



รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัย
และนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ **5**
หัวข้อ

“**สู่วิจัย**รับใช้สังคม
ด้วยนวัตกรรม**สร้างสรรค์**”

เล่ม
วิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี

1

วันที่ 6 – 8 ธันวาคม 2561

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

โดยความร่วมมือของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพายัพ
มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ มหาวิทยาลัยพิษณุโลก และวิทยาลัยนอร์ทเทิร์น

[ก]



รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5
หัวข้อ “สู่วิจัยรับใช้สังคม ด้วยนวัตกรรมสร้างสรรค์”

เล่ม 1 ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วันที่ 6 – 8 ธันวาคม 2561

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

โดยความร่วมมือของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพายัพ มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
มหาวิทยาลัยพิษณุโลก และวิทยาลัยนอร์ทเทิร์น

เผยแพร่ มกราคม พ.ศ. 2562

ระบบควบคุมและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จากส่วนควบคุมหลัก PLC
ผ่านอินเทอร์เน็ตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์
ของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่ออน ตามแนวพระราชดำริ

A Controller and Monitoring System with Microcontroller by PLC Controller on
Internet of Organic Rankine Cycle for Sankampang Hot Spring, Mae-On Distric,
under the Royal Initiative of His Majesty the King

ปรานต์ เมฆอากาศ¹ ชวโรจน์ ใจสิน^{*1} นัฐพร ไชยญาติ¹
จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล² และพรพรรณ ชนาภิวัดน์³
Pran Makarkard¹, Chawaraj Jaisin¹, Nattaporn Chaiyat¹
Chakkarphan Thawongamyingsakul² and Pornpan Chanapiwat

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

³สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

¹School of Renewable Energy, Maejo University

² Faculty of engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak

³ Bureau of Energy Research, Department of Alternative Energy Development and Efficiency, Ministry of Energy

* Corresponding author: chawaraj@mju.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาาระบบควบคุมและแสดงผลการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ในกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่ออน จังหวัดเชียงใหม่ โดยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีพีแอลซี (PLC) เป็นระบบควบคุมหลักและมีการติดตั้งจุดตรวจวัดที่เชื่อมต่อกับพีแอลซีเพื่อใช้ในการควบคุมและแสดงผล งานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูইโน (Arduino Mega 2560) ทำการเชื่อมต่อส่วนควบคุมหลักพีแอลซีผ่านช่องทางสื่อสารแบบอนุกรม (RS485) เพื่อสร้างระบบควบคุมการเปิดปิดระยะไกลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านโมดูลไวไฟ (ESP8266) ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านช่องทางสื่อสารแบบอนุกรม (RS232) และทำการติดตั้งจุดตรวจวัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้านพลังงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแสดงผลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ผลการศึกษา พบว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเชื่อมต่อสื่อสารกับพีแอลซีผ่านช่องทางสื่อสารแบบอนุกรม (RS485) โดยช่วงเวลาในการรับส่งค่าอยู่ที่ประมาณ 2 s และเชื่อมต่อระบบควบคุมและแสดงผลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์กับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านโมดูลไวไฟ ที่สามารถควบคุมการเปิดปิดทางไกลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ อีกทั้งสามารถวิเคราะห์ผลทางด้านพลังงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลผ่านเว็บไซต์ โดยอัตราการถ่ายเท

ความร้อนที่หม้อต้มสารทำงานเฉลี่ยที่ 87.17 kW กำลังการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 9.39 kW และประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์เฉลี่ยที่ 8.59% โดยมีความผิดพลาดของการคำนวณจากไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ที่ 3.97%

คำสำคัญ: วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบควบคุมและแสดงผล ไมโครคอนโทรลเลอร์ พลังงานความร้อนใต้พิภพ

Abstract

This research studied a controller and monitoring systems of an organic Rankine cycle (ORC) in the Sankampang hot spring, Mae-On district Chiang Mai, which the main controller was programmable logic controller (PLC) integrated with measurement sensors for the control and monitoring processes. In this study, a microcontroller of Arduino Mega 2560 was connected with PLC by serial communication (RS485) to record data and control system by internet network of Wi-Fi module (ESP8266). The communication between Wi-Fi module and microcontroller used serial port (RS232). Standalone sensors were installed for energy analysis of the ORC by microcontroller to display on website. From the study results, it could be seen that the ORC microcontroller was connected with PLC by serial communication (RS485). The delay time of communication between microcontroller and PLC was around 2 s. The Wi-Fi module was used for communication between microcontroller and internet network. This process could operate in on/off mode by internet network. Moreover, microcontroller also analyzed the energy parameters on website monitoring. The average data of boiler heat transfer rate as 87.17 kW, generator power at 9.39 kW and ORC efficiency of 8.59% were revealed. The precision of the ORC controller was found approximately 3.97%.

