

การทำความร้อนและทำความเย็นในโรงเรือนจำลองโดยใช้ปั๊มความร้อนที่ ขับเคลื่อนโดยเครื่องยนต์ก๊าซชีวภาพ

Greenhouse Heating and Cooling using Heat Pump Driven by Biogas Engine

ณัฐวัฒน์ สังข์นาค¹ และ ชนมน จันทนา^{1*}

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อำเภอกำแพงแสน
จังหวัดนครปฐม 73140

*ติดต่อ: fengcnm@ku.ac.th, เบอร์โทรศัพท์และโทรสาร 034-355310

บทคัดย่อ

โรงเรือน (greenhouse) เป็นสิ่งปลูกสร้างที่มีลักษณะปิดเพื่อควบคุมสภาพแวดล้อมภายในให้เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช ทำให้สามารถปลูกพืชในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม และได้ผลผลิตตลอดทั้งปี ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน มีผลต่อผลผลิตที่ได้ บทความวิจัยนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองการทำความร้อน ทำความเย็น และลดความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนจำลองขนาด 0.75 เมตร × 0.75 เมตร × 1.20 เมตร โดยใช้ปั๊มความร้อน (heat pump) ซึ่งใช้คอมเพรสเซอร์ ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ขนาด 110 ซีซี และใช้แก๊สชีวภาพ (biogas) เป็นเชื้อเพลิงเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า จากผลการทดลองพบว่าเมื่อปั๊มความร้อนทำงานเป็นวงจรทำความเย็น สามารถลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้อยู่ที่ 25 °C โดยมีค่า $COP_{cooling}$ เฉลี่ยอยู่ที่ 3.0 และ เมื่อทำงานเป็นวงจรทำความร้อน พบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิในโรงเรือนให้อยู่ที่ 55 °C ซึ่งผลของการทำความร้อน ทำให้สามารถลดอัตราส่วนความชื้นในโรงเรือนลงได้เฉลี่ย 14% และ ค่า $COP_{heating}$ เฉลี่ยอยู่ที่ 3.5 ที่สภาวะอุณหภูมิบรรยากาศภายนอก 35 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์ 85% โดยประมาณ

คำหลัก: โรงเรือน; ปั๊มความร้อน; แก๊สชีวภาพ

Abstract

A greenhouse is a closed enclosure which provides a controlled environment for plant production. This technology is a viable option for sustainable crop production in the regions of adverse climate conditions for successful greenhouse crop production throughout years. Temperature and humidity in greenhouse make environmental controls possible that are essential for favorable crop production results. In this research, the experimental results of using the heat pump for heating, cooling and relative humidity control in 0.75 m × 0.75 m × 1.20 m simulated greenhouse were presented. The compressor was driven by biogas engine, 110 cc, for reducing electricity consumption. The results showed that the heat pump could produce the average temperature in greenhouse to be 25 °C and 55 °C in cooling and heating mode respectively, and the humidity ratio could be reduced to 14%. The average $COP_{cooling}$ and $COP_{heating}$ values were at 3.0 and 3.5 respectively at 35 °C and 85% RH ambient condition.

Keywords: Greenhouse; Heat pump; Biogas

ETM-2014

1. บทนำ

โรงเรือน (greenhouse) เป็นสิ่งปลูกสร้างที่สามารถควบคุมสภาพภายใน ให้มีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ โดยไม่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมภายนอก และเนื่องจากสภาพแวดล้อมโลกในปัจจุบันที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น รวมทั้งจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นมาก ทำให้เทคโนโลยีโรงเรือนมีการพัฒนาและแพร่หลายในวงการเกษตรกรรมรวมทั้งในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม พบว่า หนึ่งในภาคอุตสาหกรรมเกษตร ที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดคือ โรงเรือน [1]

สภาวะอากาศภายนอกส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศในโรงเรือนได้โดยตรง เช่น อุณหภูมิ แสงสว่าง ความชื้น เป็นต้น [2] เพื่อควบคุมปัจจัยเหล่านี้ให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชโรงเรือน จึงมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งได้ศึกษาการใช้ปั๊มความร้อน (heat pump) สำหรับทำความเย็น ความร้อน และลดความชื้นภายในโรงเรือน โดยผลจากงานวิจัยสรุปได้ว่าปั๊มความร้อนสามารถประหยัดการใช้พลังงานได้ 20-50% ระหว่างการทำงาน [3]

