อิทธิพลของความหนาของวัสดุพรุนที่มีต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ

The Influence of Porous Material Thickness on the Thermal Performance of Steam-Powered Water Pump

ปกรณ์ พรหมแก้ว[1] ปฏิวัติ วรามิตร[2] สัญชัย รำเพยพัด[3] และ ภาณุศักดิ์ มูลศรี[3*]

Pakorn Promkaew[1] Pathiwat Waramit[2] Sanchai Ramphueiphad[3] and Panusak Moonsri[3*]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏภูเก็ต ภูเก็ต 83000

[2] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000

[3] สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและการปรับอากาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000

[1]Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Phuket Rajabhat University, Phuket 83000

[2]Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima 30000

[3]Energy and Air Conditioning Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima 30000

[1]Corresponding author: Tel.: 08-63974013. E-mail address: panusak.mo@rmuti.ac.th

Abstract

This research aims to investigate the influence of porous material thickness on the thermal efficiency and specific energy consumption index of a steam-powered water pump using waste heat from the combustion of 60 kg of wood obtained from Rajamangala University of Technology Isan. The static suction head was set at 3 m and the static discharge head at 1 m. Experiments were conducted comparing cases with and without the installation of fibrous porous materials with a porosity of 0.954, packed in stainless steel 304 mesh, which was formed into rectangular shapes with dimensions of 148.08 mm width, 895.10 mm height, and thicknesses of 25.4 mm, 38.1 mm, and 50.8 mm, respectively. Four sheets were installed inside the steam generation tank. The research results found that installing 50.8 mm thick, porous material had the lowest SEC value of 754.86 kJ/L, while the case without porous material installation had the highest SEC value of 1,064.05 kJ/L. Therefore, installing porous materials with thicknesses of 25.4 mm, 38.1 mm, and 50.8 mm helped reduce energy consumption by 20.57%, 20.82%, and 29.06%, respectively. Installing 38.1 mm and 50.8 mm thick, porous materials showed similar thermal efficiencies of 56.9%, while the case without porous material installation had an efficiency of 48.87%. Therefore, installing 38.1 mm and 50.8 mm thick, porous materials significantly helped increase thermal efficiency by 8% and reduce the specific energy consumption index of steam-powered water pumps by 20.82% and 29.06%, respectively, compared to cases without porous material installation.

Keywords: Porous material, Charcoal Kiln, Steam-Powered Water Pump

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความหนาของวัสดุพรุนที่มีต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้งจากการเผาไม้ปริมาณ 60 kg ที่ได้จากภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน กำหนดระดับเฮดสถิตด้านดูดเท่ากับ 3 m และเฮดสถิตด้านส่งเท่ากับ 1 m ทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการมีและไม่มีการติดตั้งวัสดุพรุนชนิดเส้นใย (Fibrous Porous Materials) มีค่าความพรุน (Porosity) เท่ากับ 0.954 ถูกบรรจุในตาข่ายสแตนเลส 304 ซึ่งถูกนำมาดัดเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 148.08 mm สูง 895.10 mm หนา 25.4 mm 38.1 mm และ 50.8 mm ตามลำดับ จำนวน 4 แผ่นถูกติดตั้งภายในถังผลิตไอน้ำ ผลการวิจัยพบว่า การติดตั้งวัสดุพรุนหนา 50.8 mm มีค่า SEC ต่ำที่สุดเท่ากับ 754.86 kJ/L ในขณะที่กรณีไม่มีการติดตั้งวัสดุพรุนมีค่า SEC สูงที่สุดเท่ากับ 1,064.05 kJ/L ดังนั้น การติดตั้งวัสดุพรุนหนา 25.4 mm 38.1 mm และ 50.8 mm จึงช่วยลดการใช้พลังงานเท่ากับ 20.57% 20.82% และ 29.06% ตามลำดับ การติดตั้งวัสดุพรุนหนา 38.1 mm และ 50.8 mm มีค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนใกล้เคียงกันเท่ากับ 56.9% ในขณะที่กรณีไม่มีการติดตั้งวัสดุพรุนมีค่าเท่ากับ 48.87% ดังนั้น การติดตั้งวัสดุพรุนหนา 38.1 mm และ 50.8 mm จึงมีนัยสำคัญในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ 8% และช่วยลดค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำได้ 20.82% และ 29.06% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการไม่ติดตั้งวัสดุพรุน

คำสำคัญ: วัสดุพรุน, เตาเผาถ่าน, ปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ

บทนำ

ในพื้นที่ชนบทของประเทศไทยการใช้ถ่านไม้จากการเผาถ่านยังคงมีบทบาทสำคัญในครัวเรือนเกษตรกร โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบว่า การใช้ถ่านไม้เป็นพลังงานสำหรับกิจกรรมในครัวเรือนคิดเป็น 21% ของพลังงานทั้งหมดในครัวเรือน ขณะเดียวกันในเขตชานเมืองและในเมืองมีสัดส่วนคิดเป็น 16% และ 6% ตามลำดับ [1] กระบวนการเผาถ่านปลดปล่อยความร้อนในปริมาณมากและมีศักยภาพในการนำความร้อนเหลือทิ้งมาประยุกต์ใช้เชิงสาธารณประโยชน์ เช่น ระบบสูบน้ำเพื่อการอุปโภคและเกษตรกรรมในท้องถิ่น ซึ่งสามารถลดการพึ่งพาปั๊มน้ำไฟฟ้าและลดต้นทุนพลังงานของครัวเรือนได้ [2]

การเปลี่ยนพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในการขับดันน้ำด้วยเครื่องสูบน้ำกำลังไอน้ำมีการศึกษากันมาอย่างต่อเนื่องในแง่ผลของความดันเกจ อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นและอุณหภูมิภายในถังขับดันที่มีผลต่อปริมาณน้ำที่สูบน้ำ ความสูงด้านดูดของระบบที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำ [3-5] แต่อย่างไรก็ตาม การสูญเสียความร้อนระหว่างกระบวนการถ่ายเทความร้อนยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ประสิทธิภาพเครื่องสูบน้ำกำลังไอน้ำต่ำ [6] เทคนิคการเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้วยการใช้วัสดุพรุนเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากคุณลักษณะพิเศษของวัสดุพรุนที่มีความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนได้อย่างดี [7]

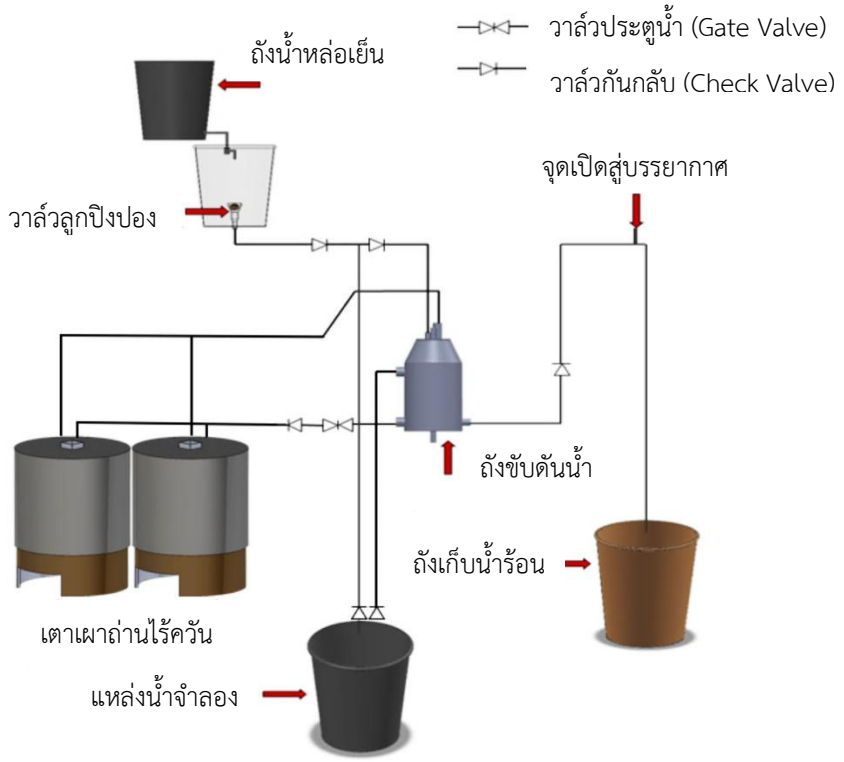
จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่ามีการประยุกต์ใช้วัสดุพรุนในงานที่เกี่ยวกับอุณหภาพช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน จากความโดดเด่นในการดูดซับความร้อนของวัสดุพรุนจึงน่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้กับปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำที่ใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากเตาเผาถ่านเป็นแหล่งความร้อน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาอุปกรณ์เก็บสะสมความร้อนจากวัสดุพรุนชนิดเส้นใยเหล็กที่มีค่าความพรุนเท่ากันแต่มีความหนาของวัสดุพรุนแตกต่างกัน โดยติดตั้งบริเวณผนังด้านในส่วนผลิตไอน้ำ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะให้กับปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำกรณีมีการติดตั้งวัสดุพรุนที่ความหนาของวัสดุพรุนแตกต่างกันและกรณีไม่มีการติดตั้งวัสดุพรุน งานวิจัยนี้มุ่งหวังในการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและสร้างสังคมคาร์บอนต่ำให้กับประเทศไทย