Keyword: Organic Rankine Cycle, Controller and Monitoring System, Microcontroller, Geothermal Energy

1. บทนำ

ในงานด้านพลังงานทดแทนได้มีการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติเข้ามามีส่วนร่วมโดยเรียกว่าพลังงานอัจฉริยะ พลังงานอัจฉริยะหรือระบบพลังงานอัจฉริยะนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่ปี ค.ศ. 2009-2016 [Henrik et.al., 2017] อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจัดการทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) ทั้งนี้ระบบควบคุมอัจฉริยะโดยส่วนใหญ่จะถูกพัฒนาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นหน่วยควบคุมที่พัฒนาโปรแกรมได้ง่ายโดยใช้ภาษาซี (C Language) ในการพัฒนาโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ Sidek et. al. (2017) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ระบบควบคุมชนิดพาสซีฟแทรกเกอร์ระบบสองแกน ทำการหันตามแสงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจาก

ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System : GPS) เข็มทิศ และเวลา โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหน่วยควบคุมหลัก และคำนวณจะสั่งการไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ควบคุมการหมุนปรับองศาของมอเตอร์แกนนอน และแกนตั้งอย่างละตัวซึ่งผลที่ได้ คือ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าได้ 26.9% เมื่อเทียบกับแผงรับแสงอาทิตย์ที่ตั้งไว้คงที่ ต่างจากการใช้วิธีการหันตามแสงแบบไร้เซ็นเซอร์โดยจับค่าพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุด

ในด้านของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนใต้พิภพ Luca et.al. (2018) และ Qingxuan et.al. (2017) ได้ทำการศึกษาแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพในการผลิตไฟฟ้า ได้มีการศึกษาโรงไฟฟ้าความร้อนใต้พิภพด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ และความเหมาะสมต่อวัฏจักรแรงดัน

สารอินทรีย์จากแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ Yi et.al. (2017) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ผสมเกลือเปปเปอร์เทศจีน ที่ได้ทำการสร้างและทดสอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ป้อนน้ำมันร้างผลที่ได้ พบว่าประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ 5.33% ที่การผลิตกระแสไฟฟ้า 163.44 kW และ Saeid MB. Et.al ได้ทำการวิจัยเศรษฐศาสตร์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพที่ใช้วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ผลิตไฟฟ้าจากไอเสียโรงไฟฟ้าซาบาลานประเทศอิหร่าน มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 20.57% Nattaporn et.al. (2014) ได้ศึกษาศักยภาพของแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย และได้แบ่งความศักยภาพออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ศักยภาพสูงที่มีอุณหภูมิมากกว่า 80 °C สามารถใช้วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ในการผลิตไฟฟ้า ศักยภาพปานกลางที่มีอุณหภูมิระหว่าง 60-80 °C สามารถใช้ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และศักยภาพต่ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 60 °C จะทำการเพิ่มอุณหภูมิด้วยวัฏจักรอัดไอเพื่อให้สามารถเข้าร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ได้

กิจการน้ำพุร้อนสันกำแพงเป็นแหล่งน้ำพุร้อนที่ ศักยภาพสูงมีช่วงอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 105-120 °C และได้ใช้วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ในการผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิตอยู่ที่ 10 kW ใช้พีแอลซีในการควบคุมระบบโดยมีการติดตั้งตัวตรวจวัดเพื่อแสดงผลของอุณหภูมิ น้ำร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบ แรงดันสารทำงาน อุณหภูมิสารทำงาน และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้แสดงผลยังหน้าจอแอลซีดี แต่ยังคงขาดระบบที่ช่วยในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านพลังงาน อีกทั้งยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำเสนอระบบควบคุมและแสดงผลทางไกลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบและสร้างระบบควบคุมและแสดงผลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยทำการวิเคราะห์ผลทาง

พลังงานด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ประยุกต์ใช้งานในด้านพลังงานทดแทน

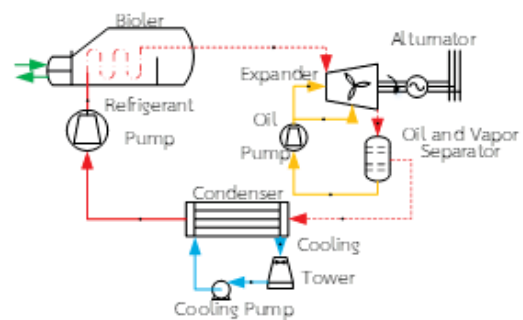
2. วัตถุประสงค์

- เพื่อสร้างระบบควบคุมและแสดงผลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต
- เพื่อสร้างระบบวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- เพื่อออกแบบประยุกต์การใช้งานทางด้านพลังงานร่วมกับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1) วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

