

การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อน ร่วมกับเครื่องผลิต ไบโอดีเซลชุมชน

The possibility of applying a photovoltaic/thermal system with a biodiesel machine

กมลพรรณ ชุมพลรัตน์ ทองพูล สังกะเพศ จิรพงษ์ พงษ์สีทอง เอกชาติ หัตถา สิริมงคล ใจกล้า รัตนสุดา แนวเงินดี
สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120 โทร 0-2564-7056 โทรสาร 0-2564-7059 E-mail: kamonpan@nstda.or.th

Kamonpan Chumpolrat Tongpool Sangkapes Jiraphong Phongsitong Ekkachart Hattha Sirimongkhon Jaikla
Rattanasuda Naewngerndee

Institute of Solar Energy Technology Development, National Science and Technology Development Agency
Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand Tel: 0-2564-7056 Fax: 0-2564-7059 E-mail: kamonpan@nstda.or.th

บทคัดย่อ

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อน (PV/T) มีความเป็นไปได้ในการผลิตพลังงานเพื่อทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตไบโอดีเซล จากการศึกษาโดยการติดตั้งระบบ PV/T ขนาดพื้นที่รับแสง 12.8 m² กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 640 วัตต์ และทำการทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำเข้าชุดแผง 3, 6 และ 8 L/min เพื่อเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตโดยระบบ PV/T กับการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตไบโอดีเซล พบว่าระบบ PV/T สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงและมีปริมาณพลังงานความร้อนและไฟฟ้าเพียงพอความต้องการทุกอัตราการไหลที่ทดสอบ โดยมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานมากที่สุดที่อัตราการไหล 6 L/min และจากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องผลิตไบโอดีเซลขนาดกำลังการผลิต 100 ลิตรต่อครั้งพบว่ามีความต้องการพลังงานไฟฟ้า 12 หน่วยต่อการผลิต 1 ครั้ง เมื่อนำระบบ PV/T ไปติดตั้งใช้งานร่วมกันพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงเหลือ 5 หน่วย หรือลดลงไปร้อยละ 60 เป็นการทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้บางส่วน

Abstract

The photovoltaic/thermal (PV/T) system has a possibility of producing energy to replace electricity required by the biodiesel machine. The PV/T system with solar absorption area of 12.8 m², electrical power peak of 640 W was installed and tested at the system water flow rate of 3, 6 and 8 L/min to compare the produced energy from the PV/T system with the energy required by the biodiesel machine. It was found that the level of temperature and quantity of thermal energy and electricity

generated by all of testing conditions was enough to fulfill the demand. The highest system efficiency was obtained at the system water flow rate of 6 L/min. The 100 L biodiesel machine consumed electricity 12 kWh/batch. When it co-operated with the PV/T system, the electricity consumption decreased to 5 kWh, or instead of 60% of the demand, verifying replacement of some energy required by the biodiesel machine.

1. บทนำ

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนอย่างหนึ่งที่มีความสนใจมากขึ้นตามราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากวัตถุดิบหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตเช่น ไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืช สามารถหาได้ง่ายและมีราคาถูก ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลต้องใช้พลังงานความร้อนจากอุปกรณ์ทำความร้อนซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า [1] หากสามารถใช้พลังงานความร้อนได้โดยตรงจะทำให้ลดการสูญเสียจากการเปลี่ยนรูปพลังงานได้ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อน (PV/T) เป็นการนำความร้อนเหลือทิ้งจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์โดยการถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำผ่านท่อทองแดง เซลล์แสงอาทิตย์ในระบบนี้นอกจากจะทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าแล้วยังทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ (Absorber) แสงอาทิตย์ [2] อีกด้วย จึงทำให้ระบบนี้สามารถผลิตได้ทั้งไฟฟ้าและน้ำร้อน ในขณะที่เตี่ยวกันเครื่องผลิตไบโอดีเซลก็มีความต้องการทั้งความร้อน น้ำร้อนและไฟฟ้าซึ่งสามารถใช้ร่วมกับระบบ PV/T ได้ น้ำร้อนที่ได้จากระบบ PV/T จะนำไปใช้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันและเพิ่มอุณหภูมิไบโอดีเซลและน้ำเพื่อละลายสารเร่งปฏิกิริยาที่ปนอยู่กับไบโอดีเซลให้ออกมากับน้ำได้มากขึ้น งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ทั้งสอง

การเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตได้ของระบบ PV/T ที่อัตราการไหลแตกต่างกันกับพลังงานไฟฟ้าที่เครื่องผลิตไฮโดรเจนต้องการ

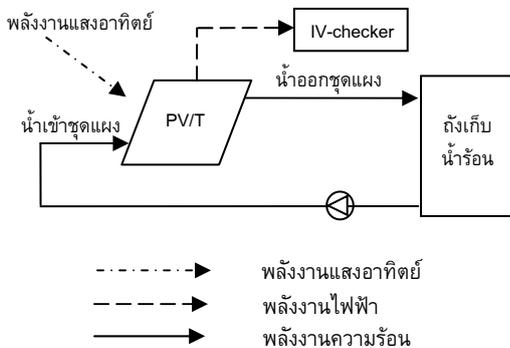
2. การทดสอบและเก็บผล

2.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อน

ได้ทำการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนขนาดพื้นที่รับแสง 12.8 m² ดังรูปที่ 1 กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 640 วัตต์ และขนาดถังเก็บน้ำร้อน 500 ลิตร โดยมีการต่อระบบดังแสดงในรูปที่ 2 หลักการทำงานของระบบคือเมื่ออุณหภูมิน้ำออกชุดแผงมากกว่าอุณหภูมิน้ำเข้าชุดแผง 5 °C ปั๊มจะทำงานทำให้น้ำในส่วนล่างของถังซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่าไหลเข้าสู่ชุดแผงเพื่อรับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดูดซับโดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วถ่ายเทความร้อนผ่านแผ่นอะลูมิเนียมและท่อทองแดงไปสู่ถัง ขณะเดียวกันน้ำร้อนในชุดแผงก็ไหลเข้าสู่ถังจนกระทั่งผลต่างอุณหภูมิต่างกันน้อยกว่า 5 °C ปั๊มจึงหยุดทำงานและจะกลับมาทำงานอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิต่างกันตามที่กำหนด ทำการเก็บบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) ทุก 1 นาที ข้อมูลที่บันทึกได้แก่ ความเข้มรังสีอาทิตย์ (Gt) อุณหภูมิน้ำเข้าชุดแผง (Ti) อุณหภูมิน้ำออกชุดแผง (To) อัตราการไหล (m) และใช้เครื่องวัด I-V curve ในการวัดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Pm) ที่แผง PV/T ผลิตได้แล้วบันทึกข้อมูลลงคอมพิวเตอร์ทุก 5 นาที ทำการทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำเข้าชุดแผง 3 6 และ 8 ลิตร/นาที



รูปที่ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อน จำนวน 16 แผง



รูปที่ 2 การต่อระบบที่ทำการทดสอบ

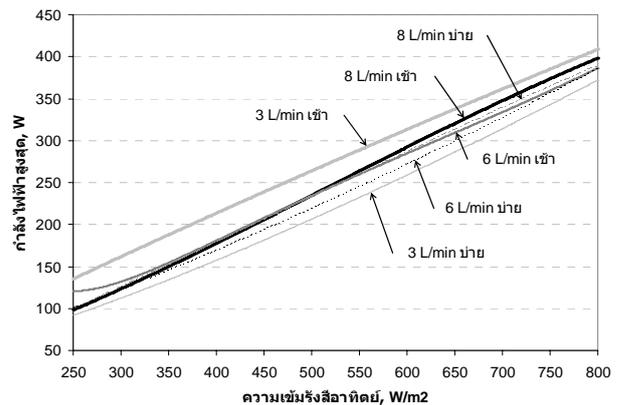
2.2 เครื่องผลิตไฮโดรเจน

ในส่วนเครื่องผลิตไฮโดรเจนได้ใช้ต้นแบบที่ทางมหาวิทยาลัยกรุงเทพสั่งจ้างผลิตขึ้น เป็นเครื่องผลิตไฮโดรเจนแบบกะ ผลิตไฮโดรเจนได้ครั้งละ 100 ลิตร ทำการวัดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าสุทธิของเครื่องด้วยวัตต์อาร์มิเตอร์และวัดอัตราการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ทำความร้อนด้วยวัตต์มิเตอร์

