

**MJU**  
**ANNUAL**  
**CONFERENCE**  
**2018**

การประชุมวิชาการระดับชาติ  
ประจำปี 2561

**รายงานการประชุม**  
**ภาคบรรยาย**

Proceedings of MJU Annual Conference 2018  
 "Oral Presentation"

11-13 ธันวาคม 2561

ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา  
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

ISBN 978-616-8146-14-9

การวิเคราะห์สมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน  
จากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันไดของน้ำพุร้อนสันกำแพง  
Performance Analysis of Combined Cooling Heating and Power  
from Cascade Geothermal Energy Technology of Sankamphang Hot Spring

สุธรรม ชาวจิ้ว กชกร บุญกัน วัชร กุลันคูวัฒน์ และนัฐพร ไชยญาติ\*

Sutham Chao-ngew, Kodchakon Bunkan, Watchara Klancoowat and Nattaporn Chaiyat\*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

School of Renewable Energy, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

\*Corresponding author: benz178tii@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์สมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน จากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันไดของน้ำพุร้อนสันกำแพง ซึ่งได้ทำการออกแบบ สร้าง และทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ที่ทำงานร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ เพื่อทำการวิเคราะห์หาสมการสมรรถนะของระบบผลิตพลังงานร่วมต่างๆ จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ความเย็น และความร้อน มีความสัมพันธ์กับตัวแปรต้นที่มีผลต่อการทำงานเป็นลักษณะเส้นตรง โดยสมการสมรรถนะของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ มีรูปแบบความสัมพันธ์ คือ  $\eta_{ORC} = 0.1472(T_{HW,i} - T_{CLW,i}) - 2.9988$  สมการสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน เท่ากับ  $COP_{AB} = -0.8015[(T_{HW,i} - T_C) / (T_{CLW,i} - T_E)] + 2.4937$  และสมการสมรรถนะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ คือ  $\eta_{Drying} = -0.0457(T_{HW,i} - T_a) + 2.6491$  ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ สมการสมรรถนะ น้ำพุร้อน

### Abstract

This research analyzed performance of a combined cooling heating and power (CCHP) from cascade geothermal energy technology of Sankamphang hot spring. Design, construction and testing of an Organic Rankine Cycle (ORC) integrated with an absorption chiller and a centralized drying room were performed to find out the each performance curve of the CCHP system. From the study results, it could be found that the efficiencies of power, cooling and heating units were effectively with the input variables in form of linear correlation. The performance curve of the ORC unit was  $\eta_{ORC} = 0.1472(T_{HW,i} - T_{CLW,i}) - 2.9988$ , while the performance curve of the absorption chiller was  $COP_{AB} = -0.8015[(T_{HW,i} - T_C) / (T_{CLW,i} - T_E)] + 2.4937$  and the performance curve of the centralized drying room was  $\eta_{Drying} = -0.0457(T_{HW,i} - T_a) + 2.6491$ , respectively.