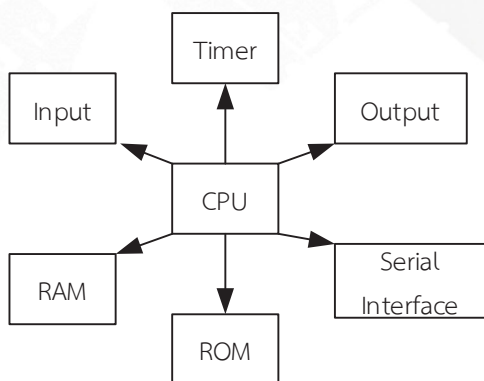
หลักการการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สารทำงานในสถานะของเหลว จะถูกส่งมารับความร้อนที่หม้อต้มสารทำงาน (Boiler) โดยปั๊มสารทำงาน (Refrigerant Pump) จากนั้นสารทำงานจะรับความร้อนเป็นไอร้อนยวดยิ่งเข้าสู่เครื่องขยายตัว (Expander) ขับเพลลาที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Alternator) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า จากนั้นความดันและอุณหภูมิของไอสารทำงานที่ทางออกของเครื่องขยายตัวเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) กลายเป็นของเหลวอ้อมตัวอีกครั้งเพื่อเริ่มวัฏจักรใหม่อีกครั้ง [นัฐพร, 2560] ผังอุปกรณ์แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

3.2) ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ ระบบควบคุมที่มีหน่วยประมวลผล (CPU) ที่ทำหน้าที่ประมวลผลตามที่ผู้ใช้งานจะทำการพัฒนา โดยภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโดยส่วนใหญ่เป็นภาษาซี ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน่วยความจำถาวร (ROM) ที่ทำหน้าที่บันทึกข้อมูล มีหน่วยความจำชั่วคราว (RAM) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลระหว่างการประมวลผล ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะแตกต่างจากคอมพิวเตอร์ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์มีช่องรับส่งสัญญาณไฟฟ้า (Input, Output) ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ผ่านช่องทางพอร์ทอนุกรม (Serial Interface) องค์ประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ดังแสดงในรูปที่ 2 ทั้งนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ยังสามารถเชื่อมต่อการทำงานผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ทำให้การใช้งานในระบบควบคุมเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3) อินเทอร์เน็ตจัดการทุกสรรพสิ่ง

ถูกคิดค้นโดยเคลวินแอสตรอน (Kevin Ashton) ที่สถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์จากเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (RFID) ที่จะทำให้เป็นมาตรฐานระดับโลกสำหรับตัวตรวจวัดอาร์เอฟไอดีต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อกันได้มายุคหลังปี ค.ศ. 2000 โลกมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ออกมาเป็นจำนวนมาก โดยใช้ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในการบริหารจัดการแทน

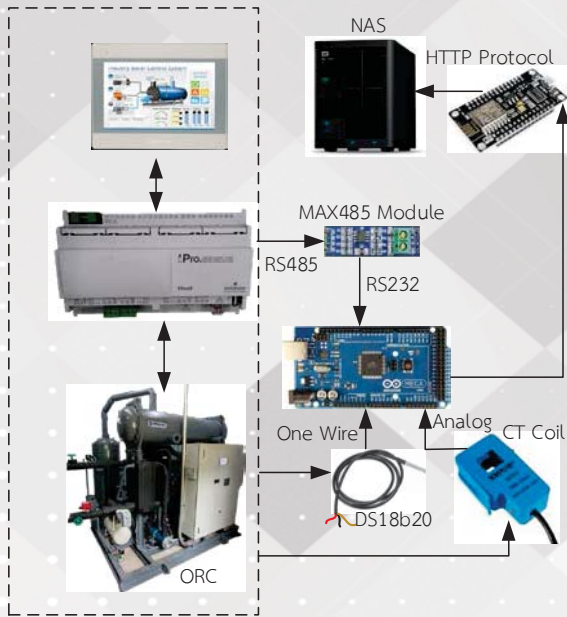
ผู้ใช้งาน เพื่อความสะดวกสบายในชีวิตประจำวันของผู้ใช้งาน



