

การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ
แบบชั้นบันไดของน้ำพุร้อนสันกำแพง
COMBINED COOLING HEATING AND POWER GENERATION FROM CASCADE
GEOTHERMAL ENERGY TECHNOLOGY OF SANKAMPHANG HOT SPRING

สุธรรม ชาวจีว¹

รัฐพร ไชยญาติ¹

ชวโรจน์ ใจสิน¹

จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล²

¹ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

*Email: benz178tiii@hotmail.com,

+66(0) 882523088

บทคัดย่อ

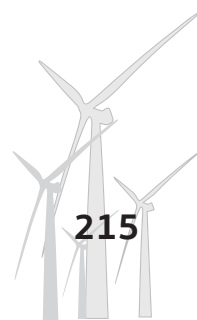
งานวิจัยนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจข้อมูลทางกายภาพ และออกแบบระบบการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนที่ต่อกันแบบอนุกรมหรือแบบชั้นบันได โดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพของแหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง จากการสำรวจ พบว่า มีจำนวนหลุมเจาะทั้งหมด 5 หลุม ในปัจจุบันนำมาใช้งาน 3 หลุม ซึ่งหลุมเจาะน้ำพุร้อนหลุมที่ 1 มีศักยภาพเหมาะสำหรับนำมาออกแบบเพื่อใช้งานในระบบผลิตพลังงานร่วม โดยมีอุณหภูมิน้ำร้อนที่พื้นผิวดินประมาณ 105 °C อัตราการไหล 20 L/s น้ำพุร้อนดังกล่าวจะถูกนำมาใช้งานที่อัตราการไหลประมาณ 2.20 L/s จากผลการคำนวณและออกแบบ พบว่า สามารถนำมาผลิตไฟฟ้าโดยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาดกำลังการผลิต 15 kW_e ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำร้อน 158 kW มีประสิทธิภาพของระบบ 8.09% และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาดการทำ ความเย็น 5 TR ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำร้อน 20.45 kW มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ 0.86 รวมทั้งระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ขนาดการทำ ความร้อน 20 kW ใช้พัดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 in มอเตอร์ขนาด 0.18 kW และมีปริมาณการไหลเชิงปริมาตรของลมภายในห้องอบแห้ง 5,000 m³/min ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำร้อน 57 kW ซึ่งประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานร่วมมีค่าประมาณ 23% และมีการใช้พลังงานความร้อนจากน้ำพุร้อนรวมทั้งหมด 235.45 kW

คำสำคัญ: น้ำพุร้อน วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์

Abstract

The objective of this study is to survey and design combined cooling heating and power generation (CCHP) system when the energy source comes from geothermal energy of Sankamphang hot spring. From the survey data, there are 5 hot spring drilled holes of which 3 units are presently used. For the first hole, the temperature and the flow rate of surface hot water are 105 °C and 20 L/s, respectively. Only the flow rate of hot water around 2.20 L/s could be conducted to run a 15 kW_e organic Rankine cycle (ORC) with 158 kW supplied heat rate and the ORC efficiency is 8.09%. The hot water after running the ORC was used to generate cooling through a 5 TR absorption chiller by supplying 20.45 kW heat rate with a coefficient of performance (COP) of 0.86. The remaining heat in the hot water was supplied into a 20 kW centralized drying unit with a heat rate of 57 kW. The unit used a fan having 20 inch diameter with 0.18 kW motor for circulating 5,000 m³/min air flow rate in the drying chamber. The total efficiency of the combined system is about 23% from 235.45 kW heat rate from the hot spring.

Keyword: Hot spring, Organic Rankine cycle, Absorption chiller, Centralized drying room.

