

ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ



ปรานต์ เมฆอากาศ

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2562

ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ



ปรานต์ เมฆอากาศ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ

ปรานต์ เมฆอากาศ

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของความสมบูรณ์ของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน

พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ประธานอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ ไชยชนะ)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ชื่อเรื่อง	ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ
ชื่อผู้เขียน	นายปรานต์ เมฆอากาศ
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงานทดแทน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาาระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ โดยทำการออกแบบและสร้างระบบแสดงผลการวิเคราะห์ด้านพลังงานและควบคุมของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์เป็นส่วนการวิเคราะห์ผลและรับค่าต่าง ๆ จากส่วนควบคุมหลักของแต่ละระบบไปยังอินเทอร์เนต ที่ใช้โมดูลไวไฟเป็นตัวเชื่อมต่อสื่อสารไปยังที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่าย จากผลที่ได้พบว่า ระบบควบคุมของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนใช้พีแอลซีในการควบคุมและส่งข้อมูลจุดตรวจวัด และค่าจากการวิเคราะห์ผลแสดงค่าไปยังที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่ายและเว็บไซต์ “www.tdetlab.com” การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์มีค่าประมาณ 9.53% สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนมีค่าประมาณ 0.56 ในกรณีห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์วิเคราะห์ค่าพร้อมทั้งควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอากาศภายในห้องอบแห้ง ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์มีค่าประมาณ 56.61% อีกทั้งประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนมีค่าประมาณ 29.83% นอกจากนี้ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพสามารถแจ้งเตือนการทำงานของแต่ละระบบผ่านแอปพลิเคชัน และการควบคุมเปิดปิดระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เนตได้อีกด้วย

คำสำคัญ : เทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ ระบบแสดงผลและควบคุม วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

Title	SMART CONTROLLER AND MONITORING OF GEOTHERMAL ENERGY TECHNOLOGY
Author	Mr. Pran Makarkard
Degree	Master of Engineering in Renewable Energy Engineering
Advisory Committee Chairperson	Assistant Professor Dr. Chawaroj Jaisin

ABSTRACT

This study aimed to investigate a smart controller and monitoring systems of geothermal technology. The smart system of an organic Rankine cycle (ORC), an absorption system and a centralized drying room were designed and developed by using an AVR microcontroller to send and record data from the main controller into the network attach stored (NAS) via the internet network and module Wi-Fi systems. Results of the study showed that a programmable controller (PLC) was the main controller of the ORC and absorption system for controlling, transferring and recording data, analysis and monitoring results into the NAS and website “www.tdetlab.com”. According to a data analysis, the ORC efficiency was approximately at 9.53% and the coefficient of performance (COP) of the absorption systems was 0.56. Meanwhile, the centralized drying room with microcontroller using for controlling the dry air temperature and humidity showed the drying at efficiency around 56.61%. Moreover, the CCHP efficiency was approximately at 29.83%. In addition, the smart controller and monitoring systems of geothermal technology were reported warning message via a Line application and also controlled the on/off operation modes by internet system.

Keyword : Geothermal Energy Technology, Smart Controller and Monitoring System, Organic Rankine Cycle, Absorption System, Centralized Drying Room

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวโรจน์ ใจสิน รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐพร ไชยญาติ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ที่ซึ่งกรุณามอบความรู้ คำปรึกษา คำชี้แนะ และความช่วยเหลือในทุกด้าน ตลอดจนเสร็จสิ้นกระบวนการจัดทำวิทยานิพนธ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สุรัตน์ เศษโพธิ์ ที่ให้ความกรุณาสละเวลาอันมีค่าร่วมเป็นประธานกรรมการสอบป้องกันวิทยานิพนธ์ และได้ช่วยทำการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้ทุนการศึกษาภายใต้โครงการ “โครงการผลิตและพัฒนาศัทยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา”

และขอขอบคุณ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานภายใต้ “โครงการการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบขั้นบันไดจากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย” ที่ได้ให้งบประมาณในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

ปรานต์ เมฆอากาศ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
รายการสัญลักษณ์.....	ฉ
สัญลักษณ์.....	ฉ
อักษรกรีก.....	ฉ
อักษรย่อ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
ขอบเขตการศึกษา.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	3
ที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่าย.....	4
วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์.....	4
ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน.....	6
ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์.....	8

การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน.....	12
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย.....	18
การออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์.....	18
การออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน... ..	25
การออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์	33
การสร้างระบบแสดงผลและควบคุมของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน .	44
การสร้างระบบแจ้งเตือน ควบคุม และสำรองข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต	47
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดสอบ.....	48
ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์.....	48
ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน.....	53
ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์	58
ระบบแสดงผลการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนผ่านอินเทอร์เน็ต	67
ระบบแจ้งเตือน ควบคุม และสำรองข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต	68
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	72
สรุปผลการศึกษา.....	72
ข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม.....	74
ภาคผนวก.....	77
ประวัติผู้วิจัย.....	106

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์	3
2 การใช้งานของระบบที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่าย	4
3 แผนภาพอุปกรณ์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	5
4 แผนภาพอุปกรณ์ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	7
5 แผนภาพอุปกรณ์ของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์	9
6 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน	13
7 องค์ประกอบหลักของระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน	15
8 ผังระบบควบคุมการหมุนปรับองศาของมอเตอร์แกนนอนและแกนตั้ง	16
9 การใช้พลังงานความร้อนได้พิภพแบบชั้นบันได	17
10 ผังการควบคุมของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	19
11 แผนภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และจุดวัดค่าต่าง ๆ	20
12 ผังการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	24
13 ผังแสดงการเชื่อมต่อข้อมูลวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์แสดงผลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต	25
14 ผังการควบคุมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	27
15 แผนภาพของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และจุดตรวจวัดต่าง ๆ	28
16 ผังการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	32
17 ผังแสดงการเชื่อมต่อข้อมูลระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนแสดงผลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต	33
18 ผังการวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศชื้น	35
19 ผังการวิเคราะห์ประสิทธิภาพห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์	36
20 การเชื่อมต่อตัวตรวจวัดโหลดเซลล์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์	37
23 แผนภาพของจุดตรวจวัดและระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิของอบแห้งแบบรวมศูนย์	38
21 ลำดับการทำงานของระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง	43

ภาพที่	หน้า
22	44
24	45
25	46
26	47
27	49
28	49
29	50
30	50
31	51
32	52
33	53
34	53
35	54
36	55
37	55
38	56
39	57
40	58
41	58
42	60
43	60
44	61
45	61

ภาพที่	หน้า
46 ระบบแสดงผลและควบคุมห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์.....	62
47 จอแสดงผลแอลซีดีของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์	62
48 หน้าต่างแสดงผลของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ผ่านอินเทอร์เน็ต	63
49 ผลการตรวจวัดน้ำหนักของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขณะทำการอบแห้ง.....	64
50 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ก่อนปรับปรุง.....	65
51 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์หลังปรับปรุง	65
52 อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง.....	66
53 ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์.....	67
54 หน้าต่างแสดงผลเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพผ่านอินเทอร์เน็ต	68
55 ประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบชั้นบันได	68
56 การแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์.....	69
57 หน้าเว็บไซต์สั่งการเปิดและปิดระบบต่าง ๆ	69
58 การเลือกช่วงข้อมูลเริ่มต้นที่ทำการดาวนโหลด	70
59 การเลือกช่วงข้อมูลสิ้นสุดที่ทำการดาวนโหลด	70
60 ตัวอย่างไฟล์ที่ได้ทำการดาวนโหลด.....	71

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 รายละเอียดจุดตรวจวัดของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์.....	20
2 อุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์.....	22
3 รายละเอียดจุดตรวจวัดของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน.....	28
4 อุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน.....	29
5 รายละเอียดจุดตรวจวัดของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์.....	38
6 อุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์.....	39
7 ผลการเปรียบเทียบโปรแกรมไซโครล็อกเกอร์กับแผนภูมิไซโครเมตริก.....	59



รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

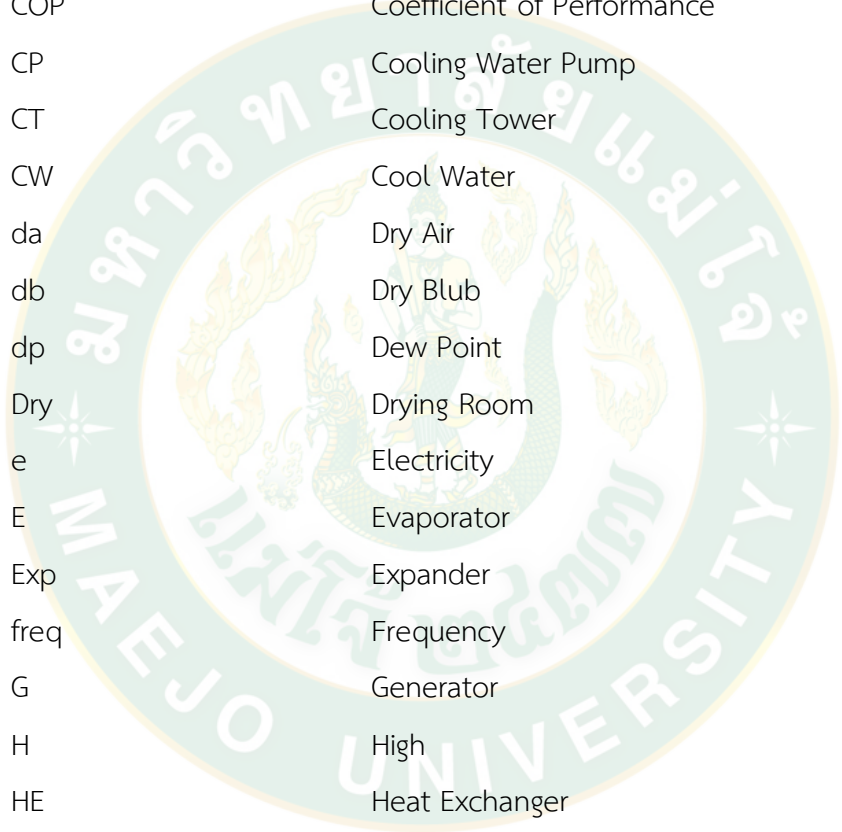
A	พื้นที่	m^2
C_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$
h	เอนทัลปี	kJ/kg
H	ความสูงจากระดับน้ำทะเล	m
I	กระแสไฟฟ้า	A
M	มวล	kg
P	แรงดัน	kPa
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	kW
RH	ความชื้นสัมพัทธ์	%
T	อุณหภูมิ	$^{\circ}\text{C}$
T'	อุณหภูมิ	K
V	ปริมาตร	m^3
W	กำลังไฟฟ้า	kW_e
X	ความเข้มข้นสารทำงาน	%

อักษรกรีก

\dot{m}	อัตราการไหล	kg/s
ε	ประสิทธิภาพ	%
η	ประสิทธิภาพ	%
v	ปริมาตรจำเพาะ	m^3/kg
ω	อัตราส่วนความชื้น	$\text{kg}_w/\text{kg}_{da}$

อักษรย่อ

A	Absorber
a	Air
Ab	Absorption System

The logo of Maejo University is a circular emblem. It features a central figure, likely a deity or a royal figure, surrounded by a golden border. The text 'MAEJO UNIVERSITY' is written in a circular path around the central figure. The logo is semi-transparent and overlaid on the table.

atm	Atmosphere
B	Boiler
C	Condenser
CCHP	Combined Cooling Heating and Power
ch	Channel
char	Character
CLW	Cooling Water
COP	Coefficient of Performance
CP	Cooling Water Pump
CT	Cooling Tower
CW	Cool Water
da	Dry Air
db	Dry Bulb
dp	Dew Point
Dry	Drying Room
e	Electricity
E	Evaporator
Exp	Expander
freq	Frequency
G	Generator
H	High
HE	Heat Exchanger
HP	Hot Water Pump
HW	Hot Water
i	Inlet
L	Low
o	Outlet
OP	Oil Pump
ORC	Organic Rankine Cycle
p	Product
RP	Refrigerant Pump