รูปที่ 3 อินเทอร์เน็ตจัดการทุกสรรพสิ่ง

4. ขั้นตอนละวิธีการศึกษา

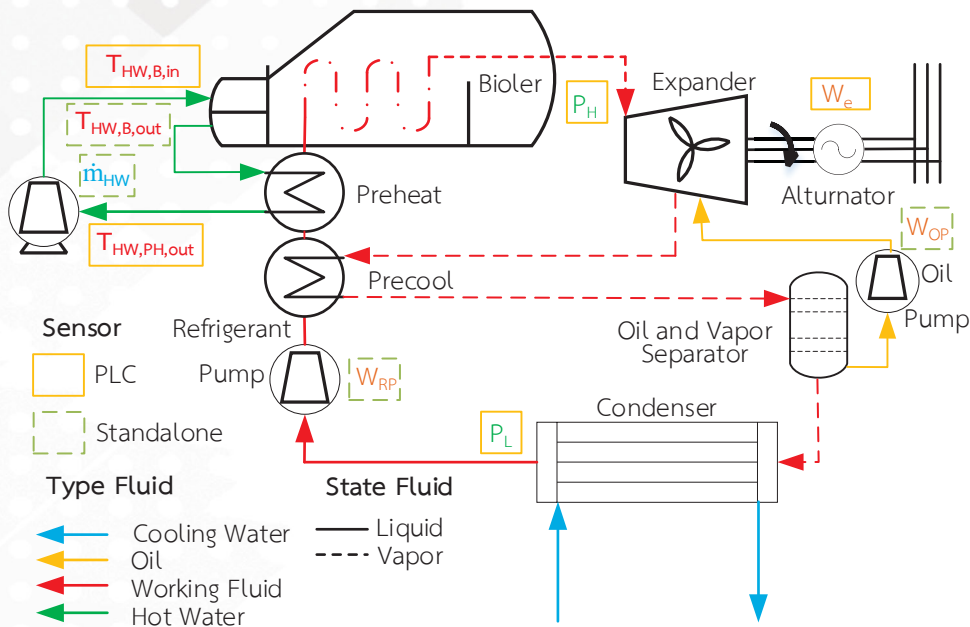
ขั้นตอนและวิธีการศึกษาของงานวิจัยนี้ได้ทำการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับพีแอลซีเพื่อทำการดึงข้อมูลจากตัวตรวจวัด และทำการติดตั้งไอซีวัดอุณหภูมิ (DS18B20) และหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (CT Coil) เพื่อทำการวัดค่าเพิ่มเติมเนื่องจากจุดตรวจวัดที่เชื่อมต่อกับพีแอลซีไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพที่ต้องการวัดค่าอุณหภูมิ น้ำร้อนที่ออกจากหม้อต้มสารทำงาน และค่ากระแสไฟฟ้าของปั๊มสารทำงานและปั๊มน้ำมันหล่อลื่นของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยรายละเอียดของขั้นตอนละวิธีการศึกษามีดังนี้



รูปที่ 4 ผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ
ของระบบควบคุมและแสดงผล

4.1) การเชื่อมต่อระบบควบคุมและแสดงผล

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบควบคุมและแสดงผลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำข้อมูลของตัวตรวจวัดจากหน่วยควบคุมหลักของระบบประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำร้อนเข้ายังหม้อต้มสารทำงาน ($T_{HW,B,in}$) อุณหภูมิน้ำร้อนออกอุปกรณ์เพิ่มความร้อน ($T_{HW,PH,out}$) ความดันสารทำงานด้านสูง (P_H) ความดันสารทำงานด้านต่ำ (P_L) และกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (W_e) หลังจากนั้นทำการติดตั้งไอซีวัดอุณหภูมิ (DS18B20) ในการวัดอุณหภูมิน้ำร้อนออกจากหม้อต้มสารทำงาน ($T_{HW,B,out}$) เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปแบบวันไวร์ (One Wire) รวมถึงติดตั้งหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (CT Coil) ที่อุปกรณ์ไฟฟ้าในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้า เพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าของปั๊มสารทำงาน (W_{RP}) ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น (W_{OP}) และวัดค่ากระแสของปั๊มน้ำร้อน วิเคราะห์ร่วมกับกระแสเต็มและอัตราการไหลเต็มของปั๊มน้ำร้อนเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำร้อน (\dot{m}_{HW}) โดยรายละเอียดจะแสดงในรูปที่ 5 และ ตารางที่ 1



รูปที่ 5 อุปกรณ์จุดตรวจวัดของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

4.2) ออกแบบและสร้างระบบควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ต

ระบบควบคุมระยะไกลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ใช้ที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่าย (Network Attached Storage: NAS) เป็นศูนย์กลาง ที่ทำการเชื่อมต่อผ่านโมดูลไวไฟผ่านโพรโทคอลสื่อสารสำหรับการแลกเปลี่ยนสารสนเทศผ่านอินเทอร์เน็ต (HTTP Protocol) โดยจะทำการสร้างสวิตช์บนหน้าเว็บไซต์เพื่อใช้เป็นตัวแทนปุ่มเปิดปิดของระบบ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสั่งการเปิดปิดผ่านอินเทอร์เน็ตได้ โดยพัฒนาโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ในการป้อนคำสั่งเปิดปิดระบบเข้าไปยังพีแอลซีซึ่งเป็นหน่วยควบคุมหลัก และสามารถประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานทางไกลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ถามค่าสถานะของสวิตช์จากเว็บไซต์ เพื่อใช้ในการควบคุมการเปิดปิดวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 6

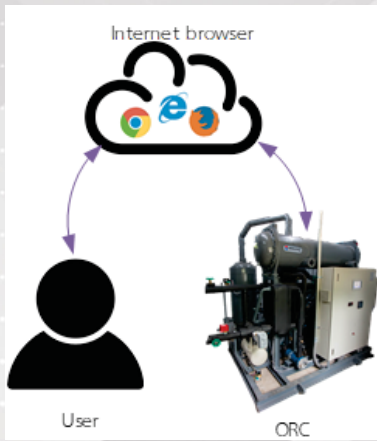
4.3) ออกแบบและสร้างระบบแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ต

ระบบแสดงผลวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จะทำการรับค่าข้อมูลของจุดวัดภายในของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่าของจุดวัดที่เข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการวิเคราะห์ผลด้านพลังงาน

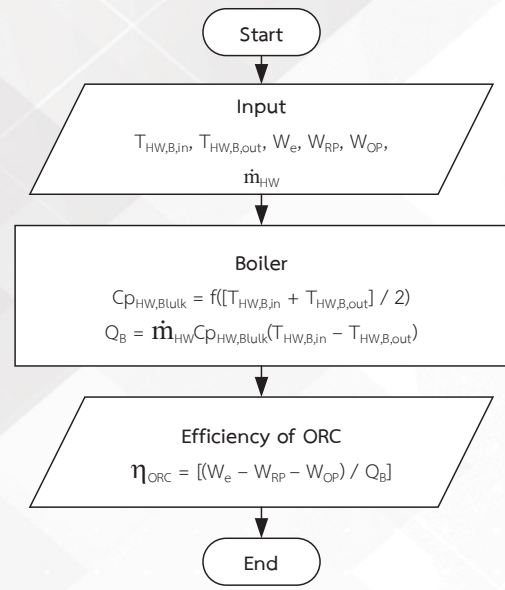
ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ซึ่งจะรับค่าอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าออกหม้อต้มสารทำงาน (Boiler) และอัตราการไหลของน้ำร้อน (\dot{m}_{HW}) เพื่อทำการคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อต้มสารทำงาน (Q_B) จากนั้นทำการคำนวณหา ค่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้โดยการนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (W_e) ลบให้กับผลรวมของพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารทำงาน (W_{RP}) และปั๊มน้ำมันหล่อลื่น (W_{OP}) และทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของระบบ (\square_{ORC}) โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ของระบบแสดงในรูปที่ 7 หลังจากนั้นระบบแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ตใช้ที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่ายเป็นตัวกลางในการเก็บข้อมูล เชื่อมต่อกับโมดูลไวไฟ (ESP8266) ผ่านช่องทางการสื่อสารแบบอนุกรม (RS232) ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ การติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และพีแอลซีนี้ใช้วิธีการสื่อสารแบบอนุกรม (RS485) ในการสื่อสาร โดยใช้ข้อมูลที่อยู่ที่ (Address) และคำสั่ง (Function) ของพีแอลซีจากการพัฒนาโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ และสามารถเข้าถึงเยี่ยมชมได้ผ่านทางอินเทอร์เน็ตเบราว์เซอร์

ตารางที่ 1 อุปกรณ์และจุดตรวจวัดของระบบควบคุมและแสดงผล

จุดวัด	ตัวแปรที่ทำการวัด	อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด
$T_{HW,B,in}$	อุณหภูมิน้ำร้อนก่อนเข้าหม้อต้มสารทำงาน	เทอร์โมคัปเปิล พีแอลซี
$T_{HW,PH,out}$	อุณหภูมิร้อนออกจากอุปกรณ์เพิ่มความร้อน	
$T_{HW,B,out}$	อุณหภูมิน้ำร้อนออกจากหม้อต้มสารทำงาน	ไอซีวัดอุณหภูมิ (DS18B20) อาร์ดูโน้
P_H	แรงดันสารทำงานด้านสูง	ตัวตรวจวัดแรงดัน พีแอลซี
P_L	แรงดันสารทำงานด้านต่ำ	
W_e	กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	เพาเวอร์มิเตอร์ พีแอลซี
W_{RP}	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารทำงาน	โวลต์มิเตอร์ หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า อาร์ดูโน้
W_{OP}	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น	
\dot{m}_{HW}	อัตราการไหลของน้ำร้อน	หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า อาร์ดูโน้



รูปที่ 6 การเชื่อมต่อผู้ใช้งานร่วมกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต



รูปที่ 7 ขั้นตอนการวิเคราะห์วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

5. ผลการวิจัย

ผลการออกแบบและสร้างระบบควบคุมและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จากพีแอลซี ผ่านอินเทอร์เน็ตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีดังนี้

5.1) การเชื่อมต่อระบบควบคุมและแสดงผล

ระบบตรวจวัดและแสดงผลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ทำการนำข้อมูลจากอุปกรณ์ควบคุมหลักของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม (RS485) แสดงค่าโดยหลัก คือ อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าออกหม้อต้มสารทำงาน แรงดันสารทำงาน และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ แสดงยังแอลซีดีมอนิเตอร์บริเวณหน้ากล่องดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9



