

การจำลองแบบระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้สารทำงานไอโซเพนเทน Simulation of the Solar Water Pump with Solar Energy using by Isopentane as Working Fluid

กฤตวิทย์ พรหมชาติ^{1*}, ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง² และ ภาณุวัชร อังโสภาพงษ์

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน – อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ศูนย์วิจัยและพัฒนา (ES-MVC) สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (STRI) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชากรราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

*ติดต่อ: Krittawit24@gmail.com, 086-6082078

: tss@kmutnb.ac.th²

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อการศึกษา และจำลองแบบระบบสูบน้ำด้วยพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ โดยใช้สารทำงานไอโซเพนเทน(C_5H_{12}) ระบบนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ แผงรับแสงอาทิตย์(solar collector) ปั๊มไดอะแฟรม(diaphragm pump) และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน หลักการทำงานของระบบนี้ใช้สารทำงานเป็นไอโซเพนเทนเหลวไหลเวียนไปรับความร้อนที่แผงรับแสงอาทิตย์ให้เปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอเพื่อใช้เป็นต้นกำลังไปขับปั๊มไดอะแฟรมให้สูบน้ำผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนไปกักเก็บไว้ในถังสูง น้ำที่ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้รับการถ่ายเทความร้อนออกจากไอของสารไอโซเพนเทนทำให้สารไอโซเพนเทนควบแน่นแล้วหมุนเวียนกลับไปรับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วย อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหลของน้ำ เหนือ(Head)ของน้ำที่ปั๊มน้ำทำได้ โดยใช้หลักการสมดุลมวลและพลังงาน การจำลองแบบระบบนี้ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เมทแลป พบว่าผลที่ได้จากการจำลองแบบระบบเปรียบเทียบกับเอกสารอ้างอิง[5]มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

คำหลัก : การจำลองแบบและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน พลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ แผงรับแสงอาทิตย์ ปั๊มไดอะแฟรม สารทำงานไอโซเพนเทน

Abstract

This project aims to learn, and create the pumping systems with solar thermal energy using by the Isopentane(C_5H_{12}) model. Main structure of this system comprises of flat plate solar collectors, diaphragm pump, Heat Exchanger .Principles of system that use Isopentane as the Isopentane as the working fluid working. This system uses Isopentane liquid circular heating the solar panel to change state from a liquid to a vapor for use as power to drive the pump diaphragm to pump via an heat exchange. The heat stored in the tank height. The water flowing through the heat exchanger have to receive The heat transfer defect from the vapor steam of Isopentane cause to do Isopentane condensation reaction and circulated back to receive heat from the solar panel continuously.Variables of education consisted of temperature,

ETM-146

pressure, rate of water flow, head pump, using the mass balance and energy. This design uses a Mat lab (computer program). The results of the simulation system compares of document references [5] tend in one direction.

Keywords: Simulation and heat exchanger, Solar thermal energy, solar collector diaphragm pump, isopentane working fluid.

1. บทนำ

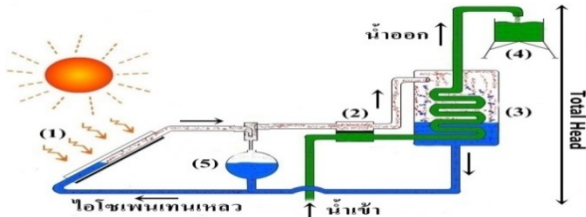
พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญต่อมนุษย์ที่นำไปสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิต ทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคมและความมั่นคงของประเทศ อย่างไรก็ตาม พลังงานยังคงมีบทบาทและน่าสนใจในการพัฒนาศักยภาพคือพลังงานทดแทนประเภทพลังงานหมุนเวียน โดยเฉพาะพลังงานสะอาด เช่น พลังงานแสงอาทิตย์เพราะเป็นพลังงานหมุนเวียนใช้ได้อย่างต่อเนื่อง จากการศึกษาการนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับระบบสูบน้ำในภาคเกษตรกรรม จากเอกสารที่เกี่ยวข้องมีดังนี้ การศึกษาและวิเคราะห์แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ Abdullah Y. Usmani and Naiem Akhtar [1] ได้วิจัยการสูญเสียความร้อนจากแผงสะสมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบกับสภาพแวดล้อมโดยใช้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ คำนวณค่าสูญเสียความร้อนด้านบน ที่ได้จากการแก้ปัญหาเชิงตัวเลขเทียบกับค่าที่ได้จากความสัมพันธ์ต่าง ๆ ที่มีผู้เสนอเป็นจำนวนมาก การศึกษาของ Akhtar and Mullick [6] ได้แสดงผลการใช้ทำนายซึ่งได้ค่าใกล้เคียงกับผลเฉลยเชิงตัวเลข นอกจากนี้การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ helical-coil โดย Ramachandra K. Patil, B. W. Shende, Prasanta K. Ghosh. [3] เพื่อใช้กับ ของเหลว 2 ชนิด โดยนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้หาพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนและอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อเปลี่ยนสถานะของสารไอโซเพนเทนเหลวให้เป็นไอทำให้เกิดค่าความดันไปใช้เป็นต้นกำลังขับให้แก่ปั๊มน้ำสำหรับใช้สูบน้ำขึ้นไปกักเก็บไว้ในถังสูงและแนวคิดจากการทดลองของฝ่ายวิจัยพลังงานของการไฟฟ้า

ฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [5] ได้ผลการศึกษาระบบปั๊มน้ำนี้มีศักยภาพที่น่าสนใจ แต่ยังขาดการวิเคราะห์ผลทางทฤษฎีอย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจำลองแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ รวมทั้ง แผงรับแสงอาทิตย์และอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนของระบบดังกล่าว ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาและจำลองแบบระบบสูบน้ำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ โดยใช้สารไอโซเพนเทนเป็นสารทำงาน ตัวแปรประกอบด้วย อุณหภูมิ อัตราการไหลของน้ำและเสดของน้ำที่ปั๊มสามารถทำงานได้ โดยใช้โปรแกรม MatLab ช่วยในการออกแบบระบบ

2. หลักการทำงานของระบบ

การออกแบบระบบปั๊มน้ำไดอะแฟรมนี้มีการทำงานแบบคงตัวและเป็นกระบวนการแบบแอเดียแบติก หลักการดังแสดงในรูปที่ 1 ส่วนประกอบหลักของระบบประกอบด้วย แผงรับแสงอาทิตย์ ปั๊มไดอะแฟรม อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เสดของปั๊มน้ำและสารทำงานไอโซเพนเทน โดยหลักการทำงานเริ่มต้นเมื่อสารทำงานคือไอโซเพนเทนเหลวได้รับความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์(1)เปลี่ยนสถานะเป็นไอทำให้มีความดันสูงไปขับปั๊มไดอะแฟรม(2)ทำให้ปั๊มทำงานด้วยการสูบน้ำผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน(3)ไอสารทำงานนี้จะเปลี่ยนสถานะอีกครั้งหนึ่งเป็นสารทำงานเหลวด้วยการถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำก่อนขับเคลื่อนน้ำขึ้นถังเก็บน้ำ(4)สำหรับสารทำงานเหลวจะไหลกลับไปยังถังเก็บสารไอโซเพนเทน(5)แล้วจึงไปยังแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนและทำงานอย่างต่อเนื่อง

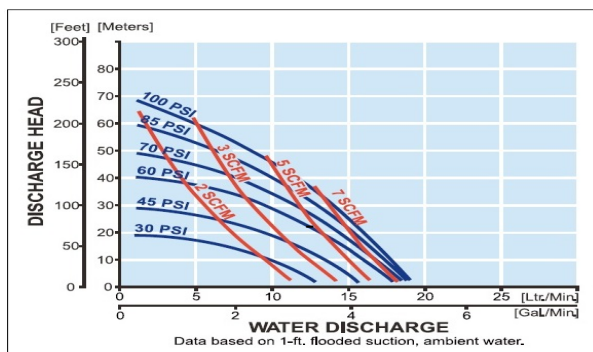
ETM-146



รูปที่ 1 ผังไดอะแกรมหลักการทำงานของระบบฯ

2.1 หลักการออกแบบระบบฯ

หลักการทำงานของระบบสูบน้ำในรูปที่ 1 ออกแบบให้อุปกรณ์ทุกตัวทำงานสัมพันธ์กันในทุกๆ รอบการทำงาน หลักสำคัญของระบบสูบน้ำคือ ปริมาณน้ำที่สูบได้ต่อวันและเฮดของน้ำ ซึ่งหลักสำคัญนี้เป็นคุณลักษณะของปั๊มไดอะแฟรม ดังนั้นการออกแบบต้องทราบข้อกำหนดของปั๊มไดอะแฟรมก่อน โดยการอ้างอิงจากกราฟดังแสดงในรูปที่ 2 เป็นปั๊มไดอะแฟรมที่ใช้ลมเป็นของไหลทำงาน (Working Fluid) ในการขับปั๊มไดอะแฟรมสูบน้ำ เป็นการศึกษาสมบัติของปั๊มที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้กับสารไอโซเพนเทนในโครงการนี้