SP	Solution Pump
TWW	Three Ways Valve
W	Water
WF	Working Fluid
WS	Saturated Vapor



บทที่ 1

บทนำ

งานวิจัยเรื่องระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพที่มีความสำคัญ วัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับในการวิจัยดังนี้

ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

พลังงานความร้อนใต้พิภพเป็นพลังงานความร้อนที่อยู่ในรูปแบบของน้ำร้อนที่ขึ้นมายังผิวดิน โดยส่วนใหญ่จะเรียกว่าน้ำพุร้อน ในประเทศไทยมีแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพอยู่ทั้งหมด 97 แห่ง ซึ่งแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพโดยส่วนมากถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านการท่องเที่ยว ปัจจุบันการใช้ประโยชน์ของพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทยโดยภาพรวมแล้วยังถือว่าค่อนข้างน้อยมาก เมื่อเทียบกับหลาย ๆ ประเทศ และการใช้ประโยชน์จากความร้อนใต้พิภพที่ใช้เป็นแหล่งผลิตพลังงานด้านอื่น ๆ มีเพียงไม่กี่แห่งเท่านั้น อาทิ แหล่งน้ำพุร้อนอำเภอฟาง จังหวัดเชียงใหม่มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินมากกว่า $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ นำมาใช้ประโยชน์ด้านการผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า 300 kW_e แหล่งน้ำพุร้อนอำเภอแม่จันจังหวัดเชียงราย มีอุณหภูมิน้ำร้อนที่ผิวดินมากกว่า $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ นำไปใช้ในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรขนาดห้องอบมีความจุ $3,000\text{ kg}$ ที่ $93\text{ }^{\circ}\text{C}$ และห้องเย็นขนาดความจุ $2,000\text{ kg}$ ที่อุณหภูมิต่ำสุดที่ $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพทั้งสองแห่งที่กล่าวมาข้างต้นยังไม่มีระบบแสดงผลและการควบคุมผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในการดำเนินงาน

ดังนั้นงานวิจัยระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพมีความต้องการศึกษาแนวทางการประยุกต์การใช้งานเครือข่ายอินเทอร์เน็ตร่วมกับเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ โดยงานวิจัยนี้จะทำการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าจากจุดตรวจวัดและวิเคราะห์ผลทางด้านพลังงาน แล้วส่งค่าที่ได้ไปยังเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อเสริมในส่วนควบคุมและแสดงผลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพอันประกอบด้วย วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ที่ใช้พลังงานความร้อนต่อกันแบบขั้นบันได

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์
2. เพื่อออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

3. เพื่อออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์
4. เพื่อนำเทคโนโลยีเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมาใช้ร่วมกับเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ

ขอบเขตการศึกษา

1. เทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ คือ การทำงานร่วมกันของระบบผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ที่ใช้พลังงานความร้อนต่อกันแบบขั้นบันได
2. แหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพ คือ แหล่งน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน จังหวัดเชียงใหม่
3. ระบบเก็บข้อมูลและแสดงผล คือ ที่เก็บข้อมูลที่แนบกับระบบเครือข่าย
4. ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ (AVR)

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ
2. ได้แนวทางการใช้เทคโนโลยีเครือข่ายอินเทอร์เน็ตร่วมกับเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ
3. ได้สื่อการเรียนรู้เทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

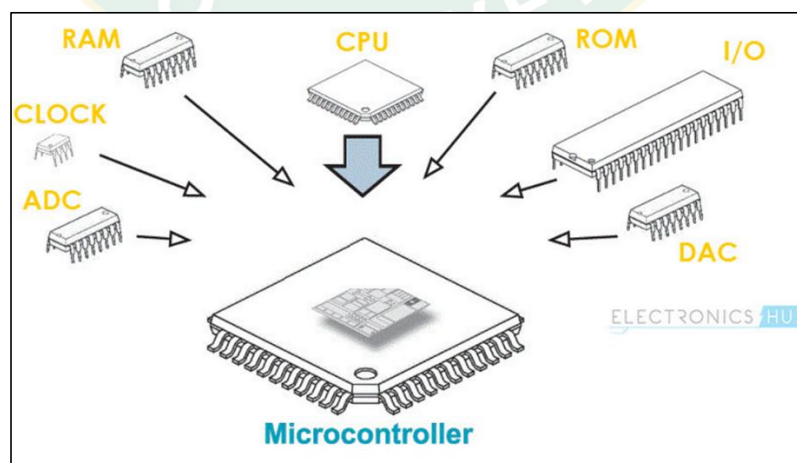
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องระบบควบคุมและแสดงผลอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพได้มีการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่าย วัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยรายละเอียดดังนี้

ไมโครคอนโทรลเลอร์

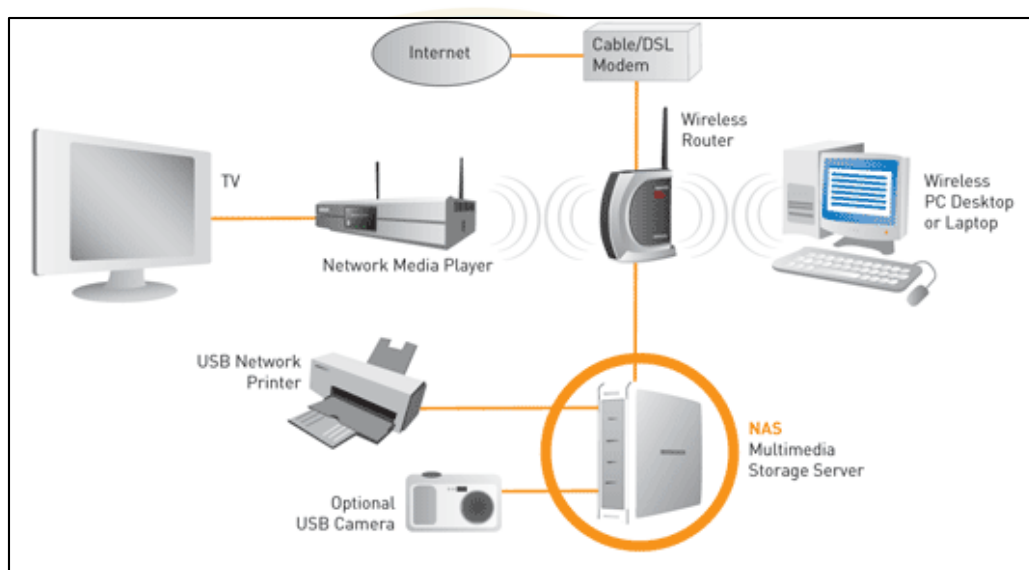
ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ตซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน กล่าวได้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย โดยผ่านการออกแบบวงจรให้เหมาะกับงานต่าง ๆ และยังสามารถพัฒนาโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมขาสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออก (Input/Output) ในการสั่งงานให้ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งนับว่าเป็นระบบที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ไมโครคอนโทรลเลอร์ในยุคปัจจุบันนั้นสามารถทำการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายของคอมพิวเตอร์ทั่วไปได้ ดังนั้นการสั่งงานสามารถสั่งงานในระยะไกลผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ได้



ภาพที่ 1 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

ที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่าย

ที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่าย (Network Attached Storage: NAS) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้บริหารและจัดเก็บข้อมูลบนเครือข่าย ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ที่ได้รับอนุญาตทั้งที่อยู่ภายในและภายนอกเครือข่าย สามารถเข้าถึงและจัดการไฟล์ข้อมูลต่าง ๆ ร่วมกันได้โดยไม่ต้องเปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เพียงเปิดระบบที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่ายให้เชื่อมต่อกับระบบเครือข่าย อีกทั้งยังสามารถรองรับการสำรองข้อมูลเข้าไปยังฮาร์ดดิสได้ โดยผังการเชื่อมต่อดังแสดงในภาพที่ 2

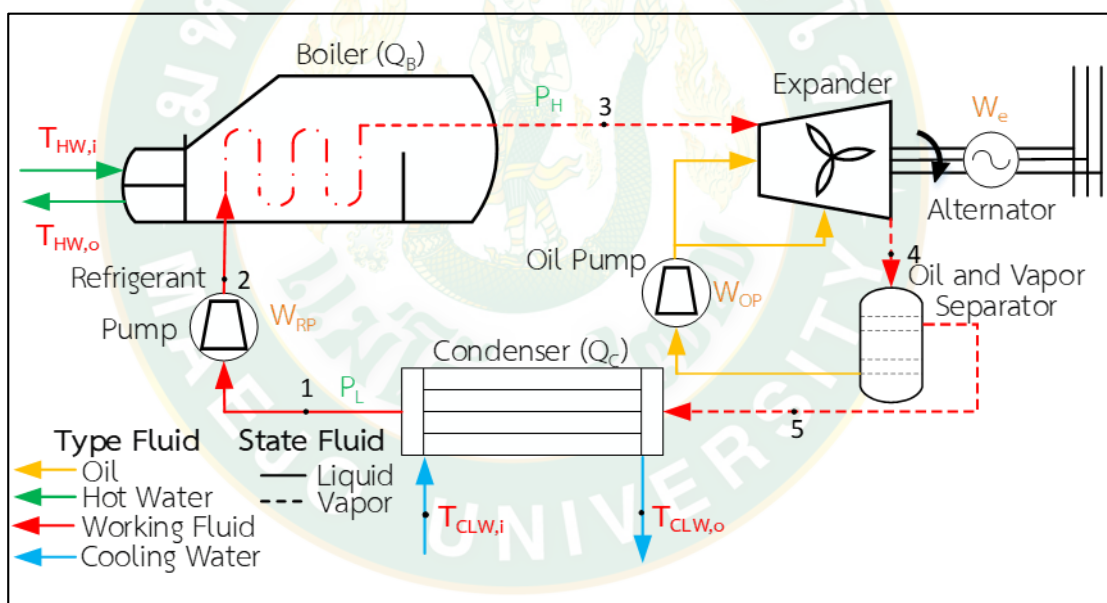


ภาพที่ 2 การใช้งานของระบบที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่าย

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (Organic Rankine Cycle : ORC) เป็นวัฏจักรที่ใช้ของไหลเป็นสารทำงาน โดยสามารถทำงานที่แหล่งพลังงานความร้อนอุณหภูมิต่ำมาผันเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยหลักการของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์คล้ายกับหลักการทำงานของวัฏจักรแรงคิน และใช้สารอินทรีย์เป็นสารทำงานที่มวลโมเลกุลสูง สามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอที่มีอุณหภูมิจุดเดือดต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเดือดของน้ำที่ใช้เป็นสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สารทำงานในสถานะของเหลวในจุดที่ 1 จะถูกส่งมารับความร้อนที่หม้อต้มสารทำงาน (Boiler) ในจุดที่ 2 โดยปั๊มสารทำงาน (Refrigerant Pump) จากนั้นสารทำงานจะรับความร้อนจากน้ำร้อนภายใต้ความดันคงที่ จนกระทั่งเข้าสู่สถานะของเหลวอิ่มตัวกลายเป็นไออิ่มตัว และเป็นไอร้อนยวดยิ่งที่สถานะในจุดที่ 3 จากนั้นไอร้อนยวดยิ่งจะเข้าสู่เครื่องขยายตัว (Expander)