รูปที่ 8 ส่วนควบคุมหลักของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์



รูปที่ 9 หน้าจอแสดงผลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำการเชื่อมต่อกับพีแอลซี ผ่านช่องทางสื่อสารแบบอนุกรม (RS485) ใช้วิธีการสื่อสาร ในลักษณะมอดบัส (Modbus RTU) โดยได้กำหนดให้ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นมาสเตอร์ (Master) และพีแอลซี เป็นสลาฟ (Slave) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการถามค่า จากพีแอลซีทีละค่าตามตำแหน่งของเลขที่อยู่ (Address) และยังสามารถกำหนดค่าของเลขที่อยู่ในบางตำแหน่งได้ เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของพีแอลซีผ่าน ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ การสื่อสารระหว่างพีแอลซีไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นใช้เวลาต่อครั้งไม่เกิน 2 s และใช้เวลาในการบันทึกค่าไปยังที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่าย ในระยะเวลา 1 min

5.2) ระบบควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ต

ระบบควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ตในส่วนนี้สามารถ เข้าได้เพียงผู้ดูแลระบบ (Admin) เพื่อทำการสั่งการเปิดหรือ ปิดตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์ได้ในการควบคุมระยะไกล โดยทำการเปิดปิดด้วยการกดสวิตซ์ในหน้าเว็บไซต์ และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการถามค่าสวิตซ์จากเว็บไซต์ผ่าน โมดูลไวไฟ เพื่อทำการสั่งการเปิดปิดระบบตามสถานะของ สวิตซ์ในเว็บไซต์ อีกทั้งสวิตซ์ในเว็บไซต์สามารถเปลี่ยน สถานะได้โดยการสั่งเปิดปิดที่ระบบควบคุมหลัก โดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านโมดูลไวไฟ ดังแสดงในรูปที่ 17

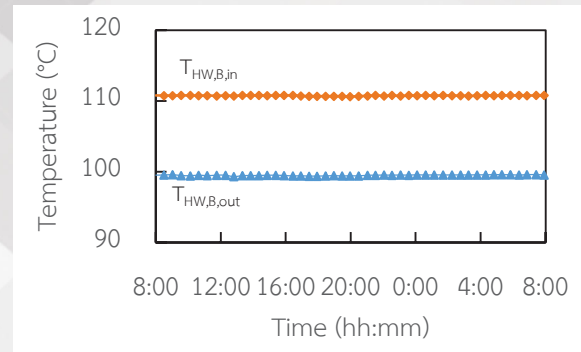


รูปที่ 17 หน้าต่างควบคุมทางไกลผ่านระบบเครือข่าย อินเทอร์เน็ต

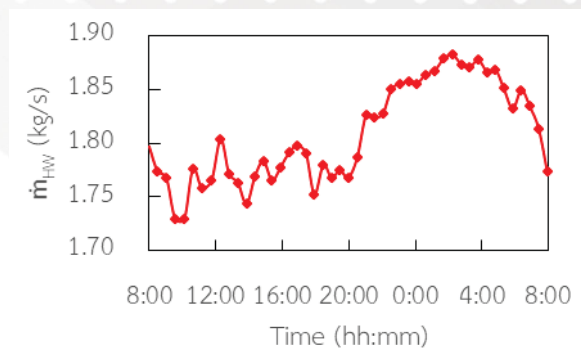
5.3) ระบบแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ต

ระบบแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ตของตัวจักรแรงคิน สารอินทรีย์สามารถเยี่ยมชมผ่านเว็บไซต์ ผู้ใช้งานสามารถ เข้าเยี่ยมชมระบบตรวจวัดและแสดงผลวิเคราะห์ผ่าน อินเทอร์เน็ตเบราว์เซอร์ในหน้าเว็บไซต์

[www.tdetlab.com, 2561] ประกอบด้วย อุณหภูมิของน้ำ ร้อนที่เข้าออกหม้อต้มสารทำงาน อัตราการไหลของน้ำร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้มสารทำงาน กำลังไฟฟ้า ของอุปกรณ์ไฟฟ้า และประสิทธิภาพของตัวจักรแรงคิน สารอินทรีย์



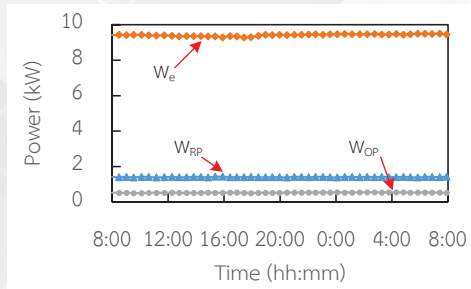
รูปที่ 10 อุณหภูมิของน้ำร้อนหม้อต้มสารทำงาน



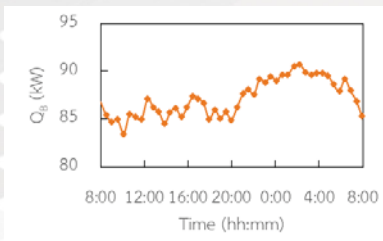
รูปที่ 11 อัตราการไหลของน้ำร้อน

ผลต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าและออกมี ค่าคงที่ประมาณ 10 °C (แสดงในรูปที่ 10) และอัตราการ ไหลของน้ำร้อนที่เข้าไปยังหม้อต้มสารทำงานมีการ เปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่ 1.73-1.88 kg/s (แสดงในรูปที่ 11) ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้มสารทำงานมีค่า ขึ้นลงตามตัวแปรเปลี่ยนแปลงตามช่วงอยู่ในช่วงประมาณ 83.48-90.72 kW (แสดงในรูปที่ 12) แต่ในส่วนควบคุมหลัก