**Keywords:** Organic Rankine Cycle, absorption chiller, centralized drying room, performance curve hot spring

## คำนำ

พลังงานมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจ และคุณภาพชีวิตของมนุษย์ โดยที่มาของพลังงานส่วนใหญ่ นั้นมาจากทรัพยากรสิ้นเปลืองที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้ประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงานจำนวนมาก กระทรวงพลังงานจึงกำหนดนโยบายพลังงานของประเทศ ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2558-2579 ให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน 15-20% ภายในปี พ.ศ. 2579 (กระทรวงพลังงาน, 2546) เพื่อสนับสนุนยุทธศาสตร์ของกระทรวงพลังงาน พลังงานความร้อนใต้พิภพจึงถูกทำการศึกษา ช่างเผือก และนัฐพร (2559) ได้ทำการจำลองระบบเพื่อวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ผลการศึกษาพบว่า ก่อนปรับปรุงระบบอุณหภูมิเข้าหม้อต้ม  $90-120^{\circ}\text{C}$ . ประสิทธิภาพวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ประมาณ 8% โดยหลังปรับปรุงระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นประมาณ 12% สุธรรม และคณะ (2560) ได้ทำการออกแบบและวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นแบบดูดกลืนและความร้อนที่ต่อกับแบบอนุกรม ใช้แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพของน้ำพุร้อนสันกำแพง ผลจากการออกแบบและวิเคราะห์ พบว่า สามารถผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาดกำลังการผลิต  $15\text{ kW}_e$  มีประสิทธิภาพของระบบ 8.09% และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาดการทำความเย็น 5 TR มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ 0.86 รวมทั้งห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ขนาดการทำความร้อน 20 kW ซึ่งประสิทธิภาพของระบบรวมประมาณ 23% Ambriz-Díaz *et al.* (2017) ได้ทำการจำลองและวิเคราะห์การผลิตกระแสไฟฟ้า การทำความเย็น และการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพ ผลการจำลองพบว่า วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ขนาด  $110\text{ kW}_e$  มีประสิทธิภาพประมาณ 8.95% ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาดการทำความเย็น 40 TR มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะที่ 0.6 และการอบแห้งมะเขือเทศ 500 kg มีประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ 70% Chaiyat *et al.* (2017) ได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ขนาด  $25\text{ kW}_e$  ด้วยระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาด 1 TR เพื่อลดอุณหภูมิที่เครื่องควบแน่น จากการทดสอบพบว่า ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนทำให้อุณหภูมิที่เครื่องควบแน่นลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ดีขึ้น 12.46% เมื่อเทียบกับระบบปกติ Rubio-Maya *et al.* (2015) ได้ทำการศึกษาการใช้ประโยชน์พลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันได จากการศึกษาพบว่าการใช้ประโยชน์พลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันไดเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีความยั่งยืน โดยเริ่มใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิสูงในช่วง  $80-120^{\circ}\text{C}$ . วัฏจักรแรงดันอินทรีย์อุณหภูมิในช่วง  $50-90^{\circ}\text{C}$ . และอุณหภูมิในช่วง  $30-7^{\circ}\text{C}$ . นำมาใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร Chaiyat and Kiatsiriroat (2015) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ด้านพลังงาน ของการเพิ่มประสิทธิภาพวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ร่วมกับการผลิตพลังงานร่วม จากการศึกษาพบว่า เมื่อนำระบบดูดกลืนร่วมกับวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ขนาด  $25\text{ kW}_e$  ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 7% เมื่ออุณหภูมิ น้ำเย็น  $15^{\circ}\text{C}$ . สำหรับการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนที่จะทำการศึกษาสมการสมรรถนะ มีแหล่งความร้อนในรูปแบบน้ำร้อนที่ใช้งานร่วมกันซึ่งพลังงานความร้อนที่ได้จากน้ำพุร้อนจะนำมาป้อนให้แก่วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า น้ำร้อนที่ออกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจะนำมาป้อนให้แก่ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และน้ำร้อนที่ผ่านระบบการทำความเย็นจะนำมาป้อนให้แก่ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ นอกจากนั้นน้ำร้อนที่ผ่านกระบวนการผลิตพลังงานความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จะนำไปรับความร้อนจากนั้นพุร้อนและนำไปป้อนให้แก่วัฏจักรแรงดันอินทรีย์อีกครั้ง ระบบดังกล่าวจะมีการใช้งานพลังงานความร้อนที่มีลักษณะคล้ายชั้นบันได ซึ่งเป็นการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด

จากงานวิจัยต่างๆ ข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดทำการศึกษาสมรรถนะของระบบการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบขึ้นบันได จากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพ เพื่ออธิบายพฤติกรรมการทำงานของระบบอย่างมีประสิทธิภาพและง่ายต่อการใช้งาน จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ใช้แหล่งความร้อนจากภายนอกมาเข้าสู่กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยมีอุปกรณ์ประกอบไปด้วย เครื่องขยายตัว เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ ป้อนสารทำงาน เครื่องควบแน่น หม้อต้ม และสารทำงานที่ใช้ในระบบ คือ R-245fa (นัฐพร, 2560) และการทดสอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์สามารถทำได้โดยตรวจวัดค่าอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำ ความดัน และวัดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ในระบบ รายละเอียดตำแหน่งจุดวัดดังแสดงใน Figure 1 การพิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้มและเครื่องควบแน่น รวมทั้งประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สามารถหาได้จากสมการที่ 1-3 ตามลำดับ