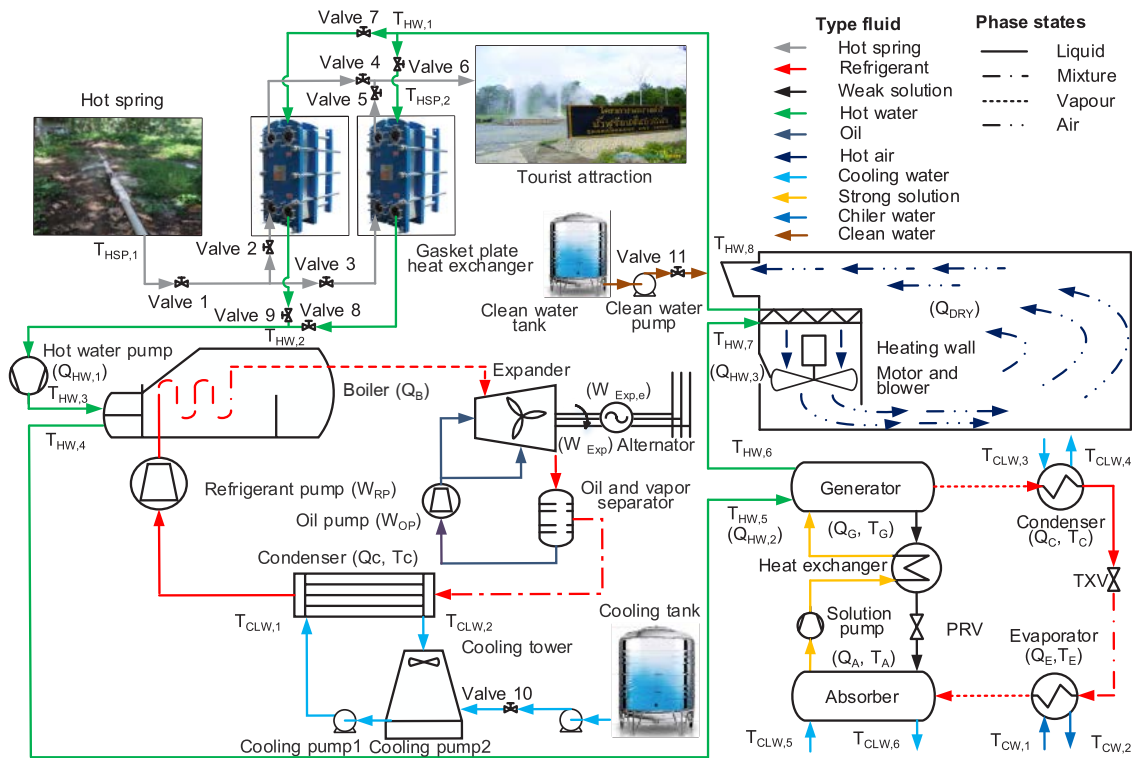


1. บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกกำลังประสบปัญหาเรื่องพลังงานเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะเชื้อเพลิงน้ำมัน จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการหาแหล่งพลังงานใหม่ ๆ ที่ใช้แล้วประหยัดและไม่สิ้นเปลืองหมดสิ้นไป เช่น พลังงานชีวมวล พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อนใต้พิภพ เป็นต้น [1] สำหรับประเทศไทยมีแผนพัฒนาและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้า โดยตั้งเป้าการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพเท่ากับ 3 MW_e ในปี พ.ศ. 2579 แต่ในปัจจุบันพลังงานดังกล่าวของประเทศไทยมีกำลังการผลิตที่ 300 kW_e ซึ่งยังห่างไกลเป้าหมายค่อนข้างมาก เนื่องจากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทยส่วนใหญ่จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงการท่องเที่ยว อาทิเช่น แหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ มีการนำน้ำพุร้อนมาใช้ในด้านการบริการสระว่ายน้ำ บริการสปา และบริการชานา ซึ่งจะใช้ น้ำพุร้อนมีอุณหภูมิไม่สูงมาก และยังมีมีการปล่อยความร้อนทิ้งจากการลดอุณหภูมิ น้ำพุร้อนก่อนนำไปใช้งานจึงมีแนวคิดที่จะนำความร้อนดังกล่าวมาใช้ประโยชน์จากการศึกษางานวิจัยของ Algeria [2] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ในการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กโดยใช้ประโยชน์จากแหล่งความร้อนใต้พิภพที่มีอุณหภูมิต่ำในประเทศสโลวาเกีย (Slovakia) ซึ่งในการศึกษาใช้น้ำพุร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบที่ 129 °C อัตราการไหล 1 kg/s และใช้สารทำงาน Isopentane ผลจากการศึกษาพบว่า วัฏจักรแรงดันอินทรีย์มีประสิทธิภาพด้านความร้อน 14.6% และสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 16 kW_e Ambriz-Diaz [3] ได้วิเคราะห์การผลิตไฟฟ้า การทำความเย็น และการทำความร้อนสำหรับบ่อแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยพลังงานความร้อนใต้พิภพ

ซึ่งทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยกำหนดอุณหภูมิของน้ำพุร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบ 120 °C ผลจากการทดลองพบว่า วัฏจักรแรงดันอินทรีย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 110 kW_e มีประสิทธิภาพการทำงานของระบบ 8.95% โดยระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนสามารถผลิตความเย็นได้ 40 TR มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ 0.6 และระบบอบแห้งสามารถอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรได้ ตัวอย่างเช่นในการอบแห้งมะเขือเทศ 500 kg มีประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ 70% ซึ่งระบบที่กล่าวมาข้างต้นจะมีประสิทธิภาพรวม 17.84% Chaibat [4] ศึกษาศักยภาพและเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย พบว่าน้ำพุร้อน 97 แห่ง ของประเทศไทยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ น้ำพุร้อนที่มีศักยภาพสูงมีอุณหภูมิสูงกว่า 80 °C สามารถนำมาใช้กับวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ในการผลิตไฟฟ้า ส่วนน้ำพุร้อนที่มีศักยภาพปานกลางมีอุณหภูมิของน้ำพุร้อนระหว่าง 60-80 °C สามารถใช้งานร่วมกับ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ และในส่วนน้ำพุร้อนที่มีศักยภาพต่ำมีอุณหภูมิของน้ำพุร้อนต่ำกว่า 60 °C จะนิยมนำไปใช้กับแหล่งท่องเที่ยว เช่น ห้องอาบน้ำแร่ สปา ชานา เป็นต้น จากการศึกษาวิจัยข้างต้นพบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ศึกษาการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพมาต่อกันแบบอนุกรมหรือแบบขั้นบันได ดังแสดงในรูปที่ 1

ดังนั้นจึงเป็นที่มางานวิจัยนี้ที่ต้องการสำรวจข้อมูลทางกายภาพของแหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง และออกแบบระบบการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพต่อกันแบบขั้นบันได เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากพลังงานทดแทนอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และเป็นแนวทางในการพัฒนาพลังงานความร้อนใต้พิภพต่อไป