ข้อเพลลาที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Alternator) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า ความดันและอุณหภูมิของไอสารทำงานที่ทางออกของเครื่องขยายตัวจะลดลงในจุดที่ 4 และอยู่ในสถานะของผสมระหว่างไอสารทำงานและน้ำมันหล่อลื่น ทั้งนี้ภายในเครื่องขยายตัวมีการใช้น้ำมันหล่อลื่นฉีดเข้าสู่ภายในของเครื่องขยายตัว เพื่อลดความเสียดทานระหว่างการสัมผัสกันของโลหะ ซึ่งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ได้นำหลักการกลับทางหมุนของเครื่องอัดไอมาใช้ในกระบวนการเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องอัดไอที่ใช้ในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นแบบสกรู ซึ่งมีการใช้ระบบน้ำมันหล่อลื่นภายในเครื่องอัดไอยู่ก่อนแล้วนั่นเอง จากนั้นไอสารทำงานในจุดที่ 5 ที่แยกตัวออกจากน้ำมันหล่อลื่น โดยเครื่องแยกของไหล (Oil and Vapor Separator) จะเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) ภายใต้ความดันคงที่ กลายเป็นของเหลวอิ่มตัวในจุดที่ 1 อีกครั้งสำหรับการระบายความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้า ใช้น้ำในการระบายความร้อนออกจากสารทำงานที่เครื่องควบแน่น ดังแสดงในภาพที่ 3 (นัฐพร, 2560)



ภาพที่ 3 แผนภาพอุปกรณ์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

การพิจารณาเป็นอุปกรณ์ที่อยู่ภายใต้กระบวนการสภาวะคงตัว-การไหลคงตัว (Steady State Steady Flow, SSSF) ทั้งสิ้น ให้การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์และการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์มีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณของงานและความร้อนจึงตัดทิ้งได้ พลังงานแต่ละเทอมพิจารณาเป็นพลังงานต่อหนึ่งหน่วยมวล จากกฎข้อที่หนึ่งได้ว่า

สมดุลพลังงาน (Energy Balance)

$$\sum Q_i + \sum \dot{m}_i h_i = \sum Q_o + \sum \dot{m}_o h_o$$

สมการที่ 1

สมดุลมวล (Mass Balance)

$$\Sigma \dot{m}_i - \Sigma \dot{m}_o = 0 \quad \text{สมการที่ 2}$$

พิจารณางานที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารทำงาน จะได้ว่า

$$W_{RP} = (P_H - P_L) \dot{m}_{WF} v_1 / \eta_{RP} \quad \text{สมการที่ 3}$$

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องระเหย จะได้ว่า

$$Q_B = \dot{m}_{WF}(h_3 - h_2) \quad \text{สมการที่ 4}$$

$$\text{หรือ } Q_B = \dot{m}_{HW} C_{p_{HW,Bulk}}(T_{HW,i} - T_{HW,o}) \quad \text{สมการที่ 5}$$

พิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากกังหัน จะได้ว่า

$$W_e = \epsilon_{Tur} \dot{m}_{WF}(h_3 - h_4) \quad \text{สมการที่ 6}$$

พิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น จะได้ว่า

$$Q_C = \dot{m}_{WF}(h_4 - h_1) \quad \text{สมการที่ 7}$$

$$\text{หรือ } Q_C = \dot{m}_{CLW} C_{p_{CLW,Bulk}}(T_{CLW,o} - T_{CLW,i}) \quad \text{สมการที่ 8}$$

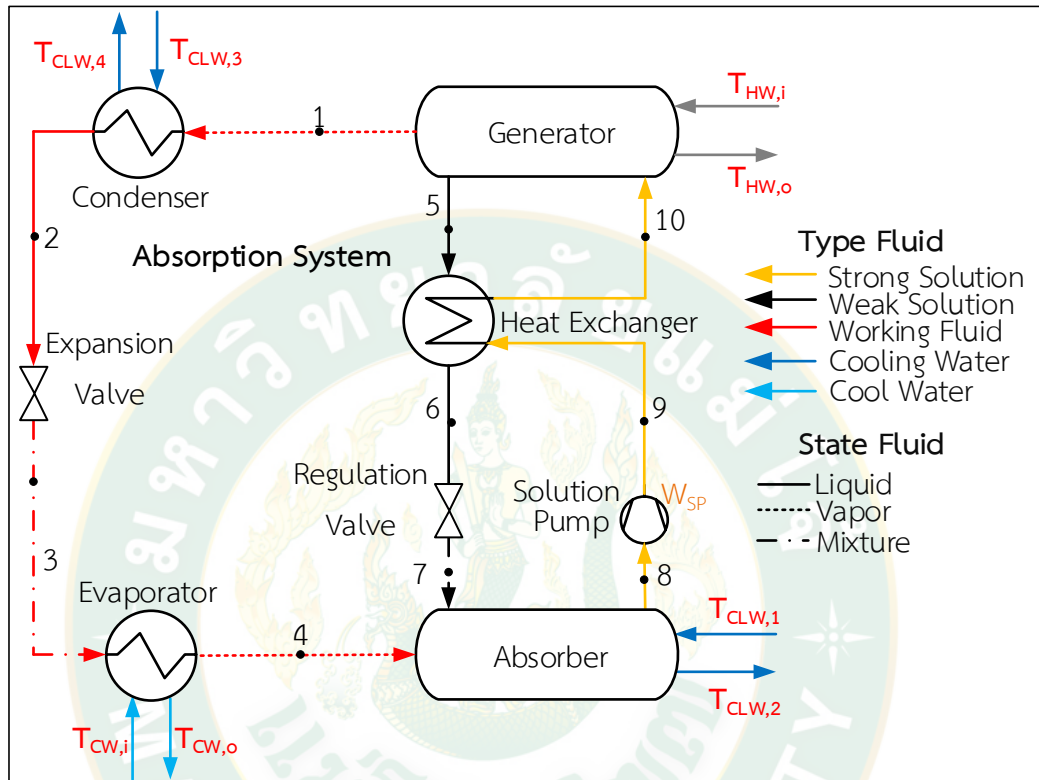
พิจารณาประสิทธิภาพของวัฏจักรสารอินทรีย์ จะได้ว่า

$$\eta_{ORC} = [(W_e - W_{RP} - W_{OP}) / Q_B] \quad \text{สมการที่ 9}$$

ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

กระบวนการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption System) คือ ความร้อนอุณหภูมิสูงเข้าสู่เจนเนอเรเตอร์ (Generator) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้สารละลายสารทำงานที่มีจุดเดือดต่ำกว่าตัวดูดกลืนจะระเหยกลายเป็นไอ และไหลออกจากเจนเนอเรเตอร์ที่ความดันสูง ไอสารทำงานดังกล่าวที่ระเหยออกไปนั้นจะถูกเปลี่ยนสถานะให้กลายเป็นของเหลวและถูกลดแรงดันเพื่อรับพลังงานความร้อนจากภายนอกที่เครื่องระเหย ซึ่งระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจะใช้ประโยชน์จากการทำความเย็นที่เครื่องระเหย หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน โดยสารทำงานที่ออกจากเจนเนอเรเตอร์ในจุดที่ 1 ไหลเข้าไปยังเครื่องควบแน่น (Condenser) แล้วควบแน่นกลายเป็นสารทำงานในสถานะของเหลวในจุดที่ 2 ที่ความดันสูง จากนั้นไหลผ่านวาล์วลดความดัน (Expansion Valve) เพื่อลดความดันในจุดที่ 3 เข้าไปในเครื่องระเหย (Evaporator) ซึ่งสารทำงานรับความร้อนจากห้องเย็นมากพอทำให้สารทำงานสถานะของเหลวระเหยกลายเป็นไอในจุดที่ 4 ที่ความดันต่ำ แล้วไหลเข้าไปยังเครื่องดูดกลืน (Absorber) สารทำงานสถานะไอดังกล่าวถูกดูดกลืนรวมกับสารละลายความเข้มข้นต่ำ ที่กลับมาจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำให้กลายเป็นสารละลายความเข้มข้นสูงในจุดที่ 8 ถูกส่งไปยังเจนเนอเรเตอร์เนื่องจากสารทำงานในสารละลายระเหยกลายเป็นไอทำให้เหลือสารละลายความเข้มข้นต่ำ ซึ่งสารละลายดังกล่าวถูกส่งกลับมายังเครื่องดูด

กลั่นในจุดที่ 5 โดยถ่ายเทความร้อนให้กับสารละลายความเข้มข้นสูงในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) จุดที่ 6 จากนั้นผ่านวาล์วลดความ (Regulation Valve) ต้นจุดที่ 7 แล้วไหลเข้าไปยังเครื่องดูดกลั่นเพื่อดูดกลั่นไอสารทำงานต่อไปดังแสดงในภาพที่ 4 (นัฐพร, 2560)



ภาพที่ 4 แผนภาพอุปกรณ์ระบบทำความเย็นแบบดูดกลั่น

สมการทางคณิตศาสตร์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลั่น พิจารณาจากสมการสมดุลพลังงาน (สมการที่ 1) สมดุลมวล (สมการที่ 2) และสมดุลความเข้มข้นและการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะ ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

สมดุลความเข้มข้น (Concentration Balance)

$$\sum \dot{m}_i X_i - \sum \dot{m}_o X_o = 0 \quad \text{สมการที่ 10}$$

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนเงินเนอเรเตอร์ จะได้ว่า

$$Q_G = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_5 h_5 - \dot{m}_{10} h_{10} \quad \text{สมการที่ 11}$$

$$\text{หรือ } Q_G = \dot{m}_{HW} C_{p,HW,Bulk} (T_{HW,i} - T_{HW,o}) \quad \text{สมการที่ 12}$$

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_1 + \dot{m}_5 \quad \text{สมการที่ 13}$$

พิจารณาอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องควบแน่น จะได้ว่า

$$Q_C = \dot{m}_{WF} (h_1 - h_2) \quad \text{สมการที่ 14}$$

หรือ $Q_C = \dot{m}_{CLW} C_{pCLW,Bulk} (T_{CLW,4} - T_{CLW,3}) \quad \text{สมการที่ 15}$

$$\dot{m}_{WF} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad \text{สมการที่ 16}$$

พิจารณางานที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารละลาย จะได้ว่า

$$W_{SP} = (P_H - P_L) V_8 \dot{m}_8 / \eta_{SP} \quad \text{สมการที่ 17}$$

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องระเหย จะได้ว่า

$$Q_E = \dot{m}_{WF} (h_4 - h_3) \quad \text{สมการที่ 18}$$

หรือ $Q_E = \dot{m}_{CW} C_{pCW,Bulk} (T_{CW,i} - T_{CW,o}) \quad \text{สมการที่ 19}$

พิจารณาสมดุลพลังงานที่แอบซอร์บเบอร์ จะได้ว่า

$$Q_A = \dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_7 h_7 + \dot{m}_8 h_8 \quad \text{สมการที่ 20}$$

หรือ $Q_A = \dot{m}_{CLW} C_{pCLW,Bulk} (T_{CLW,2} - T_{CLW,1}) \quad \text{สมการที่ 21}$

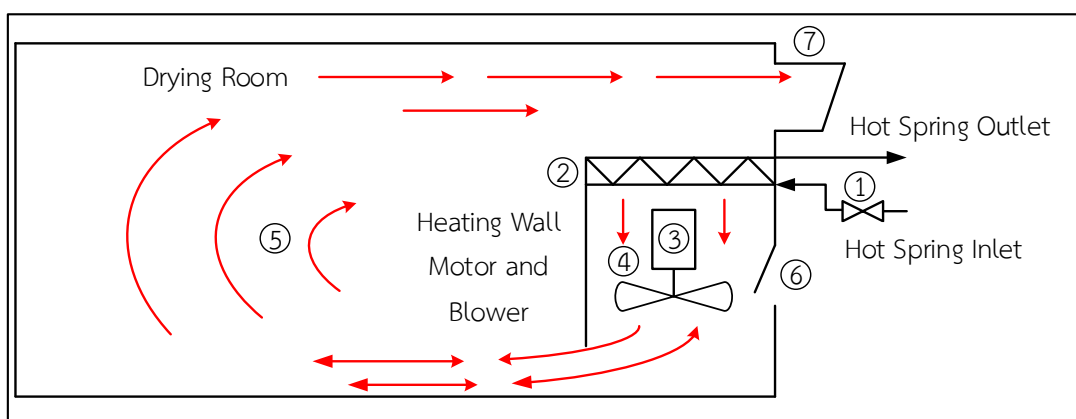
$$\dot{m}_8 = \dot{m}_4 + \dot{m}_7 \quad \text{สมการที่ 22}$$