ปั๊มความร้อน เป็นชุดอุปกรณ์ที่สามารถถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าได้ โดยปกติใช้ในระบบการทำความร้อนหรือเพิ่มอุณหภูมิให้กับบริเวณที่ต้องการความร้อน เป็นวงจรที่ประกอบด้วยการทำงานของสารทำความเย็นไหลผ่านอุปกรณ์ที่สำคัญคือเครื่องอัดไอ (compressor) เครื่องควบแน่น (condenser) วาล์วลดความดัน (expansion valve) และเครื่องระเหย (evaporator) คล้ายกับระบบปรับอากาศ แต่จะมีอุปกรณ์ที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งคือ วาล์วกลับทิศทาง (reversing valve) ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนทิศทางการไหลของสารทำความเย็น ให้การทำงานของปั๊มความร้อนเป็นวงจรทำความเย็นหรือการทำความร้อน

เครื่องอัดไอในวงจรปั๊มความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ต้องการพลังงาน เช่น พลังงานไฟฟ้า แต่มิงานวิจัยที่

ได้ศึกษาการนำแก๊สมาใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับเครื่องยนต์เพื่อใช้เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนเพอร์สเซอร์ในวงจรปั๊มความร้อน [4,5] สำหรับประเทศไทย มีการส่งเสริมการผลิต ก๊าซชีวภาพ (biogas) จากมูลสัตว์ เช่น สุกร หรือโค ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในเครื่องยนต์เพื่อขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ ในวงจรปั๊มความร้อนแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าได้

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบการใช้ก๊าซชีวภาพ สำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แก๊สขนาดเล็ก เพื่อใช้เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนเครื่องอัดไอในวงจรปั๊มความร้อน สำหรับทำความเย็น ความร้อนและลดความชื้นในโรงเรือน ซึ่งมีการจำลองค่าภาระความร้อนที่เกิดขึ้นภายในจากความเข้มแสงอาทิตย์ภายนอก การคายความร้อนจากพืช และภาระความร้อนจากดินและอากาศในโรงเรือน โดยปั๊มความร้อนจะลดอุณหภูมิภายในโรงเรือนให้อยู่ที่ 25 °C สำหรับทำความเย็นและเพิ่มอุณหภูมิให้อยู่ที่ 55 °C สำหรับทำความร้อน ที่สภาวะอุณหภูมิบรรยากาศภายนอก 35 °C และค่าความชื้นสัมพัทธ์ 85% โดยประมาณในเดือนเมษายน

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ชุดการทดลองประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ดังนี้

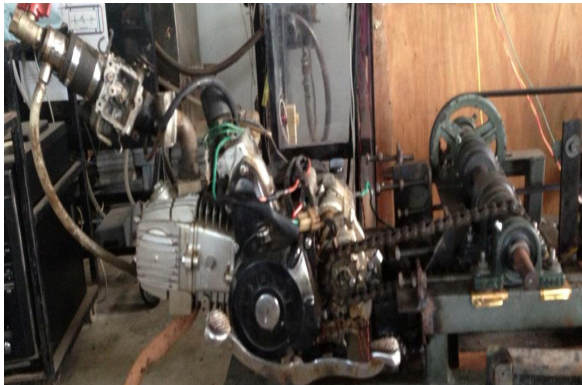
1. ระบบจ่ายแก๊สให้กับเครื่องยนต์
2. ระบบเครื่องยนต์ สำหรับขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ
3. วงจรปั๊มความร้อน
4. โรงเรือนจำลอง
5. ระบบเครื่องมือวัด

สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์หลักข้างต้น เป็นดังนี้ ระบบจ่ายแก๊สประกอบด้วย ถังแก๊สขนาด 15 kg พร้อมมาตรวัดความดัน สายส่ง และหม้อต้มแก๊สสำหรับนำหนักของแก๊สที่ใช้ไประหว่างการทดสอบ ทำการเก็บค่าโดยใช้ load cell และแสดงผลโดยใช้

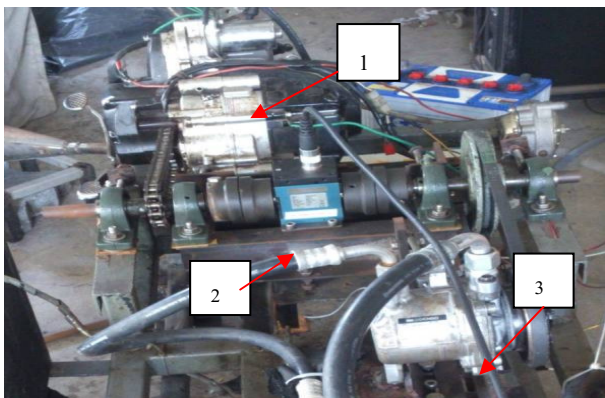
ETM-2014

โปรแกรม Lab View สำหรับแก๊สชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ นำมาจากถังหมักแก๊ส ณ ศูนย์พลังงาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน ซึ่งหมักจากซอสหอยนางรม ถูกนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์แก๊ส (gas analyzer) ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน ผลจากการวิเคราะห์พบว่า องค์ประกอบแก๊สชีวภาพ โดยเฉลี่ยประกอบด้วย CH_4 - 64%, CO_2 - 34% และอื่น ๆ อีก 2 %