วิธีการวิจัย

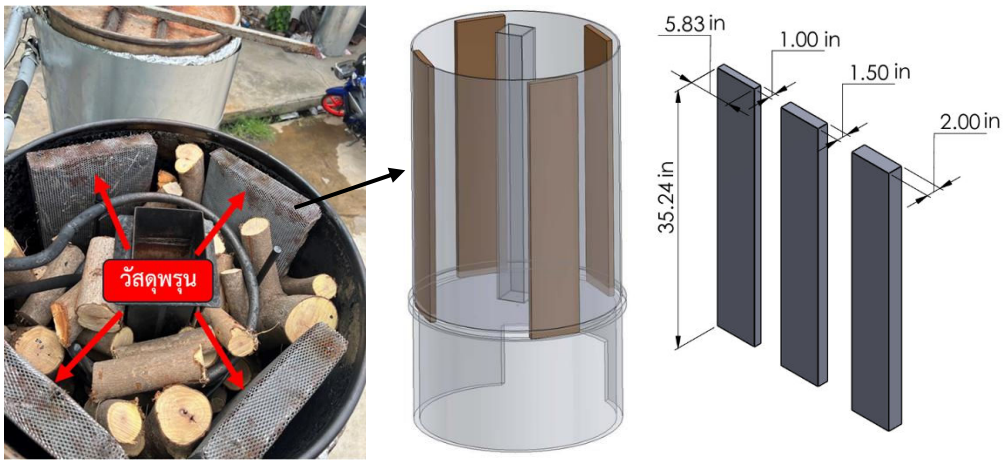
1) โครงสร้างระบบปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้งจากการเผาถ่าน

การประยุกต์ใช้วัสดุพรุนเพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในระบบปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ ดังภาพที่ 1 จากความร้อนเหลือทิ้งจากการเผาถ่าน ทำได้โดยการติดตั้งวัสดุพรุนชนิดเส้นใย (Fibrous Porous Materials) ที่ได้มาจากเศษขี้กลึง

เหล็ก มีค่าความพรุน (Porosity) เท่ากับ 0.954 ถูกบรรจุในตาข่ายสแตนเลส 304 ซึ่งถูกนำมาดัดเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 148.08 mm สูง 895.10 mm ที่มีความหนา 25.4 mm 38.1 mm และ 50.8 mm ตามลำดับ ดังภาพที่ 2 เข้าไปในถังผลิตไอน้ำ (Heating Tank) ลักษณะเป็นถังเหล็กทรงกระบอกแนวตั้ง ขนาดความจุถัง 200 L จำนวน 2 ถัง ภายในติดตั้งขดท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.05 mm หนา 0.75 mm ยาว 5,655 mm



ภาพที่ 1 โครงสร้างระบบปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ



ภาพที่ 2 การติดตั้งวัสดุพรุนในส่วนผลิตไอน้ำ

2) การวิเคราะห์ระบบปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ

การวิเคราะห์ระบบปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำในงานวิจัยนี้ เน้นวิเคราะห์ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) และประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency) ตัวแปรที่ตรวจวัดเพื่อนำมาประกอบการ

วิเคราะห์ เช่น ค่าอุณหภูมิ เฮดสถิตด้านดูดและด้านจ่าย ปริมาตรน้ำที่สูบน้ำได้ และพลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำ เป็นต้น โดยค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1-4

$$SEC = \frac{Q_{in}}{V_{total}} \quad (1)$$

เมื่อ SEC คือ ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (kJ/L) Q_{in} คือ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงที่ป้อนให้กับระบบ (kW) และ V_{total} คือ ปริมาตรน้ำที่สูบได้ทั้งหมด (L/s)

$$Q_{in} = \frac{(HHV \times m)_{Wood} - (HHV \times m)_{Charcoal}}{t_{total}} \quad (2)$$

เมื่อ HHV คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg) m คือ มวลของเชื้อเพลิง (kg) t_{total} คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง (s)

$$h_{th} = \frac{Q_s}{Q_{in}} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ h_{th} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน Q_s คือ ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ (kW)

$$Q_s = \dot{m}_w \times C_{p,w} \times (T_{w,o} - T_{w,i}) \quad (4)$$

เมื่อ $\dot{m}_w$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ (kg/s) $C_{p,w}$ คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg K) $T_{w,o}$ คือ อุณหภูมิน้ำออกจากถังผลิตไอน้ำ (K) $T_{w,i}$ คือ อุณหภูมิน้ำเข้าถังผลิตไอน้ำ (K)

