

การศึกษาเชิงทดสอบสมรรถนะการแยกความชื้นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ด้วยความร้อนรังสีอาทิตย์

Experimental Study on Performance of Moisture Separation in Biodiesel Production Process with Solar Thermal System

จากรุวัฒน์ เจริญจิต^{1*}, สิทธิพร บุญญานวัตร์¹ และเสรี ทองชุม¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
เลขที่ 1 ถนนราชดำเนินนอก ตำบลบ่อยาง อำเภอ เมือง จังหวัด สงขลา 90000
*ติดต่อ: Email:j.jaruwat@gmail.com, 086-6856747, 074-315185

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเชิงทดสอบสมรรถนะการแยกความชื้นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลผ่านกระบวนการกลั่นด้วยรังสีอาทิตย์ โดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบเป็นแหล่งความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิไบโอดีเซล 12 ลิตร ที่หมุนเวียนในระบบโดยตรง ที่อัตราการไหล 2.4 ลิตรต่อนาที โดยทดสอบการกลั่นความชื้นออกจากไบโอดีเซลสำเร็จรูปที่เพิ่มน้ำส่วนเกินเข้าไป 2%, 5% และ 10% ตามลำดับ เพื่อจำลองสถานการณ์ที่มีความชื้นสะสมในกระบวนการผลิตต่างๆ จากการทดสอบในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ในช่วงเวลา 9:00-15:00 น. พบว่าอุณหภูมิไบโอดีเซลในถังกลั่นมีค่าอยู่ที่ 80-90°C แปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์ โดยผลทดสอบการกลั่นความชื้นจากไบโอดีเซลพบว่าระบบมีประสิทธิภาพการแยกน้ำประมาณ 100%, 96% และ 75% ตามลำดับ แปรผันกับปริมาณความชื้นเริ่มต้น โดยอัตราการกลั่นแปรผันตามอุณหภูมิ และปริมาณความชื้นเริ่มต้น ในขณะที่ความชื้นเริ่มต้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแยกลดลง ตามลำดับ จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบมีศักยภาพในการกลั่นน้ำหรือความชื้นออกจากระบบได้บนตัวแปรที่เหมาะสม จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่เหมาะสม เพื่อสนับสนุนให้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่มีประสิทธิภาพทางพลังงานความร้อนสูงขึ้น โดยใช้พลังงานหมุนเวียนเสริมกระบวนการผลิตต่อไป

คำหลัก: การกลั่นด้วยรังสีอาทิตย์ ไบโอดีเซล การแยกความชื้น

Abstract

This experimental research was to test performance of moisture separation in a biodiesel production process in a solar distillation. The flat plate solar collectors were used as heat source to directly increase temperature to 12 litres of biodiesel circulating with a flow rate of 2.4 litres per minute. The test was to distil moisture out of ready-made biodiesel with added water at 2%, 5% and 10% respectively to stimulate the conditions of accumulated moisture in production processes. The result of the test undertaken on a fine day between 09:00 am.- 03:00 pm. Indicated that the temperature degrees of biodiesel in a distillation tank were between 80-90°C varied with solar radiation values. The test result of distilling moisture from biodiesel revealed that the system had water separation efficiency about 100%, 96% and 75% respectively varied with quantity of initial moisture. A distillation rate varied with

AEC-2001

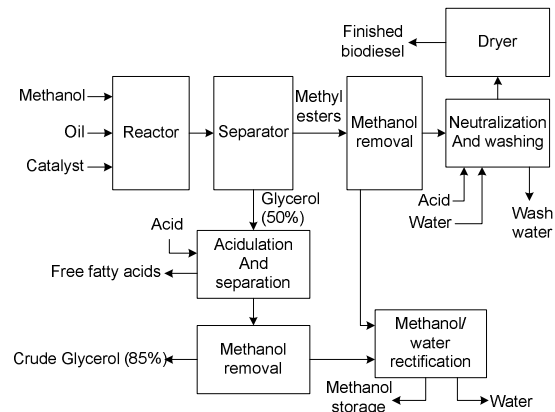
temperature and quantity of initial moisture whereas initial moisture reduced separation efficiency. However, the test results indicated that the system had a potential in distilling water or moisture from the system depending on appropriate variables. Therefore, it is a suitable system used to promote biodiesel as an alternative fuel for higher efficient heat energy and as an added renewable energy for a production process.

