*, 42, 263-273.

- [3] Lam, S.S., Russell, A.D., Lee, C.L. and Chase, H.A., 2012. Microwave-heated pyrolysis of waste automotive engine oils fuel properties of pyrolysis oil. *Fuel*, 91, 327-339.
- [4] Shen, L. and Zhang, D.K., 2003. An experimental study of oil recovery from sewage sludge by low-temperature pyrolysis in a fluidized-bed. *Fuel*, 82, 465-472.
- [5] Lam, S.S., Russell, A.D., Lee, C.L. and Chase, H.A., 2011. Production of hydrogen and light hydrocarbons as a potential gases fuel from microwave-heated pyrolysis of waste automotive engine oil. *International Journal of Hydrogen Energy*, 1-2, 1-11.
- [6] Kim S.S. and Kim S.H., 2000. Pyrolysis kinetics of waste automobile lubricating oil. *Fuel*, 79, 1943-1949.
- [7] Ramasamy, K.K. and T-Raissi, A., 2007. Hydrogen production from used lubricating oils. *Coal Today*, 129, 365-371.
- [8] ASTM Standard D 2887-08. 2008. Standard Test Method for Boiling Range Distribution of petroleum Fraction by Gas Chromatography. West Conshohocken, PA, ASTM International.
- [9] ASTM Standard D 445-11. 2008. Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity). West Conshohocken, PA, ASTM International.
- [10] ASTM Standard D 482-07. 2008. Standard Test Method for Ash from Petroleum Products. West Conshohocken, PA, ASTM International.
- [11] ASTM Standard D 1796-04. 2008. Standard Test Method Water and Sediment in Fuel oil by the Centrifuge Method (Laboratory Procedure). West Conshohocken, PA, ASTM International.
- [12] ASTM Standard D 93-10a. 2008. Standard Test Method for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester. West Conshohocken, PA, ASTM International.
- [13] ASTM Standard D 4052-09. 2008. Standard Test Method for Density, Relative Density, and API Gravity of Liquids by Digital Density Meter. West Conshohocken, PA, ASTM International.
- [14] Available at: <<http://www.sciencemath.org>> [Assessed 5 April 2013].