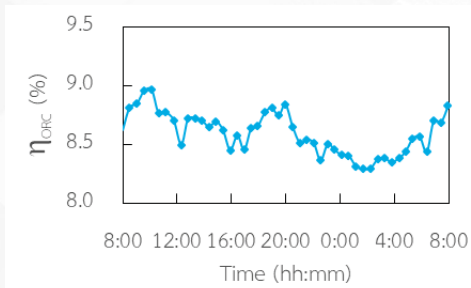
ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จะควบคุมอัตราการไหลของสารทำงานจึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ค่อนข้างคงที่ 9.2-9.5 kW และการป้อนกำลังไฟฟ้าให้แก่ปั๊มสารทำงานและปั๊มน้ำมันหล่อลื่นมีค่าคงที่ 1.89-1.96 kW (แสดงในรูปที่ 13) เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์นำค่าที่ได้มาทำการคำนวณแล้ว ค่าประสิทธิภาพมีค่าผันตามเมื่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้มสารทำงานสูงขึ้นที่ 90.72 kW จะทำให้ค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ประมาณ 8.29% ในทางกลับกันอัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้มสารทำงานลดลงที่ 83.48 kW จะทำให้ค่าประสิทธิภาพสูงขึ้นประมาณ 8.96% (แสดงในรูปที่ 14) เมื่อทำการนำผลการวิเคราะห์ของไมโครคอนโทรลเลอร์มาเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์จากการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ ผลการวิเคราะห์ของไมโครคอนโทรลเลอร์มีความผิดพลาดที่ 3.97%



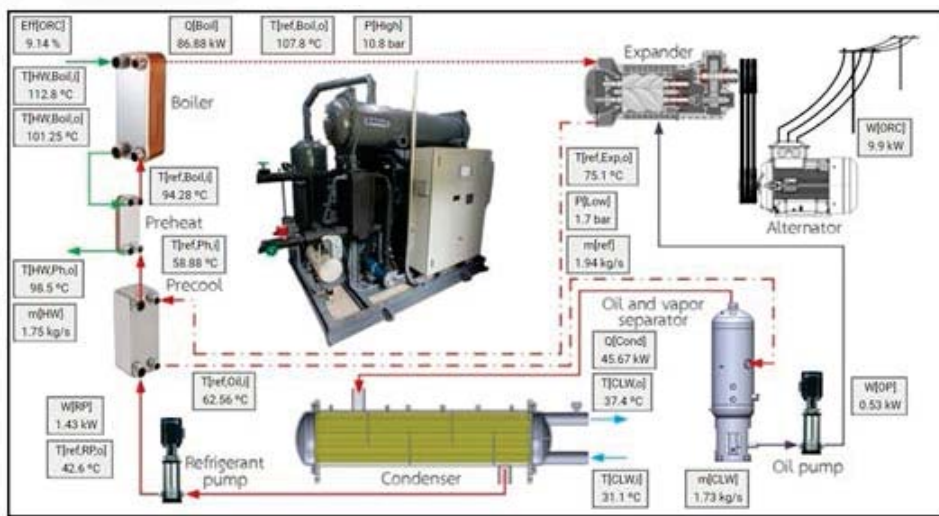
รูปที่ 13 กำลังไฟฟ้าของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (W_e) ปั๊มสารทำงาน (W_{RP}) และปั๊มน้ำมันหล่อลื่น (W_{OP})



รูปที่ 12 อัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อต้มสารทำงาน



รูปที่ 14 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพแบบเรียลไทม์



รูปที่ 15 หน้าแสดงผลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

6. อภิปรายผลการวิจัย

ระบบควบคุมและแสดงผลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตประโยชน์ที่ได้จากระบบ คือ การวิเคราะห์ของผู้ทำวิจัยด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และช่วยในการบันทึกค่าต่าง ๆ จากผลการทดสอบพบว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้ามายังหม้อต้มสารทำงานประมาณ 110 °C ระบบควบคุมหลักจะทำการควบคุมอัตราการไหลของสารทำงาน ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิในหม้อต้มสารทำงานคงที่ ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่สามารถผลิตได้เฉลี่ยที่ 9.39 kW และภาระการใช้งานไฟฟ้าของระบบเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยโดยปัสสารทำงานกับปั้มน้ำมันหล่อลื่นใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1.93 kW ส่งผลให้ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการคำนวณมีค่าอยู่ที่ 8.29%-8.96% ผลการคำนวณจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรวมที่ 3.97% โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมาจากตัวแปรที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีตำแหน่งทศนิยมน้อยกว่าคอมพิวเตอร์ จึงทำให้เกิดการผิดพลาดในการคำนวณขึ้น อีกทั้งไอซีตัวอุณหภูมิ (DS18B20) มีค่าความผิดพลาดของตัวอุปกรณ์จึงมีผลในความคลาดเคลื่อนในการคำนวณ