3) วิธีการทดลอง

เมื่อตรวจเช็คความพร้อมของระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำและติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิเรียบร้อยแล้ว ไม้ที่ได้จากภายในบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ปริมาณ 60 kg ถูกบรรจุในเตาเผาถ่านหมายเลข 1 และ 2 ตามลำดับ ไม้ถูกใช้ในการเผาถ่านและเป็นแหล่งพลังงานความร้อนให้กับระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ ค่าความร้อนเชื้อเพลิงของไม้ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น ระดับเฮดสถิตด้านดูด เท่ากับ 3 m และเฮดสถิตด้านส่ง เท่ากับ 1 m หลังจากนั้น มีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

1) ติดตั้งวัสดุพรุนชนิดเส้นใยที่มีความหนา 25.4 mm จำนวน 4 ชุดในแนวตั้งตามแนวรัศมีรอบเตาเผาถ่านแต่ละเตาด้วยระยะห่างที่เท่ากัน

2) บรรจุน้ำเข้าไปในขดท่อทองแดงภายในถังผลิตไอน้ำผ่านถังขับดันน้ำจนกระทั่งน้ำเต็มระบบ

3) จุดเตาเผาถ่านทั้ง 2 เตาพร้อมกัน พร้อมกับเริ่มบันทึกค่าอุณหภูมิทุกๆ 1 sec ในกระบวนการเผาถ่านใช้เวลาประมาณ 6 ชั่วโมงต่อรอบการทดลอง เมื่อสิ้นสุดการเผาถ่านในแต่ละรอบ ถ่านชีวภาพ (Charcoal) ที่ได้จะถูกนำไปชั่งน้ำหนักและวิเคราะห์ค่าความร้อนเชื้อเพลิงด้วยเครื่องบอมบ์แคลอริมิเตอร์

4) เมื่อความดันในถังขับดันเพิ่มขึ้นระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำจะสูบน้ำจากแหล่งน้ำและจ่ายไปยังถังเก็บน้ำ ถือเป็น 1 รอบการทำงาน ระยะเวลาที่ใช้เก็บข้อมูลการสูบน้ำทั้งหมดคือ 120 min แล้วบันทึกปริมาณน้ำที่สูบน้ำได้ และหยุดบันทึกค่าอุณหภูมิ เก็บข้อมูลซ้ำ 2 รอบการทำงาน

5) ทำซ้ำตามข้อ 1 ถึง 4 โดยเปลี่ยนความหนาของวัสดุพรุนเป็น 38.1 mm และ 50.8 mm ตามลำดับ

6) นำข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์บันทึกข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1) พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบปั๊มน้ำกำลังไอน้ำ

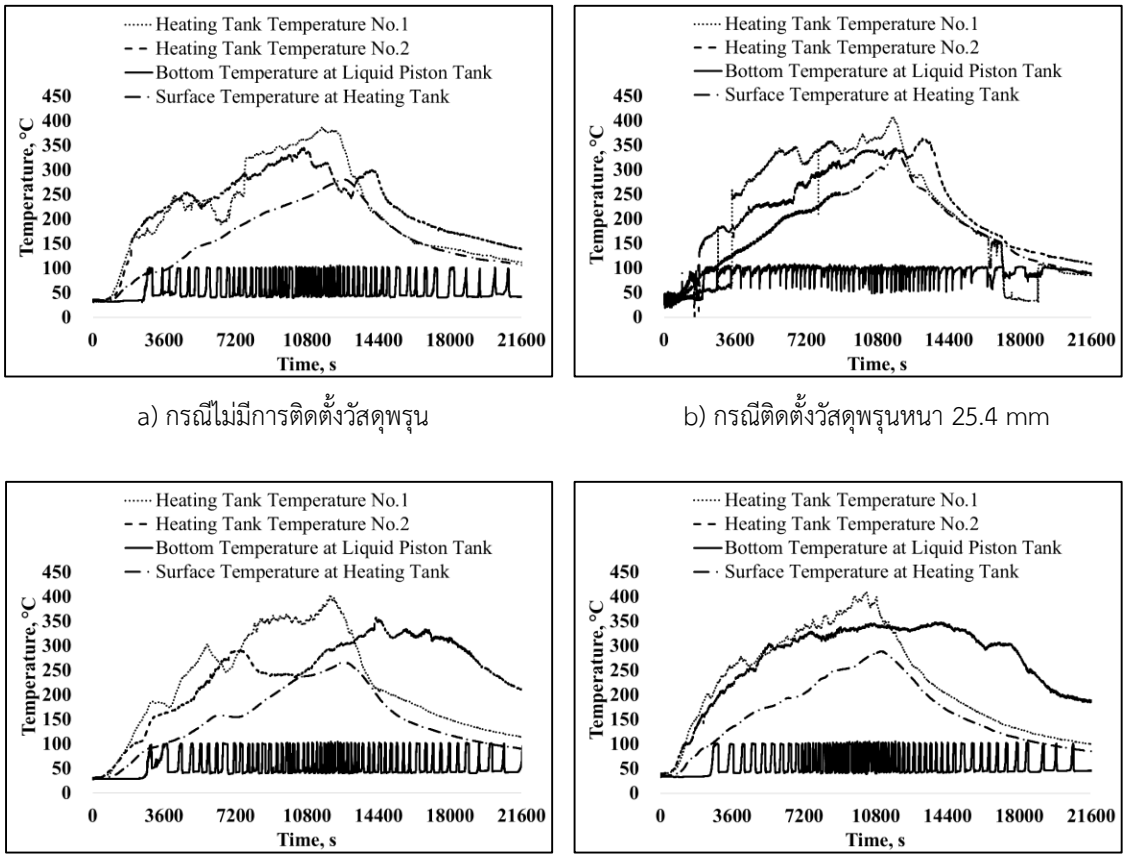
การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในถังขับดันน้ำ (Bottom Temperature at Liquid Piston Tank) กับอุณหภูมิภายในถังผลิตไอน้ำ (Heating Tank Temperature) ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นจำนวนความถี่ในการสูบน้ำที่มีการติดตั้งวัสดุพรุนที่มีความหนา 25.4 mm 38.1 mm และ 50.8 mm ตามลำดับ กับกรณีไม่มีการติดตั้งวัสดุพรุน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดังภาพที่ 3 ทุกกรณีอุณหภูมิภายในถังขับดันน้ำและถังผลิตไอน้ำจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนจากการเผาไหม้ของไม้ภายใต้สภาวะจำกัดออกซิเจน ทำให้สารอินทรีย์ในเนื้อไม้เป็นรูปเป็นถ่าน เรียกว่า คาร์บอนไนเซชั่น (Carbonization) โดยที่อุณหภูมิจะมีค่าสูงสุดในขั้นตอนการคายความร้อนและหลังจากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆ ลดลงเนื่องจากขั้นตอนการทำให้เย็นตัว