Keywords: Solar distillation, Biodiesel, Moisture separation

1. บทนำ

ปัจจุบันปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลของโลกมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ราคาสูงขึ้น โดยเฉพาะน้ำมันดีเซลซึ่งใช้มากในอุตสาหกรรม การผลิต และการขนส่ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาวะเศรษฐกิจโดยรวม จากปัญหาดังกล่าวกระทรวงพลังงานจึงจัดทำแผนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกเพิ่มเป็น 25% ใน 10 ปี (พ.ศ. 2555-2565) [1] เพื่อกำหนดทิศทางการพัฒนา และส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียนอย่างเป็นรูปธรรม โดยไบโอดีเซล (Biodiesel) เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) [2, 3] ระหว่างน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์ กับเมทานอล หรือเอทานอล โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วย เอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Ester) หรือไบโอดีเซล ที่มีสมบัติสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ [4, 5] และกลีเซอรอล (Glycerol) เป็นผลพลอยได้ นอกจากนี้เมื่อมีการศึกษาสมดุลพลังงาน [6] พบว่าไบโอดีเซลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำ กล่าวคือพลังงานที่ใส่เข้าไปในกระบวนการผลิตมากกว่า หรือใกล้เคียงกับพลังงานที่ได้จากไบโอดีเซล เมื่อวิเคราะห์วัฏจักรชีวิต (LCA) ในการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มในประเทศไทย [7] พบว่าพลังงานส่วนใหญ่ใช้ในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลมากที่สุด ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้รังสีอาทิตย์มาใช้เป็นแหล่งความร้อนสำหรับปฏิกิริยาเคมี [8,9] ที่อุณหภูมิ 50–60°C หรือใช้ความร้อนรังสีอาทิตย์ในการผลิตไอน้ำ และไฟฟ้าเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต ทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล [10, 11] ตามลำดับ ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานส่วนนี้ลงได้ โดยการ

ประยุกต์ใช้ความร้อนรังสีอาทิตย์ในกระบวนการผลิต เช่นกระบวนการกลั่นน้ำและสารละลายเอทานอล [12-15] การทดสอบสมรรถนะและประยุกต์ใช้ในการนำเมทานอลกลับคืนจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล [16,17] ตามลำดับ จากงานวิจัยที่ผ่านมา พิสูจน์ร่วมกับกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ดังแสดงในรูปที่ 1 พบว่าความร้อนรังสีอาทิตย์มีศักยภาพเชิงอุณหภูมิในขั้นตอนการทำแห้ง (Dryer) เพื่อทำระเหยน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตหรือความชื้นสะสมในไบโอดีเซลในขั้นตอนสุดท้าย ทดแทนพลังงานความร้อนจากภายนอก และเติมเต็มโจทย์วิจัยโดยรวมต่อไป



รูปที่ 1 แผนภาพกระบวนการผลิตไบโอดีเซล [18]

งานวิจัยชิ้นนี้จึงมีแนวคิดในการทดสอบสมรรถนะการแยกความชื้นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลผ่านกระบวนการกลั่นความชื้นจากไบโอดีเซลด้วยรังสีอาทิตย์ เพื่อลดการใช้พลังงานสำหรับการไล่ความชื้นจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล เพื่อสนับสนุนให้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่มีประสิทธิภาพทางพลังงานความร้อนสูงขึ้น โดยใช้พลังงานหมุนเวียนเสริมกระบวนการผลิตต่อไป