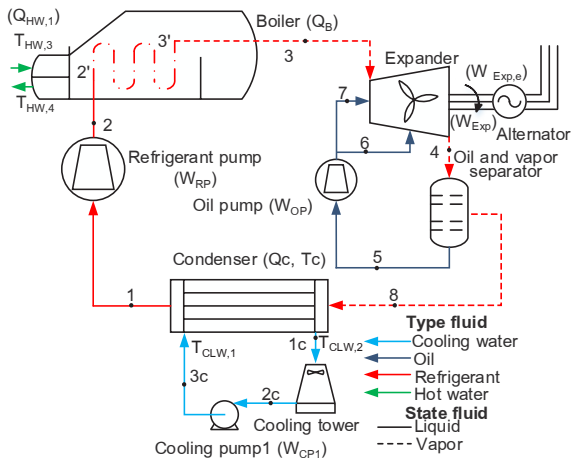
รูปที่ 1 แผนภาพการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ร่วมกับพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบขั้นบันไดของน้ำพุร้อนสันกำแพง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีเบื้องต้นของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ และการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน มีรายละเอียดดังนี้

2.1 วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ เป็นวัฏจักรที่ใช้ของไหลเป็นสารทำงาน สามารถทำงานด้วยการใช้พลังงานความร้อนจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยหลักการของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คล้ายกับหลักการทำงานของวัฏจักรแรงคิน แต่ใช้สารอินทรีย์เป็นสารทำงานที่มวลโมเลกุลสูง สามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอที่อุณหภูมิจุดเดือดต่ำ โดยมีอุปกรณ์หลัก ๆ 5 อุปกรณ์ ประกอบด้วย หม้อต้ม (Boiler) เครื่องควบแน่น (Condenser) ปั๊มสารทำงาน (Refrigerant pump) เครื่องขยายตัว (Expander) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator) [5] ดังแสดงในรูปที่ 2



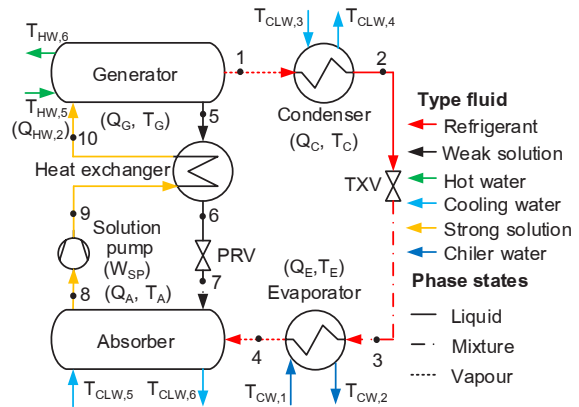
รูปที่ 2 แผนภาพอุปกรณ์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

การคำนวณหาประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ทำได้โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$\eta_{ORC} = [(W_{Exp,e} - W_{RP} - W_{CP1} - W_{OP}) / Q_B] \quad (1)$$

2.2 ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนสามารถนำแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตความเย็นหรือน้ำเย็นเพื่อนำไปใช้งาน ซึ่งอุปกรณ์ของระบบดังกล่าวประกอบไปด้วย เครื่องระเหย (Evaporator) เครื่องควบแน่น (Condenser) เจนเนอเรเตอร์ (Generator) แอ็บซอร์บ์เพอร์ (Absorber) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ปั๊มสารละลาย (Solution pump) และวาล์วควบคุมความดัน (Thermostatic expansion valve, TXV) [6] ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยมีหลักการการทำงาน คือ น้ำร้อนเข้าสู่เจนเนอเรเตอร์เพื่อถ่ายเทความร้อนให้สารละลาย สารทำงานที่มีจุดเดือดต่ำกว่าตัวดูดกลืนจะระเหยกลายเป็นไอ และไหลออกจากเจนเนอเรเตอร์ที่ความดันสูง ซึ่งปั๊มความร้อนแบบดูดกลืนต้องการสารทำงานความเข้มข้นสูงผ่านเข้าสู่เครื่องระเหย



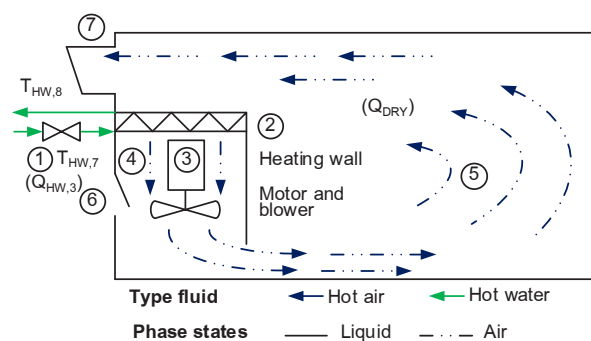
รูปที่ 3 แผนภาพอุปกรณ์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