พิจารณาสัมประสิทธิ์สมรรถนะระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน จะได้ว่า

$$COP_{Ab} = Q_E / (Q_G + W_{SP}) \quad \text{สมการที่ 23}$$

ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์มีหลักการทำงาน คือ ใช้น้ำหรือน้ำร้อนเป็นตัวกลางในการแลกเปลี่ยนความร้อน ตัวกลางที่มีอุณหภูมิสูงจะถูกส่งผ่านแผงแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับอากาศภายในห้องอบแห้งให้มีอุณหภูมิสูง มีโครงเหล็กภายในห้องทำหน้าที่เป็นตัวรองรับน้ำหนักสิ่งที่ใช้ในการอบแห้ง ชุดควบคุมไฟฟ้าและอุณหภูมิทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าพร้อมทั้งควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง ด้านหลังห้องอบแห้งจึงมีช่องระบายอากาศขึ้นออกภายนอกห้องอบแห้งซึ่งจะอยู่เหนือแผงแลกเปลี่ยนความร้อน ช่องทั้งสองนี้สามารถเปิดและปิดได้ หลักการทำงานระบบอบแห้งแบบรวมศูนย์ โดยป้อนน้ำร้อนผ่านวาล์วควบคุมในจุดที่ 1 เปิดให้น้ำร้อนผ่านเข้าแผงแลกเปลี่ยนความร้อนในจุด 2 แล้วปล่อยกลับออกไป ลมจะผ่านแผงแลกเปลี่ยนความร้อนโดยพัดลมในจุด 3 ทำให้อากาศร้อนขึ้นในจุดที่ 4 จากนั้นจะถูกส่งเข้าสู่พื้นที่อบแห้งในจุดที่ 5 ผ่านผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้ง การระบายความชื้นในช่วงนี้มาจากการนำอากาศภายนอกเข้ามาทางช่องปล่องลมในจุดที่ 6 มาแทนที่อากาศภายในห้องที่มีความชื้นสูงซึ่งจะถูกดันออกทางปล่องระบายอากาศขึ้นในจุดที่ 7 ด้านบนดังแสดงในภาพที่ 5 (นัฐพร, 2560)



ภาพที่ 5 แผนภาพอุปกรณ์ของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

เมื่อพิจารณาพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นภายในห้องอบแห้ง จะเห็นได้ว่า มีการวิเคราะห์พลังงานความร้อนที่อากาศ จึงต้องมีการศึกษาคุณสมบัติอากาศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. คุณสมบัติอากาศ

ในการหาค่าพลังงานของอากาศทางด้านพลังงานความร้อน ซึ่งในอากาศเมื่อมีอัตราการไหลของอากาศ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง และความชื้นสัมพัทธ์ที่เปลี่ยนแปลง จะมีพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถหาค่าพลังงานได้จากแผนภูมิไซโคเมตริก ที่เป็นเครื่องมือที่นิยมมาใช้เนื่องจากสะดวกและเข้าใจง่ายต่อการใช้งาน (นัฐพร, 2560) ส่วนประกอบของอากาศมีดังนี้

1.1. อากาศแห้ง

อากาศแห้งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของอากาศชื้น ซึ่งองค์ประกอบของอากาศแห้งจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งและระดับความสูง อากาศแห้งมีค่าความจุความร้อนจำเพาะเฉลี่ยที่ 1.005 kJ/kg·K และในการหาค่าพลังงานความร้อนของอากาศแห้งมีดังนี้

$$v_{da} = V/M_{da} \quad \text{สมการที่ 24}$$

$$h_{da} = 1.005(T_{db} - T_0) \quad \text{สมการที่ 25}$$

1.2. อากาศชื้น

อากาศชื้น (Moist Air) หรือบางครั้งเรียกว่า “อากาศเปียก” คือ อากาศที่มีไอน้ำรวมอยู่ด้วย โดยอากาศเปียกที่พบอยู่โดยทั่วไปนั้นสามารถยกตัวอย่างไปถึงสภาพอากาศก่อนฝนตกที่พบว่ามักจะทำให้รู้สึกอับอ้าวและอึดอัด เพราะไอน้ำหรือเหงื่อที่ผิวหนังไม่สามารถระเหยออกไปได้ตามปกติ เนื่องมาจากการมีปริมาณไอน้ำในอากาศมากเกินไป ซึ่งโมเลกุลของน้ำที่ปะปนอยู่ในอากาศแห้ง

สามารถส่งผลต่อความดันอากาศได้เหมือนกับโมเลกุลของสารอื่น ๆ ดังนั้นในความเป็นจริงแล้วอากาศจึงไม่ใช่ก๊าซอุดมคติ ทั้งนี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้วิธีการคำนวณหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความดัน และปริมาตร ภายใต้สภาวะอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เงื่อนไขของก๊าซอุดมคติ แต่ในกรณีการคำนวณเกี่ยวกับสมบัติทางอากาศที่ความดันไม่เกิน 3 bar สามารถสมมุติให้อากาศเป็นก๊าซอุดมคติได้ ทั้งนี้จะมีสมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับอากาศชั้นดังนี้

1.2.1. ความดันบรรยากาศ

ความดันบรรยากาศ (Standard Atmosphere) หรือความดันอากาศ มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และที่ระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลต่าง ๆ จะมีค่าไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศด้วย ซึ่งความดันบรรยากาศที่ความสูงระดับน้ำทะเล อุณหภูมิ 14 °C จะมีค่าความดันบรรยากาศ 101.325 kPa โดยเมื่อมีการเพิ่มระดับความสูงเหนือระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น จะพบว่าค่าความดันบรรยากาศนั้นมีค่าลดน้อยลง อีกทั้งเมื่ออุณหภูมิของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้น ก็จะทำให้ค่าความดันบรรยากาศมีค่าลดลงเช่นกัน ซึ่งในที่นี้จะทำการคำนวณหาความดันบรรยากาศที่แปรผันตามความสูงเหนือระดับน้ำทะเล โดยสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

$$P_{\text{atm}} = 101.325[1 - (2.25577 \times 10^{-5}H)]^{5.2559} \quad \text{สมการที่ 26}$$

1.2.2. ความดันไอ

ความดันไอ (Vapor Pressure) ในที่นี้หมายถึงแรงดันย่อยที่เกิดจากไอน้ำ ทั้งนี้ความดันไอนี้หมายถึงความดันที่มีความสามารถที่จะทำให้สารเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ มีความสัมพันธ์กับจุดเดือด กล่าวคือ ณ อุณหภูมิต่างกัน ความดันไอของของสารชนิดหนึ่งจะมีค่าแตกต่างกัน นั่นคือที่อุณหภูมิสูงความดันไอของของสารจะมีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากโมเลกุลมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น โมเลกุลจึงมีโอกาสเป็นไอได้มากขึ้น การคำนวณหาค่าความดันไอสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความดันไออิ่มตัวและความชื้นสัมพัทธ์ โดยสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

$$P_w = P_{ws}(RH / 100) \quad \text{สมการที่ 27}$$

1.2.3. ความดันไออิ่มตัว

ความดันไออิ่มตัว (Vapor Saturation Pressure) ในที่นี้หมายถึงแรงดันของไอน้ำอิ่มตัว ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$P_{ws} = e\{(C_1 / T_1) + C_2 + C_3T_{db} + C_4T_{db}^2 + C_5T_{db}^3 + C_6\ln(T_{db})\} \quad \text{สมการที่ 28}$$

1.2.4. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature) คือ อุณหภูมิของอากาศหรืออากาศชื้นที่สามารถอ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์โดยตรง ซึ่งในขั้นตอนการวัดจะต้องวัดในขณะที่อากาศสามารถถ่ายเทได้อย่างสะดวก จึงจะได้ค่าอุณหภูมิที่ถูกต้อง

1.2.5. อุณหภูมิจุดน้ำค้าง

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) หมายถึง อุณหภูมิที่เมื่ออากาศชื้นถูกทำให้เย็นลงขณะที่ปริมาณไอน้ำยังคงที่ การลดอุณหภูมิถึงจุดหนึ่งจะทำให้ไอน้ำเกิดการอิมตัว และกลั่นตัวควบแน่นเป็นหยดน้ำ (Condensate) ที่ความดันบรรยากาศคงที่ ตัวอย่างอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่พบได้ในชีวิตประจำวัน เช่น การตั้งแก้วน้ำเย็นไว้ และมีหยดน้ำมาเกาะที่ผิวแก้วด้านนอก เกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิของอากาศบริเวณแก้วน้ำเย็นต่ำกว่าจุดน้ำค้างและกลั่นตัวเกาะอยู่บนผิวแก้ว ในการคำนวณครั้งนี้จะทำการหาอุณหภูมิจุดน้ำค้างจากความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง โดยสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

$$T_{dp} = \frac{243.12 \left[\ln \left(\frac{RH}{100} \right) + \frac{17.62 T_{db}}{243.12 + T_{db}} \right]}{17.62 - \left[\ln \left(\frac{RH}{100} \right) + \frac{17.62 T_{db}}{243.12 + T_{db}} \right]}$$

สมการที่ 29

1.2.6. อัตราส่วนความชื้น

อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) บางครั้งเรียกว่า ความชื้นจำเพาะ หมายถึงมวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้ง แต่ทั้งนี้อัตราส่วนความชื้น สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของสมการของก๊าซสมบูรณ์และกฎของดาลตัน โดยสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

$$\omega = 0.621945 [P_w / (P_{atm} - P_w)]$$

สมการที่ 30

1.2.7. ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น

ปริมาตรจำเพาะของอากาศชื้น (Specific Volume of Moist Air) คือ อัตราส่วนของปริมาตรของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้ง ซึ่งสามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$V_a = R_{da} T'_{db} [1 + (1.607858\omega)] / P_{atm}$$

สมการที่ 31

1.2.8. เอนทัลปีของอากาศชื้น

เอนทัลปีของอากาศชื้น (Enthalpy) หรือพลังงานความร้อนรวม เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณพลังงานความร้อนที่สะสมอยู่ในอากาศ อันเป็นผลรวมของเอนทัลปีของอากาศแห้งและไอน้ำที่อยู่ในอากาศ ทั้งนี้ค่าเอนทัลปีของอากาศชื้นสามารถคำนวณหาได้ดังนี้

$$h_a = 1.006T_{db} + \omega(2,501.1 + 1.8057T_{db}) \quad \text{สมการที่ 32}$$

การคำนวณหาประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ สามารถหาได้จากอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าสู่ระบบหารผลรวมของพลังงานไฟฟ้ามอเตอร์และพลังงานที่ป้อนให้แก่ระบบดังนี้