จากภาพที่ 3a กรณีไม่ติดตั้งวัสดุพรุนพบว่า เมื่ออุณหภูมิถังผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นถึง 200 °C (ผ่านไป 45 นาที) ระบบจะเริ่มสูบน้ำด้วยความถี่ในการสูบน้ำค่าหนึ่ง กระทั่งอุณหภูมิถังผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 300 °C (ผ่านไป 3 ชั่วโมง) สังเกตได้ว่าความถี่ในการสูบน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงที่อุณหภูมิภายในถังขับดันน้ำและอุณหภูมิภายในถังผลิตไอน้ำสูงสุดเท่ากับ 106.1 °C และ 386.8 °C ตามลำดับ ส่งผลให้ในช่วงดังกล่าวมีปริมาณความร้อนสะสมในระบบสูงที่สุดจึงมีอัตราในการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ขับดันน้ำได้เร็วที่สุดด้วย หลังจากนั้น เมื่ออุณหภูมิถังผลิตไอน้ำลดลงต่ำกว่า 200 °C ความถี่ในการสูบน้ำจะกลับมาใกล้เคียงกับช่วง 45 นาทีแรก สุดท้ายเมื่ออุณหภูมิถังผลิตไอน้ำลดลงต่ำกว่า 100 °C ระบบจะไม่สามารถสูบน้ำได้ หากพิจารณาความร้อนสูญเสียผ่านผนังถังผลิตไอน้ำพบว่า อุณหภูมิผิวผนังภายนอกถังผลิตไอน้ำ (Surface Temperature at Heating Tank) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 150.2 °C

จากภาพที่ 3b กรณีติดตั้งวัสดุพรุนหนา 25.4 mm พบว่า เมื่ออุณหภูมิถังผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นถึง 160 °C (ผ่านไป 35 นาที) ระบบจะเริ่มสูบน้ำด้วยความถี่ในการสูบน้ำค่าหนึ่ง กระทั่งอุณหภูมิถังผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 300 °C (ผ่านไป 2 ชั่วโมง 15 นาที) สังเกตได้ว่า ความถี่ในการสูบน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงที่อุณหภูมิภายในถังขับดันน้ำและอุณหภูมิภายในถังผลิตไอน้ำสูงสุดเท่ากับ 109.1 °C และ 408.3 °C ตามลำดับ ส่งผลให้ในช่วงดังกล่าวมีปริมาณความร้อนสะสมในระบบสูงที่สุดจึงมีอัตราในการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ขับดันน้ำได้เร็วที่สุดด้วย หลังจากนั้น เมื่ออุณหภูมิถังผลิตไอน้ำลดลงต่ำกว่า 200 °C ความถี่ในการสูบน้ำจะกลับมาใกล้เคียงกับช่วง 35 นาทีแรก สุดท้ายเมื่ออุณหภูมิถังผลิตไอน้ำลดลงต่ำกว่า 100 °C ระบบจะไม่สามารถสูบน้ำได้ หากพิจารณาความร้อนสูญเสียผ่านผนังถังผลิตไอน้ำพบว่า อุณหภูมิผิวผนังภายนอกถังผลิตไอน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 164.4 °C