สมการทางคณิตศาสตร์ในการพิจารณาสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน มีดังต่อไปนี้

$$COP_{Ab} = Q_E / (Q_G + W_{SP}) \quad (2)$$

2.3 ระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์

หลักการการทำงานของระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ คือ น้ำร้อนไหลผ่านวาล์วควบคุมในจุดที่ 1 ไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Drying coil) ในจุดที่ 2 และไหลออก ลมจากพัดลม (Blower) ในจุดที่ 3 จะผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำให้อากาศร้อนขึ้นในจุดที่ 4 จากนั้นพัดลมจะเป่าอากาศร้อนไปยังพื้นที่อบแห้งผ่านผลผลิตทางการเกษตรในจุดที่ 5 เมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในห้องสูงจะเปิดช่องลมในจุดที่ 6 เพื่อนำความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำบริเวณภายนอกเข้ามาแทนที่ โดยความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะถูกดันออกในช่องลมจุดที่ 7 และเมื่อมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เหมาะสมจะทำการปิดช่องลมในจุดที่ 6 และ 7 เพื่อให้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่เหมาะสมหมุนเวียนภายในห้องอบแห้ง [7] โดยส่วนประกอบหลักๆ ของระบบที่กล่าวมาข้างต้นประกอบไปด้วย ห้องอบแห้ง อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน มอเตอร์พัดลม และแผงแจกลม ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภาพระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์

การพิจารณาประสิทธิภาพของระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

$$\eta_{DRY} = Q_{DRY} / (Q_{HW,3} + W_{Mb}) \quad (3)$$



2.4 การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน (Combined Cooling Heating and Power, CCHP)

การทำงานร่วมกันของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ต่อกันแบบขั้นบันได โดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากแหล่งเดียวกัน ซึ่งพลังงานความร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์มาจากระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และพลังงานความร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน มาจากวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งสามารถทำการประเมินประสิทธิภาพจากการใช้พลังงานร่วมดังสมการทางคณิตศาสตร์ต่อไปนี้

$$\eta_{CCHP} = \frac{W_{Exp,e} + Q_E + Q_{DRY}}{Q_{HW,total} + W_{P,total} + W_{Mb}} \quad (4)$$

ตารางที่ 1 เงื่อนไขเริ่มต้นการทำงานของระบบผลิตพลังงานร่วม

| รายละเอียด | ข้อมูล |
|---|--|
| ระบบท่อน้ำพุร้อน | |
| ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นถอดได้ (E_{GP}) | 85% |
| วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ | |
| กำลังไฟฟ้าที่ต้องการผลิต ($W_{Exp,e}$, kW _e) | 15 |
| ประสิทธิภาพของหม้อต้ม (E_B) | 85% |
| อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าหม้อต้ม ($T_{HW,3}$, °C) | 100 |
| อัตราการไหลของน้ำพุร้อน (\dot{m}_{HSP} , L/s) | 2.20 |
| อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องควบแน่น ($T_{CLW,1}$, °C) | 32 |
| สมการสมรรถนะของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ [8] | $\eta_{ORC} = 0.0327 (T_{HW,3} - T_{CLW,1}) + 5.8628$ |
| ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน | |
| ขนาดการทำความเย็นที่ต้องการผลิต (Q_E , TR) | 5 |
| ประสิทธิภาพของเจนเนอเรเตอร์ (E_G) | 85% |
| อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าแอมบอร์เพอร์ ($T_{CLW,5}$, °C) | 32 |
| อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องระเหย (T_E , °C) | 15 |
| อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องควบแน่น (T_C , °C) | 35 |
| สมการสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน [8] | $COP_{Ab} = -0.1613 (T_{HW,5} - T_C) / (T_{CLW,5} - T_E) + 1.3178$ |
| ระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ | |
| อุณหภูมิแวดล้อม (°C) | 30 |
| ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (E_{HX}) | 85% |
| ความดันภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ (bar) | 1 |
| พลังงานความร้อนที่ต้องการผลิตจากระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ (Q_{DRY} , kW) | 20 |
| ประสิทธิภาพของระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ (η_{DRY}) [4] | 30% |

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการสำรวจข้อมูลทางกายภาพ

ผลการสำรวจข้อมูลทางกายภาพของแหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

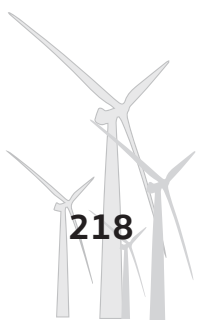
วิธีการดำเนินงานวิจัยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 สำรวจข้อมูลทางกายภาพของแหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง

3.2 กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นที่ใช้ในการคำนวณและออกแบบระบบผลิตพลังงานร่วม โดยอุณหภูมิของน้ำสะอาดเมื่อได้รับความร้อนจากน้ำพุร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นถอดได้ (Gasket plate heat exchanger) มีอุณหภูมิ 100 °C และมีรายละเอียดของเงื่อนไขเริ่มต้นสำหรับระบบต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

3.3 คำนวณและออกแบบระบบผลิตพลังงานร่วมที่มีการต่อกันแบบอนุกรมหรือขั้นบันได

อำเภอแม่อน จังหวัดเชียงใหม่ ตามแนวพระราชดำริ พบว่ามีการขุดเจาะน้ำพุร้อนทั้งหมด 5 หลุม ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2