$$Q_B = \dot{m}_{HW1} C_{p_{bulk,HW1}} (T_{HW1} - T_{HW2}) \quad \text{--- (1)}$$

$$Q_C = \dot{m}_{CLW1} C_{p_{bulk,CLW}} (T_{CLW2} - T_{CLW1}) \quad \text{--- (2)}$$

$$\eta_{ORC} = (W_{Exp,e} - W_{RP} - W_{OP}) / Q_B \quad \text{--- (3)}$$

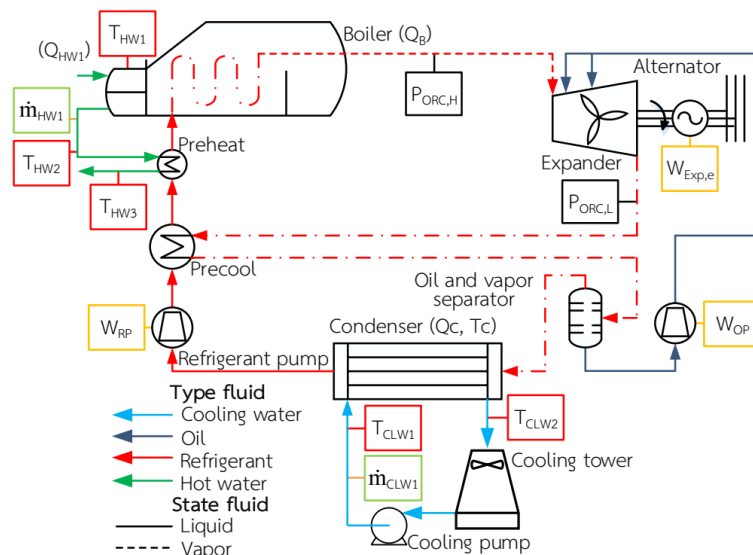


Figure 1 แผนภาพอุปกรณ์และจุดตรวจวัดของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

### ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนเป็นระบบทำความเย็นที่อาศัยความร้อนเหลือทิ้ง มาใช้ในกระบวนการผลิตความเย็น ซึ่งมีอุปกรณ์หลัก คือ เจนเนอเรเตอร์ เครื่องควบแน่น เครื่องระเหย แอบซอร์บเบอร์ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ป้อนสารละลาย และสารทำงานที่ใช้ในระบบคือ น้ำ-ลิเทียมโบรไมด์ (นัฐพร, 2560) และการทดสอบระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนสามารถทำได้โดยตรวจวัดค่าอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำ วัดค่าอุณหภูมิสารทำงาน และวัดกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ระบบ รายละเอียดตำแหน่งจุดวัดดังแสดงใน Figure 2

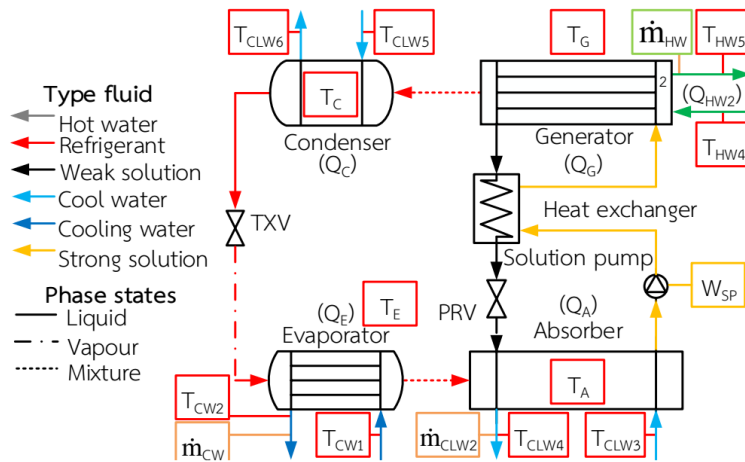


Figure 2 แผนภาพอุปกรณ์และจุดตรวจวัดของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

การพิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เจนเนอเรเตอร์และเครื่องระเหย รวมถึงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน สามารถหาได้จากสมการที่ 4-6 ตามลำดับ

$$Q_G = \dot{m}_{HW2} C_{p, bulk, HW2} (T_{HW4} - T_{HW5}) \quad \text{--- (4)}$$

$$Q_E = \dot{m}_{CW} C_{p, bulk, CW} (T_{CW1} - T_{CW2}) \quad \text{--- (5)}$$

$$COP_{AB} = Q_E / (Q_G + W_{SP}) \quad \text{--- (6)}$$

### ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ เป็นระบบใช้น้ำหรือน้ำร้อนเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกส่งผ่านแผงแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับอากาศภายในห้องอบแห้งให้มีอุณหภูมิสูง จากนั้นพัดลมและมอเตอร์จะส่งลมร้อนให้หมุนเวียนภายในห้องอบแห้ง ซึ่งห้องอบแห้งประกอบไปด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน มอเตอร์ พัดลม และผนังฉนวน (นัฐพร, 2560) และการทดสอบห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์สามารถทำได้โดยตรวจวัดค่าอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำ อุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ของ

อากาศ ความเร็วลมเฉลี่ยภายในห้องอบแห้ง และวัตต์กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลมแบบหมุนตามแนวแกน รายละเอียดตำแหน่งจุดวัดดังแสดงใน Figure 3

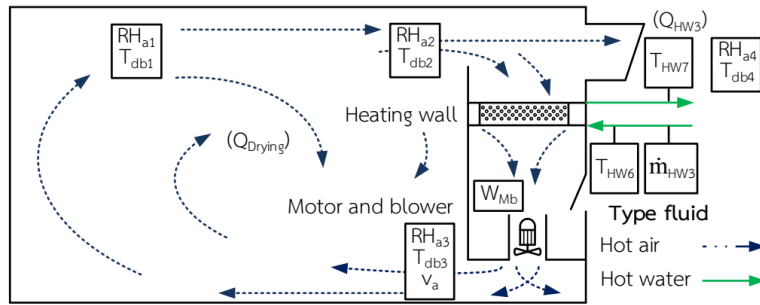


Figure 3 แผนภาพอุปกรณ์และจุดตรวจวัดของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

การพิจารณาประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ สามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนและภายในห้องอบแห้ง จากสมการที่ 7-9 ตามลำดับ

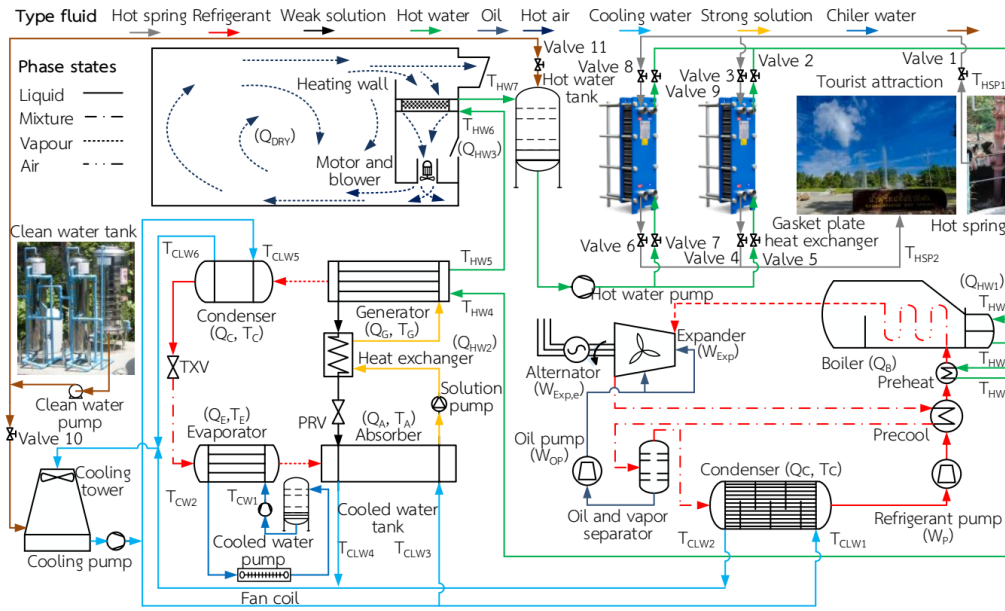
$$Q_{HW3} = \dot{m}_{HW3} C_{p_{Bulk, HW3}} (T_{HW6} - T_{HW7}) \quad \text{--- (7)}$$