สำหรับระบบเครื่องยนต์ ประกอบด้วยเครื่องยนต์แก๊ส LIFAN ขนาด 110 cc พร้อมชุดเฟืองทดและสายพาน สำหรับใช้ขับเคลื่อนเครื่องอัดไอ ดังในรูปที่ 1 ซึ่งในระหว่างการทดสอบ จะมีการวัดความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และเครื่องอัดไอ โดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบ และวัดค่าแรงบิดจากเพลลา โดยใช้ Torque sensor ซึ่งติดตั้งไว้ที่แกนเพลลา ดังในรูปที่ 2

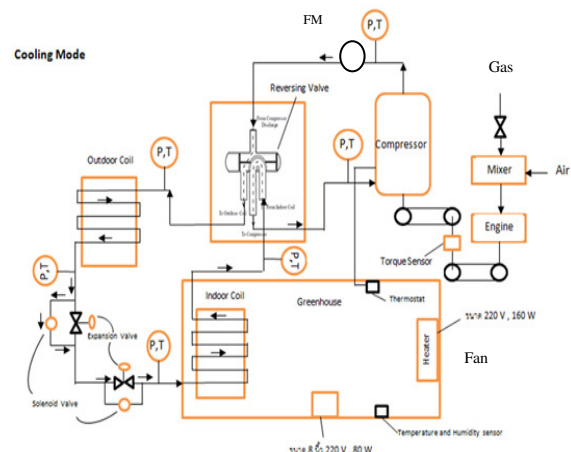


รูปที่ 1 ระบบเครื่องยนต์และชุดขับเคลื่อน



รูปที่ 2 การติดตั้ง Torque sensor ที่แกนเพลลา
(1-เครื่องยนต์แก๊ส 2- Torque sensor 3-เครื่องอัดไอ)

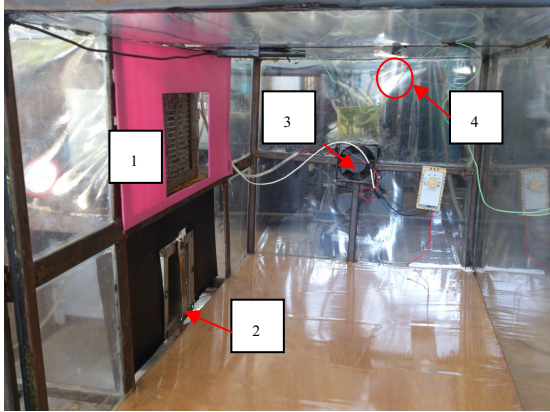
วงจรปั๊มความร้อนประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือเครื่องอัดไอ แผงคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในและภายนอกโรงเรือน วาล์วกลับทิศทางน้ำยา โซลินอยด์วาล์ว และอิเล็กทรอนิกส์แนวาล์ว การทำงานของวงจรปั๊มความร้อนสามารถปรับเปลี่ยนการทำงานให้เป็นวงจรทำความร้อน หรือ ทำความเย็น โดยการกลับทิศทางการไหลของสารทำความเย็น ซึ่งในที่นี้คือ R-134 a ที่วาล์วกลับทิศทาง สำหรับอุปกรณ์วัดในวงจรประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 3 ชนิด คือ 1. มาตรวัดความดัน (pressure gauge) ใช้สำหรับวัดความดันที่บริเวณทางเข้าและออกจากเครื่องอัดไอ และแผงคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อน 2. เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ใช้วัดอุณหภูมิของ R-134 a ซึ่งใช้เป็นสารทำความเย็นในวงจร โดยติดตั้งที่บริเวณเดียวกันกับตำแหน่งมาตรวัดความดัน และทำการต่อสายเทอร์โมคัปเปิล เข้ากับ data logger เพื่อแสดงค่าผ่านโปรแกรม Lab view และ 3. อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (flow meter) สำหรับวัดอัตราการไหลของ R-134a ในวงจร ฟังก์ชันการทำงานของปั๊มความร้อนทั้งการทำความร้อนและทำความเย็น รวมทั้งตำแหน่งติดตั้งของอุปกรณ์วัดแสดงอยู่ในรูปที่ 3 (ก) และ (ข)