หลุมเจาะที่ 1

หลุมเจาะที่ 2

หลุมเจาะที่ 3

หลุมเจาะที่ 4

หลุมเจาะที่ 5

รูปที่ 5 หลุมเจาะน้ำพุร้อนทั้ง 5 หลุม

ตารางที่ 2 ข้อมูลทางกายภาพของแหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง

| หลุมเจาะน้ำพุร้อน | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| ข้อมูลทางกายภาพ | | | | | |
| ขนาดหลุมเจาะ (in) | 6 | 4 | 4 | 4 | 6 |
| ความลึกหลุมเจาะ (m) | 283 | 70 | 60 | 60 | 100 |
| อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดิน (°C) | 105 | 105 | 105 | 95 | 105 |
| อัตราการไหล (L/s) | 20 | 20 | 10 | 0.5 | 20 |
| อุณหภูมิของน้ำพุร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ | | | | | |
| ปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศ (°C) | 105 | - | 105 | | |
| บ่อต้มไข่ (°C) | 105 | 105 | - | - | - |
| บ่อแช่เท้า (°C) | 40 | 40 | - | - | - |
| ห้องอาบน้ำ (°C) | 40 | 40 | - | - | - |
| สระว่ายน้ำ (°C) | 40 | - | - | - | - |

จากการสำรวจหลุมเจาะน้ำพุร้อนทั้ง 5 หลุม พบว่า มีการใช้งานน้ำพุร้อนอยู่เพียง 3 หลุม โดยหลุมที่ 1 มีอุณหภูมิน้ำพุร้อนที่พื้นผิวดิน 105 °C อัตราการไหล 20 L/s ถูกนำไปใช้ในบ่อต้มไข่ และมีการปล่อยน้ำพุร้อนขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ อีกทั้งยังนำไปใช้กับบ่อแช่เท้าและสระว่ายน้ำ น้ำที่อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 40 °C หลุมที่ 2 มีอุณหภูมิน้ำพุร้อนที่พื้นผิวดิน 105 °C อัตราการไหล 10 L/s ใช้สำหรับบ่อต้มไข่ หลังจากนั้นจะทำการปล่อยน้ำพุร้อนไปยังบ่อแช่เท้าและห้องอาบน้ำ หลุมที่ 3 มีอุณหภูมิน้ำพุร้อนที่พื้นผิวดิน 105 °C อัตราการไหล 10 L/s จะใช้ปล่อยน้ำพุร้อนขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศเพียงอย่างเดียว หลุมที่ 4 มีอุณหภูมิน้ำพุร้อนที่พื้นผิวดิน 95 °C อัตราการไหล 0.5 L/s ซึ่งมีปริมาณการไหลที่น้อยมาก มีการเปิดใช้งานเพื่อให้ประชาชนต้มหน่อไม้ตามฤดูกาลเท่านั้น และหลุมที่ 5 ถูกปิดวาล์วเอาไว้เนื่องจากถ้ามีการเปิดใช้งานจะส่งผลต่อสถานที่ท่องเที่ยวแหล่งใกล้เคียง จึงไม่มีการใช้งานน้ำพุร้อนหลุมนี้

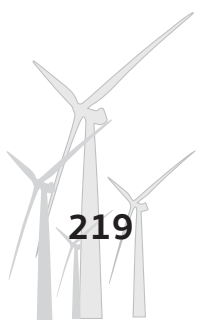
จากการศึกษา พบว่า น้ำพุร้อนหลุมที่ 1 ส่วนที่นำไปใช้งานกับบ่อแช่เท้าและสระว่ายน้ำจะถูกส่งไปยังถังพัก เพื่อให้อุณหภูมิน้ำพุร้อนลดลงก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งความร้อนที่ถูกปล่อยทิ้งจากการลดอุณหภูมิมีศักยภาพที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นแหล่งความร้อนในการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและการทำความร้อนก่อนปล่อยสู่แหล่งท่องเที่ยวเพื่อใช้งานดังกล่าวต่อไป

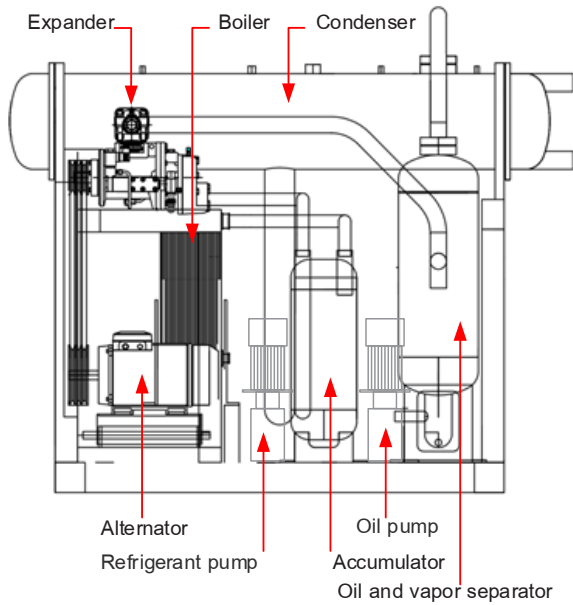
4.2 ผลการออกแบบระบบผลิตพลังงานร่วมที่มีการต่อกันแบบอนุกรมหรือขนานกัน