$$h_a = 1.006T_{db} + \omega(2,501.1 + 1.8057T_{db}) \quad \text{สมการที่ 33}$$

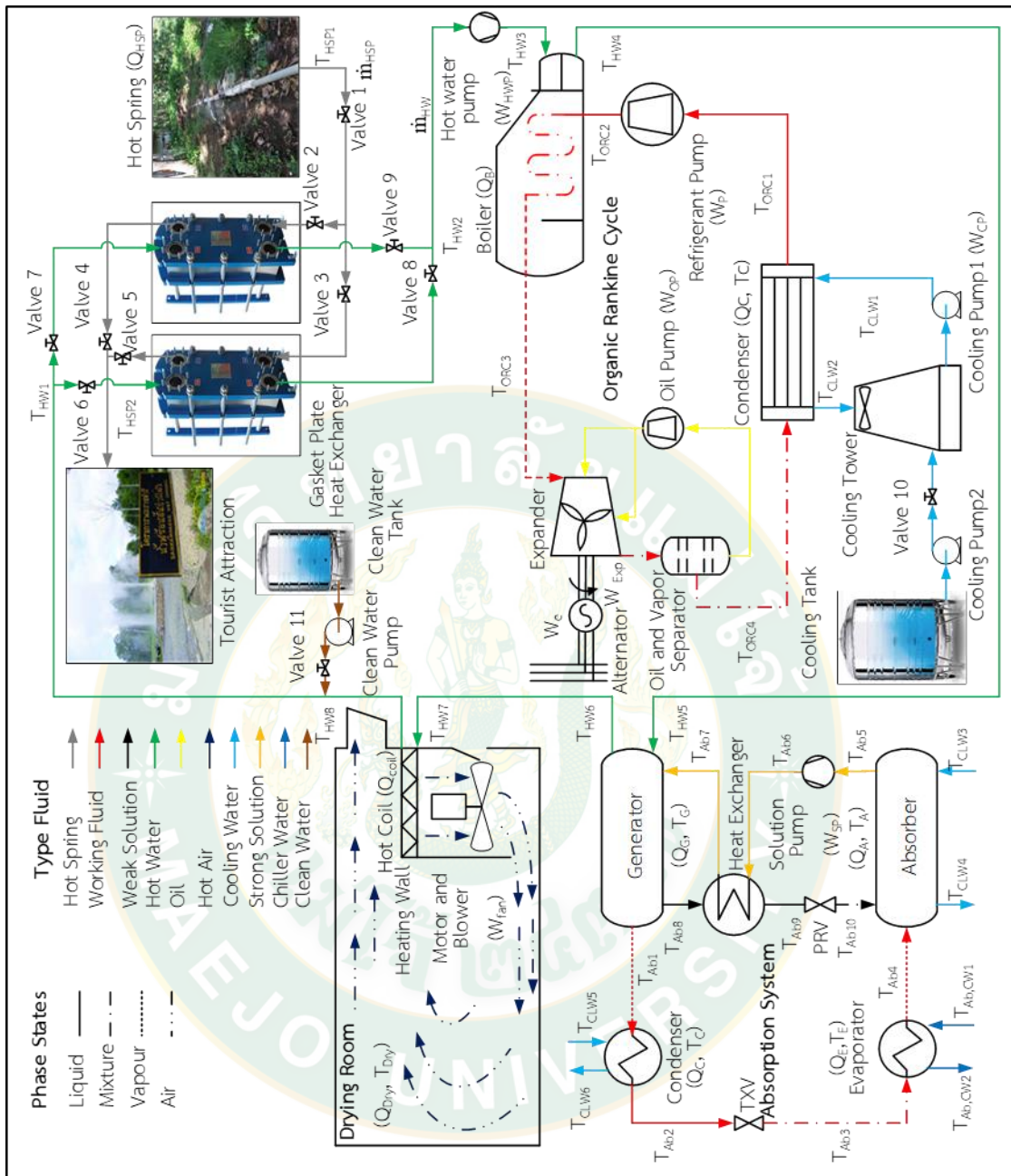
$$Q_{Dry} = \dot{m}_a(h_{a,o} - h_{a,i}) \quad \text{สมการที่ 34}$$

$$Q_{HW} = \dot{m}_{HW}C_{pHW,bulk}(T_{HW,i} - T_{HW,o}) \quad \text{สมการที่ 35}$$

$$\eta_{Dry} = Q_{Dry} / (Q_{HW} + W_{fan}) \quad \text{สมการที่ 36}$$

การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน

การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน (Combined Cooling Heating and Power: CCHP) เป็นการนำวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์นำมาต่อเพื่อป้อนแหล่งความร้อนร้อนแบบอนุกรม จะได้การทำงานร่วมกันของทั้งสามระบบจากที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อเป็นการใช้พลังงานความร้อนให้เกิดคุณค่าสูงสุด เนื่องจากใช้อุณหภูมิความร้อนเริ่มต้นที่ต่างกัน เมื่อนำมาต่อระบบเรียงอนุกรมจะได้ระบบทำงานที่ต้องการอุณหภูมิความร้อนเริ่มต้นจากอุณหภูมิสูงไปยังต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 6 (Chaiyat et al., 2015)



ภาพที่ 6 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน

เมื่อพิจารณาด้านพลังงานที่ได้รับเปรียบเทียบกับพลังงานที่ป้อนให้แก่วัฏจักรแรงคิน สารอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จะได้สมการหาค่าประสิทธิภาพรวมดังนี้

$$Q_{HW} = \dot{m}_{HW} C_{p,HW,Bulk} (T_{HW2} - T_{HW1}) \quad \text{สมการที่ 37}$$

$$W_{total} = W_{HP} + W_{RP} + W_{OP} + W_{CP} + W_{CT} + W_{SP} + W_{fan} \quad \text{สมการที่ 38}$$

$$\eta_{\text{CCHP}} = \frac{W_e + Q_{\text{Ab}} + Q_{\text{Dry}}}{Q_{\text{HW}} + W_{\text{Total}}}$$

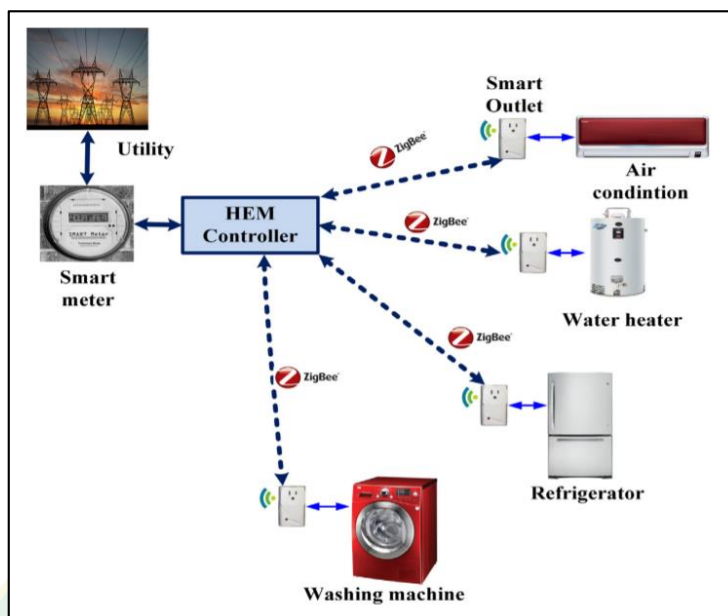
สมการที่ 39

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบควบคุมอัตโนมัติในเครื่องจักรช่วยให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงานด้านพลังงานทดแทนได้มีการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติเข้ามาร่วมโดยเรียกว่าพลังงานอัจฉริยะ พลังงานอัจฉริยะหรือระบบพลังงานอัจฉริยะนิยมใช้อย่างแพร่หลายตั้งแต่ปี ค.ศ. 2009-2016 และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (Henrik et al., 2017) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในส่วนของจัดการ การควบคุมของพลังงานทดแทน และเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพมีรายละเอียดดังนี้

Xiaodong et al. (2017) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการบริหารการจัดการพลังงานทดแทนผ่านเครือข่ายเพื่อลดต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมดในแต่ละวัน และกลไกการกำหนดราคาแบบเรียลไทม์ที่ครอบคลุมระหว่างเครือข่ายท้องถิ่นด้านพลังงานสำหรับที่อยู่อาศัย (Residential Energy Local Network : RELN) และบริษัทจัดจำหน่ายพลังงาน โดยใช้การเขียนโปรแกรมผสมจำนวนเต็ม (Mixed Integer Programming : MIP) ร่วมกับเครือข่ายท้องถิ่นด้านพลังงานสำหรับที่อยู่อาศัย ซึ่งจะทำให้เกิดการควบคุมการจ่ายพลังงานโดยอัตโนมัติภายในเครือข่ายของครัวเรือนผู้อาศัย

Maytham et al. (2017) ได้ทำการศึกษา การเปรียบเทียบระหว่างการใช้อัลกอริธึมการค้นหาย้อนรอยแบบไบนารี (Binary Backtracking Search Algorithm : BBSA) กับการเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมของอนุภาคไบนารี (Binary Particle Swarm Optimization : BPSO) โดยวิธีการเก็บข้อมูลใช้โปรแกรมแมทแลบ (MatLab) สื่อสารกับอุปกรณ์สมาร์ตปลั๊กที่ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดและปิด และเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า ผ่านอุปกรณ์สื่อสารไร้สายซิกบี (ZigBee) และทำการเปรียบเทียบระหว่างวันธรรมดาและวันหยุด ผลการศึกษาพบว่าการใช้อัลกอริธึมการค้นหาย้อนรอยแบบไบนารี สามารถประหยัดพลังงานในวันธรรมดาได้ 21.07% และในช่วงวันหยุดประหยัดพลังงานได้ 26.10% และการเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมของอนุภาคไบนารีสามารถประหยัดพลังงานในวันธรรมดาได้ 20.55% และประหยัดพลังงานในช่วงวันหยุดได้ 25.00% ผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพของ การใช้อัลกอริธึมการค้นหาย้อนรอยแบบไบนารีดีกว่าในแง่ของการประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับการเพิ่มประสิทธิภาพของการควบคุมของอนุภาคไบนารี



ภาพที่ 7 องค์ประกอบหลักของระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน

ที่มา : Maytham et al. (2017)

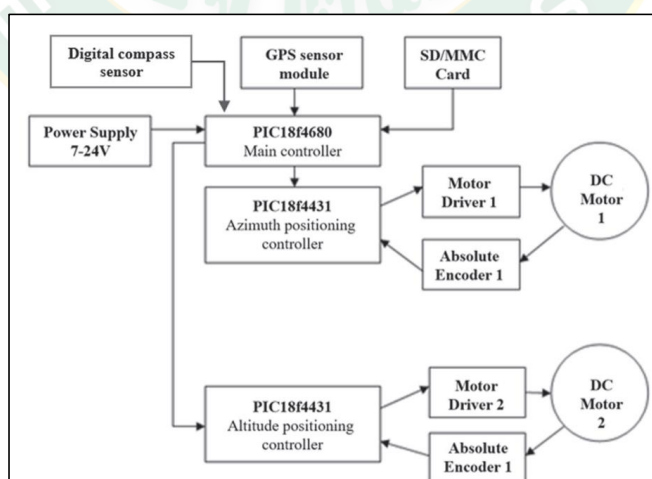
ระบบควบคุมอัจฉริยะเป็นระบบที่สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ โดยส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการประมวลผลและควบคุมเรียกว่าคอนโทรลเลอร์ คอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในงานควบคุมมีหลากหลายชนิด อาทิ พีแอลซี (Programmable Logic Controller: PLC) เป็นคอนโทรลเลอร์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เพราะว่ามีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมของโรงงานได้ อีกทั้งยังสามารถควบคุมเครื่องจักรกำลังสูงได้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากในด้านการศึกษา สามารถใช้เป็นหน่วยประมวลผลและควบคุมในบางระบบ ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์โดยส่วนใหญ่จะใช้ภาษาซี (C Languish) ซึ่งภาษาซีเป็นภาษาที่ง่ายในการพัฒนาและเป็นภาษาระดับกลาง ผู้พัฒนาโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ในระดับเริ่มต้นสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเองผ่านสื่อออนไลน์ต่าง ๆ (Pablo et al., 2017) ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโน คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์ (AVR Microcontroller) ทางผู้พัฒนาได้ทำการสร้างบอร์ดสำเร็จรูป เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป โดยการพัฒนาโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโนนั้นจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปอาร์ดูโนไอดีอี (Arduino IDE) ซึ่งใช้ภาษาซีในการพัฒนา ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูโนมีหลายหลายรุ่นที่เหมาะสมตามขนาดของตัวแผงวงจร ขนาดของหน่วยประมวลผล และช่องทางการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกที่เหมาะสมต่อการใช้งานของผู้พัฒนา ทั้งนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์

ดยโนสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต เพื่อการควบคุมสื่อสารผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ ซึ่งสามารถพัฒนาไปถึงระบบอินเทอร์เน็ตจัดการทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT)

Maytham (2017) ได้ทำการศึกษาทัศนคติของผู้เรียนที่มีต่อไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดิวโน ในระดับมัธยมปลาย พบว่า ผู้เรียนได้มีความพึงพอใจในการเริ่มต้นใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดิวโนในครั้งแรก เพราะสามารถนำไปศึกษาเพื่อพัฒนาต่อได้เอง