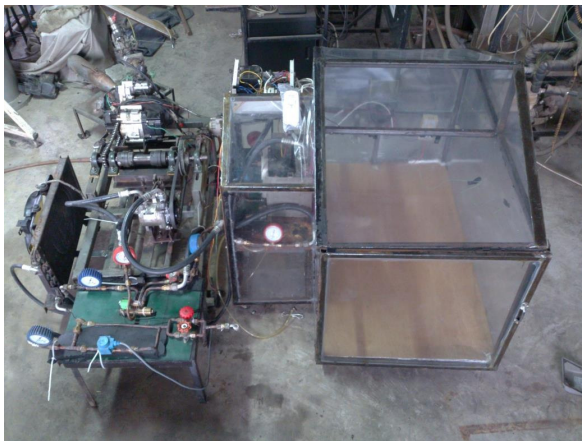
(ก) การทำความเย็น

ให้กับเครื่องยนต์ และทำการสตาร์ทเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบที่กำหนดไว้ ค่าใดค่าหนึ่ง โดยอ่านค่าจากเครื่องมือวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ จากนั้นทำการจ่ายไฟให้กับขดลวดความร้อนในโรงเรือนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศในโรงเรือน และเปิดพัดลมดูดอากาศเมื่อปั๊มความร้อนเริ่มทำงานเพื่อลดอุณหภูมิในโรงเรือนลงจึงเริ่มทำการจับเวลา จนกระทั่งอุณหภูมิในโรงเรือนลดลงมีค่าตามที่ได้มีการตั้งไว้ที่เทอร์โมสตัท ขณะเดียวกันมีการบันทึกค่า ความเร็วรอบเครื่องอัดไอแรงบิดที่ torque sensor ความดัน อัตราการไหลของ R-134a และอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น และน้ำหนักของแก๊สที่ใช้ไป เป็นระยะ ๆ ในช่วงเวลาดังกล่าว จากนั้นทำการทดสอบซ้ำจนครบทุกความเร็วรอบของเครื่องยนต์ สำหรับการทำความร้อนจะเริ่มจากการสตาร์ทเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบที่กำหนดไว้ ค่าใดค่าหนึ่ง เช่นเดียวกับการทำความเย็น จากนั้นเปิดหัวพ่นหมอกเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับอากาศในโรงเรือน จนได้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยการอ่านค่าจากเครื่องมือวัดความชื้นสัมพัทธ์ที่ติดตั้งในโรงเรือน และเมื่อปั๊มความร้อนเริ่มทำงานเพื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศในโรงเรือนจนถึงค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ที่เทอร์โมสตัท ขณะนั้นมีการบันทึกค่าต่าง ๆ เช่นเดียวกับการทำความเย็น แต่มีการบันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงเวลาดังกล่าวด้วย และเพื่อเป็นการเปรียบเทียบการลดค่าความชื้นของอากาศเมื่อไม่ใช้ปั๊มความร้อน จึงทำการทดลองเพิ่มเติมด้วยการเปิดหัวพ่นหมอกและพัดลมดูดอากาศ ทำการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงระยะเวลาที่เท่ากับการเปิดวงจรปั๊มความร้อนแล้วนำค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อทำการเปิดและไม่เปิดวงจรการทำความร้อนมาเปรียบเทียบกัน

ETM-2014



รูปที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์ในโรงเรือนจำลอง (1-แผงคอยล์, 2- ขดลวดความร้อน, 3- พัดลมดูดอากาศ, 4- หัวพันหมอก)



รูปที่ 5 การติดตั้งปั๊มความร้อนกับโรงเรือนจำลอง

3. การคำนวณ

3.1 ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ (η)

$$\eta = \frac{\text{power output}}{\text{power input}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{power output} = T \times \omega$$

เมื่อ T คือ แรงบิด (N.m.), ω คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rad/s)

$$\text{power input} = V_f \times LHV$$

เมื่อ V_f คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (m^3/s), LHV คือ ค่าความร้อนของ ก๊าซชีวภาพ (J/m^3) [6]

3.2 อัตราการใช้เชื้อเพลิง (Brake specific fuel consumption, $bsfc$)

$$bsfc = \frac{V_f \times 3.6}{\text{Power output}}, \text{m}^3 / (\text{kW} \cdot \text{hr}) \quad (2)$$

3.3 สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of performance, COP)

$$COP_{cooling} = \frac{Q_{cooling}}{W_{comp}} \quad (3)$$

$$COP_{heating} = \frac{Q_{heating}}{W_{comp}} \quad (4)$$

$$Q_{cooling} = m \cdot r \times \Delta h$$

เมื่อ $m \cdot r$ คือ อัตราการไหลของสารทำความเย็น R-134a (Kg/s), Δh คือ ผลต่างของ Enthalpy ที่บริเวณทางเข้าและออกของคอยล์เย็น (kJ/Kg)