วัฏจักรแรงดันอินทรีย์มีขนาดการผลิตไฟฟ้า 15 kW_e มีประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ 8.09% ซึ่งมีรายละเอียดต่าง ๆ ของระบบ ดังแสดงในตารางที่ 3 และมีลักษณะโครงสร้างของระบบดังแสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 3 รายละเอียดของระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

| ข้อมูล | รายละเอียด |
|-------------------------------------|---|
| เครื่องขยายตัว | ▪ เครื่องขยายตัวแบบสกอร์คู |
| เครื่องกำเนิด | ▪ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ |
| ไฟฟ้ากระแสสลับ | ▪ แรงดัน 380 V, 3 Phase ▪ ความถี่ 50 Hz ▪ กำลังการผลิตไฟฟ้า 15 kW _e |
| หม้อต้ม | ▪ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่น ▪ อัตราการถ่ายเทความร้อน 158 kW |
| เครื่องควบแน่น | ▪ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ ▪ อัตราการถ่ายเทความร้อน 142 kW |
| ปั๊มสารทำงาน | ▪ กำลังไฟฟ้า 1.50 kW ▪ ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น 0.75 kW ▪ ปั๊มน้ำหล่อเย็น 2.20 kW |
| น้ำร้อน | ▪ อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าระบบ 100 °C ▪ อุณหภูมิน้ำร้อนออกระบบ 83 °C ▪ อัตราการไหลน้ำร้อน 2.20 L/s |
| ประสิทธิภาพของระบบ (η_{ORC}) | ▪ 8.09% |



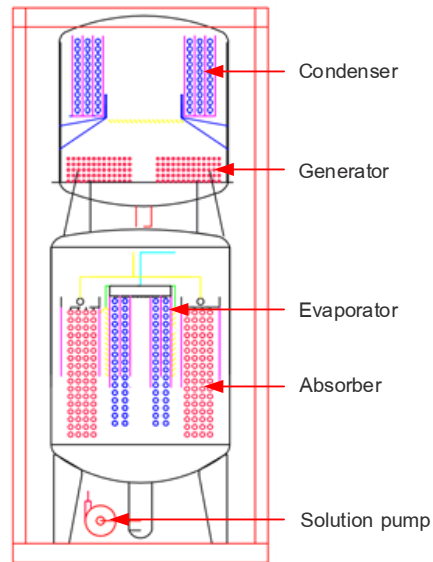


รูปที่ 6 ลักษณะโครงสร้างวัฏจักรแรงคินสาร์อินทรีย์

ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนมีขนาดการทำความเย็น 5 TR มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบที่ 0.86 โดยรายละเอียดของระบบดังแสดงในตารางที่ 4 และมีลักษณะโครงสร้างของระบบดังแสดงในรูปที่ 7

ตารางที่ 4 รายละเอียดของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

| ข้อมูล | รายละเอียด |
|----------------------------------|---|
| เครื่องระเหย | <ul style="list-style-type: none"> อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบขดท่อและครีป (Fin coil heat exchanger) ขนาดการทำความเย็น 5 TR (17.58 kW) |
| เจนเนอเรเตอร์ | <ul style="list-style-type: none"> อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบขดท่อและครีป อัตราการถ่ายเทความร้อน 20.45 kW |
| แอบซอร์บ์เบอร์ | <ul style="list-style-type: none"> อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบขดท่อ (Coil tube heat exchanger) อัตราการถ่ายเทความร้อน 20.55 kW |
| เครื่องควบแน่น | <ul style="list-style-type: none"> อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบขดท่อ อัตราการถ่ายเทความร้อน 18.15 kW |
| ปั๊มสารละลาย | <ul style="list-style-type: none"> พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 0.37 kW แรงดัน 380 V, 3 Phase ความถี่ 50 Hz |
| น้ำร้อน | <ul style="list-style-type: none"> อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าระบบ 83 °C อุณหภูมิน้ำร้อนออกระบบ 75 °C อัตราการไหลน้ำร้อน 2.20 L/s |
| สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ (COP) | 0.86 |

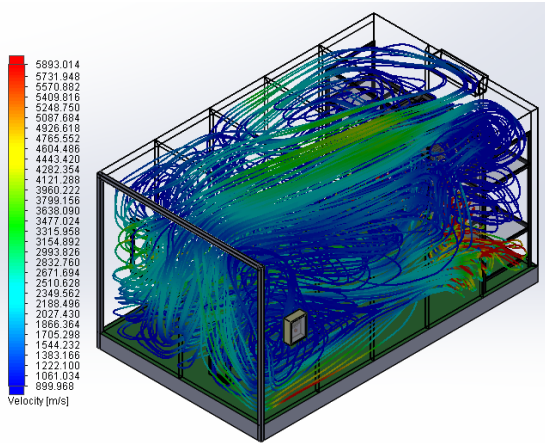


รูปที่ 7 ลักษณะโครงสร้างระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

ระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์มีขนาดการทำความร้อน 20 kW รายละเอียดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5 และทำการสร้างแบบจำลองของระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์โดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ เพื่อหาความเร็วลมที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร ซึ่งพิจารณาจากพัดลมระบายอากาศรุ่นตะแกรงหน้าหลัง ขนาดต่าง ๆ ที่มีขายตามท้องตลาด จากผลการจำลอง พบว่า พัดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 in ใช้มอเตอร์ 0.18 kW ที่ปริมาณลม 5,000 m³/min เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 8 เนื่องจากมีการกระจายตัวของลมร้อนอย่างทั่วถึงภายในพื้นที่อบแห้ง