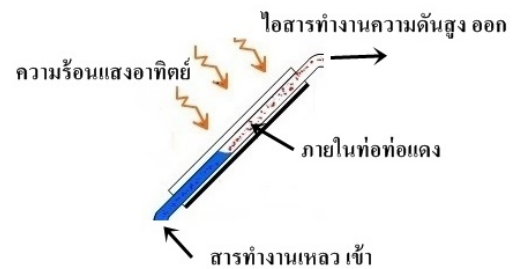
รูปที่ 2 คุณลักษณะของปั๊มไดอะแฟรม[20]

เมื่อทราบถึงข้อกำหนดของปั๊มไดอะแฟรม ที่เฮดของน้ำในระดับความสูงต่างๆ กับอัตราการไหลของน้ำที่ต้องการ ความดันลมหรือความดันของสารไอโซเพนเทนที่ต้องใช้ขับปั๊มไดอะแฟรม ดังรูปที่ 2 สามารถนำไปใช้หาขนาดของแผงรับแสงอาทิตย์ ที่ทำให้สารไอโซเพนเทนเดือดและเปลี่ยนสถานะเป็นไอที่ความดันตามที่ปั๊มไดอะแฟรมกำหนดและนำไปใช้คำนวณความยาวของท่อทองแดง helical coil ที่ใช้ในการควมแน่นไอของสารไอโซเพนเทน ในรอบการทำงาน

ของระบบสูบน้ำซึ่งใช้เป็นตัวแปรกำหนดเฮดของปั๊มต่อไป

2.2.1 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

แผงรับนี้ประกอบด้วย แผ่นกระจกใส มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transmissibility) 0.88 มีขนาดพื้นที่รับแสงรวม 3 m. ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.77 mm. จำนวน 6 ท่อน ซึ่งเชื่อมกับท่อร่วมที่ทางด้านออกจากแผงรับฯ แผ่นเก็บสะสมพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ มีค่าการดูดกลืน (Absorber emissivity) 0.9 กล่องครอบด้านในทำด้วยสแตนเลส (Stainless steel) ฉนวนกันความร้อนทำจากวัสดุใยแก้ว (Fiber glass) หนา 70 mm. บูอยู่ภายในด้านล่างและรอบขอบกล่องมีความหนา 20 mm. กล่องครอบด้านนอกทำด้วย สแตนเลส หลักการทำงานของแผงรับแสงอาทิตย์[1,16] ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 หลักการทำงานของแผงรับแสงอาทิตย์

โดยสมดุลความร้อนที่ผิวแผ่นกระจกเพื่อหาอุณหภูมิผิวกระจก ดังสมการที่ (1)

$$\alpha_g \cdot I \cdot \alpha_a = Q_{conv} + Q_{cond} + Q_{rad} \quad (1)$$

การประเมินการสูญเสียความร้อนประกอบด้วย การสูญเสียความร้อนออกจากแผ่นเก็บสะสมความร้อนกับแผ่นกระจกด้านใน ความร้อนภายในความหนาของแผ่นกระจก การถ่ายเทความร้อนจากแผ่นกระจกสู่ภายนอก และพลังงานความร้อนที่สารทำงานได้รับ ดังแสดงในสมการที่(1), (2), (3) และ (4) ดังต่อไปนี้

$$Q_{p-gi} = (h_{cpc} + h_{rpc})(T_p - T_{ci}) \quad (2)$$

ETM-146

$$Q_{ci-co} = k_c(T_{ci} - T_{co})/L_c \quad (3)$$

$$Q_{co-a} = (h_{rca} + h_w)(T_{co} - T_a) \quad (4)$$

$$Q_u = A_c(\tau\alpha)I_t - A_cU_L(T_i - T_a) \quad (5)$$

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของการแผ่รังสีและการพาความร้อน h_{rpc} , h_{rca} , h_{cpc} , h_{wind} ในสมการที่ (2) และ (4) คำนวณได้จากสมการที่ (6), (7), (8), (9) ตามลำดับ ดังนี้

$$h_{rpc} = \frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_p}\right) + \left(\frac{1}{\varepsilon_g}\right) - 1} \quad (6)$$

$$h_{rca} = \varepsilon_g \sigma(T_c^2 + T_a^2)(T_c + T_a) \quad (7)$$

สมการ(8)ใช้ความสัมพันธ์ของ Nusselt number (Nu) โดย Buchberg et al. [4]

$$h_{cpc} = \frac{kNu}{L} \quad (8)$$

และการพาความร้อนเนื่องจากลม โดย Duffie and Beckman, 1991 [2]

$$h_w = 2.8 + 3.8 v \quad (9)$$

แผงรับส่วนล่างหุ้มฉนวน จึงไม่เกิดการสูญเสียความร้อน ส่วนความร้อนที่สูญเสียผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ทางด้านบนของแผง (U_t) คำนวณได้จากสมการที่นำเสนอโดย Akhtar and Mullick [6] ดังสมการที่ (10)

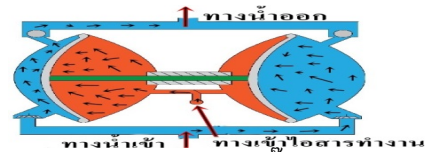
$$\frac{1}{U_t} = \left[\frac{\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} + \frac{kNu}{L} \right]^{-1} + [\sigma\varepsilon_c(T_c^2 + T_a^2)(T_c + T_a) + h_w]^{-1} + \frac{L_c}{k_c} \quad (10)$$

สำหรับอุณหภูมิแผ่นสะสม (T_p) ดังสมการที่ (11)

$$T_p = T_a + \left[\frac{(h_{rca} + h_w)(T_{c,new} - T_a)}{U_t} \right] \quad (11)$$

2.2.2 ปัมไดอะแฟรม (Pump diaphragm)

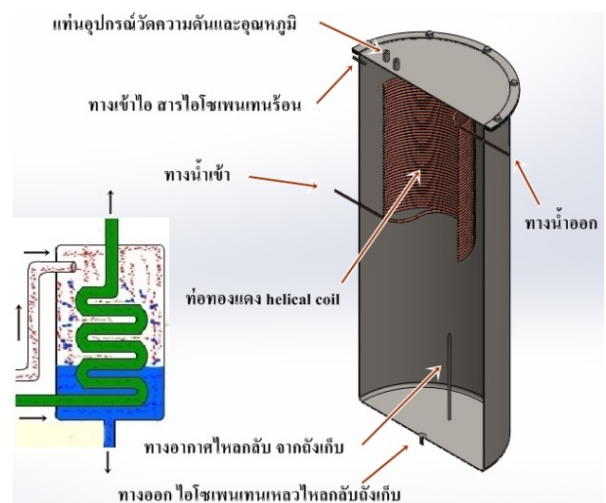
ปั๊มชนิดนี้ทำงานโดยใช้การยุบตัวของแผ่นโลหะที่ยืดหยุ่นได้ เพื่อสร้างความดันในช่วง 172.36 kPa ถึง 689.48 kPa โดยใช้ระบบกลไกควบคุมจังหวะการทำงานด้วยการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวเยื้องศูนย์กลางไปทำให้แผ่นโลหะยุบตัวเพื่อปั้มน้ำ [4] ดังแสดงหลักการทำงานในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงหลักการทำงานของปั๊มไดอะแฟรม

2.2.3 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนใช้เพื่อถ่ายเทความร้อนออกจากไอของสารไอโซเพนเทนให้แก่ น้ำ เพื่อควบแน่นเป็นของเหลว การคำนวณหาขนาดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนี้เป็นชนิด helical-coil Heat Exchanger โดยใช้แนวคิดของ Ramachandra K. Patil, B. W. Shende, Prasanta K. Ghosh. [3] ประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ความยาวท่อ จำนวนขดท่อ และอัตราการไหลเชิงปริมาตรนำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมและ สมดุลพลังงานความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 หลักการของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ETM-146

สำหรับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อ
คำนวณได้จากสมการที่ (12) [18]

$$U_3 = \left[\frac{r_3}{r_2 h_{12}} + \frac{r_3 \ln \frac{r_3}{r_2}}{k_{23}} + \frac{1}{h_{34}} \right]^{-1} \quad (12)$$

2.2.4 เหนือของปั๊มน้ำ

เหนือเป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของการ
ปั๊มน้ำขึ้นสู่ถังเก็บของระบบนี้ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่
ต้องการที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของระบบฯ ดังแสดง
ในรูปที่ 1 ที่ระดับความสูง 10 m. หรือเหนือของน้ำที่
ระบบทำได้ ซึ่งเป็นผลรวมของความสูงของน้ำจาก
แหล่งน้ำจนถึงระดับของถังเก็บน้ำรวมกับเหนือที่สูญเสีย
ในระบบทั้งท่อตรงและขดท่อ

2.2.5 สารทำงานไอโซเพนเทน

สารทำงานเหลวที่ใช้คือ Isopentane (C_5H_{12})
มีคุณสมบัติในด้านอุณหภูมิและความดัน กล่าวคือมี
อุณหภูมิในช่วง 27.84°C ถึง 86.85°C สามารถสร้าง
ความดันได้ 101.3 kPa. ถึง 537.0 kPa. อีกทั้งมี
คุณสมบัติที่ดีในด้านจุดเดือดต่ำ ดังแสดงในตารางที่ 1
สำหรับอัตราการเปลี่ยนสถานะของสารไอโซเพนเทน
คำนวณได้จากสมการที่ (13) [14,17]

$$\dot{V}_{C5H12} = \frac{Q_{\text{boiling}, C5H12}}{(h_{fg, C5H12} \cdot P_{v, C5H12}) \cdot 1000 \cdot 60} \quad (13)$$

ตารางที่ 1 แสดงสมบัติของสารไอโซเพนเทน [17]

Chemical formula: C_5H_{12}				
Molecular weight: 72.146				
Normal boiling point: 28°C				
$T_{\text{sat}}, ^\circ\text{C}$	27.84	46.85	66.85	86.85
P_{sat}, K	101.3	186.9	327.7	537.0

3. การคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

การออกแบบระบบปั๊มน้ำทั้งระบบ เป็น
รูปแบบการคำนวณที่ต้องอาศัยความสัมพันธ์และ
สมดุลของทุกอุปกรณ์ และเป็นการคำนวณโดยใช้
วิธีการทดลองและหาข้อผิดพลาด จนระบบสมดุล

โดยใช้สมมติฐานของระบบดังแสดงในหัวข้อ 2 เพื่อให้
ทราบถึงขนาดของท่อที่เหมาะสมและสั้นที่สุดของ
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่สัมพันธ์กับอัตราการ
ไหลของน้ำ อุณหภูมิของสารไอโซเพนเทนที่มีสถานะ
เป็นก๊าซร้อน และความสูญเสียเฮด(Head)ภายในท่อ
ทั้งระบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการไหลของน้ำ โดยมี
สมมติฐานเพิ่มเติม ดังนี้

- คุณสมบัติต่างๆของระบบไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา
- ไม่คิดความสูญเสียความร้อนด้านหลังของแผงสะสม
ความร้อน
- ไม่คิดการสูญเสียความร้อนจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยน
ความร้อน สู้สิ่งแวดล้อม
- ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์และพลังงาน
จลน์
- การไหลของของไหลทั้งสองเป็นแบบ “fully -
developed” ตลอดท่อ

การทำงานใช้ ความเข้มแสงอาทิตย์ 435.8
และ 586 W/m^2 ความเร็วลม 0 , 1 , 1.71 , 2 และ
 2.8 m/s เป็นตัวแปรเริ่มต้นในการคำนวณ ความยาว
ท่อและอัตราการไหลของน้ำโดยมีเงื่อนไขดังนี้

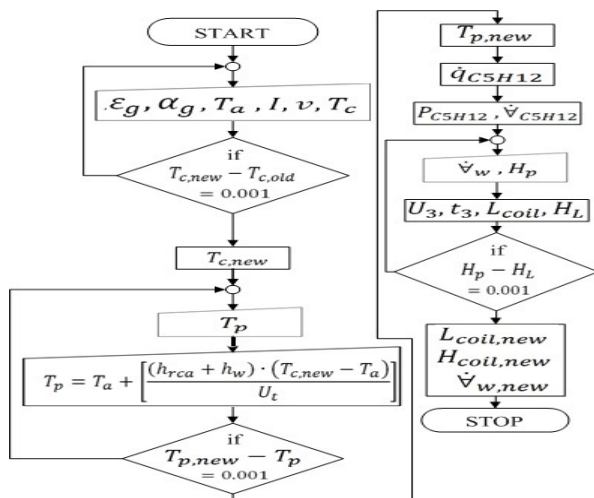
- พื้นที่ของแผ่นเก็บสะสมความร้อน 3 m^2
- อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 27°C
- อุณหภูมิน้ำเฉลี่ย 27°C
- ใช้สารไอโซเพนเทนเป็นของไหลทำงาน
- การทำงานของปั๊มไดอะแฟรมเป็นไปตามสเปค
- อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบเปลือกและ
ขดท่อแบบเกลียว ลักษณะไหลตัดกันโดยมีน้ำไหล
ภายในท่อ

3.1 ขั้นตอนการคำนวณ

ดังแสดงในรูปที่ 6 โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะ
เริ่มประมาณค่าตั้งแต่อุณหภูมิผิวกระจก (T_c) ดังสมการ
ที่ (1) ที่สภาวะแวดล้อมแล้วคำนวณหาค่าอุณหภูมิ
แผ่นสะสม (T_p) ดังสมการที่ (11) ที่ถ่ายเทไปยังสารไอ
โซเพนเทน เพื่อคำนวณค่าความดัน (P_{C5H12})
อุณหภูมิ (T_{C5H12}) และอัตราการการเปลี่ยนสถานะ
เป็นก๊าซ ($\dot{V}_{C5H12}$) ดังสมการที่ (13) เปรียบเทียบผลที่
ได้กับคุณลักษณะของปั๊มไดอะแฟรม [20] เพื่อให้ทราบ

ETM-146

ถึงอัตราการไหลของน้ำ จากนั้นคำนวณหาขนาดของพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนและความยาวท่อ น้ำ โดยคำนวณจากอัตราการไหลของน้ำและกำลังของปั๊ม ไดอะแฟรม (Head pump) ให้สัมพันธ์กับการสูญเสีย (Head loss) ภายในท่อน้ำทั้งระบบ ดังแสดงผลในหัวข้อ 4.1 แล้วนำค่าตัวแปรที่เป็นความยาวท่อไปปรับปรุงในโปรแกรมฯ เพื่อจำลองผลของระบบปั๊มน้ำ โดยใช้ความยาวท่อที่คำนวณได้ กำหนดเป็นค่าคงที่ในโปรแกรมฯ แล้วคำนวณใหม่ในหัวข้อที่ 3.1 ดังแสดงผลในหัวข้อ 4.2



รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการจำลองแบบระบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์แมทแลบ

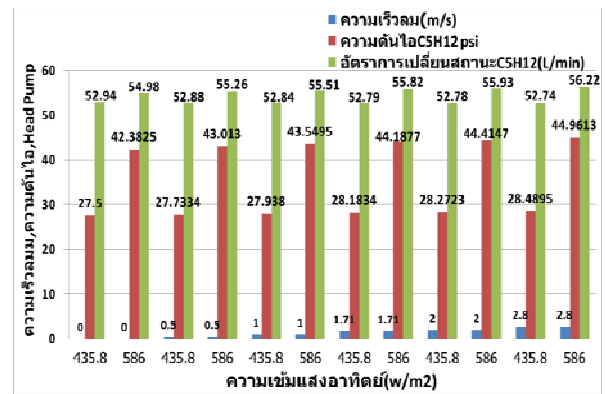
4. ผลการออกแบบและจำลองแบบระบบฯ

ในหัวข้อนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบและจำลองแบบระบบฯ ประกอบด้วย ผลการออกแบบระบบฯ และผลการจำลองแบบระบบฯ เปรียบเทียบกับผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 ดังนี้

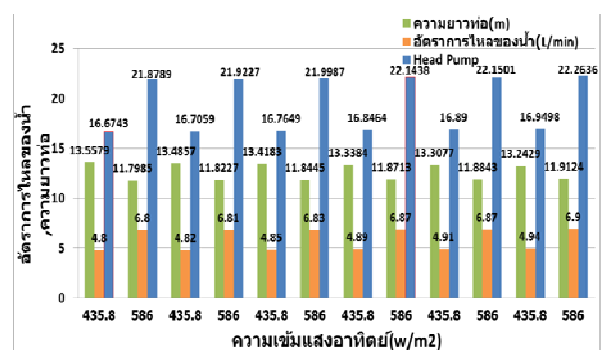
4.1 ผลการออกแบบระบบฯ

ผลจากการออกแบบระบบฯ รูปที่ 7 ประกอบด้วย ค่าความดันและอัตราการเปลี่ยนสถานะของสารไอโซเพนเทนขึ้นอยู่กับค่าความเร็วลมและความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ซึ่งพบว่าเมื่อความเร็วลมต่ำและมีความเข้มแสงอาทิตย์มากจะได้ค่าความดันและอัตราการเปลี่ยนสถานะของไอสารไอโซเพนเทนมากขึ้น สำหรับรูปที่ 8 แสดงอัตราการไหลของน้ำที่สัมพันธ์กับความยาวของท่ออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้

ความดันไอสารไอโซเพนเทนและเฮดของปั๊ม ที่เปลี่ยนแปลงตามค่าความเร็วลมกับความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย เมื่ออุณหภูมิของสารไอโซเพนเทนสูงขึ้นส่งผลให้ได้เฮดปั๊มมาก รวมถึงอัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ใช้ความดันสารไอโซเพนเทนจึงมีค่ามากขึ้นเป็นผลมาจากอัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนและความยาวท่อที่ใช้ความดันสารไอโซเพนเทนมีค่าลดลง แต่ผลการออกแบบฯ ในรูปที่ 7 และ 8 คลาดเคลื่อนที่อุณหภูมิทำได้ Head pump ที่สูงกว่าอุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นเฉพาะกรณีที่อุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกันเท่านั้นเนื่องจากความสัมพันธ์ของ Reynolds number (R_{aL}) [16]



รูปที่ 7 กราฟแสดงผลความดันและอัตราการเปลี่ยนสถานะของไอสารไอโซเพนเทน



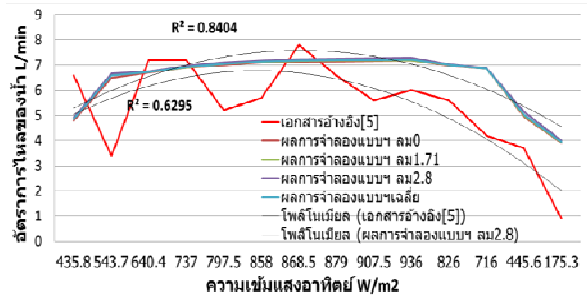
รูปที่ 8 กราฟแสดงผลอัตราการไหลของน้ำกับความยาวท่อ

4.2 ผลจากการจำลองแบบระบบฯเปรียบเทียบกับผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการจำลองแบบระบบฯ นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง โดยผลการจำลองแบบ

ETM-146

พบว่าค่าอัตราการไหลของน้ำ มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับผลการทดลอง[5] ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งผลจากการจำลองแบบระบบมีค่าสูงกว่าผลการทดลองดังกล่าว



รูปที่ 9 แสดงผลการจำลองระบบสุบน้ำเปรียบเทียบผลการทดลอง[5]

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ผลการทดสอบในแต่ละสภาวะแวดล้อม ดังรูปที่ 7 และ 8 พบว่าอัตราการไหลของน้ำจะขึ้นอยู่กับการสูญเสียความร้อนออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ กรณีที่มีค่าความเร็วลมบนแผงรับแสงอาทิตย์มากจะส่งผลให้มีการพาความร้อนออกไปจากระบบมากทำให้อัตราการไหลของน้ำมีค่าน้อยลง ซึ่งผลจากการออกแบบระบบสุบน้ำด้วยโปรแกรมโดยใช้ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยได้ค่าความยาวท่ออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อควบแน่นไอสารไอโซเพนเทนสูงสุด 13.392 m. ด้วยอัตราการไหลของน้ำของน้ำเท่ากับ 4.87 L/min. นำผลไปจำลองแบบของระบบสุบน้ำ ดังแสดงผลในรูปที่ 9 สำหรับการแสดงผลการจำลองแบบระบบฯ เปรียบเทียบกับผลการทดลอง[5] เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมและความเข้มแสงอาทิตย์บนแผงรับความร้อนแสงอาทิตย์ทำให้อัตราการไหลของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปด้วยซึ่งผลการเปรียบเทียบดังกล่าวพบว่าอัตราการไหลของน้ำที่ได้จากการจำลองแบบระบบฯ กับผลการทดลอง[5] มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยผลการจำลองแบบระบบมีแนวโน้มสูงกว่าผลการทดลอง[5] ดังกล่าว

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาและทดสอบระบบสุบน้ำดังกล่าวนี้ควร จะทำการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ควบแน่นไอของสารไอโซเพนเทน ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนา EC-MVC สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้การสนับสนุน

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 บทความจากวารสาร (Journal)

- [1] Abdullah Y. Usmani and Naiem Akhtar "Exiting Correlations of Top Heat Loss Factor of Flat Plate Solar Collectors and Impact on Useful Energy" Department of Mechanical Engineering, z. H. College of Engineering & Technology Aligarh Muslim University, Aligarh -202 002 (U.P.), INDIA
- [2] O. Ojike "Characterization of a Flat-Plate Double Glazed Solar Collector" National Center for Energy Research and Development, University of Nigeria, Nsukka, Enugu state. Nigeria
- [3] Ramachandra K. Patil, B. W. Shende, Prasanta K. Ghosh. "Designing a helical – coil heat exchanger" Chemical Engineering December 13, 1982
- [4] H. Buchberg, I. Catton and D. K. Edwards "Natural Convection in Enclosed Spaces. A Review of Application to Solar Energy Collection" ASME Journal of Heat-Transfer, May 01, 1976
- [5] พินิจ ศิริพฤกษ์พงษ์ "R & D of Flat Plate Solar Collectors for Solar Thermal Water Pumping

ETM-146

System" การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1, พ.ศ. 2548

[6] Akhtar N. and Mulla S.C. "Approximate method for computation of glass cover temperature and top heat-loss coefficient of solar collectors with single glazing" Solar Energy 1999

7.2 บทความจากเอกสารประกอบการประชุม (Proceedings)

[4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน "โครงการสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึก เพื่อการอนุรักษ์พลังงานระยะที่ 2" ข้อมูลเชิงลึกปี 1 โดยแพร่มประสิทธิภาพสูง

7.3 หนังสือ

[8] Duffie, J.A and Beckman, W.A Solar Energy Thermal Process. Wiley, New York, 1974

[9] Sparrow, E.M. "Analysis of laminar forced-convection heat transfer in entrance region of flat rectangular ducts" NACA TN 3331, 1955

[10] McAdams, W.H. Heat Transmission 3rd, McGraw-Hill, New York 1954

[11] Mitchell J.W. "Heat Transfer from Spheres and other Animal Forms" Biophysical J. 16(1976)

[12] Watmuff, J.H., Charters, W.W.S. and Proctor, D., "Solar and Wind Induced External Coefficients for Solar Collectors" COMPLES. 1977. No. 2, 56

[13] Lloyd, J.R and Moran, W.P. "Natural convection adjacent to horizontal surface of various platforms" Trans. ASME J. of Heat Transfer, 96(1974), p.443.

[14] Yunusa, Cengel, Heat Transfer A Practical Approach second edition, McGraw-Hill, New York 2003

[15] Merle C. Potter and David C. Wiggert, 3rd, Brooks/Cole, Thomson Learning, USA 2001

[16] N.V. Suryanarayana, Engineering Heat Transfer, Michigan Technological University, USA 1994

[17] Bruce E. Poling, George H. Thomson, Daniel G. Friend, Richard L. Rowley, W. Vincent Wilding, "Perry's Chemical Engineers Handbook 8th edition", McGraw-Hill, New York 1976

[18] ALAN J. CHAPMAN, "Heat Transfer fourth edition", New York 1989

[19] Mcketta, J.J. Heat Transfer Design Methods, Marcel Dekker, inc., 1992

[20] Yamada America, Inc. 955 E. Algonquin Road, Arlington Heights, IL 60005 USA Toll-Free: 800 990-7867 Phone: 847 631-9200 Fax: 847 631-9273 E-mail: sales@yamadapump.com Web: yamadapump.co

ศัพท์เฉพาะ

Q_{p-gi}	การถ่ายเทความร้อนระหว่างแผ่นกระจกกับแผ่นสะสมความร้อน(W)
Q_{ci-co}	การถ่ายเทความร้อนในแผ่นกระจก(W)
Q_{co-a}	การถ่ายเทความร้อนระหว่างแผ่นกระจกกับอากาศแวดล้อม(W)
Q_u	อัตราการถ่ายเทความร้อนสู่แผ่นกระจก(W)
h_r	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี(W/m^2)
h_c	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพา(W/m^2)
h_{12H}	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายในท่อ(W/m^2)
h_{34}	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนภายนอกท่อ(W/m^2)
A_c	พื้นที่ของแผงรับความร้อนแสงอาทิตย์(m^2)
I_t	พลังงานแสงอาทิตย์ (W/m^2)
U_L	การสูญเสียความร้อนผ่านแผ่นกระจก(W)
U_3	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม(W/m^2)
Nu	ตัวเลขไนท์เซล
k	ค่าการนำความร้อนของอากาศ(W/mK)
L	ความยาวสำคัญของแผงรับแสงอาทิตย์(m)
v	ความเร็วลม(m/s)
ρ	ความหนาแน่นของน้ำ(kg/m^3)
L_{coil}	ความยาวท่อขด(m)
r_2	รัศมีภายในท่อ(m)
r_3	รัศมีภายนอกท่อ(m)

ตัวห้อย

p	แผ่นสะสมความร้อน
c	แผ่นกระจก
i	ภายใน
o	ภายนอก
a	อากาศแวดล้อม
w	ลม

อักษรกรีก

τ	การส่องผ่านของแผ่นกระจก
α	การดูดกลืนรังสีของแผ่นกระจก
ε_p	การแผ่รังสีของแผ่นสะสม
ε_g	การแผ่รังสีของแผ่นกระจก
σ	ค่าคงที่ของ สตีเฟน-โบลซ์มานน์ (W/m^2K^4)