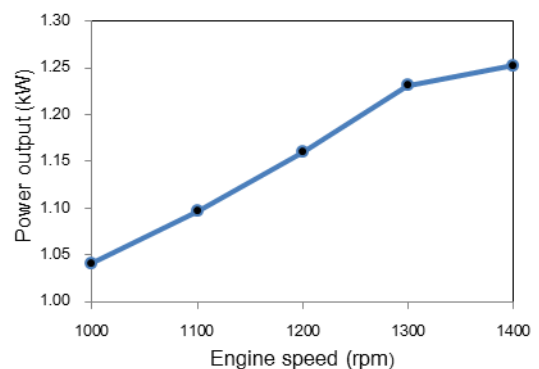
$$W_{comp} = m \cdot r \times \Delta h$$

เมื่อ Δh คือ ผลต่างของ Enthalpy ระหว่างที่บริเวณทางเข้าและออกของ เครื่องอัดไอ (kJ/Kg)

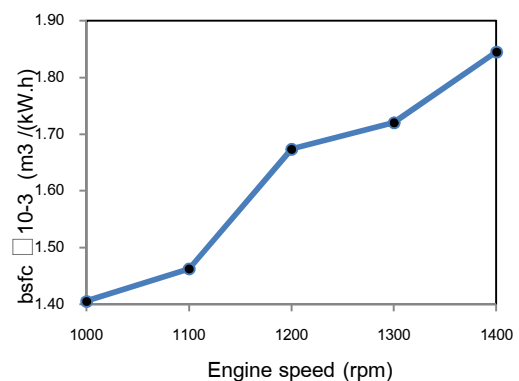
4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ผลของการทำความเย็นและการทำความร้อน

4.1 การทำความเย็น

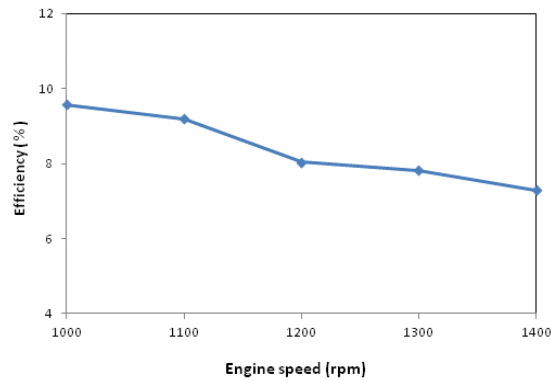


รูปที่ 6 กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ



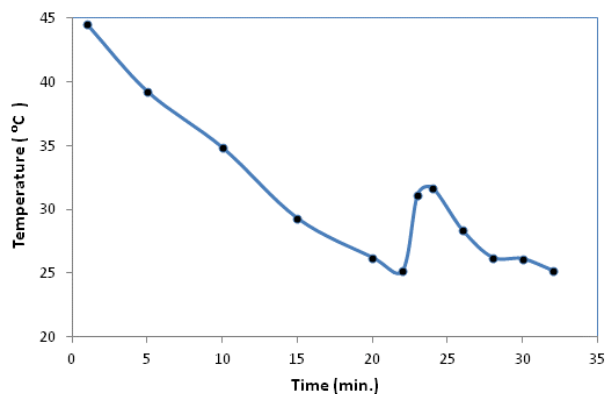
รูปที่ 7 อัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ

ETM-2014

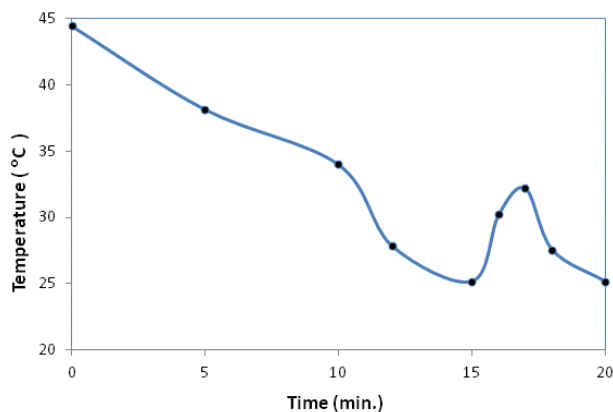


รูปที่ 8 ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

ผลของการทดสอบเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ เมื่อป้อนความร้อนทำงานเป็นวงจรการทำความเย็น แสดงอยู่ในรูปที่ 6-8 จะเห็นว่า กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ และอัตราการใช้เชื้อเพลิงแปรผันตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ แต่ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์มีค่าลดลงเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่มากขึ้น