จากภาพที่ 3c กรณีติดตั้งวัสดุพรุนหนา 38.1 mm พบว่า เมื่ออุณหภูมิถังผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นถึง 180 °C (ผ่านไป 60 นาที) ระบบจะเริ่มสูบน้ำด้วยความถี่ในการสูบน้ำค่าหนึ่ง กระทั่งอุณหภูมิถังผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 300 °C (ผ่านไป 1 ชั่วโมง 35 นาที) สังเกตได้ว่า ความถี่ในการสูบน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงที่อุณหภูมิภายในถังขับดันน้ำและอุณหภูมิภายในถังผลิตไอน้ำสูงสุดเท่ากับ 105.6 °C และ 403.2 °C ตามลำดับ ส่งผลให้ในช่วงดังกล่าวมีปริมาณความร้อนสะสมในระบบสูงที่สุดจึงมีอัตราในการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ขับดันน้ำได้เร็วที่สุดด้วย หลังจากนั้น เมื่ออุณหภูมิถังผลิตไอน้ำลดลงต่ำกว่า 180 °C ความถี่ในการสูบน้ำจะกลับมาใกล้เคียงกับช่วง 60 นาทีแรก สุดท้ายเมื่ออุณหภูมิถังผลิตไอน้ำลดลงต่ำกว่า 100 °C ระบบจะไม่สามารถสูบน้ำได้ หากพิจารณาความร้อนสูญเสียผ่านผนังถังผลิตไอน้ำพบว่า อุณหภูมิผิวผนังภายนอกถังผลิตไอน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 136.9 °C

จากภาพที่ 3d กรณีติดตั้งวัสดุพรุนหนา 50.8 mm พบว่า เมื่ออุณหภูมิถังผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นถึง 210 °C (ผ่านไป 45 นาที) ระบบจะเริ่มสูบน้ำด้วยความถี่ในการสูบน้ำค่าหนึ่ง กระทั่งอุณหภูมิถังผลิตไอน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 300 °C (ผ่านไป 1 ชั่วโมง 40 นาที) สังเกตได้ว่า ความถี่ในการสูบน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงที่อุณหภูมิภายในถังขับดันน้ำและอุณหภูมิภายในถังผลิตไอน้ำสูงสุดเท่ากับ 106 °C และ 409.5 °C ตามลำดับ ส่งผลให้ในช่วงดังกล่าวมีปริมาณความร้อนสะสมในระบบสูงที่สุดจึงมีอัตราในการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ขับดันน้ำได้เร็วที่สุดด้วย หลังจากนั้น เมื่ออุณหภูมิถังผลิตไอน้ำลดลงต่ำกว่า 210 °C ความถี่ในการสูบน้ำจะกลับมาใกล้เคียงกับช่วง 45 นาทีแรก สุดท้ายเมื่ออุณหภูมิถังผลิตไอน้ำลดลงต่ำกว่า 100 °C ระบบจะไม่สามารถสูบน้ำได้ หากพิจารณาความร้อนสูญเสียผ่านผนังถังผลิตไอน้ำพบว่า อุณหภูมิผิวผนังภายนอกถังผลิตไอน้ำมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 148.9 °C



a) กรณีไม่มีการติดตั้งวัสดุพรุน

b) กรณีติดตั้งวัสดุพรุนหนา 25.4 mm

c) กรณีติดตั้งวัสดุพรุนหนา 38.1 mm

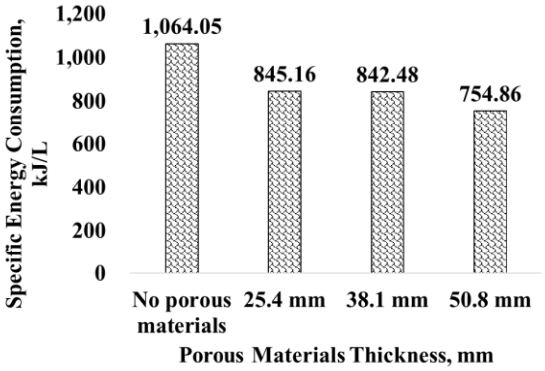
d) กรณีติดตั้งวัสดุพรุนหนา 50.8 mm

ภาพที่ 3 อุณหภูมิภายในถังขับดันน้ำ ถังผลิตไอน้ำ และผนังด้านนอกถังผลิตไอน้ำ

หากพิจารณาจากผลการทดลองในภาพที่ 3 พบว่า การสูญเสียความร้อนผ่านผนังถังผลิตไอน้ำยังคงมีค่าที่สูง สังเกตได้จากอุณหภูมิผิวผนังภายนอกถังผลิตไอน้ำมีค่าเฉลี่ยมากกว่า 130 °C ทั้งในกรณีที่มีและไม่มีการติดตั้งวัสดุพรุน นั่นแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งวัสดุพรุนภายในผนังถังผลิตไอน้ำยังช่วยลดการสูญเสียความร้อนได้น้อยสำหรับถังผลิตไอน้ำที่มีผนังชั้นเดียว ทั้งนี้มาจากความสามารถในการสะสมความร้อนของวัสดุพรุน

2) ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของระบบปั๊มน้ำกำลังไอน้ำ

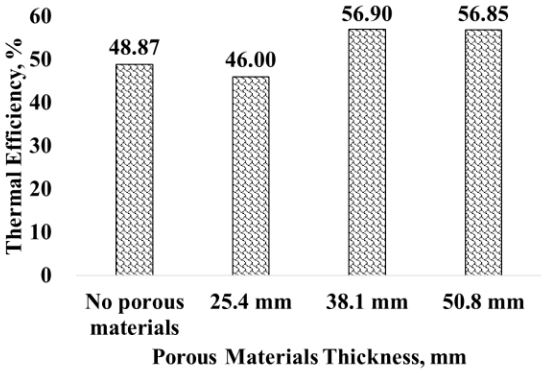
การติดตั้งวัสดุพรุนช่วยลดค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของระบบปั๊มน้ำกำลังไอน้ำ (SEC) เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ป้อนให้กับระบบ (Q_{in}) ลดลงเมื่อเทียบกับปริมาตรน้ำที่สูบได้ จากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่า การติดตั้งวัสดุพรุนหนา 50.8 mm มีค่า SEC ต่ำที่สุดเท่ากับ 754.86 kJ/L ในขณะที่กรณีไม่มีการติดตั้งวัสดุพรุนมีค่า SEC สูงที่สุดเท่ากับ 1,064.05 kJ/L ดังนั้น การติดตั้งวัสดุพรุนหนา 25.4 mm 38.1 mm และ 50.8 mm จึงช่วยลดการใช้พลังงานเท่ากับ 20.57% 20.82% และ 29.06% ตามลำดับ เนื่องจากวัสดุพรุนที่หนากว่าจะสามารถสะสมความร้อนรวมได้มากกว่า เพราะมีมวลรวมและปริมาตรของวัสดุรวมที่มากกว่า ถึงแม้ว่าจะมีค่าความพรุนเท่ากัน จึงสรุปได้ว่า ค่า SEC จะแปรผกผันกับความหนาของชั้นวัสดุพรุน และเพื่อให้ระบบปั๊มน้ำกำลังไอน้ำประหยัดพลังงานควรมีค่า SEC ต่ำ



ภาพที่ 4 ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของระบบปั๊มน้ำกำลังไอน้ำ

3) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ

การติดตั้งวัสดุพรุนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำ (h_{th}) เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ป้อนให้กับระบบ (Q_{in}) ลดลงเป็นผลมาจากการดูดซับความร้อนของวัสดุพรุน ดังภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่า การติดตั้งวัสดุพรุนหนา 38.1 mm และ 50.8 mm มีค่า h_{th} สูงใกล้เคียงกันคิดเป็น 56.9% ในขณะที่กรณีไม่มีการติดตั้งวัสดุพรุนมีค่า h_{th} เท่ากับ 48.87% ดังนั้น การติดตั้งวัสดุพรุนหนา 38.1 mm และ 50.8 mm มีจึงมีนัยสำคัญในการช่วยลดการใช้พลังงาน จึงสรุปได้ว่า ค่า h_{th} จะแปรผันตรงกับความหนาของชั้นวัสดุพรุน และเพื่อให้ระบบปั๊มน้ำกำลังไอน้ำประหยัดพลังงานควรมีค่า h_{th} สูง



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบปั๊มน้ำกำลังไอน้ำ

สรุปผลการวิจัย

ระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำจากความร้อนเหลือทิ้งจากการเผาถ่านไม้ ปริมาณ 60 kg ที่กำหนดระดับเฮดสถิตด้านดูด เท่ากับ 3 m และเฮดสถิตด้านส่ง เท่ากับ 1 m โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนและค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำระหว่างการมีและไม่มีการติดตั้งวัสดุพรุนชนิดเส้นใยภายในถังผลิตไอน้ำ ผลการวิจัยสรุปได้ว่า การติดตั้งวัสดุพรุนหนา 38.1 mm และ 50.8 mm ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ 8% และช่วยลดค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของปั๊มสูบน้ำกำลังไอน้ำได้ 20.82% และ 29.06%

เพื่อพัฒนาต่อยอดงานวิจัยนี้ในอนาคต ประเด็นที่น่าสนใจคือ การติดตั้งวัสดุพรุนหนาอย่างน้อย 38.1 mm ขึ้นไป เพิ่มให้รอบผนังด้านในถังผลิตไอน้ำร่วมกับการทำผนังถังผลิตไอน้ำแบบสองชั้นโดยใช้ช่องว่างตรงกลางทำหน้าที่เป็นฉนวนคาดว่าจะช่วยเพิ่มการสะสมความร้อนและปรับปรุงประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น ส่วนในประเด็นของการวิเคราะห์ความ

คุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ ภายใต้เงื่อนไขต้นทุนเริ่มต้นในการสร้างระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำเท่ากับ 20,000 บาท อายุโครงการเท่ากับ 5 ปี และอัตราคิดลด (Discount Rate) เท่ากับ 10% เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องสูบน้ำเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยอากาศที่มีอัตราการสูบน้ำ 630 L/min และอัตราการใช้เชื้อเพลิง 1.52 L/h ที่มีราคาเท่ากับ 25,060 บาท ผลการวิเคราะห์พบว่า ระบบปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำที่สร้างขึ้นนี้มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV) เท่ากับ 74,997.12 บาท และมีค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return; IRR) เท่ากับ 123.03% นั่นแสดงให้เห็นว่า งานวิจัยนี้มีความคุ้มค่าอย่างมากในเชิงเศรษฐศาสตร์และเหมาะสำหรับการลงทุนหรือขยายผลในระดับชุมชนหรือเกษตรกรรม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม งบประมาณโครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 ตามสัญญาเลขที่ FF68/NKR/148 และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของวัสดุพรุน (DiTo-Lab) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล และสาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานและการปรับอากาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานนครราชสีมา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Butnan, S., Toomsan, B. and Vityakon, P. (2018). Charcoal Production and Distribution as a Source of Energy and its Potential Gain for Soil Amendment in Northeast Thailand. **Pertanika Journal of Social Sciences & Humanities**. 26(2), 643-658.

[2] Tippayawong, N., Chaichana, C., Promwungkwa, A. and Rerkkriangkrai, P. (2013). Investigation of a Small Biomass Gasifier–engine System Operation and Its Application to Water Pumping in Rural Thailand. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects**. 35, 476-486. doi: 10.1080/15567036.2010.511433.

[3] เกรียงไกร เฉลิมธำรงค์ พิชัย นามประกาย และนริส ประทินทอง. (2556). “ปั๊มสูบน้ำด้วยกำลังไอน้ำโดยการนำความร้อนเหลือทิ้งมาใช้”, ใน **การประชุมวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 10**, 1476-1483. วันที่ 6-7 ธันวาคม 2556 ณ อาคารศูนย์เรียนรวม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม. นครปฐม : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

[4] ภานุศักดิ์ มูลศรี ปองพล รักการงาน ชลีดล อินยาศรี และกังสดาล สกุลพงษ์มาลี. (2558). “เครื่องสูบน้ำพลังงานความร้อนจากถ่านไม้สำหรับชุมชน”, ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8**, 324-326. วันที่ 4-6 พฤศจิกายน 2558 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[5] พยัพ สลับศรี จิรวัฒน์ สิตรานนท์ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ กรณัฏฐ์ นาคภิบาล และภาณุศักดิ์ มูลศรี. (2566). การศึกษาการควบคุมความดันเกจที่ส่งผลต่อการสูบน้ำของระบบสูบน้ำด้วยไอน้ำแบบอัตโนมัติ. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม**. 5(2), 223-238.

[6] นิวัฒน์ เกตุชาติ ภานุศักดิ์ มูลศรี ปฏิวัติ วรามิตร และบัณฑิต กฤตตาคม. (2567). “การประยุกต์ใช้วัสดุพรุนสำหรับระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนเหลือทิ้งจากการผลิตถ่าน”, ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 38 ประจำปี 2567**, 40-48. วันที่ 16-19 กรกฎาคม 2567 ณ โรงแรมโนโวเทล กรุงเทพ ฟิวเจอร์พาร์ค รังสิต จังหวัดปทุมธานี. ปทุมธานี : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

[7] ฐกฤต ปานขลิป. (2557). การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยใช้วัสดุพรุน. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม**. 1(2), 1-10.