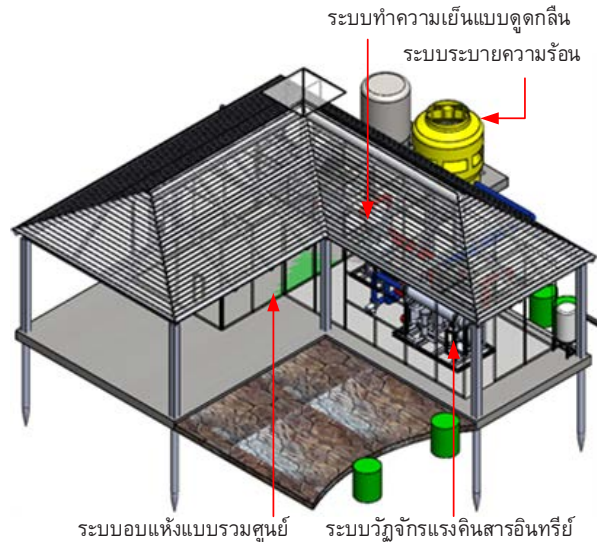
ตารางที่ 1 รายละเอียดของระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์

| ข้อมูล | รายละเอียด |
|---------------------------|--|
| ห้องระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ | <ul style="list-style-type: none"> ขนาดกว้าง 3.60 m ยาว 6.00 m และสูง 3.00 m ผนังห้องใช้แผ่นฉนวนกันความร้อนสำเร็จรูป (Isowall) หนา 3 in |
| อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน | <ul style="list-style-type: none"> ขนาดกว้าง 0.90 m ยาว 1.20 m และสูง 0.02 m อัตราการถ่ายเทความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อและครีป (Fin tube heat exchanger) 20 kW |
| พัดลมและมอเตอร์ | <ul style="list-style-type: none"> พัดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 in ปริมาณลม 5,000 m³/min มอเตอร์ 0.18 kW |
| น้ำร้อน | <ul style="list-style-type: none"> อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าระบบ 75 °C อุณหภูมิน้ำร้อนออกระบบ 69 °C อัตราการไหลน้ำร้อน 2.20 L/s |



รูปที่ 8 ลักษณะของโครงสร้างระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์

จากการออกแบบระบบที่นำน้ำพุร้อนหลุมเจาะที่ 1 มาใช้งานกับระบบผลิตพลังงานร่วมเพื่อผลิตไฟฟ้า ทำความเย็น และความร้อน ที่ต่อกันแบบอนุกรมหรือชั้นบันได พบว่า มีการใช้น้ำพุร้อนจากหลุมดังกล่าวที่อัตราการไหล 2.20 L/s จากอัตราการไหลสูงสุด 20.00 L/s ซึ่งมีการนำมาใช้งานในปริมาณที่ค่อนข้างน้อย จึงไม่ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมด้านการท่องเที่ยวของน้ำพุร้อนสันกำแพง โดยระบบผลิตพลังงานร่วมใช้น้ำสะอาดมาแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำพุร้อน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำสะอาดขึ้นประมาณ 100 °C จากนั้นนำน้ำร้อนมาป้อนให้แก่วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ที่ต้องการพลังงานความร้อนจากน้ำร้อน 158 kW สำหรับใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า 15 kW น้ำร้อนที่ออกจากระบบดังกล่าวจะมีอุณหภูมิ 83 °C (ลดลงประมาณ 17 °C) นำไปป้อนให้แก่ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ที่ต้องการปริมาณพลังงานความร้อนจากน้ำร้อน 20.45 kW เพื่อผลิตความเย็น 5 TR (17.58 kW) จากนั้นน้ำร้อนที่ออกจากระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจะมีอุณหภูมิ 75 °C (ลดลงประมาณ 8 °C) สามารถนำน้ำร้อนดังกล่าวมาป้อนให้แก่ระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ขนาดการทำความร้อน 20 kW ที่ต้องการปริมาณความร้อนจากน้ำร้อน 57 kW หลังจากนั้นน้ำร้อนที่ออกจากระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์จะมีอุณหภูมิ 69 °C (ลดลงประมาณ 6 °C) จะถูกส่งไปปรับความร้อนจากน้ำพุร้อนเพื่อเริ่มต้นกระบวนการใหม่อีกครั้ง โดยระบบผลิตพลังงานร่วมที่ต่อกันแบบอนุกรมหรือแบบชั้นบันได ต้องป้อนพลังงานความร้อนจากน้ำพุร้อนประมาณ 235.45 kW และมีประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม (η_{CCHP}) 23% ทั้งนี้ น้ำพุร้อนที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวมาในข้างต้นจะถูกส่งไปพักยังถังพัก เพื่อให้อุณหภูมิลดลงก่อนปล่อยสู่แหล่งท่องเที่ยว ซึ่งเป็นการใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และจากผลของการออกแบบโรงเรือนโดยใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ขนาดโรงเรือนที่เหมาะสมจะมีขนาดกว้าง 10.55 m ยาว 12.30 m สูง 6.80 m และพื้นหนา 0.30 m ส่วนฐานวางระบบระบายความร้อนจะอยู่ด้านหลังโรงเรือน มีขนาดกว้าง 2.50 ยาว 4.00 และหนา 0.20 m ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ลักษณะของโรงเรือนที่ได้ทำการออกแบบ

โดยรายละเอียดราคาอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบการผลิตไฟฟ้า ร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน จากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันไดของน้ำพุร้อนสันกำแพง แสดงในตารางที่ 6