3. ผลการทดลอง

3.1 การผลิตพลังงานของระบบ PV/T

จากข้อมูลที่ได้นำมาหาความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีอาทิตย์และกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละอัตราการไหลแบ่งเป็นช่วงเวลาเช้าและบ่ายทั้งหมด 6 ชุดข้อมูล โดยการสร้างเส้นแนวโน้มจากข้อมูลมากกว่า 70 จุดต่อชุดข้อมูลและค่า R² มากกว่า 0.99 เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบได้ชัดเจนและเลือกพิจารณาที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วง 250-800 W/m² ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่าที่อัตราการไหล 3 L/min ในช่วงเช้าแผง PV/T สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุดแต่ในช่วงบ่ายกลับผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุด ขณะที่การทดสอบที่อัตราการไหล 6 และ 8 L/min แสดงให้เห็นว่าช่วงเช้าและบ่ายสามารถผลิตไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้รับในแต่ละวันที่ทดสอบดังรูปที่ 4 พบว่าในช่วงบ่ายของวันที่ทำการทดสอบที่อัตราการไหล 3 L/min แผง PV/T ได้รับความเข้มแสงอาทิตย์มากกว่าในช่วงเช้า



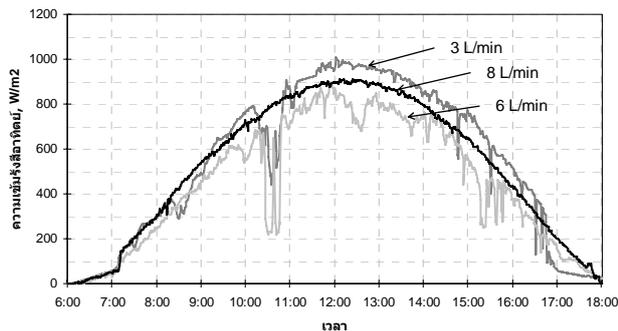
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้กับความเข้มรังสีอาทิตย์ช่วงเช้าและบ่ายที่อัตราการไหลของน้ำในแผง 3 6 และ 8 L/min

จากรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาเฉพาะช่วงเช้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับในการทดสอบแต่ละอัตราการไหลค่อนข้างใกล้เคียงกันแต่การผลิตไฟฟ้าที่อัตราการไหลของน้ำในแผง 3 L/min ต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่การผลิตไฟฟ้าที่อัตราการไหล 6 และ 8 L/min ค่อนข้างใกล้เคียงกัน ส่วนในช่วงบ่ายความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ได้รับของแต่ละวันที่ทำการทดสอบแตกต่างกันอย่างชัดเจนมากกว่าในช่วงเช้าโดยในวันที่ทำการทดสอบที่อัตราการไหล 3 L/min มีค่าสูงที่สุดรองลงมาคือ 8 และ 6 L/min ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิเฉลี่ยที่ไหลออกจากแผงตั้งแต่วันที่ 6.00-18.00 น. จากสมการ

$$T_{o(avr)} = \frac{\sum \dot{m} \times T_o}{\sum T_o} \quad (1)$$

- $T_{(avr)}$ = อุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่ไหลออกจากชุดแผง, °C
 T_o = อุณหภูมิน้ำที่ไหลออกจากชุดแผง, °C
 \dot{m} = อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ชุดแผง, L/min



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์กับเวลา ในวันที่ทำการทดสอบที่อัตราการไหล 3 6 และ 8 L/min

และพลังงานความร้อนที่แผง PV/T ผลิตได้จากสมการ

$$Q = \sum \dot{m} \times C_p \times (T_o - T_i) \quad (2)$$

- Q = พลังงานความร้อนที่ระบบ PV/T ผลิตได้, kJ
 C_p = ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ 4.186 kJ/(kg.°C)

พบว่าที่อัตราการไหล 3 L/min มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดคือ 75 °C ในขณะที่การทดสอบที่อัตราการไหล 6 และ 8 L/min มีอุณหภูมิน้ำออกเฉลี่ย 69 และ 70 °C ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นพลังงานความร้อนที่แผง PV/T ผลิตได้ที่อัตราการไหล 3 6 และ 8 L/min จะได้เป็น 32 43 และ 46 MJ ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำเนื่องจากการทดสอบนี้ร้อนที่ได้น้ำได้นำไปใช้งานแล้ววนกลับไม่มาระหว่างแผงและถัง

เนื่องจากไม่มีการต่อภาระทางไฟฟ้าให้กับระบบแต่มีการวัดค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดจึงนำมาคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ดังสมการ

$$E = \sum P_m \times t \quad (3)$$

- E = พลังงานไฟฟ้าที่ระบบ PV/T ผลิตได้, Wh
 P_m = กำลังไฟฟ้าสูงสุด, W
 t = คาบเวลาที่ทำการบันทึก 0.833 h

ตารางที่ 1 พลังงานที่ได้รับและผลิตได้ที่อัตราการไหลต่างกัน

อัตราการไหล (L/min)	3	6	8
แสงอาทิตย์ (MJ)	300	247	291
แสงอาทิตย์ (kWh)	80.7	66.5	78.2
ไฟฟ้า (kWh)	2.9	2.5	2.9
ความร้อน (MJ)	32.5	43.3	46.2
ประสิทธิภาพไฟฟ้า	0.035	0.037	0.037
ประสิทธิภาพความร้อน	0.11	0.18	0.15
ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านแผง (L)	993	1416	1464

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าในวันที่ทดสอบที่อัตราการไหล 3 L/min ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากที่สุดแต่ผลิตพลังงานความร้อนได้

น้อยที่สุดและผลิตไฟฟ้าได้เท่ากับที่อัตราการไหล 8 L/min ทำให้ประสิทธิภาพทั้งทางความร้อนและไฟฟ้าต่ำที่สุด ในขณะที่การทดสอบที่อัตราการไหล 6 L/min มีประสิทธิภาพทางความร้อนและไฟฟ้าสูงสุด แม้ว่าจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์น้อยที่สุด การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบ PV/T ผลิตได้นี้ยังไม่ได้นำการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ในระบบ PV/T มาพิจารณา

3.2 ความต้องการพลังงานของเครื่องผลิตไบโอดีเซล

จากการใช้งานเครื่องผลิตไบโอดีเซลของมหาวิทยาลัยกรุงเทพพบว่ามีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า 12 หน่วย เป็นพลังงานที่ใช้โดยอุปกรณ์ทำความร้อน 10 หน่วย ที่เหลือเป็นของอุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่มอเตอร์ บีม และตู้ควบคุม และมีความต้องการน้ำร้อน 60 °C เมื่อนำระบบ PV/T ไปติดตั้งใช้งานร่วมกับเครื่องผลิตไบโอดีเซลที่มหาวิทยาลัยกรุงเทพและทำงานที่อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ชุดแผง 6 L/min ซึ่งจากการทดสอบเป็นค่าที่ทำให้ระบบ PV/T มีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานสูงสุดและทำการตัดมิเตอร์เพื่อวัดพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ใช้โดยระบบทั้งสองพบว่าสามารถลดการใช้พลังงานได้ประมาณ 7 หน่วย

4. วิเคราะห์ผล

ข้อมูลทางความร้อนที่นำมาวิเคราะห์อยู่ในช่วงเวลา 6.00-18.00 น. และข้อมูลทางไฟฟ้าที่นำมาวิเคราะห์อยู่ในช่วงเวลา 8.00-18.00 น. โดยเลือกวันที่ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างดีมาพิจารณา นำข้อมูลการใช้พลังงานที่ทางมหาวิทยาลัยได้ทำการวัดมาเปรียบเทียบกับการผลิตพลังงานของระบบ PV/T

ผลจากการปรับอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ชุดแผงพบว่าอัตราการไหลของน้ำที่น้อยกว่าทำให้การระบายความร้อนน้อยกว่า อุณหภูมิเซลล์จึงสูงขึ้นการผลิตไฟฟ้าในช่วงบ่ายจึงลดลง การเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ชุดแผง PV/T มีผลต่ออัตราการไหลของน้ำในแต่ละแผง [3] นำไปสู่การดึงความร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีผลต่อการผลิตพลังงาน การไหลของน้ำเข้าสู่ชุดแผงที่อัตรา 3 L/min มีผลให้การไหลของน้ำในแต่ละแผงใกล้เคียงกันมากกว่าที่อัตราการไหลสูงทำให้แผงสามารถผลิตไฟฟ้าได้ดี แต่ในช่วงบ่ายที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงอัตราการไหลที่ต่ำทำให้ระบายความร้อนไม่ดี เป็นผลให้การผลิตไฟตกลงไป จากการทดสอบนี้แสดงว่าหากต้องการให้แผง PV/T ผลิตไฟฟ้าได้ดีทั้งเช้าและบ่ายควรเลือกใช้อัตราการไหลของน้ำในแผง 8 L/min หากพิจารณาที่ศักยภาพในการถ่ายเทความร้อนการทดสอบที่อัตราการไหล 3 L/min สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงได้ดีกว่าแต่เมื่อพิจารณาพลังงานความร้อนที่ได้อัตราการไหล 8 L/min สามารถผลิตพลังงานได้มากกว่า แม้ว่าค่าพลังงานแสงอาทิตย์จะสูงแต่พลังงานที่ระบบ PV/T ผลิตได้อาจไม่สูงตามเป็นผลกระทบจากอัตราการไหลที่ไม่เหมาะสม หากพิจารณาประสิทธิภาพทางพลังงานจะพบว่าที่อัตราการไหล 6 L/min มีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อนำพลังงานที่ระบบ PV/T ผลิตได้มาพิจารณาพร้อมกับความต้องการของเครื่องผลิตไบโอดีเซลจะพบว่าพลังงานความร้อนจากระบบ PV/T สามารถทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าและความร้อนได้ แต่เมื่อนำระบบ PV/T มาติดตั้งใช้งานร่วมกับเครื่องผลิตไบโอดีเซลพบว่าสามารถทดแทนพลังงานได้ 7 หน่วย จากความต้องการ 12 หน่วย เป็นการทดแทนพลังงานได้เพียงบางส่วนเนื่องจากพลังงานบางส่วนจะสูญเสียไปในการเดินระบบ PV/T

5. สรุป

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนมีศักยภาพในการทดแทนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องผลิตไบโอดีเซล โดยพบว่าที่อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่แผง PV/T ที่ทำการทดสอบคือ 3 6 และ 8 L/min สามารถผลิตน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 60 °C และผลิตพลังงานไฟฟ้าและความร้อนได้มากกว่าความต้องการของเครื่องผลิตไบโอดีเซล นอกจากนี้ผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าการปรับอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่แผงมีผลต่อคุณภาพของน้ำร้อน ปริมาณพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนและประสิทธิภาพของระบบ โดยที่อัตราการไหลต่ำจะทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูง แต่ปริมาณน้ำร้อน ปริมาณพลังงานและประสิทธิภาพของระบบต่ำ จึงต้องมีการเลือกปรับอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่แผงให้เหมาะสมโดยจากอัตราการไหลที่ทำการทดสอบพบว่าที่ 6 L/min ทำให้ประสิทธิภาพของระบบสูงสุดและอุณหภูมิน้ำสูงพอที่จะนำไปใช้กับเครื่องผลิตไบโอดีเซลได้ และเมื่อนำระบบ PV/T ไปติดตั้งใช้งานร่วมกับเครื่องผลิตไบโอดีเซลแล้วพบว่าระบบ PV/T ช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องผลิตไบโอดีเซลลงไปได้ร้อยละ 60

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพผู้ให้การสนับสนุนข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องผลิตไบโอดีเซลซึ่งใช้ประกอบการเขียนบทความนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Zhang, Y., Dube, M. A., McLean, D. D., and Kates, M., "Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: 1 Process Design and Technological Assessment," *Bioresource Technology*, Vol. 89, pp. 1-16, 2003.
2. Zondag, H. A., De Vries, D. W., Van Helden, W. G. J., Van Zolingen, R. J. C., and Van Steenhoven, A. A., "The Thermal and Electrical Yield of a PV-Thermal Collector," *International Journal of Solar Energy*, Vol. 72, No. 2, pp. 113-128, 2002.
3. Naewngerndee, R., Hattha, E., Chumpolrat, K., Sangkapes, T., Phongsitong, J., and Jaikla, S., "Finite Element Method for Computational Fluid Dynamic to Design Photovoltaic Thermal (PV/T) System Configuration" to be published in *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 2010.