$$Q_{Drying} = \dot{m}_{da} (h_3 - h_2) \quad \text{--- (8)}$$

$$\eta_{Drying} = Q_{Drying} / (Q_{HW3} + W_{Mb}) \quad \text{--- (9)}$$

### อุปกรณ์และวิธีการ

ในการวิจัยนี้มีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังแสดงต่อไปนี้  
 ออกแบบและสร้างระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากเทคโนโลยีพลังงานความร้อน  
 ได้พิภพแบบชั้นบันได โดยมีลักษณะดังแสดงใน Figure 4



**Figure 4** แผนภาพระบบผลิตพลังงานร่วมต่อกันแบบอนุกรม (แบบชั้นบันได) โดยใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพ ทดสอบและวิเคราะห์ผลทดสอบเพื่อหาสมการสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ทดสอบและวิเคราะห์ผลทดสอบเพื่อหาสมการสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ทดสอบและวิเคราะห์ผลทดสอบเพื่อหาสมการสมรรถนะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

### ผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์หาสมการสมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบ ชั้นบันได มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลทดสอบเพื่อหาสมการสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์**

ลักษณะของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ขนาดการผลิตกระแสไฟฟ้า 10 kW<sub>e</sub> ที่ได้ทำการทดสอบดังแสดงใน Figure 5 ซึ่งได้ทำการทดสอบในช่วงสภาวะคงตัว (Steady state) ผลจากการทดสอบประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำร้อน น้ำหล่อเย็นที่เข้าและออกระบบ ความดันของสารทำงาน และค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนและผลิตได้ของระบบ

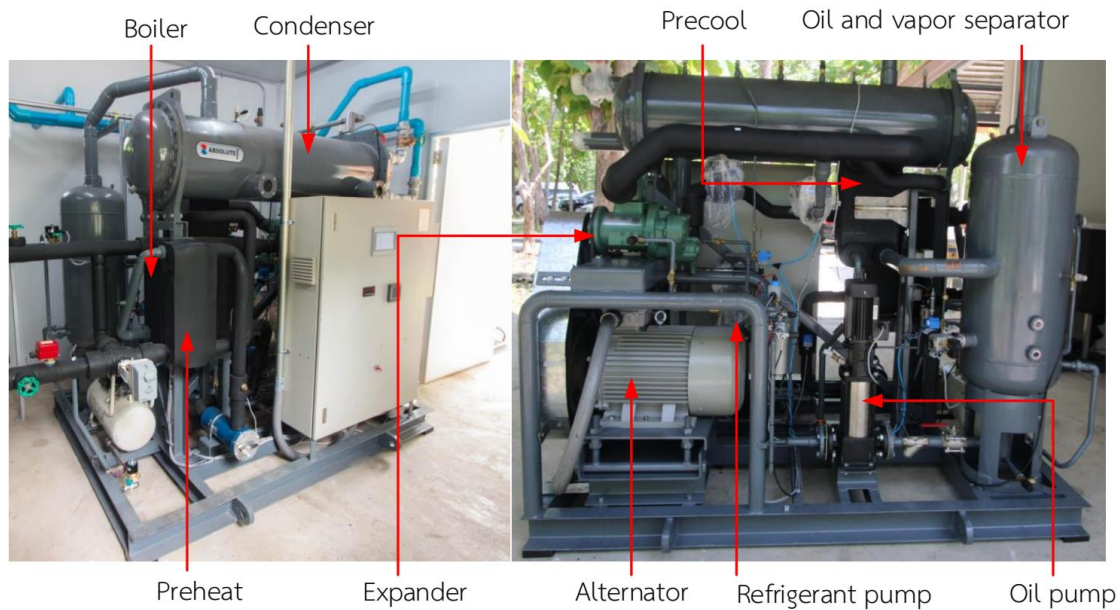


Figure 5 ระบบผลิตไฟฟ้าวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ขนาดการผลิตกระแสไฟฟ้า 10 kW<sub>e</sub>

ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ กับสัดส่วนอุณหภูมิของน้ำร้อนเข้าหม้อต้ม และน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องควบแน่น ( $T_{HW,i} - T_{CLW,i}$ ) ซึ่งแปรผันตรงต่อกัน โดยเมื่อผลต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้าหม้อต้มและน้ำหล่อเย็นที่เข้าเครื่องควบแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และยังพบว่ามีความสัมพันธ์ในรูปแบบเส้นตรงดังแสดงในสมการที่ 10 โดยมีค่า  $R^2 = 0.869$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และค่า P-value = 0.0008 คือ ค่าสัดส่วนของความน่าจะเป็นใช้สำหรับทำนายพฤติกรรมการทำงานของระบบที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมทางสถิติดังแสดงใน Figure 6

$$\eta_{ORC} = 0.1472(T_{HW,i} - T_{CLW,i}) - 2.9988 \quad \text{--- (10)}$$

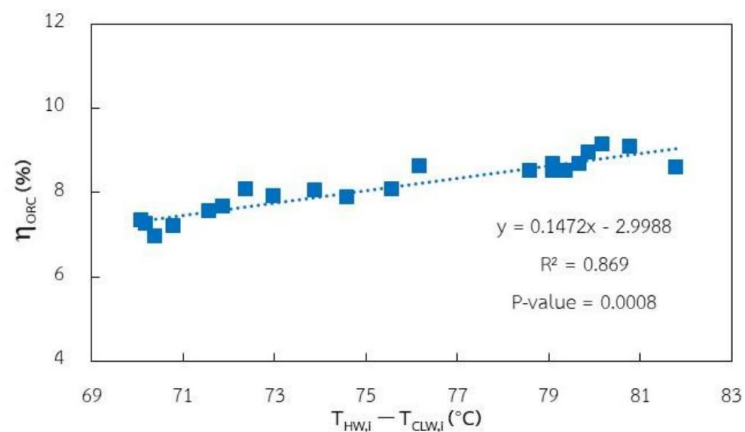


Figure 6 สมการสมรรถนะของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์



### ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

ลักษณะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาดการทำความเย็น 3 TR ได้ทำการทดสอบดังแสดงใน Figure 7 ซึ่งได้ทำการทดสอบในช่วงสภาวะคงตัว โดยผลจากการทดสอบประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำร้อน น้ำหล่อเย็น น้ำเย็นที่เข้าและออกระบบ และค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ระบบ



Figure 7 ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาดการทำความเย็น 3 TR

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน กับสัดส่วนของผลต่างอุณหภูมิน้ำร้อน น้ำหล่อเย็น และอุณหภูมิสารทำงาน  $(T_{HW,i} - T_C) / (T_{CLW,i} - T_E)$  ซึ่งแปรผกผันกับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน เมื่อผลต่างอุณหภูมิน้ำร้อน น้ำหล่อเย็น และอุณหภูมิสารทำงานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นมีค่าลดลง โดยผลต่างอุณหภูมิของน้ำร้อน น้ำหล่อเย็น และอุณหภูมิสารทำงานมีความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำงานของระบบในรูปแบบของเส้นตรงดังแสดงในสมการที่ 11 โดยมีค่า  $R^2 = 0.8868$  และค่า  $P\text{-value} = 8.9985 \times 10^{-19}$  ดังแสดงใน Figure 8

$$COP_{AB} = -0.8015[(T_{HW,i} - T_C) / (T_{CLW,i} - T_E)] + 2.4937 \quad \text{---- (11)}$$