AEC-2001

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 ชุดทดลอง



รูปที่ 2 เครื่องกลั่นความชื้นออกจากไบโอดีเซลด้วยรังสีอาทิตย์ [17]

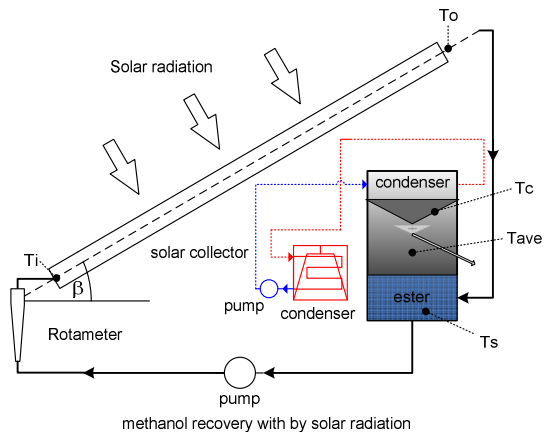
การทำงานของเครื่องกลั่นความชื้นจากไบโอดีเซลด้วยรังสีอาทิตย์แบบไม่ต่อเนื่อง โดยใช้วัตถุดิบคือ ไบโอดีเซลสำเร็จรูป (ผ่านการไล่เมทานอลและล้าง) จากสถาบันไบโอดีเซล มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ผลิตจากปาล์มน้ำมัน เป็นสารทำงานในระบบเพื่อรับความร้อนตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ (Flat Plate Solar Collector) ขนาดพื้นที่รับรังสี 2 ตารางเมตร โดยตรง ซึ่งติดตั้งหันหน้าไปทางทิศใต้เอียงทำมุม 7 องศา กับแนวระดับ (ตามตำแหน่งละติจูดที่ติดตั้ง) เพื่อให้แผงตั้งฉากกับรังสีอาทิตย์ และรับรังสีได้ตลอดการทดลอง โดยใช้ปั๊มเป็นต้นกำลังในการหมุนเวียนไบโอดีเซลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่อัตราการไหล 0.02kg/s-m^2 ผ่านไปยังถึงกลั่นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35x42 เซนติเมตร ความจุ 12 ลิตร [19] โดยบริเวณส่วนบนของถึงกลั่นจะเป็นส่วนของคอนเดนเซอร์เพื่อควบแน่นความชื้นที่กลั่นตัวในชุดเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2 จากหลักการทำงานดังกล่าว ส่งผลให้ไบโอดีเซลในระบบอุณหภูมิสูงขึ้น และส่งผลให้ความชื้นส่วนเกินระเหยแยกตัวออกไบโอดีเซล ตามลำดับ จากสมบัติจุดเดือดของน้ำที่ 100°C ซึ่งต่ำกว่าไบโอดีเซล โดยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ก็จะระเหยตัว เนื่องจากความดันไอที่เพิ่มขึ้น และไอน้ำก็จะระเหยตัวขึ้นไปยังฝาควบแน่นทรงกรวยด้านบน

โดยการถ่ายโอนมวลและความร้อนตามธรรมชาติในภาชนะปิด ซึ่งไอน้ำจะกลั่นตัวบริเวณผิวควบแน่นซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าผิวระเหย เนื่องจากสามารถระบายความร้อนสู่น้ำหล่อเย็นบนฝาถึงกลั่นตามลำดับ และไหลรวมหยดลงภาชนะรองรับสารละลายที่อยู่ด้านล่างของกรวยควบแน่น ตรงแกนกลางของถึงกลั่น และไหลออกจากเครื่องกลั่นต่อไป

เมื่อพิจารณาศักยภาพเชิงอุณหภูมิต่อระบบน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ทั่วไปทำได้ สามารถระเหยไอน้ำออกจากไบโอดีเซลได้ และการสะสมพลังงานความร้อนภายในเครื่องกลั่นทำให้อุณหภูมิในถึงกลั่นค่อนข้างคงที่จากสมบัติค่าความจุความร้อนของไบโอดีเซลที่ 2.3 kJ/kg K ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถึงกลั่นน้อย ในช่วงที่รังสีอาทิตย์ไม่คงที่ ตามลำดับ

2.2 วิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองกลั่นความชื้นออกจากไบโอดีเซล เพื่อทดสอบสมรรถนะการแยกความชื้นผ่านกระบวนการกลั่นด้วยรังสีอาทิตย์ ในส่วนของอัตรากลั่น ปริมาณการกลั่น และประสิทธิภาพการแยกความชื้นจากไบโอดีเซล ตามลำดับ



รูปที่ 3 แผนภาพรายละเอียดของระบบกลั่นความชื้นออกจากไบโอดีเซลด้วยรังสีอาทิตย์ [17]

การทดสอบการกลั่นความชื้นออกจากไบโอดีเซลสำเร็จรูปที่เพิ่มน้ำส่วนเกิน 2%, 5% และ 10% ของสารตั้งต้น 12 ลิตร ที่ปริมาตร 240, 600 และ 1200 มิลลิลิตร ตามลำดับ เพื่อจำลองสถานการณ์กรณีมีความชื้นสะสม ในกระบวนการผลิตต่างๆ

AEC-2001

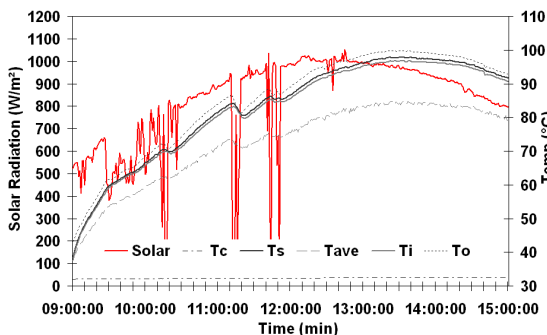
ดำเนินการทดสอบในช่วงระหว่างเวลา (9:00-15:00) น. เป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน ทำการวัดค่ารังสีอาทิตย์ด้วย Pyranometer (Kipp & Zonen) Model CM11B ความละเอียด $\pm 2 \text{ W/m}^2$ วัดอุณหภูมิภายในเครื่องกลั่นที่ตำแหน่งต่างๆ คือ อุณหภูมิทางออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (To), อุณหภูมิทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Ti), อุณหภูมิในเครื่องกลั่น (Tave), อุณหภูมิสารละลาย (Ts) และอุณหภูมิผิวควบแน่นในถัง (Tc) วัดด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ซึ่งมีความละเอียด $\pm 0.5^\circ\text{C}$ บันทึกข้อมูลค่ารังสีและอุณหภูมิการทดลองทุกๆ 1 นาที โดยใช้ Data logger (Yokogawa) Model MW 100 และวัดปริมาณการกลั่นในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อนำค่าที่ได้ เปรียบเทียบสมรรถนะการกลั่นของแต่ละกรณี โดยใช้ไบโอดีเซล 12 ลิตร ทุกกรณี ดังแสดงในรูปที่ 3

โดยที่ประสิทธิภาพการแยกพิจารณาจาก ปริมาณน้ำที่กลั่นได้เทียบกับปริมาณความชื้นเริ่มต้นในไบโอดีเซล สามารถคำนวณได้จากสมการ

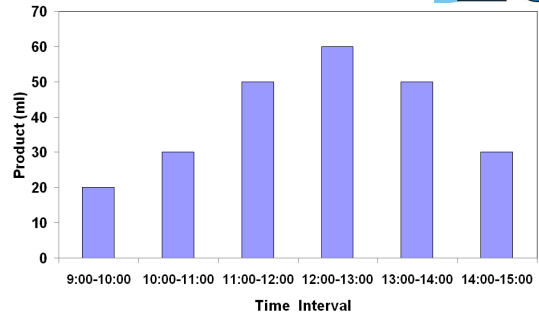
$$\text{Separation Eff} = \frac{\text{water(mL)}_{\text{product}}}{\text{water(mL)}_{\text{initial}}} \times 100 \quad (1)$$

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

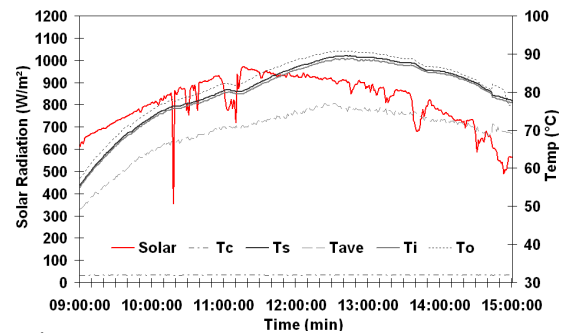
จากการทดลองการกลั่นความชื้นออกจากไบโอดีเซลด้วยรังสีอาทิตย์ ที่ความชื้น 2%, 5% และ 10% ตามลำดับซึ่งผลจากการศึกษาสามารถแสดงผลการทดลองได้ดังนี้



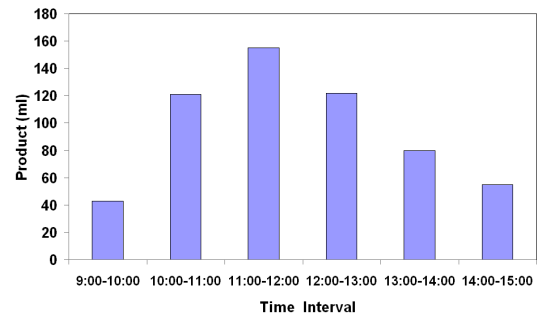
รูปที่ 4 ค่ารังสีอาทิตย์ ($17.84 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$) และอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (เติมน้ำ 2% หรือ 240 มิลลิลิตร)



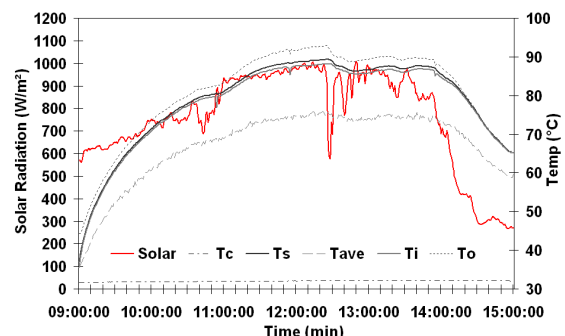
รูปที่ 5 ปริมาณสารละลายที่กลั่นได้จากไบโอดีเซลสำเร็จรูป (เติมน้ำ 2% หรือ 240 มิลลิลิตร)



รูปที่ 6 ค่ารังสีอาทิตย์ ($17.61 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$) และอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (เติมน้ำ 5% หรือ 600 มิลลิลิตร)

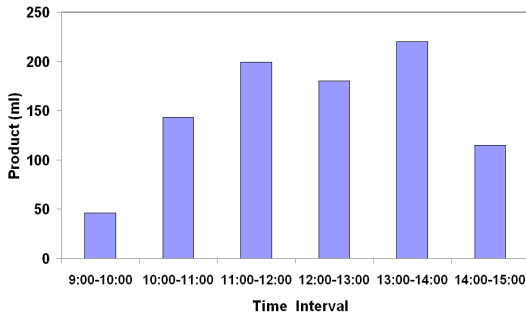


รูปที่ 7 ปริมาณสารละลายที่กลั่นได้จากไบโอดีเซลสำเร็จรูป (เติมน้ำ 5% หรือ 600 มิลลิลิตร)



รูปที่ 8 ค่ารังสีอาทิตย์ ($16.53 \text{ MJ/m}^2 \text{ day}$) และอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (เติมน้ำ 10% หรือ 1200 มิลลิลิตร)

AEC-2001



รูปที่ 9 ปริมาณสารละลายที่กลั่นได้จากไบโอดีเซล
สำเร็จรูป (เติมน้ำ 10% หรือ 1200 มิลลิลิตร)

จากรูปที่ 4, 6 และ 8 พบว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ แปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์ อย่างช้า ๆ จากการสะสมความร้อนของไบโอดีเซล โดยอุณหภูมิสารละลายในถังกลั่นอยู่ที่ประมาณ 80-90°C ในช่วงเวลา 11:00-15:00 น. เมื่อพิจารณารูปที่ 5, 7 และ 9 แสดงปริมาณการกลั่นรายชั่วโมง ที่ปริมาณความชื้นเริ่มต้น 2%, 5% และ 10% ในช่วงเวลาต่างๆ พบว่าสามารถแยกความชื้นออกจากไบโอดีเซลมากที่สุดในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 70°C ในช่วงเวลา 11:00-14:00 น. แปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณการกลั่น และประสิทธิภาพการแยกน้ำออกจากไบโอดีเซลสำเร็จรูป

Ester+Water 240 ml (2%)		
Time	Product (ml)	SeparationEff (%)
09:00-10:00	20.00	8.33
10:00-11:00	30.00	12.50
11:00-12:00	50.00	20.83
12:00-13:00	60.00	25.00
13:00-14:00	50.00	20.83
14:00-15:00	30.00	12.50
Total	240.00	100.00
Initial	240.00	100.00
17.84 MJ/m ² day		

Ester+Water 600 ml (5%)		
Time	Product (ml)	SeparationEff (%)
09:00-10:00	43.00	7.17
10:00-11:00	121.00	20.17
11:00-12:00	155.00	25.83
12:00-13:00	122.00	20.33
13:00-14:00	80.00	13.33
14:00-15:00	55.00	9.17
Total	576.00	96.00
Initial	600.00	100.00
17.61 MJ/m ² day		

Ester+Water 1200 ml (10%)		
Time	Product (ml)	SeparationEff (%)
09:00-10:00	46.00	3.83
10:00-11:00	143.00	11.92
11:00-12:00	199.00	16.58
12:00-13:00	180.00	15.00
13:00-14:00	220.00	18.33
14:00-15:00	115.00	9.58
Total	903.00	75.25
Initial	1200.00	100.00
16.53 MJ/m ² day		

เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพการแยกน้ำออกจากไบโอดีเซลรายชั่วโมงดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าช่วงเวลาที่มียัตราการระเหยของน้ำออกจากระบบมากที่สุดอยู่ในช่วงสารละลายมีอุณหภูมิสูงแปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์ระหว่างการทดสอบ โดยประสิทธิภาพการแยกน้ำออกจากไบโอดีเซล มีค่าสูงสุดประมาณ 20-25% ในช่วงเวลา 11:00-14:00น. จากปัจจัยของอุณหภูมิสารละลาย ปริมาตรช่องว่างระหว่างผิวระเหย และผิวควบแน่น และความสามารถในการควบแน่นบริเวณผิวควบแน่นส่วนบนของถังกลั่นตามลำดับ โดยอัตราการกลั่นแปรผันตามปริมาณความชื้นเริ่มต้นในระบบ และเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณการกลั่นจะลดลงแปรผันตามปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในไบโอดีเซลตามลำดับ

จากตารางที่ 1 เมื่อพิจารณาในช่วงเวลา 09:00-15:00น. สารละลายที่กลั่นได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นแปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์ และปริมาณความชื้นในไบโอดีเซลเริ่มต้น ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพการแยกน้ำออกจากไบโอดีเซลรวมมีค่าลดลงจาก 100%, 96% และ 75% เมื่อปริมาณความชื้นของไบโอดีเซลเริ่มต้นมีค่าสูงขึ้น จาก 2%, 5% และ 10% ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้น แสดงสมรรถนะในการแยกความชื้นออกจากไบโอดีเซลที่ปริมาณความชื้นต่ำ (2%) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้สามารถไล่ความชื้นออกจากไบโอดีเซลได้หมด เมื่อมีปริมาณความชื้นสูงกว่า (>2%) โดยการเพิ่มระยะเวลาการทดลอง เนื่องจากปริมาณความชื้นเริ่มต้นสำหรับการแยกในครั้งถัดไปจะมีค่าลดลง ตามลำดับ ในขณะที่อัตราการแยกจะแปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์ และปริมาณความชื้นในไบโอดีเซลเช่นเดียวกัน

4. สรุป

จากการทดสอบสมรรถนะการแยกความชื้นจากไบโอดีเซลด้วยรังสีอาทิตย์ ที่ความชื้นเริ่มต้น 2%, 5% และ 10% พบว่าประสิทธิภาพการแยกน้ำออกจากไบโอดีเซลสำเร็จรูปทั้งหมดในช่วงเวลา 9:00-15:00 น. มีค่าเท่ากับ 100%, 96% และ 75% ตามลำดับ โดยอัตรา

AEC-2001

การกลั่นแปรผันตามอุณหภูมิ และปริมาณความชื้นเริ่มต้น โดยประสิทธิภาพการแยกแปรผกผันกับปริมาณความชื้น เนื่องจากอุณหภูมิในถังกลั่นต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำที่ 100°C ประกอบกับปริมาณน้ำหรือความชื้นที่สูง ส่งผลให้การถ่ายเทมวลโดยการระเหยเพียงอย่างเดียวไม่สามารถแยกน้ำออกได้หมดในเวลาเท่ากัน เมื่อปริมาณความชื้นในไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นตามลำดับ จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบมีศักยภาพในการกลั่นน้ำหรือความชื้นออกจากระบบได้บนตัวแปรที่เหมาะสม ในขณะที่ประสิทธิภาพการแยกแปรผันตามอุณหภูมิ และปริมาณสารละลาย (น้ำ) ตามลำดับ

ดังนั้นการใช้ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ในการแยกความชื้นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลผ่านกระบวนการกลั่นด้วยรังสีอาทิตย์ เป็นแนวทางหนึ่งที่เหมาะสม และไม่ยุ่งยาก นอกจากนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิไบโอดีเซลให้มีค่าที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่เหมาะสมได้ [20] รวมทั้งเมื่อพิจารณาแผนภาพกระบวนการผลิตไบโอดีเซล พบว่ามีแนวทางในการนำระบบดังกล่าวไปใช้ในการแยกเมทานอลออกจากกลีเซอรอลดิบ แยกเมทานอลออกจากน้ำ และแยกน้ำออกจากกระบวนการล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำในขั้นตอนสุดท้ายในการผลิตไบโอดีเซลสำเร็จรูปได้ เพื่อสนับสนุนให้ไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนที่มีประสิทธิภาพทางพลังงานความร้อนสูงขึ้น โดยใช้พลังงานหมุนเวียนเสริมกระบวนการผลิตต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy, Thailand (2012). *Alternative Energy Development Plan:*

AEDP2012-2021, URL: <http://www.dede.go.th/dede/images/stories/aedp25.pdf>, access on 16/02/2012.

[2] Fukuda, H., Kondo, A. and Noda, H. (2001). Biodiesel Fuel Production by Transesterification of Oils, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, vol. 92(5), pp.405-416.

[3] Demiras, A. (2003). Biodiesel Fuels from Vegetable Oils via Catalytic and Non-Catalytic Supercritical Alcohol Transesterifications and Other Method: a Survey, *Energy Conversion and Management*, vol. 44, September 2002, pp.2093-2109.

[4] Poonnakhun, W., Suntivarakorn, P., Theragulpisut, S. and Sookkumnerd, C. (2006). The Effect of Biodiesel on Diesel Engine Performance, *KKU Engineering Journal*, vol.33(3), May - June 2006, pp.193-208. (In Thai)

[5] Worapun, I., Pianthong, K., Pongstabodee, S. and Soodphakdee D. (2006). Performance and Emission Characteristics in Diesel Engine Using Biodiesel from Waste Cooking Oil-Ethanol blend as a Fuel, *KKU Engineering Journal*, vol. 33(6), November - December 2006, pp.691-705. (In Thai)

[6] Pimentel, D. and Patzek, T.W. (2005). Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower, *Natural Resources Research*, vol. 14(1), January 2005, pp.65-76.