7. สรุป

ระบบควบคุมและแสดงผลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีระบบควบคุมทางไกลสามารถเปิดปิดระบบได้ผ่านเว็บไซต์ อีกทั้งสามารถวิเคราะห์ผลทางด้านพลังงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้มสารทำงานเฉลี่ยที่ 87.17 kW กำลังการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 9.39 kW และประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เฉลี่ยที่ 8.59% โดยมีความผิดพลาดที่ 3.97% อีกทั้งยังสามารถแสดงผลต่าง ๆ จากจุดวัดและผลจากการคำนวณไปยังหน้าเว็บไซต์แบบเรียลไทม์ได้ ซึ่งทำให้เห็นประสิทธิภาพของระบบได้ในทันที และประโยชน์ที่ได้จากระบบควบคุมและแสดงผล คือ สามารถบันทึกผลการทดสอบของวัฏจักร

แรงคินสารอินทรีย์ได้แบบเรียลไทม์ โดยผลที่ได้สามารถนำไปใช้ในศึกษาวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ต่อไป

8. ข้อเสนอแนะ

ในจุดตรวจวัดที่ได้ทำการติดตั้งเพิ่มเติมจากระบบเดิมได้ทำการติดตั้งไอซีตัวอุณหภูมิ และหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า ซึ่งหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่ได้ทำการวัดนั้นวัดได้เพียงกระแสไฟฟ้า แล้วจึงนำไปคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าโดยการใช้ค่าแรงดันและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจากพีเอลซีมาคำนวณรวม แต่ยังไม่สามารถทราบถึงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แท้จริงได้ จึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าโดยตรง ที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ เพื่อให้ทราบถึงค่ากำลังไฟฟ้าโดยตรง และเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณของไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้ทุนการศึกษาภายใต้โครงการ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” และขอขอบคุณ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานภายใต้ “โครงการ การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบขึ้นบันไดจากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย” ที่ได้ให้งบประมาณในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

10. อ้างอิง

- Henrik L., Poul AO., David C. and Brian VM. (2017). Smart energy and smart energy systems. **Energy** 137: 556-565.
- Emel K. and Raif B. (2009). Project and group based learning and competition based evaluation in lesson

of microcontroller applications. *ScienceDirect* 1: 1513-1518.

M. Sidek, N. Azis, W. Hasan., M. Kadir, S. Shafie., and M. Radzi (2017) Automated positioning dual-axis solar tracking system with precision elevation and azimuth angle control. *Energy*, 124: 160-170.

Luca Z., Marco A., Aldo S., Dario R. and Ennio M. (2018). Field performance evaluation of geothermal ORC power plants with a focus on radial outflow turbines. *Renewable Energy*: 1-9

Qingxuan S., Yaxiong W., Zinyang C., Jiangfeng W., Pan Z. and Yiping D. (2017). Thermodynamic optimization of a Double-Pressure Organic Rankine Cycle Driven by geothermal heat source. *IV Interational Seminar on ORC Power Systems*. 129: 591-598.

Yi Y., Yaowu H., Wenkai X., Xurong W., Pan Z. and Yiping D. (2017). Construction and preliminary test of a geothermal ORC system using geothermal resource from abandoned oil wells in the Huabei oilfield of China. *Energy* 140: 633 – 645.

Saeid MB., Saeid J. and Hikari F. (2017). Thermal-economic evaluation of various bottoming ORCs for geothermal power plant, determination of optimum cycle for Sabalan power plant exhaust. *Geothermics* 70: 181-191.

Nattaporn C., Chatchawan C. and Fongsaward SS. (2014) Geothermal Energy Potentials and Technologies in Thailand. *Fundamental of Renewable Energy and Applications*: 1-9.

นัฐพร ไชยญาติ. (2560) . การนำความร้อนทิ้งกลับคืน (Weate Heat Recovery). 6. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ห้องวิจัยการออกแบบและเทคโนโลยีด้านอุณหภาพ (Thermal Design and Technology Laboratory). (2561) . ข้อมูล

อุปกรณ์ตรวจวัดของห้อง ORC [ออนไลน์] ได้จาก :
http://www.tdetlab.com/room/dashboard?room_id=5

11. สัญลักษณ์และอักษรย่อ

11.1) สัญลักษณ์

C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$
P	แรงดัน	kPa
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	kW_{th}
T	อุณหภูมิ	$^{\circ}\text{C}$
W	กำลังไฟฟ้า	kW_e
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล	kg/s
\square	ประสิทธิภาพ	$\%$

11.2) อักษรย่อ

B	Boiler
e	Electricity
H	High
HW	Hot Water
L	Low
OP	Oil Pump
PH	Preheat
RP	Refrigerant Pump