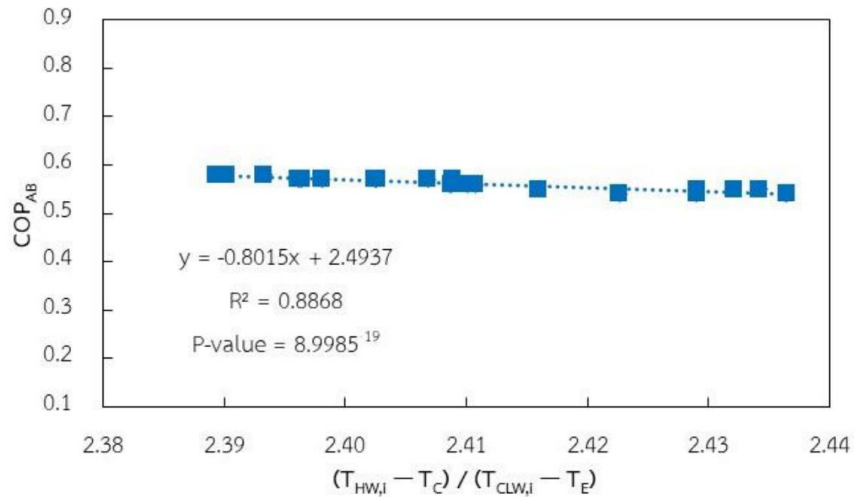


Figure 8 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

**ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลทดสอบเพื่อหาสมการสมรรถนะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์**

ลักษณะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ขนาดการผลิตพลังงานความร้อน 20 kW ที่ได้ทำการทดสอบดังแสดงใน Figure 9 ซึ่งได้ทำการทดสอบในช่วงสภาวะคงตัว โดยผลจากการทดสอบประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำร้อน น้ำหล่อเย็น น้ำเย็นที่เข้าและออกระบบ และค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ระบบ



Figure 9 ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ขนาดการผลิตพลังงานความร้อน 20 kW

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ กับผลต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิอากาศภายนอก ( $T_{HW,i} - T_a$ ) ซึ่งแปรผกผันกัน โดยเมื่อผลต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิอากาศภายนอกเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์มีค่าลดลง และมีความสัมพันธ์กับค่าประสิทธิภาพในรูปแบบของเส้นตรงดังแสดงในสมการที่ 12 โดยมีค่า  $R^2 = 0.8936$  และ  $P\text{-value} = 1.0972 \times 10^{-17}$  ดังแสดงใน Figure 10

$$\eta_{\text{Drying}} = - 0.0457(T_{HW,i} - T_a) + 2.6491 \quad \text{---- (12)}$$

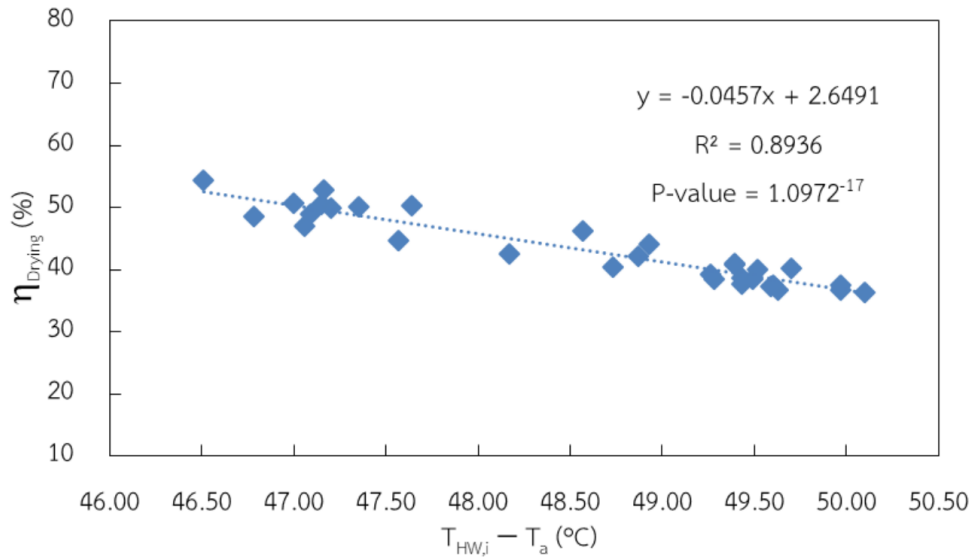


Figure 10 สมการสมรรถนะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

### วิจารณ์ผลการวิจัย

สมการสมรรถนะของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ มีความสัมพันธ์กับตัวแปรต้นของระบบที่มีผลต่อการทำงานเป็นลักษณะเส้นตรง ซึ่งง่ายต่อการนำไปใช้ในการออกแบบระบบต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทำการป้อนตัวแปรต้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามศักยภาพของแต่ละพื้นที่ไปยังสมการสมรรถนะ ก็สามารถได้ผลประสิทธิภาพการทำงานและนำไปใช้ในการออกแบบต่อไปอย่างมีประสิทธิภาพ

### สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์สมการสมรรถนะของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ความเย็น และความร้อน มีความสัมพันธ์กับตัวแปรต้นที่มีผลต่อการทำงานเป็นลักษณะเส้นตรง
2. สมการสมรรถนะของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ คือ  $\eta_{ORC} = 0.1472(T_{HW,i} - T_{CLW,i}) - 2.9988$
3. สมการสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน คือ  $COP_{AB} = -0.8015[(T_{HW,i} - T_c) / (T_{CLW,i} - T_e)] + 2.4937$
4. สมการสมรรถนะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ คือ  $\eta_{Drying} = -0.0457(T_{HW,i} - T_a) + 2.6491$

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” และโครงการการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบชั้นบันไดจากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำนักงานนโยบายและพลังงานปี พ.ศ. 2560 กระทรวงพลังงานที่มอบทุนการสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพลังงาน. 2546. **คู่มือผู้สอนพลังงานและสิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.
- ช่างเผือก อินทะวิเขต และนัฐพร ไชยญาติ. 2559. การวิเคราะห์สมรรถนะทางความร้อนของวัฏจักรแรงคิน สารอินทรีย์ที่ทำงานร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน. น. 88-93. ใน **การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9**.
- นัฐพร ไชยญาติ. 2560. **การนำความร้อนทิ้งกลับคืน (Waste Heat Recovery)**. พิมพ์ครั้งที่ 6. วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. เชียงใหม่: สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. 457 น.
- สุธรรม ขาวจิว นัฐพร ไชยญาติ ชวโรจน์ ใจสิน และจักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล. 2560. การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนจากเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันไดของน้ำพุร้อนสันกำแพง. น.215-222. ใน **การประชุมวิชาการการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการครั้งที่ 17**.
- Ambriz-Díaz V.M., C. Rubio-Maya, J. Pacheco Ibarra, G. Gonzalez and J. Patino. 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.
- Chaiyat N. and T. Kiatsiriroat. 2015. Analysis of combined cooling heating and power generation from organic Rankine cycle and absorption system. **Energy** 91: 363-370.
- Chaiyat N., Y. Wakaiyang and X. Inthavideth. 2017. Enhancement efficiency of organic Rankine cycle by using sorption system. **Applied Thermal Engineering** 122: 368-379.
- Rubio-Maya C., V.M. AmbrizDíaz, E. PastorMartínez and J.M. Belman-Flores. 2015. Cascade utilization of low and medium enthalpy geothermal resources. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 52: 689-716.

## รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์			
Cp	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg-k)	v	ความเร็ว (m/s)
COP	สัมประสิทธิ์สมรรถนะ	Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน (kW)
$\dot{m}$	อัตราการไหล (kg/s)	RH	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%)
P	ความดัน (bar)	W	กำลังไฟฟ้า (kW <sub>e</sub> )
T	อุณหภูมิ (°C)		
ตัวกรีก			
$\eta$	ประสิทธิภาพ (%)		
ตัวห้อย			
a	อากาศ	G	เจนเนอเรเตอร์
A	แอบซอร์พเบอร์	HW	น้ำร้อน
AB	ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	HSP	น้ำพุร้อน
B	หม้อต้ม	i	เข้า
C	เครื่องควบแน่น	L	ต่ำ
CLW	น้ำหล่อเย็น	Mb	พัดลมแบบหมุนตามแนวแกน
CW	น้ำเย็น	o	ออก
db	อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ	OP	ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น
Drying	ระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์	ORC	วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
e	ไฟฟ้า	RP	ปั๊มสารทำงาน
EXP	เครื่องขยายตัว	SP	ปั๊มสารละลาย
E	เครื่องระเหย		