[7] Pleanjai, S. and Gheewala, S.H. (2009). Full chain energy analysis of biodiesel production from palm oil in Thailand, *Applied Energy*, vol.86, June 2009, pp. S209-S214.

[8] Buapoom, W., Thepa, S. and Sudaprasert, K. (2007). Solar Energy Assisted in Biodiesel Production, paper presented in *Proceedings of the 1st Energy, Environment and Materials*, Bangkok, Thailand. (In Thai)

AEC-2001

- [9] Vorayos, N., Wongsuwan, W. and Kiatsiriroat, T. (2009). Development of Solar Hot Water Systems in Thailand, *Eng.J.CMU*, vol.16 (2), pp. 55-69. (In Thai)
- [10] Kalogirou, S.A. (2003). The potential of solar industrial process heat applications, *Apply Energy*, vol. 76, November 2002, pp. 337-361.
- [11] Hou, Z. and Zheng, D. (2009). Solar utility and renewability evaluation for biodiesel production process, *Applied Thermal Engineering*, vol. 29(3), April 2009, pp.3169-3174.
- [12] Vorayos, N., Kiatsiriroat, T. and Vorayos, N. (2006). Performance analysis of solar ethanol distillation, *Renewable Energy*, vol. 31, March 2006, pp. 2543–2554.
- [13] Jareanjit, J. and Niyomvas, B. (2011). An Experimental Study on Performance Desalination of Solar Still with Sunray - Reflecting, *KKU Engineering Journal*, vol. 38 (3), July-September 2011, pp. 265-274. (In Thai)
- [14] Siangsukone, P., Jareanjit, J., Therdyothin, A., Tia, W., Wongwailikit, K. and Tiansuwan, J. (2008). The Development of Solar Ethanol Distillation for Thai Local Community, paper presented in *Proceedings of The 8th Asean Science and Technology Week Scientific and Technical Conferences*, Pasay City, Philippines.
- [15] Jareanjit, J., Siangsukone, P., Therdyothin, A., Tia, W., Wongwailikit, K. and Tiansuwan, J. (2009). Modification of Thai Local Brewery Tank for a Large Scale Solar Ethanol Distillation Plant, paper presented in *Proceedings of the International Workshop on Advanced Material for New and Renewable Energy 2009*, Jakarta, Indonesia.
- [16] Jareanjit, J. and Boonyanuwat, S. (2013). Experimental Study on Performance of Solar Collector in Biodiesel production Process with Solar Thermal System, paper presented in *The 5th Rajamangala University of Technology National Conference*, Bangkok, Thailand. (In Thai)
- [17] Jareanjit, J. and Peanjaroen, J. (2013). Methanol recovery from transesterification reaction by solar thermal energy, *KKU Engineering Journal*, vol. 40 (1), January-March 2013, pp. 87-94. (In Thai)
- [18] Gerpen, J.V. (2005). Biodiesel processing and production, *Fuel Processing Technology*, vol. 86, pp.1097-1107.
- [19] Jareanjit, J., Tiansuwan, J., Amornkitbamrung, M. and Kiatsiriroat, T. (2004). Comparison study on ethanol distillation performance using evacuated-heat pipe and flat-plate solar collectors, paper presented in *3rd CMU Annual Conference on Heat & Mass Transfer*, Chiang Mai, Thailand. (In Thai)
- [20] Chongkhong, S., Tongurai, C., Chetpattaranondth, P. and Bunyakan C. (2007). Biodiesel production by esterification of palm fatty acid distillate, *Biomass and Bioenergy*, vol. 31, March 2007, pp.563-568.