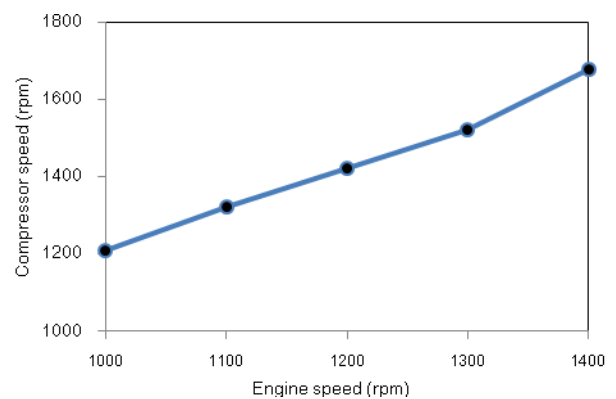
(ก) 1000 rpm



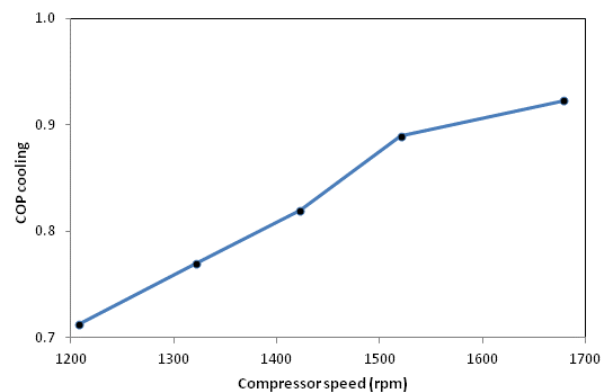
(ข) 1300 rpm

รูปที่ 9 อุณหภูมิในโรงเรือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 และ 1300 rpm

รูปที่ 9 (ก) และ (ข) แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยในโรงเรือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 และ 1300 rpm จากรูปจะเห็นว่า เวลาที่คอมเพรสเซอร์ใช้ในการลดอุณหภูมิในโรงเรือนให้ลดต่ำลงมาที่อุณหภูมิเฉลี่ย 25 °C จะขึ้นกับความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งเมื่อความเร็วรอบเพิ่มมากขึ้นเวลาที่ใช้ในการทำความเย็นจะลดลง เนื่องจากความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์ที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 10 และค่า $COP_{cooling}$ แสดงอยู่ในรูปที่ 11 โดยค่า $COP_{cooling}$ เฉลี่ยอยู่ที่ 3.0



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์และคอมเพรสเซอร์สำหรับการทำความเย็น



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $COP_{cooling}$ และความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์

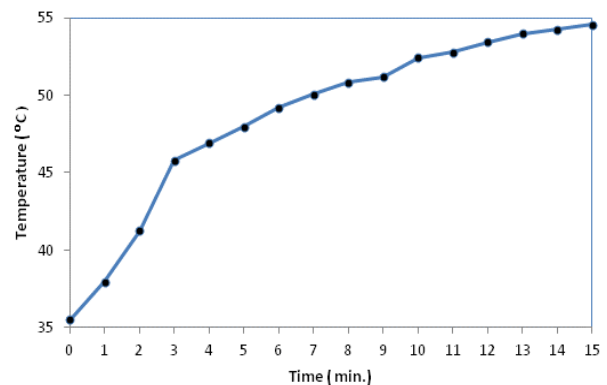
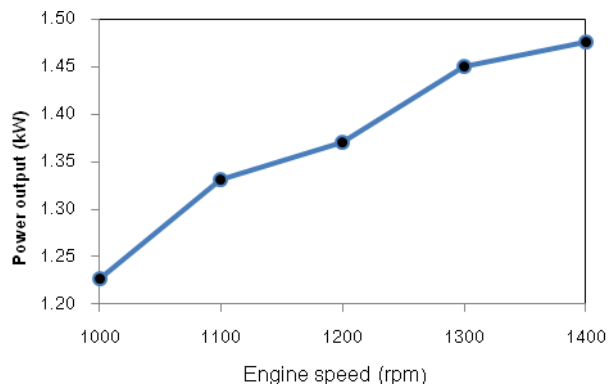
4.2 การทำความร้อน

เมื่อป้อนความร้อนทำงานเป็นวงจรการทำความร้อน ผลของการทดสอบเครื่องยนต์ แสดงอยู่ในรูปที่ 12-14 จากรูปจะเห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ อัตราการใช้เชื้อเพลิง และประสิทธิภาพของเครื่องยนต์มีความสัมพันธ์กับ

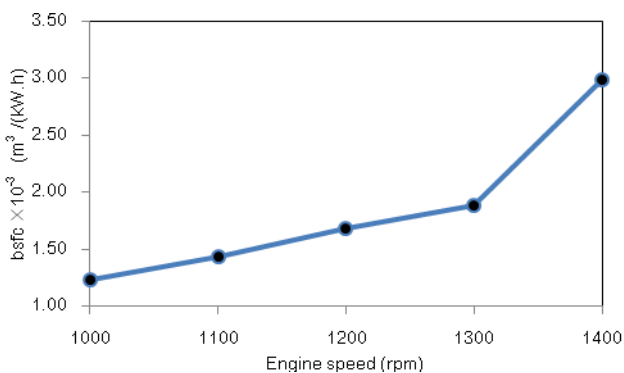
ETM-2014

ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ เช่นเดียวกับวงจรการทำงาน ความเย็น โดยมีประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกันโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 8%

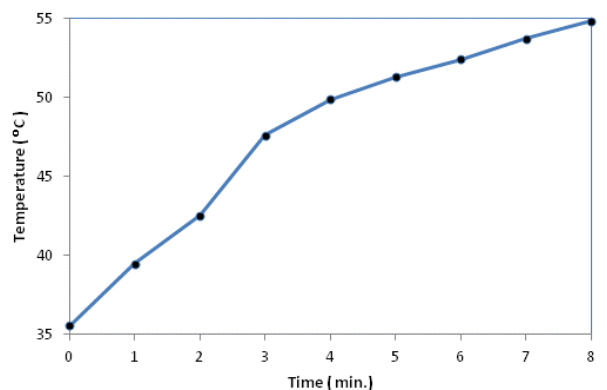
เครื่องยนต์ โดยเวลาในการทำความร้อนจะลดลงเมื่อความเร็วรอบของเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 12 กำลังที่ได้จากเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

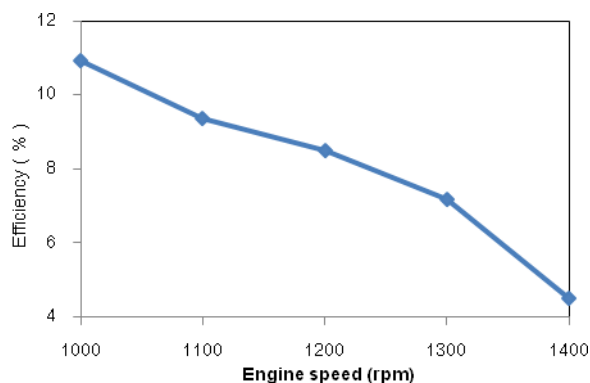


(ก) 1000 rpm

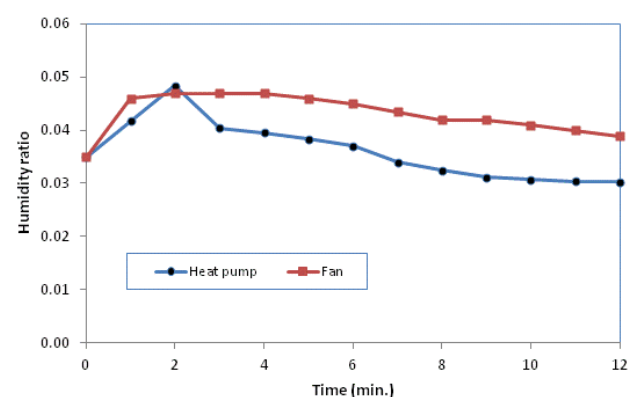


(ข) 1300 rpm

รูปที่ 13 อัตราการใช้เชื้อเพลิงที่ความเร็วรอบต่าง ๆ



รูปที่ 15 อุณหภูมิในโรงเรือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1000 และ 1300 rpm



รูปที่ 14 ประสิทธิภาพเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบต่างๆ

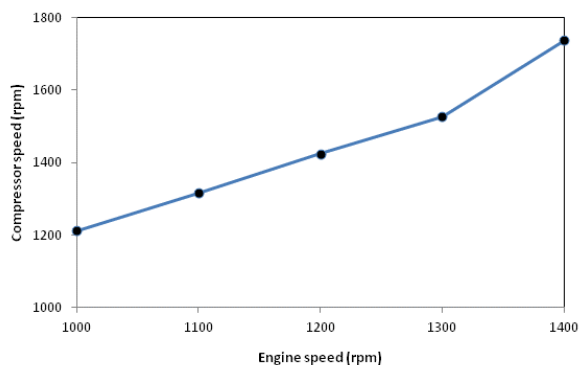
รูปที่ 15 แสดงเวลาที่ปั๊มความร้อนใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับโรงเรือน ซึ่งกำหนดไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 55°C จากรูปจะเห็นว่า เวลาที่ใช้ในการทำความร้อนนั้นมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบของ

รูปที่ 16 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้นในโรงเรือนโดยการใช้วงจรปั๊มความร้อนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1100rpm

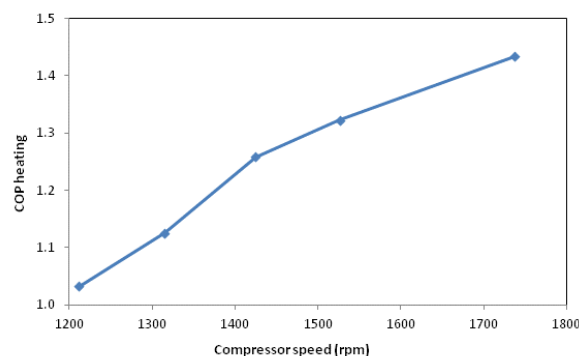
รูปที่ 16 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความชื้น(humidity ratio) ในโรงเรือนเมื่อใช้วงจรปั๊ม

ETM-2014

ความร้อนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1100 rpm จาก
รูปจะเห็นว่า การใช้ปั๊มความร้อนสามารถลดอัตราส่วน
ความชื้นในโรงเรือนได้โดยเฉลี่ย 14% สำหรับ
ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบของเครื่องยนต์และ
คอมเพรสเซอร์สำหรับวงจรทำความร้อน แสดงอยู่ในรูป
ที่ 17 และค่า $COP_{heating}$ แสดงอยู่ในรูปที่ 18 ซึ่งค่า
 $COP_{heating}$ เฉลี่ยอยู่ที่ 3.5



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบ
เครื่องยนต์และคอมเพรสเซอร์สำหรับการทำความร้อน



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $COP_{heating}$ และ
ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์

5. สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้เป็นการทดสอบการนำก๊าซชีวภาพ
มาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์แก๊ส สำหรับใช้เป็น
ต้นกำลังขับเคลื่อนปั๊มความร้อนในวงจรทำความร้อน เพื่อ
ใช้สำหรับการทำความเย็น การทำความร้อน และลด
ความชื้นในโรงเรือนจำลอง จากการทดลองพบว่า ปั๊ม
ความร้อนสามารถทำความเย็น และทำความร้อนได้
ตามที่กำหนด กล่าวคือ สามารถลดอุณหภูมิใน
โรงเรือนให้อยู่ที่ 25 °C และ เพิ่มอุณหภูมิในโรงเรือน
ได้ที่ 55 °C โดยสามารถลดอัตราส่วนความชื้นใน
โรงเรือนได้โดยเฉลี่ย 14 % ซึ่งจากผลการทดลองนี้จะ

ได้นำมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อนำมาใช้ร่วมกับระบบระบาย
อากาศชนิดอื่นสำหรับโรงเรือนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน ที่ได้มอบทุนสำหรับ
งานวิจัยนี้ และ ศูนย์พลังงาน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่
ได้อนุเคราะห์แก๊สชีวภาพสำหรับการทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Vardili, A. and Martin, V. (2012). Energy management in horticultural applications through the closed greenhouse concept, state of the art, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, June 2012, pp. 5087-5100.
- [2] ASHRAE. (1974) Handbook: Applications volume. American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers, chapter 22, Atlanta.
- [3] Zellhofer O. (1981). Impact of heat pumps on energy resources and the environment worldwide, *Heat pumps: technology and marketing*, Butterworths Publication, London.
- [4] Hepbasli, A., Erbay, Z., Icier, F., Colak, N. and Hancioglu, E. (2007). A review of gas engine driven heat pump (GEHPS) for residential and industrial applications, June 2007, vol.13, pp.85-99.
- [5] Elgendy, E., Schmidt, J., Khalil, A. and Fatouh, M. (2011). Performance of a gas engine driven heat pump for hot water supply systems, March 2011, vol.36, pp.2883-2889.
- [6] Ludington, D. (2005). Calculating the heating value of biogas, [URL:http://syreen.gov.sy/archieve/docs/File/Articles/from%20dr.abd%20alrhman%20%20alchah/2/Heating_Value_of_Biogas.pdf](http://syreen.gov.sy/archieve/docs/File/Articles/from%20dr.abd%20alrhman%20%20alchah/2/Heating_Value_of_Biogas.pdf), accessed on 15/06/2013