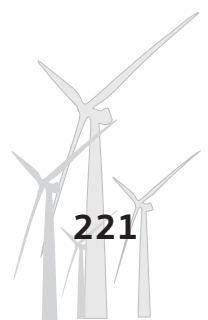
ตารางที่ 6 รายละเอียดราคาอุปกรณ์

| ลำดับ | อุปกรณ์ | (Baht) |
|----------------|--|-----------|
| 1. | โรงเรือน | 700,000 |
| 2. | ห้องติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าและระบบปรับอากาศ | 150,000 |
| 3. | ระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ | 250,000 |
| 4. | วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ | 1,500,000 |
| 5. | ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน | 500,000 |
| 6. | ระบบจ่ายน้ำพุร้อน ระบบจ่ายน้ำสะอาด | 500,000 |
| 7. | หอผึ่งระบายความร้อน | 150,000 |
| ราคารวมทั้งหมด | | 3,750,000 |

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. หลุมเจาะน้ำพุร้อนที่ 1 มีอุณหภูมิของน้ำพุร้อนที่พื้นผิวดิน 105 °C อัตราการไหล 20 L/s เหมาะสำหรับนำมาออกแบบการใช้งานของระบบผลิตพลังงานร่วมต่อกันแบบอนุกรมหรือแบบชั้นบันได โดยมีการใช้ปริมาณของน้ำพุร้อนที่อัตราการไหล 2.20 L/s



2. ระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์มีขนาดการผลิตไฟฟ้า 15 kW_e ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำร้อน 158 kW และมีประสิทธิภาพการทำงานของระบบ 8.09%

3. ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนมีขนาดการทำทำความเย็น 5 TR ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำร้อน 17 kW และมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ 0.86

4. ระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์มีขนาดการทำความร้อน 20 kW ใช้พัดลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 in มอเตอร์ 0.18 kW ปริมาณลม 5,000 m³/min และใช้พลังงานความร้อนจากน้ำร้อน 57 kW

5. ระบบผลิตพลังงานร่วมที่มีการต่อกันแบบอนุกรมหรือขั้นบันได ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำพุร้อนรวมทั้งหมด 235.45 kW และมีประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานร่วม 23%

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา” และโครงการการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบขั้นบันไดจากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำนักงานนโยบายและพลังงานปี 2560 กระทรวงพลังงานที่มอบทุนการสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัย

7. งานวิจัยอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน. (2546). *คู่มือผู้สอนพลังงานและสิ่งแวดล้อม*, พิมพ์ครั้งที่ 2
- [2] Algieri A. and Sebo J. (2017). Energetic Investigation of Organic Rankine Cycles (ORCs) for the Exploitation of Low-Temperature Geothermal Sources—A possible application in Slovakia, *Procedia Computer Science*, 109, 833–840.
- [3] Ambriz-Díaz V., Rubio-Maya C., Pacheco Ibarra J., Gonzalez G., Patino J. (2017). Analysis of a sequential production of electricity, ice and drying of agricultural products by cascading geothermal energy, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42, 18092-18102.
- [4] Chaiyat N., Chaichana C., Singharajwarapan F. (2014). Geothermal Energy Potentials and Technologies in Thailand, *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, 1-9.
- [5] นัฐพร ไชยญาติ. (2560). *การออกแบบระบบพลังงานทดแทน (Renewable Energy System Design)*, วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, สำนักพิมพ์: มหาวิทยาลัยแม่โจ้, พิมพ์ครั้งที่ 4
- [6] นัฐพร ไชยญาติ. (2560). *การนำความร้อนทิ้งกลับคืน (Waste Heat Recovery)*, วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, สำนักพิมพ์: มหาวิทยาลัยแม่โจ้, พิมพ์ครั้งที่ 3
- [7] นัฐพร ไชยญาติ. (2560). *เทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ (Geothermal Energy Technology)*, วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้, สำนักพิมพ์: มหาวิทยาลัยแม่โจ้, พิมพ์ครั้งที่ 6

[8] Chaiyat N., Kiatsirirot T. (2015). Analysis of combined cooling heating and power generation from organic Rankine cycle and absorption system, *Energy*, 91, 363-370.

[9] อติศักดิ์ คงคา และนัฐพร ไชยญาติ. (2559). การศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าโดยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์กรณีศึกษา กิจการของน้ำพุร้อนสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่, *การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 12*, 1194-1201.

8. รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

| | |
|----------------|--|
| T | อุณหภูมิ (°C) |
| Q | อัตราการถ่ายเทความร้อนด้านพลังงาน (kW) |
| C _p | ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg·K) |
| W | กำลังไฟฟ้า (kW _e) |

ตัวกรีก

| | |
|---|----------------------------|
| η | ประสิทธิภาพด้านพลังงาน (%) |
| ε | ประสิทธิภาพด้านพลังงาน (%) |
| m | อัตราการไหล (kg/s) |

ตัวห้อย

| | |
|------|---|
| Ab | ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน |
| B | หม้อต้ม |
| C | คอนเดนเซอร์ |
| CCHP | การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำทำความเย็นและความร้อน |
| CW | น้ำเย็น |
| CLW | น้ำหล่อเย็น |
| DRY | ระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ |
| e | ไฟฟ้า |
| E | เครื่องระเหย |
| Exp | เครื่องขยายตัว |
| G | เจนเนอเรเตอร์ |
| GP | อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นถอดได้ |
| H | ความดันด้านสูง |
| HSP | น้ำพุร้อน |
| HW | น้ำร้อน |
| HX | อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน |
| L | ความดันด้านต่ำ |
| Mb | มอเตอร์และพัดลม |
| P | ปั๊ม |
| ORC | ระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ |