

การศึกษาหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างกลีเซอรินกับน้ำมันเตา

รัชพล สันติวารการ^{* 1)} และ ชัชกรินทร์ ศักดิ์กำปัง²⁾

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาศักยภาพของหม้อไอน้ำ การปล่อยแก๊สไอเสียและการวิเคราะห์ข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างกลีเซอรินกับน้ำมันเตาในหม้อไอน้ำ จากการทดสอบใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างกลีเซอรินกับน้ำมันเตาในสัดส่วน 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% และ 70% โดยปริมาตร พบว่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำลดลงจากเดิมที่ใช้ น้ำมันเตาเพียงอย่างเดียวจาก 91.72% ลดลงเหลือ 89.91%, 89.14%, 88.12%, 87.45%, 86.74%, 85.90% และ 85.39% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการปล่อยแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้น พบว่าเมื่อสัดส่วนของกลีเซอรินเพิ่มขึ้น ปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลง ในขณะที่ปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามทุกสัดส่วนของเชื้อเพลิงผสม ค่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกมามีค่าต่ำกว่าที่กฎหมายกำหนด นอกจากนี้ยังพบว่าสัดส่วนผสมของน้ำมันเตา 60% และกลีเซอริน 40% เป็นสัดส่วนที่ช่วยประหยัดเชื้อเพลิงมากที่สุด โดยสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย ในการผลิตไอน้ำได้ 0.0198 บาทต่อ 1 กิโลกรัมไอน้ำ และหากใช้เชื้อเพลิงผสมในสัดส่วนดังกล่าวในหม้อไอน้ำขนาด 4,700 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง จะมีระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 3.58 เดือน

คำสำคัญ: หม้อไอน้ำ ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ กลีเซอริน

^{* 1)} รองศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, จังหวัดขอนแก่น 40002, อีเมล: ratchaphon@kku.ac.th

²⁾ มหบัณฑิต, หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, จังหวัดขอนแก่น 40002, อีเมล: chatcharin_pookie@hotmail.com

A Study of Boiler Efficiency Using Blended Fuel between Glycerin and Heavy Oil Fuel

Ratchaphon Suntivarakorn^{* 1)} and Chatcharin Sakkampang²⁾

Abstract

This paper presents a study of boiler efficiency when using blended fuel between glycerin and heavy oil fuel. Glycerin blended with heavy oil fuel (GHF) was prepared in seven formulas in the ratio of glycerin between 10-70% by volume. The blended fuels were tested in a steam boiler in order to determine boiler efficiencies. Results showed that the efficiency of boiler when using heavy oil fuel was 91.72% and was decreased with the increasing of the ratio of glycerin. Boiler efficiencies using GHF with the ratio of glycerin at 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% and 70% by volume were 89.91%, 89.14%, 88.12%, 87.45%, 86.74%, 85.90% and 85.39%, respectively. The result also showed that the quantity of carbon dioxide was decreased according to the increasing of glycerin in GHF, while the quantity of carbon monoxide was increased. However, the emission of carbon monoxide for all GHFs was lower than the quantity controlled by Thai regulation. Moreover, the result was also revealed that the suitable ratio of glycerin blended with heavy oil fuel was at 40%. This ratio can save 0.0198 baht for one kilogram of steam production. If this ratio is used in 4,700 kilograms per hour of steam boiler which operates for 8 hours per day, the payback period will be at 3.58 months.

Keywords: Steam Boiler, Boiler Efficiency, Glycerin

* 1) Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, 40002,
E-mail : ratchaphon@kku.ac.th

2) Post-graduate Student, Department of Mechanical Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002,
Email : chatcharin_pookie@hotmail.com

1. บทนำ

จากสถานการณ์ปัญหาด้านพลังงานในปัจจุบันราคาน้ำมันดิบจากต่างประเทศได้มีราคาสูงขึ้น รวมถึงการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศมีจำนวนที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้รัฐบาลได้ทำการส่งเสริมและสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนให้มากขึ้น โดยหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่ได้รับการสนับสนุนคือการใช้ น้ำมันไบโอดีเซลเพื่อทดแทนน้ำมันดีเซลในระบบขนส่ง โดยมีมุ่งหวังเพื่อลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ จากผลดังกล่าวทำให้มีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มสูงขึ้น และมีจำนวนผู้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น ทั้งที่เป็นระบบการผลิตแบบเชิงพาณิชย์และเป็นระบบการผลิตแบบชุมชน (Boumay et al., 2005 และ O'Driscoll, 2007) โดยในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชันนั้น สิ่งที่ได้จากปฏิกิริยาจะมี 2 ส่วนคือ น้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอริน ซึ่งในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล 1 ตัน จะได้กลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตประมาณ 0.11 ตัน (Behr et al., 2008) และกลีเซอรินที่ได้นั้นไม่ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์มากนัก เนื่องจากกลีเซอรินจากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีความสกปรกค่อนข้างมาก รวมถึงสิ่งที่ได้จากกระบวนการผลิตดีเซลอื่น ๆ เช่น เกลือ แอลกอฮอล์ โลหะหนัก และน้ำ จะถูกปล่อยทิ้งกลายเป็นของเสียและมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นจนกลายเป็นปัญหาในการจัดเก็บและทำลาย (Hedtke, 1996) ซึ่งจากการศึกษาการนำกลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลไปใช้ประโยชน์ พบว่าการที่จะนำกลีเซอรินไปใช้ประโยชน์นั้นจะต้องผ่านกระบวนการทำให้กลีเซอรินบริสุทธิ์ ซึ่งมีขั้นตอนที่ยุ่งยากและมีค่าใช้จ่ายสูง (ปิยนากู, 2547 และ Slinn et al., 2008) จึงส่งผลให้ผู้ผลิตไม่ได้นำกลีเซอรินไปใช้ประโยชน์ แต่จากการศึกษาคุณสมบัติของกลีเซอรินพบว่า กลีเซอรินมีค่าความร้อนเพียงพอที่จะนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้เป็นพลังงานทดแทนได้ (Ozkan et al., 2008) แต่เนื่องจากการศึกษาการนำกลีเซอรินมาใช้เป็นประโยชน์ด้านพลังงาน รวมถึงการศึกษาหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของกลีเซอรินยังมีไม่มากนัก และจากการที่ค่าคุณสมบัติของกลีเซอรินมีค่าความร้อนที่สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ประกอบกับโรงงาน

อุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ หากสามารถนำกลีเซอรินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาได้ ก็จะช่วยให้องค์กรสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและสามารถลดการนำเข้าพลังงานของประเทศได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะศึกษาหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของกลีเซอรินและหาแนวทางที่เหมาะสมในการนำกลีเซอรินมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาในโรงงานอุตสาหกรรม

2. คุณสมบัติของกลีเซอรินและเชื้อเพลิงผสม

จากการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรินดิบที่ได้จากการกระบวนการผลิตไบโอดีเซลเมื่อใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่ามีความหนาแน่นเท่ากับ 1.21 g/cm^3 ค่าความหนืดเท่ากับ 303.78 เซนติสโตกส์ (cSt) และค่าความร้อนเท่ากับ 13.48 MJ/kg (ทดสอบที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น) ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้และเมื่อนำคุณสมบัติดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับน้ำมันเตา ชนิด C ซึ่งเป็นน้ำมันเตาที่ใช้ทดสอบในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะพบว่ากลีเซอรินมีค่าความหนืดมากกว่าน้ำมันเตา ประมาณ 1.75 เท่า และมีค่าความร้อนน้อยกว่าประมาณ 3.25 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 1

เพื่อทำให้กลีเซอรินมีความสะอาดขึ้น ก่อนที่จะนำกลีเซอรินมาผสมกับน้ำมันเตา ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงคุณภาพของกลีเซอรินโดยการเติมกรดเกลือ (HCl) เข้มข้น 2.5% ลงในกลีเซอริน 1% โดยปริมาตร ซึ่งทำให้ค่าความหนืดของกลีเซอรินลดลงจาก 303.78 cSt เป็น 277.77 cSt และค่าความร้อนลดลงจาก 13.48 MJ/kg เป็น 13.19 MJ/kg (ชัชรินทร์ และ ประพัทธ์, 2552) จากนั้นจึงได้นำกลีเซอรินที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้วไปผสมกับน้ำมันเตาที่สัดส่วนต่าง ๆ จำนวน 7 สัดส่วน โดยผสมกลีเซอรินลงในน้ำมันเตา 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% และ 70% โดยปริมาตร ส่วนสัดส่วนของกลีเซอรินที่มากกว่า 70% ไม่สามารถทำการทดสอบได้เนื่องจากความหนืดของเชื้อเพลิงผสมมีค่าสูง ซึ่งจะทำให้หม้อไอน้ำที่ใช้ทดสอบไม่สามารถทำงานได้ เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้ ไม่ได้ดำเนินการปรับปรุงหรือดัดแปลงหัวเผาของ

หม้อไอน้ำ และสำหรับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงผสม ได้ทำการทดสอบที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้มาตรฐาน ASTM D240 สำหรับวิเคราะห์หาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง ซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของกลีเซอรินกับน้ำมันเตาชนิด C

คุณสมบัติ	กลีเซอริน	น้ำมันเตา*
ค่าความหนาแน่น ที่ 25°C (g/cm ³)	1.2101	0.9302
ค่าความหนืดที่ 25°C (cSt)	303.78	80 - 172.74
ค่าความร้อน (MJ/kg)	13.48	43.73
จุดเดือด (°C)	247.47	200-220

หมายเหตุ * เป็นข้อมูลจากผู้ขาย

จากการทดสอบหาค่าความร้อนพบว่าเมื่อผสมกลีเซอรินเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความร้อนลดลงเป็นผลเนื่องมาจากค่าความร้อนของกลีเซอรินมีค่า 13.48 MJ/kg ซึ่งน้อยกว่าค่าความร้อนของน้ำมันเตาชนิด C มาก ดังนั้นเมื่อทำการผสมกลีเซอรินลงในน้ำมันเตาในสัดส่วนที่เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงผสมมีค่าลดลง

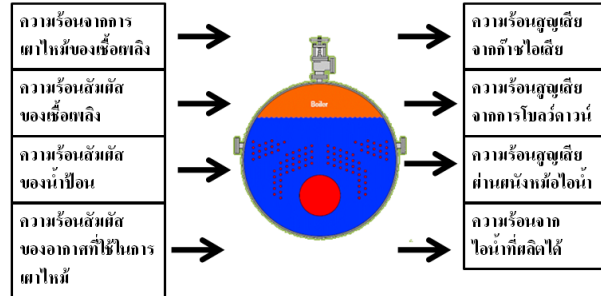
ตารางที่ 2 ค่าความร้อนของน้ำมันเตาชนิด C ผสมกับกลีเซอรินในสัดส่วนต่าง ๆ โดยปริมาตร

ลำดับ	สัดส่วนผสม น้ำมันเตา C : กลีเซอริน	ค่าความร้อน (MJ/kg)
1	100 : 0	43.73
2	90 : 10	40.10
3	80 : 20	37.38
4	70 : 30	34.51
5	60 : 40	31.93
6	50 : 50	28.00
7	40 : 60	25.58
8	30 : 70	22.55

3. การหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

การหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานโดยการทำ

สมดุลความร้อน โดยพิจารณาให้ความร้อนที่เข้าระบบมีค่าเท่ากับความร้อนที่ออกจากระบบ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2551) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การวิเคราะห์สมดุลความร้อนในหม้อไอน้ำ

โดยความร้อนที่เข้าสู่ระบบ (Q_{in}) ได้แก่

- ความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง (Q_C)
- ความร้อนสัมผัสของเชื้อเพลิง (Q_F)
- ความร้อนสัมผัสของน้ำป้อน (Q_W)
- ความร้อนสัมผัสของอากาศ (Q_A)

ซึ่งสมการในการหาค่าความร้อนที่เข้าระบบดังกล่าวข้างต้น สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_{in} = Q_C + Q_F + Q_W + Q_A \quad (1)$$

$$Q_C = F_h \times H_L \quad (2)$$

$$Q_F = F_h \times C p_f \times (T_f - T_{ref}) \quad (3)$$

$$Q_W = F_w \times (h_{f_w} - h_{f,ref}) \quad (4)$$

$$Q_A = A \times C p_a \times (T_a - T_{ref}) \quad (5)$$

โดยที่

F_h = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (kg/h)

H_L = ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

$C p_f$ = ความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิง (kJ/kg-°C)

T_f = อุณหภูมิน้ำมันจุดที่เข้าห้องเผาไหม้ (°C)

T_{ref} = อุณหภูมิบรรยากาศ (°C)

F_w = ปริมาณน้ำป้อน (kg/h)

h_{f_w} = เอนทาลปีของน้ำป้อน (kJ/kg)

$h_{f,ref}$ = เอนทาลปีของน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิบรรยากาศ

$C p_a$ = ความร้อนจำเพาะของอากาศ

$$= 0.312 \times 4.187 \text{ kJ/Nm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$$

T_a = อุณหภูมิอากาศที่เข้าเผาไหม้ (°C)
 A = ปริมาณอากาศที่เข้าเผาไหม้จริงใน 1 ชั่วโมง

สำหรับความร้อนที่ออกจากระบบ (Q_{out}) ได้แก่

- ความร้อนสูญเสียจากแก๊สไอเสีย (Q_E)
- ความร้อนสูญเสียจากการโบลด์วอร์น (Q_B)
- ความร้อนที่สูญเสียผ่านผนังหม้อไอน้ำ (Q_R)
- ความร้อนจากไอน้ำที่ผลิตได้ (Q_S)

ซึ่งสมการของความร้อนที่ออกจากระบบดังกล่าวข้างต้นสามารถหาได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$Q_{out} = Q_E + Q_B + Q_R + Q_S \quad (6)$$

$$Q_E = F_h \times G \times Cp_g \times (T_g - T_{ref}) \quad (7)$$

$$Q_B = F_w \times B \times (h_{fb} - h_{f,ref}) \quad (8)$$

$$Q_R = Q_r + Q_{conv} \quad (9)$$

โดยที่

G = ปริมาตรจำเพาะของแก๊สไอเสียจริง (Nm³/kg)

Cp_g = ความร้อนจำเพาะของแก๊สไอเสีย (kJ/Nm³. °C)

T_g = อุณหภูมิของแก๊สไอเสีย (°C)

h_{fb} = เอนทาลปีของน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิของน้ำในหม้อไอน้ำ (kJ/kg)

B = ปริมาณการโบลด์วอร์นเป็นร้อยละของไอน้ำ

$$\text{หาได้จาก } B = \frac{TDS_w \times 100}{(TDS_b - TDS_w)}$$

TDS_w = สารละลายของน้ำป้อน (ppm)

TDS_b = สารละลายของน้ำโบลด์วอร์น (ppm)

Q_r = ความร้อนสูญเสียโดยการแผ่รังสี (kJ/h)

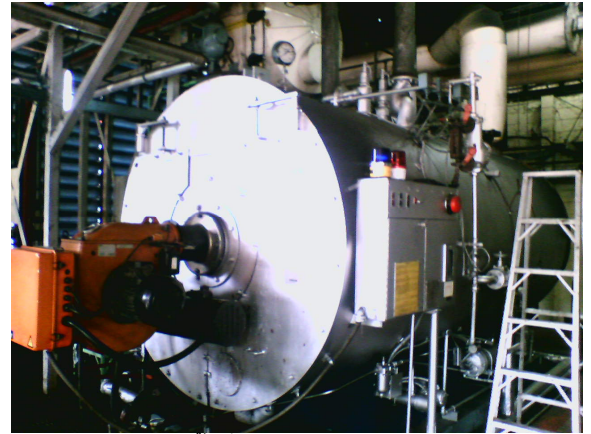
Q_{conv} = ความร้อนสูญเสียโดยการการพา (kJ/h)

จากการพิจารณาสมดุลความร้อน สามารถหาค่าความร้อนจากไอน้ำที่ผลิตได้ ดังนี้

$$Q_S = Q_{in} - Q_E - Q_B - Q_R \quad (10)$$

และสามารถหาค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหม้อไอน้ำ (η) ได้จาก

$$\eta = \frac{Q_S}{Q_{in}} \times 100 = \left(1 - \frac{Q_E + Q_B + Q_R}{Q_{in}}\right) \times 100 \quad (11)$$

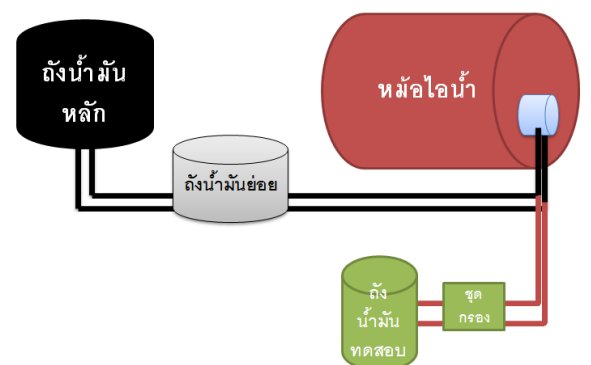


ภาพที่ 2 หม้อไอน้ำที่ใช้ในการทดสอบ

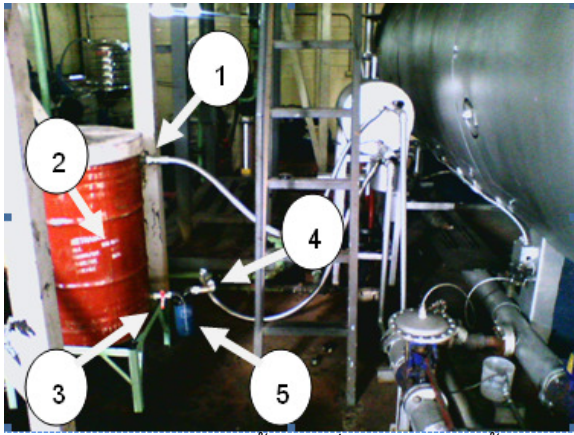
4. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงผสมในหม้อไอน้ำชนิดท่อไฟ ขนาดกำลังการผลิตไอน้ำ 4,700 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังแสดงในภาพที่ 2 และเพื่อให้สามารถตรวจวัดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงผสมในสัดส่วนต่าง ๆ ได้และไม่ให้กระทบต่อระบบการส่งจ่ายน้ำมันและสภาวะการทำงานปัจจุบันของหม้อไอน้ำ ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งถังน้ำมันและระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงผสมเพิ่มเติม รวมทั้งติดตั้งมิเตอร์และเครื่องมือตรวจวัดปริมาณและอัตราการไหลของเชื้อเพลิงผสม ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ระบบส่งน้ำมันเพิ่มเติมของหม้อไอน้ำ



ภาพที่ 4 ระบบส่งจ่ายน้ำมันเพิ่มเติมหลังติดตั้งเข้ากับหม้อไอน้ำ

ในการออกแบบชุดทดลองได้คำนึงถึงผลกระทบต่อการผลิตไอน้ำของหม้อไอน้ำและได้ทำการสร้างชุดทดลองเพื่อให้สะดวกต่อการทำวิจัยและไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของหม้อไอน้ำ โดยไม่มีการทำการปรับแต่งหัวเผาของหม้อไอน้ำแต่ประการใด ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบและติดตั้งชุดทดลองเข้ากับหม้อไอน้ำ โดยใช้อุปกรณ์ในการติดตั้งดังนี้ (ดูภาพที่ 4)

1. ข้อต่อทนแรงดันขนาดต่างๆ
2. ถังน้ำมันขนาด 250 ลิตร
3. วาล์วประตูน้ำ
4. วาล์วกันย้อนกลับ
5. ชุดกรองน้ำมัน

โดยท่ออ่อนทนแรงดัน เป็นท่ออ่อนสามารถดัดงอได้ซึ่งสะดวกต่อการติดตั้งและเคลื่อนย้าย

4.2 วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำเตากับกลีเซอริน ซึ่งได้ทำการผสมกลีเซอรินในสัดส่วน 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% และ 70% โดยปริมาตร ลงในน้ำมันเตา จากนั้นนำเชื้อเพลิงผสมแต่ละสัดส่วนไปทดสอบเผาไหม้ในหม้อไอน้ำ ซึ่งมีแนวทางการทำวิจัยดังนี้

4.2.1 ทำการศึกษาวัดประสิทธิภาพหม้อไอน้ำโดยวิธีการสมดุลความร้อน โดยทำการกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบคือ ทำการเดินเครื่องก่อนทดสอบในแต่ละสัดส่วนผสม 15 นาที โดยใช้หม้อไอน้ำที่กำลังการผลิต 4,700 กิโลกรัม/

ชั่วโมง กำหนดความดันไอน้ำที่ผลิตไว้ที่ 9.65 บาร์ เปิดวาล์วปล่อยไอน้ำไว้ 50% ให้หัวเผาทำงาน 100% ในช่วงเวลาทดสอบ และในการทดสอบจะไม่คำนึงถึงความร้อนที่สูญเสียจากการโบว์ลดาว โดยการทดลองในแต่ละส่วนผสมใช้เวลา 30 นาที และทำการตรวจวัดการทดลองละ 3 ครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

4.2.2 ทำการศึกษาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้กลีเซอรินเป็นเชื้อเพลิงผสม โดยในการวิเคราะห์นั้นจะกำหนดราคาของกลีเซอรินลิตรละ 7 บาท ซึ่งเป็นราคาที่ทำการซื้อขายจริงจากโรงงานต้นแบบผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น และราคาของน้ำมันเตาชนิด C ลิตรละ 16.99 บาท ซึ่งเป็นราคาเฉลี่ยของเดือนมกราคม เดือนกุมภาพันธ์ และเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2552 (สำนักงานนโยบายและแผนงานพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2552)

4.2.3 ทำการศึกษาค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อใช้กลีเซอรินเป็นเชื้อเพลิง โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเฉพาะการปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) กับคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ของไอเสีย และจะทำการเปรียบเทียบค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่ได้จากไอเสียกับค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์ที่กฎหมายกำหนด

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 ผลการทดสอบหาประสิทธิภาพหม้อไอน้ำ

จากการตรวจวัดข้อมูลด้านพลังงานของหม้อไอน้ำเมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมกลีเซอรินกับน้ำมันเตาชนิด C ในสัดส่วนของกลีเซอริน 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% และ 70% โดยปริมาตร จะสามารถแสดงค่าความดันไอน้ำใช้งาน อุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ปริมาณการใช้น้ำป้อน พื้นที่ผิวรวมของหม้อไอน้ำ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงและขนาดของหม้อไอน้ำได้ในตารางที่ 3 และจากการนำข้อมูลตรวจวัดดังกล่าวมาคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ จะพบว่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมีค่าสูงสุด 91.72% เมื่อใช้น้ำมันเตา C 100% เป็นเชื้อเพลิงและค่าประสิทธิภาพจะมีค่าลดลงเมื่อสัดส่วนผสมของกลีเซอรินมีค่าสูงขึ้น ดังแสดงได้ในตารางที่ 4 และ ภาพที่ 5

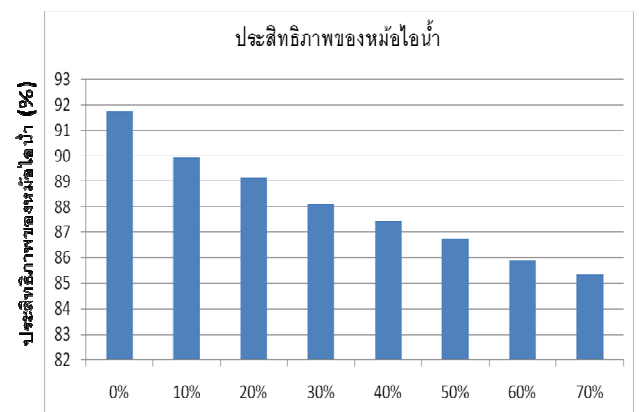
ตารางที่ 3 ข้อมูลจากการตรวจวัดหม้อไอน้ำ

ลำดับ	ข้อมูลการตรวจวัด	ปริมาณ
1	ความดันไอน้ำใช้งาน	9.65 bar
2	อุณหภูมิน้ำมันเชื้อเพลิง	60 °C
3	อุณหภูมิน้ำป้อน	30 °C
4	อุณหภูมิอากาศที่เผาไหม้	37.5 °C
5	อุณหภูมิห้อง (อ้างอิง)	30 °C
6	พื้นที่ผิวรวมของหม้อไอน้ำ	18.53 m ²
7	ปริมาณน้ำป้อนที่ใช้	2,000 kg/h
8	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง	43.73 MJ/kg
9	ขนาดหม้อไอน้ำ	4,700 kg/h

ตารางที่ 4 ข้อมูลจากการตรวจวัดและคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมในสัดส่วนต่างๆ

ลำดับ	ข้อมูลการตรวจวัดและการคำนวณ	ร้อยละของกลีเซอรินในน้ำมันผสม							
		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
1	ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง : kg/h	150.04	166.05	178.89	194.95	211.79	228.91	244.00	260.04
2	ปริมาณการใช้อากาศ : Nm ³ /h	12.29	12.37	11.51	11.51	11.47	10.91	10.52	10.20
3	ความร้อนเข้าระบบ : MJ/h	6,542.94	6,644.5	6,675.5	6,719.76	6,760.61	6,411.17	6,247.1	5,874.98
4	ความร้อนของไอน้ำ : MJ/h	6001.05	5,974.12	5,950.84	5,921.16	5,912.44	5,561.09	5,366.5	5,016.61
5	ความร้อนที่สูญเสีย : MJ/h	541.89	670.38	724.66	798.59	848.2	850.08	880.59	858.38
6	ปริมาณไอน้ำที่ผลิตได้ : kg/h	2,290.89	2,280.61	2,271.72	2,260.39	2,257.05	2,122.93	2,048.65	1,915.11
7	ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ : %	91.72	89.91	89.14	88.12	87.45	86.74	85.90	85.39

จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำมีค่าลดลงตามสัดส่วนของกลีเซอรินเพิ่มขึ้น ซึ่งจากประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำที่ลดลงนั้นเป็นผลเนื่องมาจากค่าความหนืดของกลีเซอรินมีค่า 303.78 cSt ซึ่งสูงกว่าค่าความหนืดของน้ำมันเตาชนิด C ซึ่งมีค่า 172.74 cSt ส่งผลให้การกระจายของน้ำมันเตาในหัวฉีดเมื่อใช้กลีเซอรินผสมกระจายตัวไม่ดี จึงส่งผลถึงประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ และจากการทดสอบสามารถนำไปหาค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ 1 กิโลกรัม ได้ดังแสดงในตารางที่ 5



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพหม้อไอน้ำเมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างน้ำมันเตากับกลีเซอริน

ตารางที่ 6 ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (%) และ

ตารางที่ 5 อัตราการผลิตไอน้ำ อัตราการใช้เชื้อเพลิง และร้อยละการใช้น้ำมันเตา

ลำดับ	สัดส่วนผสม น้ำมันเตา C : ก๊าซเซอริน	อัตราการผลิตไอน้ำ (kg/h)	การใช้เชื้อเพลิง ผสมในการผลิตไอน้ำ 1 กิโลกรัม (l/1kg,steam)	การใช้น้ำมันเตา C ในการผลิตไอน้ำ 1 กิโลกรัม (l/1kg,steam)	ร้อยละ ของน้ำมัน เตาที่ ลดลง
1	100 : 0	2,290.89	0.070	0.070	0
2	90 : 10	2,280.61	0.076	0.068	2.86
3	80 : 20	2,271.72	0.080	0.064	9.27
4	70 : 30	2,260.39	0.085	0.060	15.48
5	60 : 40	2,257.05	0.090	0.054	23.30
6	50 : 50	2,122.93	0.101	0.050	28.47
7	40 : 60	2,048.65	0.108	0.043	37.16
8	30 : 70	1,915.11	0.121	0.036	47.50

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเติม ก๊าซเซอรินที่ส่วนผสมต่าง ๆ มีผลต่ออัตราการผลิตไอน้ำ โดยเมื่อผสมก๊าซเซอรินในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้มี อัตราการผลิตไอน้ำลดลง และพบว่าอัตราการใช้ น้ำมัน เชื้อเพลิงผสมในการผลิตไอน้ำ 1 กิโลกรัม มีค่าสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่า อัตราการใช้ น้ำมันเตา C ของ เชื้อเพลิงผสมในการผลิตไอน้ำ 1 กิโลกรัม มีการใช้น้ำมัน เตาลดลงเมื่อสัดส่วนก๊าซเซอรินมีค่าเพิ่มมากขึ้น จากข้อมูลที่ได้จะเห็นว่าสัดส่วนที่สามารถลดการใช้น้ำมัน เตาคือ ส่วนผสมก๊าซเซอรินตั้งแต่ 10% โดยปริมาตรขึ้นไป ซึ่งผลของร้อยละการลดใช้น้ำมันเตาลง แสดงได้ ดังตารางที่ 5 และสัดส่วนที่ทำให้ลดการใช้น้ำมันเตามาก ที่สุดในการผลิตไอน้ำ 1 กิโลกรัมของหม้อไอน้ำเครื่องนี้ คือ สัดส่วนก๊าซเซอริน 70% น้ำมันเตา 30% ซึ่งสามารถ ช่วยลดการใช้น้ำมันเตาลงได้ 47.50%

ปริมาณคาร์บอนมอนนอกไซด์(ppm) ในไอเสีย เมื่อใช้ก๊าซเซอรินผสมน้ำมันเตาชนิด C

ลำดับ	สัดส่วนผสม น้ำมันเตา : ก๊าซเซอริน	ปริมาณ CO ₂ (%)	ปริมาณ CO (ppm)
1	100 : 0	14	18
2	90 : 10	13.9	31
3	80 : 20	13.7	41
4	70 : 30	13.1	46
5	60 : 40	12.4	55
6	50 : 50	12	60
7	40 : 60	11.5	75
8	30 : 70	11	82

5.2 ผลการตรวจวัดการปล่อยแก๊สไอเสีย

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการปล่อยแก๊สไอเสียจากการใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างกลีเซอรินกับน้ำมันเตา โดยจะทำการพิจารณาจากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549 ซึ่งกฎหมายกำหนดการปล่อยแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ในอากาศไว้ไม่เกิน 690 ppm (ราชกิจจานุเบกษา, 2549) และจากผลการทดสอบและวิเคราะห์แก๊สไอเสียจะพบว่า เมื่อสัดส่วนของกลีเซอรินเพิ่มมากขึ้น ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ลดลง ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ของไอเสียมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 6

จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อผสมกลีเซอรินกับน้ำมันเตาชนิด C ในสัดส่วนที่มากขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงและปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันผสมมีค่าความหนืดสูงขึ้น การกระจายเป็นฝอยละเอียดของเชื้อเพลิงไม่ดี จึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาปริมาณของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่กฎหมายกำหนดไม่เกิน 690 ppm จะพบว่าในทุกสัดส่วนผสมของกลีเซอรินผสมกับน้ำมันเตาจะมีค่าต่ำกว่าที่กฎหมายกำหนด ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากลีเซอรินสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อทดแทนน้ำมันเตาได้

แต่อย่างไรก็ตาม การวิจัยในครั้งนี้ไม่ได้ตรวจวัดสารมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้เช่น แก๊สอะโครลีน หรือ

ไดออกซิน ดังนั้นควรมีการศึกษาผลกระทบของการใช้กลีเซอรินที่มีต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มเติมต่อไป

5.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เมื่อใช้ เชื้อเพลิงผสม

ในการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ในงานวิจัยนี้จะทำการคำนวณจากอัตราการใช้เชื้อเพลิงผสมในการผลิตไอน้ำ 1 กิโลกรัม โดยจะทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ใช้กลีเซอรินเป็นเชื้อเพลิงผสมกับกรณีที่ไมใช้กลีเซอรินเป็นเชื้อเพลิงผสม โดยที่ราคาของน้ำมันเตาชนิด C ที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในงานวิจัยนี้คือ น้ำมันเตาชนิด C ราคาดีดละ 16.99 บาท และราคากลีเซอรินดีดละ 7 บาท ซึ่งผลการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ได้ผลดังตารางที่ 7

ผลจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างกลีเซอรินกับน้ำมันเตาชนิด C พบว่า สัดส่วนที่ช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ 1 กิโลกรัม คือ สัดส่วนผสมของน้ำมันเตา 60% และกลีเซอริน 40% และสัดส่วนผสมของน้ำมันเตา 40% และกลีเซอริน 60% ซึ่งช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายลง 0.0198 บาท และ 0.0017 บาท ต่อการผลิตไอน้ำ 1 กิโลกรัม ตามลำดับ

จากการศึกษาการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ หากพิจารณาที่ส่วนผสมของกลีเซอริน 10% น้ำมันเตา 90% เมื่อทำการคำนวณหาราคาของกลีเซอรินที่จะทำให้ประหยัดเชื้อเพลิงในส่วนผสมนี้พบว่าราคาของกลีเซอรินควรที่จะไม่เกินดีดละ 3.58 บาท จึงจะเป็นผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงได้

ตารางที่ 7 ผลวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างกลีเซอรินกับน้ำมันเตาชนิด C

ลำดับ	สัดส่วนผสม น้ำมันเตา : กลีเซอริน	ปริมาณ เชื้อเพลิง ผสมในการ ผลิตไอน้ำ 1 kg (ลิตร)	ปริมาณ น้ำมันเตาใน เชื้อเพลิง ผสม (ลิตร)	ปริมาณ กลีเซอรินใน เชื้อเพลิง ผสม (ลิตร)	ค่าใช้จ่ายของ น้ำมันเตา สำหรับผลิต ไอน้ำ 1 kg (บาท)	ค่าใช้จ่ายของ กลีเซอริน สำหรับผลิต ไอน้ำ 1 kg (บาท)	ต้นทุนของ เชื้อเพลิงผสม สำหรับผลิต ไอน้ำ 1 kg (บาท)
1	100 : 0	0.070	0.0700	0.0000	1.1893	0	1.1893
2	90 : 10	0.076	0.0684	0.0076	1.1621	0.0532	1.2153
3	80 : 20	0.080	0.0640	0.0160	1.0874	0.112	1.1994

4	70 : 30	0.085	0.0595	0.0255	1.0109	0.1785	1.1894
5	60 : 40	0.090	0.0540	0.0360	0.9175	0.252	1.1695
6	50 :50	0.101	0.0505	0.0505	0.8580	0.3535	1.2115
7	40 :60	0.108	0.0432	0.0648	0.7340	0.4536	1.1876
8	30 :70	0.121	0.0363	0.0847	0.6167	0.5929	1.2096

เมื่อทำการวิเคราะห์ระยะเวลาการคืนทุนของการติดตั้งระบบจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงผสมของน้ำมันกลีเซอริน และตั้งสมมติฐานที่ใช้หม้อไอน้ำขนาด 4,700 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ใช้งานวันละ 8 ชั่วโมง และ มีการทำงานที่ 50% ของพิกัด จะพบว่า หากใช้สัดส่วนผสมของกลีเซอรินที่ 40% จะประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 0.0198 บาทต่อการผลิตไอน้ำ 1 กิโลกรัม หรือ คิดเป็น $0.0198 \times 4,700 \times 0.5 \times 8 = 372.24$ บาทต่อวัน โดยในการติดตั้งระบบจ่ายน้ำมันกลีเซอรินเพิ่มเติม นั้น มีเงินลงทุน 40,000 บาท ดังนั้น จะมีระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 3.58 เดือน

6. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่ากลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ในหม้อไอน้ำได้ โดยมีค่าความร้อนเท่ากับ 13.48 MJ/kg น้อยกว่าค่าความร้อนของน้ำมันเตา 3.25 เท่า และมีค่าความหนืดเท่ากับ 303.78 cSt ซึ่งมีความมากกว่าน้ำมันเตา 1.75 เท่า และจากการทดสอบใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างกลีเซอรินกับน้ำมันเตาชนิด C ในสัดส่วน 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% และ 70% และคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำโดยใช้หลักการสมดุลพลังงานที่กำหนดให้พลังงานที่เข้าระบบเท่ากับพลังงานที่ออกจากระบบ จะพบว่าประสิทธิภาพหม้อไอน้ำที่ใช้ น้ำมันเตาเพียงอย่างเดียวมีค่าเท่ากับ 91.72% ในขณะที่ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมตั้งแต่ 10% - 70% มีค่าเท่ากับ 89.91%, 89.14%, 88.12%, 87.45%, 86.74%, 85.90% และ 85.39% ตามลำดับ โดยการใส่กลีเซอรินผสมน้ำมันเตา 10% สามารถลดการใช้น้ำมันเตาได้ 2.86% และสามารถลดการใช้น้ำมันเตาได้สูงสุด 47.5% เมื่อผสมกลีเซอรินลงใน

น้ำมันเตา 70% เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงผสม พบว่า เมื่อสัดส่วนของกลีเซอรินเพิ่มขึ้น ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จะลดลง ในขณะที่ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการที่มีกลีเซอรินเพิ่มมากขึ้น จะทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจากความหนืดและความสกปรกของกลีเซอรินที่มีค่าเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามที่ทุกสัดส่วนของเชื้อเพลิงผสม ค่าปริมาณแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จะมีค่าระหว่าง 18 - 82 ppm ซึ่งต่ำกว่า 690 ppm ตามที่กฎหมายกำหนด และผลจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยตั้งสมมติฐานราคาของกลีเซอรินลิตรละ 7 น้ำมันเตาชนิด C ราคาลิตรละ 16.99 บาท พบว่าสัดส่วนที่ช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุดคือ สัดส่วนผสมของน้ำมันเตา 60% และกลีเซอริน 40% ซึ่งสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตไอน้ำได้ 0.0198 บาทต่อ 1 กิโลกรัมไอน้ำ และเมื่อลงทุนติดตั้งระบบจ่ายน้ำมันผสม 40,000 บาท และหากมีการใช้หม้อไอน้ำวันละ 8 ชั่วโมง จะมีระยะเวลาคืนทุน 3.58 เดือน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภายใต้โครงการสร้างกำลังคนเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมระดับปริญญาโท(สกว.-สสว.) ประจำปี พ.ศ. 2550 และขอขอบคุณสถานจัดการและอนุรักษ์พลังงาน มหาวิทยาลัยขอนแก่นและโรงพยาบาลศรีนครินทร์ ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2551) คู่มือการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานในระบบ หม้อไอน้ำ เล่ม 3.

ชัชวรินทร์ ศักดิ์กำปัง และ ประพัทธ์ สันติวารากร. (2552) การศึกษาหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำเมื่อใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างกลีเซอรินกับน้ำมันไบโอดีเซล, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5 วันที่ 29 เมษายน – 1 พฤษภาคม 2552 ณ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิษณุโลก.

ปิยนฎ อินทนกุล. (2547) การทำกลีเซอรอลที่ได้จากการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลชีวภาพให้บริสุทธิ์ ภาควิชาวิศวกรรมปิโตรเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ราชกิจจานุเบกษา. (2549) ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำหนดค่าปริมาณของสารเจือปนในอากาศที่ระบายออกจากโรงงาน พ.ศ. 2549 เล่ม 123 ตอนพิเศษ 125 (ง).

สำนักงานนโยบายและแผนงานพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2552) งานข้อมูลพลังงานราคาน้ำมันปิโตรเลียม. ค้นเมื่อ 25 เมษายน 2552, จาก http://www.eppo.go.th/info/8prices_stat.htm.

A. Behr, J. Eilting, K. Irawadi, J. Leschinski and F. Lindner. (2008) Improved utilisation of renewable resources : New important derivatives of glycerol *Green Chem.* 10, 13–30.

D. Hedtke. (1996) Glycerine processing. In Y.H.Hui (Ed.), *Bailey's industrial oil & fat products*, Volume 5: Industrial and consumer nonedible products from oils and fats, New York: Wiley.

C. O'Driscoll. (2007) Seeking a new role for glycerol. *Biofuels* : *Biofuels Bioproducts and Biorefining* 1 (1), 7.

L. Bournay, D. Casanave, B. Delfort, G. Hillion and J. Chodorge. (2005) New heterogeneous process for biodiesel production: A way to improve the quality and the value of the crude glycerin produced by biodiesel plants. *Catalysis Today* 106, 190–192.

M. OZKAN, A. ERGENC and O. DENIZ. (2004) Experimental Performance Analysis of Biodiesel, Traditional Diesel and Biodiesel with Glycerine. *Yildiz Technical University. Turkish J. Eng. Env*, 5 (29), 89-94.

M. Slinn, K. Kendall, K. Mallon and J. Andrews. (2008) Steam reforming of biodiesel byproduct to make renewable hydrogen. *Bio-resource Technology* 99, 5851–5858.