Vijayan (2017) ได้ศึกษาการควบคุมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ โดยได้แบ่งชนิดการควบคุม 2 ชนิด ได้แก่ พาสซีฟแทรกเกอร์ คือ การใช้ประโยชน์ของความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ไม่สมดุลทำให้เกิดการขยายตัวของเหลวก๊าซ หรือโลหะผสม ซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพได้ 2% เมื่อเทียบกับแผงที่ตั้งไว้คงที่ แอคทีฟแทรกเกอร์ได้แบ่งย่อยออกเป็น 3 ระบบ คือ ระบบแกนเดี่ยว ระบบสองแกน และระบบค้นหาจุดที่พลังงานสูงสุด สรุปได้ว่า ระบบที่นำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ที่ดีที่สุด คือ ชนิดแอคทีฟแทรกเกอร์ระบบสองแกน เพราะง่ายต่อการควบคุม และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพขึ้นมากที่สุด 30% เมื่อเทียบกับแผงที่ตั้งไว้คงที่

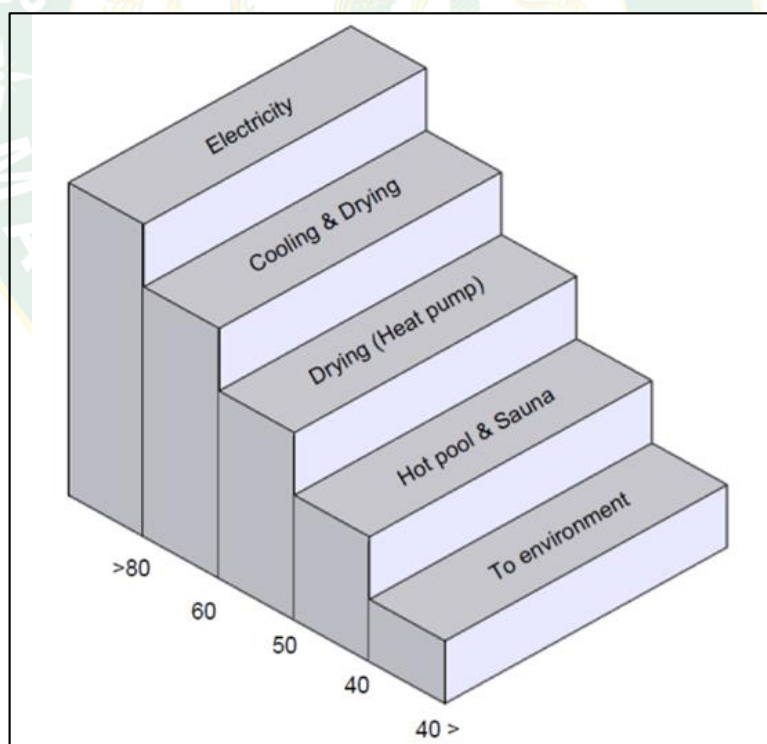
Sidek et al. (2017) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ระบบควบคุมชนิดพาสซีฟแทรกเกอร์ระบบสองแกน ทำการหันตามแสงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจากระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System : GPS) เข็มทิศ และเวลา โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหน่วยควบคุมหลัก และคำนวณจะสั่งการไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ควบคุมการหมุนปรับองศาของมอเตอร์แกนนอน และแกนตั้งอย่างละตัวซึ่งผลที่ได้ คือ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าได้ 26.9% เมื่อเทียบกับแผงรับแสงอาทิตย์ที่ตั้งไว้คงที่



ภาพที่ 8 ผังระบบควบคุมการหมุนปรับองศาของมอเตอร์แกนนอนและแกนตั้ง

ที่มา : Sidek et al. (2017)

Chaiyat et al. (2015) ได้ทำการศึกษาที่ศึกษาภาพ และเทคโนโลยีด้านพลังงานความร้อนใต้พิภพของประเทศไทยพบว่าศักยภาพของน้ำพุร้อน 97 แห่งของประเทศไทยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ น้ำพุร้อนที่มีศักยภาพสูงที่มีอุณหภูมิ 80 °C ขึ้นไปมีอยู่ทั้งหมด 12 แห่งที่สามารถนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยระบบวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ได้ โดยการป้อนน้ำพุร้อนให้กับหม้อต้มน้ำร้อนเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนในกระบวนการผลิตไฟฟ้า ศักยภาพปานกลางมีทั้งหมด 8 แห่งที่มีอุณหภูมิระหว่าง 60-80 °C สามารถนำไปใช้กับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนได้โดยป้อนน้ำพุร้อนไปยังเจนเนอเรเตอร์ เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำงานในกระบวนการผลิตความเย็น และศักยภาพปานกลางยังสามารถนำไปใช้ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์เพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โดยการนำน้ำพุร้อนป้อนให้กับแผงแลกเปลี่ยนความร้อน จากนั้นให้พัดลมเป่าอากาศที่มีอุณหภูมิสูงเข้าไปภายในบริเวณห้องที่มีผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรอยู่ ส่วนศักยภาพต่ำที่มี 26 แห่ง โดยมีอุณหภูมิต่ำกว่า 60 °C จะนิยมนำมาใช้ประโยชน์โดยการทำสระว่ายน้ำแร่ และทำชานาเป็นต้น อีกทั้งยังเสนอแนวความคิดการใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันได โคนนำอุปกรณ์ที่มีความต้องการอุณหภูมิน้ำร้อนเริ่มต้นที่ต่างกัน โดยต่อกันจากแหล่งพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การใช้พลังงานความร้อนใต้พิภพแบบชั้นบันได

ที่มา : Chaiyat et al. (2015)

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

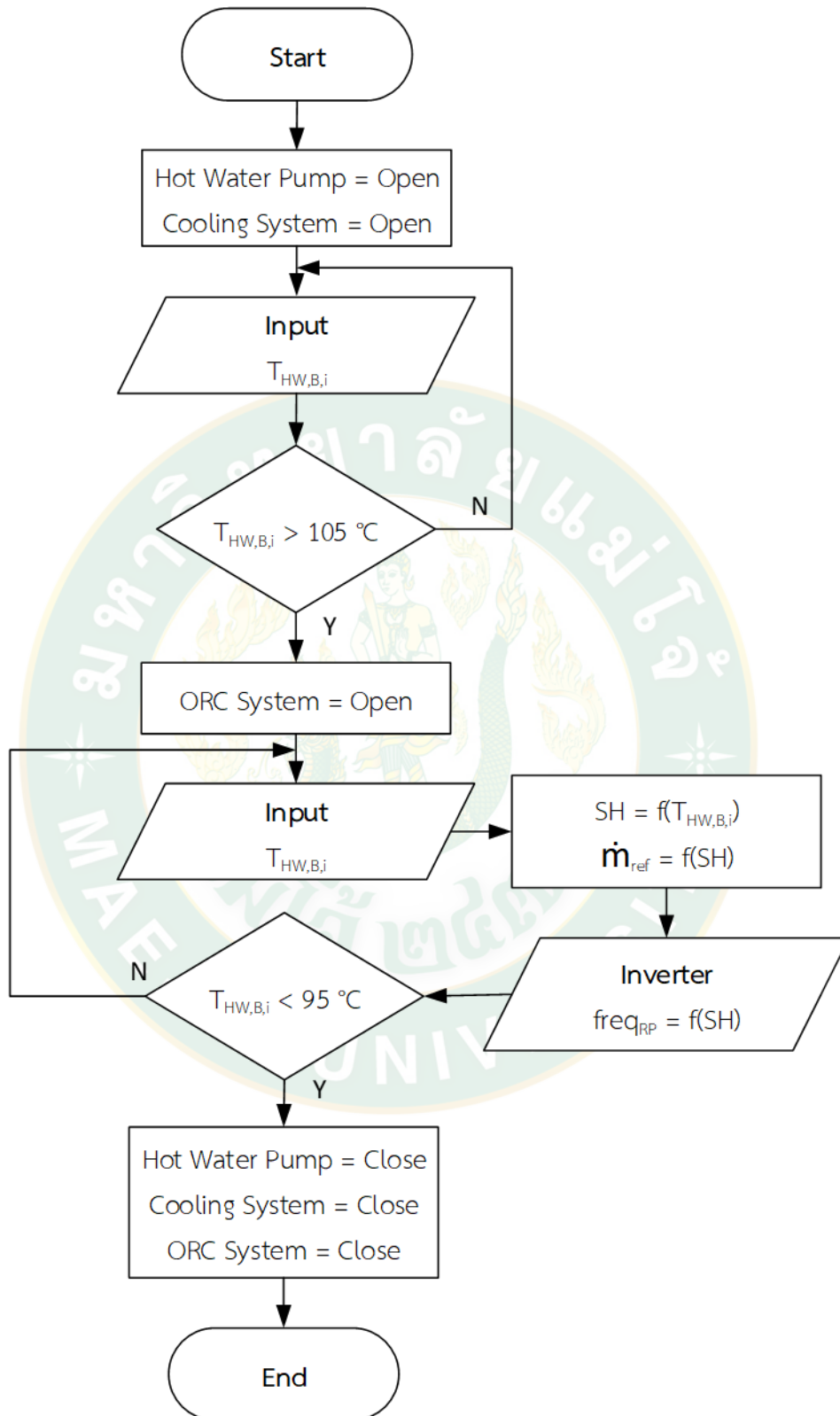
การออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพมีขั้นตอนการออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ต ประกอบด้วยตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และระบบผลิตไฟฟ้า ร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน โดยรายละเอียดของการดำเนินงานวิจัยมีดังนี้

การออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์

การออกแบบระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยเริ่มจากการติดตั้งจุดตรวจวัดให้กับตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์ พัฒนาโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ และสร้างระบบแสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตโดยรายละเอียดขั้นตอนมีดังนี้

1. ระบบควบคุมของตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์

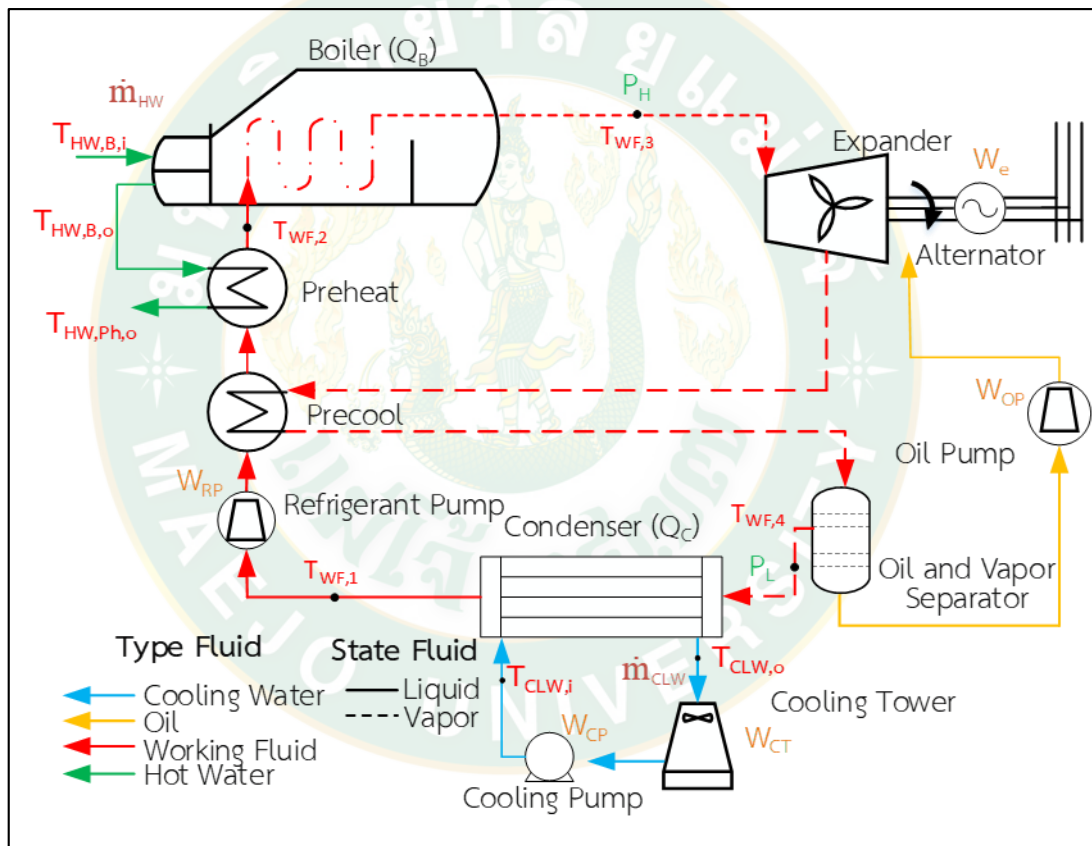
ระบบควบคุมหลักของตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์ใช้พีแอลซีในการควบคุมระบบซึ่งในส่วนของ การควบคุมของตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์นั้นจะมีความทำงาน คือ เมื่อกดสวิทช์สั่งการเริ่มต้นทำงานตัว จักแรงคินสารอินทรีย์ พีแอลซีจะทำการสั่งเปิดปั๊มน้ำร้อนเพื่อให้ น้ำร้อนมาทำการแลกเปลี่ยนความ ร้อนกับน้ำพุร้อนและระบบหล่อเย็น จากนั้นพีแอลซีจะทำการรับค่าจากจุดตรวจวัดอุณหภูมิ น้ำร้อนที่ ป้อนเข้ามายังหม้อต้มสารทำงาน เพื่อทำการตัดสินใจในการเปิดระบบของตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์ เมื่ออุณหภูมิ น้ำร้อนสูงเกิน 105 °C เมื่ออุณหภูมิของน้ำร้อนสูงเกินกำหนด พีแอลซีจะทำการสั่งการ เปิดระบบเพื่อให้ตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์ทำงาน จากนั้นพีแอลซีจะทำการตรวจสอบอุณหภูมิ น้ำร้อน เพื่อทำการควบคุมอัตราการไหลของสารทำงานที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำร้อนที่หม้อต้มสาร ทำงาน เนื่องจากสารทำงานในตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิช่วงต่ำจะทำให้ การเปลี่ยนสถานะของสารทำงานเป็นไอร้อนผสม ทำให้แรงดันของสารทำงานที่เข้าไปยังเครื่อง ขยายตัวลดต่ำลงส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าลดลงตาม จึงต้องมีการควบคุมอัตราการไหลของสารทำงาน ในตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์ ด้วยการควบคุมการป้อนความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ของปั๊มสารทำงานเพื่อ ความเร็วรอบของปั๊มสารทำงาน อีกทั้งยังตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ป้อนเข้าไปยังหม้อต้มสาร งานเมื่อมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 95 °C จะทำการสั่งปิดระบบ รวมถึงความผิดปกติอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นกับตัว จักแรงคินสารอินทรีย์อีกด้วย ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ฟังก์ชันการควบคุมของโรงจักรแรงดันอินทรีย์

2. ติดตั้งจุดตรวจวัดตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์

ในขั้นตอนนี้ทำการติดตั้งตัวตรวจวัดในแต่ละจุดของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เพื่อใช้ในระบบแสดงผลและควบคุม ประกอบด้วย อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล และกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 11 และตารางที่ 1 โดยข้อมูลของจุดตรวจวัดของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จะถูกส่งเข้าไปยังพีแอลซีและไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแสดงผลที่จอแสดงผลแอลซีดี รวมถึงมีการนำค่าจากตัวตรวจวัดมาวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในขั้นตอนถัดไป



ภาพที่ 11 แผนภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และจุดวัดค่าต่าง ๆ

ตารางที่ 1 รายละเอียดจุดตรวจวัดของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

จุดวัด	ตัวแปรที่ทำการวัด
$T_{HW,B,i}$	อุณหภูมิน้ำร้อนก่อนเข้าหม้อต้มสารทำงาน
$T_{HW,B,o}$	อุณหภูมิน้ำร้อนออกจากหม้อต้มสารทำงาน

จุดวัด	ตัวแปรที่ทำการวัด
$T_{HW,Ph,o}$	อุณหภูมิน้ำร้อนออกจากอุปกรณ์เพิ่มความร้อนสารทำงาน
$T_{WF,1}$	อุณหภูมิสารทำงานระหว่างเครื่องควบแน่น และปั๊มสารทำงาน
$T_{WF,2}$	อุณหภูมิสารทำงานระหว่างปั๊มสารทำงาน และหม้อต้มสารทำงาน
$T_{WF,3}$	อุณหภูมิสารทำงานระหว่างหม้อต้มสารทำงาน และเครื่องขยายตัว
$T_{WF,4}$	อุณหภูมิสารทำงานระหว่างเครื่องขยายตัวและเครื่องควบแน่น
$T_{CLW,1}$	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นก่อนเข้าเครื่องควบแน่น
$T_{CLW,2}$	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นออกจากเครื่องควบแน่น
P_H	ความดันของสารทำงานด้านสูง
P_L	ความดันของสารทำงานด้านต่ำ
\dot{m}_{HW}	อัตราการไหลของน้ำร้อน
\dot{m}_{CLW}	อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น
W_e	กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
W_{RP}	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารทำงาน
W_{OP}	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น
W_{CP}	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มน้ำหล่อเย็น

อุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ประกอบด้วยพีแอลซีเป็นส่วนควบคุมและรับค่าจากจุดตรวจวัดอาทิ จุดตรวจวัดอุณหภูมิ จุดตรวจวัดความดันสารทำงาน จุดตรวจวัดกำลังไฟฟ้า จากนั้นค่าที่ได้จะแสดงผลไปยังจอแสดงผลแอลซีดี และไม่โครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่รับค่าจากจุดตรวจวัดอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากจุดตรวจวัดที่เชื่อมต่อเข้ากับพีแอลซี อีกทั้งยังเชื่อมต่อกับพีแอลซีเพื่อทำการรับส่งข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพ และส่งข้อมูลแสดงผลไปยังระบบอินเทอร์เน็ต โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมของวิศวกรแรงดันสารอินทรีย์

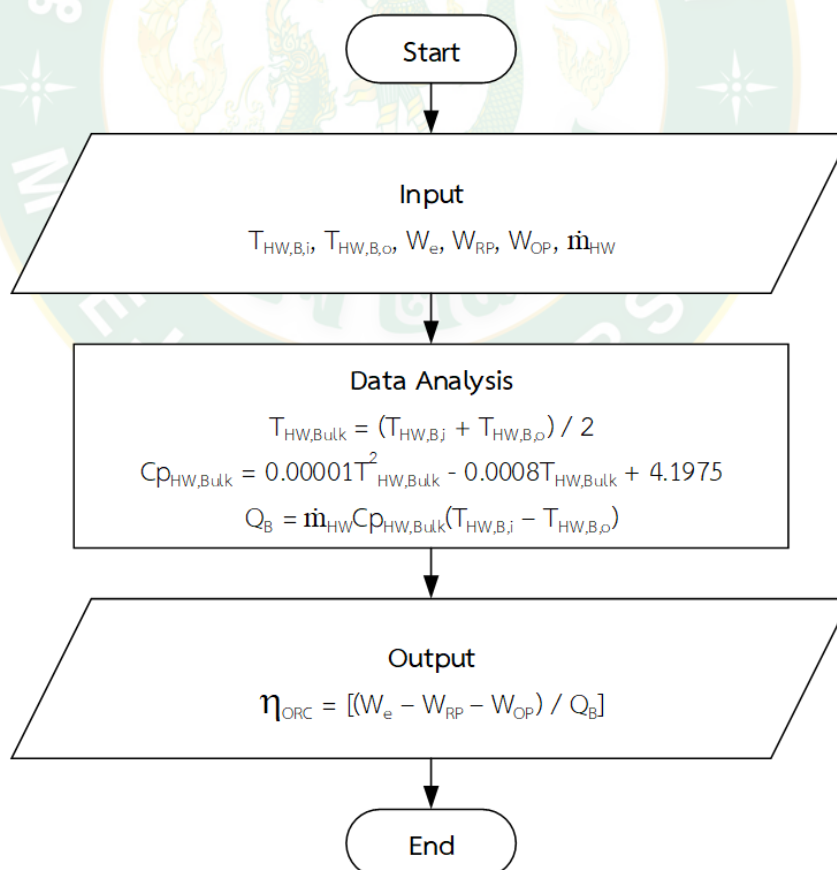
อุปกรณ์	หน้าที่	คุณสมบัติ
<p>1. พีแอลซี</p> 	<p>รับค่าจากจุดตรวจวัด และควบคุมอัตราการไหลของสารทำงานในวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ชื่อรุ่น iPro GENIUS IPG 200 - ใช้แรงดันไฟฟ้า 24 V - เชื่อมต่อสัญญาณภายนอกได้ 20 channel - รีเลย์ควบคุม 15 channel - รองรับช่องทางสื่อสารอนุกรม RS 232 และ RS 485
<p>2. จอแสดงผลแอลซีดี</p> 	<p>แสดงผลจากชุดควบคุมพีแอลซี</p>	<ul style="list-style-type: none"> - จอ แ ส ต ง ผล แ ล ซี ดี รุ่ น Weintek HMI MT8071iE - ใช้แรงดันไฟฟ้า 24 V - ขนาดหน้าจอกี่ทำการแสดงผล 192 mm x 138 mm - รองรับช่องทางสื่อสารอนุกรม RS 485
<p>3. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์</p> 	<p>รับค่าจากจุดตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ชื่อรุ่น Arduino Mega 2560 - ใช้แรงดันไฟฟ้า 7-12 V - สัญญาณนาฬิกา 16 MHz - สัญญาณขาเข้า-ออก 60 Pin - รองรับช่องทางสื่อสารอนุกรม RS 232 RS 485 และ I²C
<p>4. เทอร์โมคัปเปิล</p> 	<p>ทำหน้าที่วัดค่าอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ ของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ชื่อรุ่น DS18B20 - แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 3.3-5 V - ช่วงอุณหภูมิที่สามารถวัดได้ -55-125 °C - ความคลาดเคลื่อน ±0.5 °C ช่วง -10-85 °C - ความคลาดเคลื่อน ±1.5 °C ช่วง น้อยกว่า -10 °C และ

อุปกรณ์	หน้าที่	คุณสมบัติ
		มากกว่า 85 °C
5. เพรสเซอร์ทรานส์ดิวเซอร์ 	วัดค่าแรงดันของสารทำงานในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	<ul style="list-style-type: none"> - ซีอรุ่น ESUMZ HK3022 - แรงดันไฟฟ้าทำงาน 5 V - แรงดันขาออก 0.5-4.5 V - ทนความดันสูงสุด 2.4 MPa - ความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$
6. เครื่องมือวัดอัตราการไหล 	วัดอัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำหล่อเย็น	<ul style="list-style-type: none"> - ซีอรุ่น TDH 100H - การแสดงผล 16x4 character - ช่วงของอัตราการไหลที่วัดได้ 2.5-950 L/s - ความคลาดเคลื่อน $\pm 1\%$
7. หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า 	วัดกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของอุปกรณ์ไฟฟ้าในวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์	<ul style="list-style-type: none"> - ซีอรุ่น SCT013 - กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ 0-100 A - แปลงกระแสเป็น 0-50 mA - ความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$

ค่าต่าง ๆ จะถูกนำไปแสดงผลยังจอแสดงผลแอลซีดี โดยการแสดงผลนั้นประกอบไปด้วย ค่าอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าออกหม้อต้มสารทำงาน อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่เครื่องควบแน่น ความดันสารทำงาน ด้านสูง ความดันสารทำงานด้านต่ำ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ตผ่านโมดูลไวไฟในขั้นตอนถัดไป

3. พัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

ก่อนทำการติดตั้งจุดตรวจวัดต่าง ๆ ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ จะทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อออกแบบการวางจุดตรวจวัดในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าจากจุดตรวจวัดอุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าหม้อต้มสารทำงาน ($T_{HW,B,i}$) อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกหม้อต้มสารทำงาน ($T_{HW,B,o}$) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ($C_{p_{HW,Bulk}}$) โดยสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นได้จากการหาสมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำร้อนกับค่าความจุความร้อนจำเพาะจากโปรแกรม Refprop (NIST,2018) และอัตราการไหลของน้ำร้อน (\dot{m}_{HW}) ที่ได้ทำการวัดค่า เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้มสารทำงาน (Q_B) ซึ่งเป็นพลังงานขาเข้าของระบบ กำลังไฟฟ้าที่ปั๊มสารทำงาน (W_{RP}) กำลังไฟฟ้าที่ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น (W_{OP}) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (W_e) จากนั้นทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ (η_{ORC}) ในลำดับสุดท้าย การวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จะทำการวิเคราะห์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ผังการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

4. สร้างระบบแสดงผลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านอินเทอร์เน็ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์และพีแอลซีทำหน้าที่รับค่าจากจุดตรวจวัดของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ โดยการรับ-ส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต ค่าต่างๆ ของจุดวัดของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ถูกรวบรวมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และพีแอลซี เพื่อวิเคราะห์และแสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ นอกจากนี้ระบบยังมีการเชื่อมต่อไปยังโมดูลไวไฟ (ESP8266) ที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไปยังที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่าย (NAS) เพื่อแสดงผ่านเว็บไซต์ที่สามารถเยี่ยมชมผ่านอุปกรณ์สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต หรือคอมพิวเตอร์ได้ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ผังแสดงการเชื่อมต่อข้อมูลวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์แสดงผลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

เมื่อได้ทำการแสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต จากนั้นนำผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มาอภิปรายผลการแสดงประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

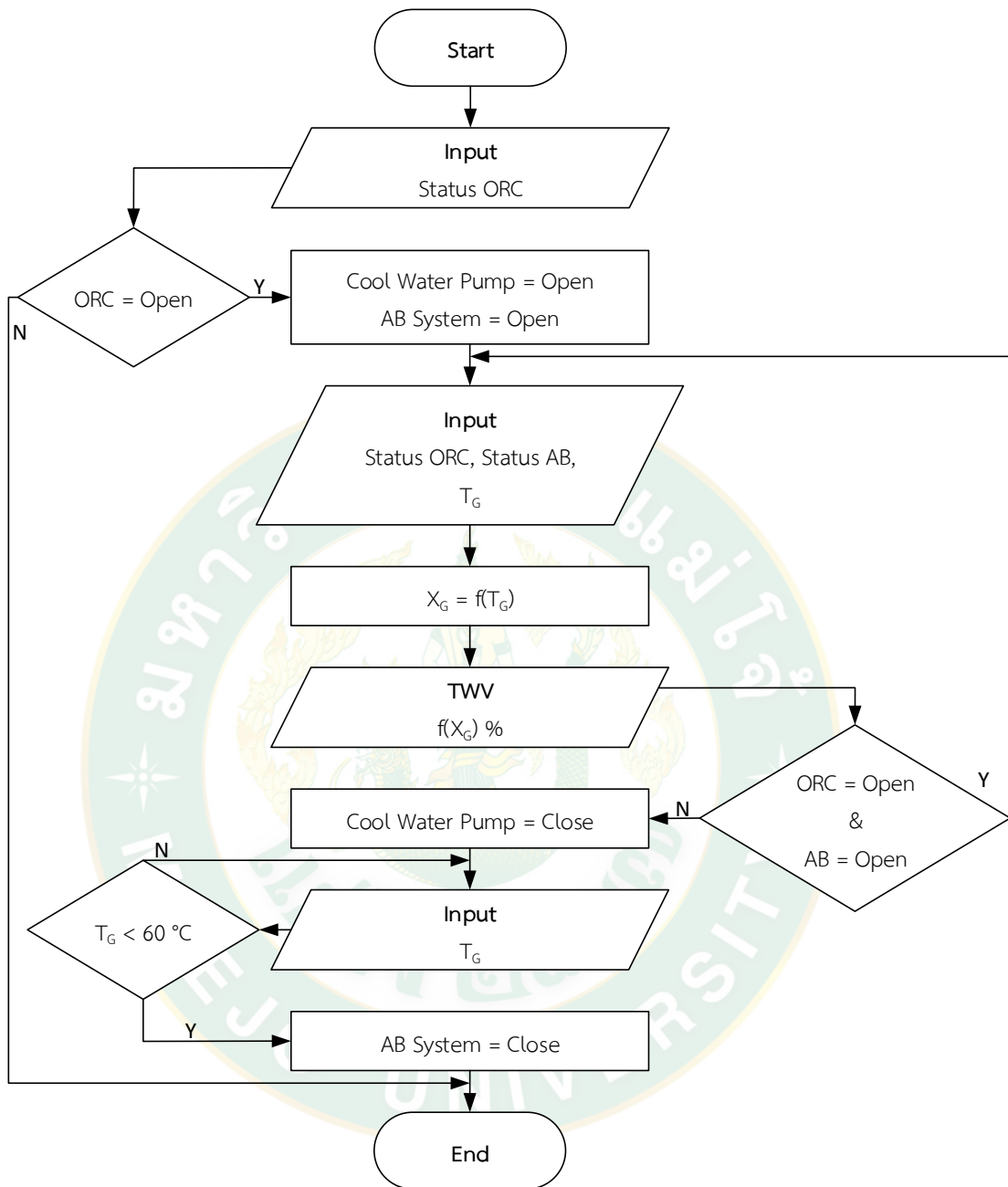
การออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

การออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจะทำการติดตั้งจุดตรวจวัดระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน พัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์

สมรรถนะด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำการแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ท โดยรายละเอียดของขั้นตอนมีดังนี้

1. ระบบควบคุมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

ระบบควบคุมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนใช้พีแอลซีในการควบคุมเช่นเดียวกับวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ใช้ในการรับค่าจากจุดตรวจวัดและควบคุมระบบ โดยการควบคุมระบบมีหลักการควบคุม คือ พีแอลซีของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจะทำหน้าที่ตรวจสอบการทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เนื่องจากใช้แหล่งพลังงานความร้อนร่วมกันแบบอนุกรม เมื่อมีการเริ่มต้นการทำงานจะทำการเปิดระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนโดยการเปิดปั้มน้ำเย็นและปั้มนสารละลาย จากนั้นพีแอลซีนำค่าจากจุดตรวจวัดน้ำร้อนที่เข้ามายังเจนเนอเรเตอร์มาทำการควบคุมอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เข้ามายังเจนเนอเรเตอร์ เพื่อให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมต่อขนาดการทำความเย็น เนื่องจาก หากมีการป้อนพลังงานความร้อนเข้าไปยังเจนเนอเรเตอร์ที่เกินกำหนดจะทำให้คู่สารละลาย (น้ำ-ลิเทียมโบรไมด์) มีอัตราส่วนที่เกิน 70% ให้ลิเทียมโบรไมด์เกิดการตกผลึกและอุดตันภายในระบบ จึงต้องมีการควบคุมอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เจนเนอเรเตอร์ และในขณะเดียวกันจะทำการตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์และการสั่งการปิดระบบ เมื่อมีการปิดระบบของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์หรือสั่งการปิดระบบของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจะทำการสั่งการปิดปั้มน้ำเย็นและทำการตรวจสอบค่าอุณหภูมิคู่สารละลายที่อยู่ภายในเจนเนอเรเตอร์ เพื่อป้องกันการตกผลึกของลิเทียมโบรไมด์ในกรณีที่อุณหภูมิคู่สารละลายมีค่ามากกว่า 60 °C เนื่องจากน้ำยังสามารถระเหยออกไปจากเจนเนอเรเตอร์ จึงต้องมีการเปิดปั้มนสารละลายไว้เพื่อให้อุณหภูมิของคู่สารละลายลดลงต่ำกว่า 60 °C ถึงจะทำการปิดระบบของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนได้ ดังแสดงในภาพที่ 14

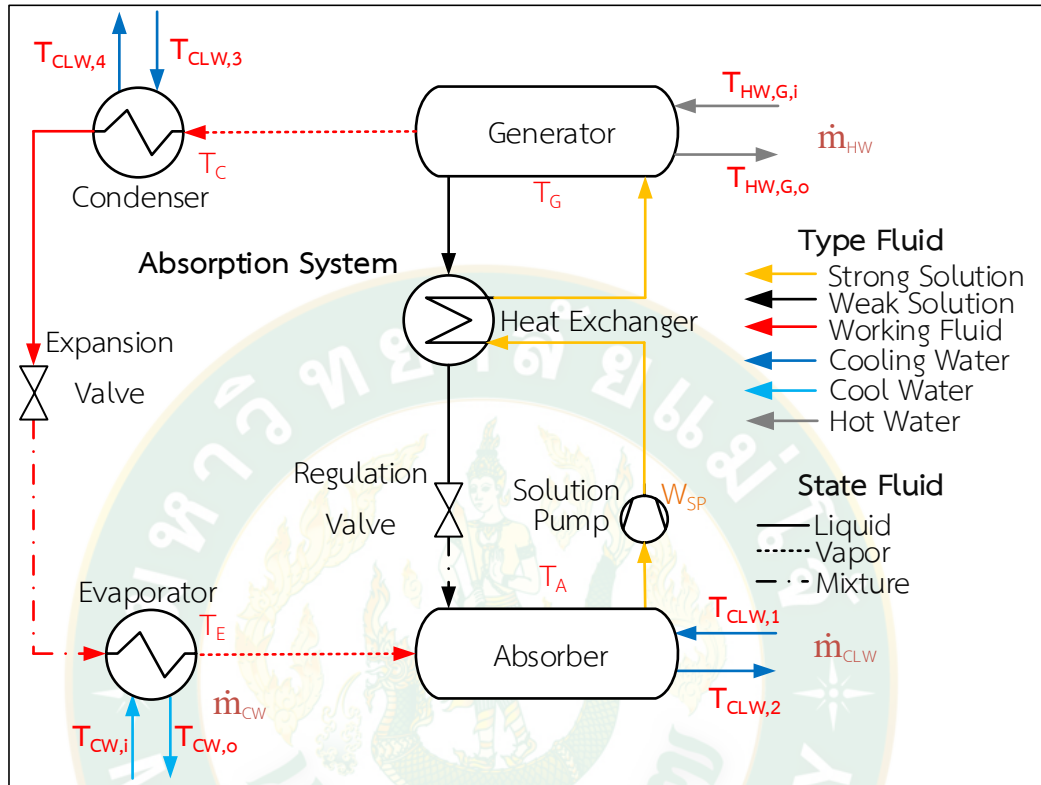


ภาพที่ 14 ฟังก์ชันการควบคุมของระบบทำความเย็นแบบตู้ดกกลีน

2. ติดตั้งจุดตรวจวัดระบบทำความเย็นแบบตู้ดกกลีน

ในขั้นตอนนี้ทำการติดตั้งจุดตรวจวัดประกอบด้วยค่าอุณหภูมิน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น อุณหภูมิน้ำเย็น อุณหภูมิสารทำงานตัวอุปกรณ์ กำลังไฟฟ้า และอัตราการไหล จุดตรวจวัดของระบบ

ทำความเข้าใจแบบดูตกถีนแสดงในภาพที่ 15 และในรายละเอียดของจุดวัดในระบบทำความเย็นแบบดูตกถีน ดังแสดงในตารางที่ 3



ภาพที่ 15 แผนภาพของระบบทำความเย็นแบบดูตกถีน และจุดตรวจวัดต่าง ๆ


ตารางที่ 3 รายละเอียดจุดตรวจวัดของระบบทำความเย็นแบบดูตกถีน

จุดวัด	ตัวแปรที่ทำการวัด
$T_{HW,G,i}$	อุณหภูมิน้ำร้อนก่อนเข้าเจนเนอเรเตอร์
$T_{HW,G,o}$	อุณหภูมิน้ำร้อนออกจากเจนเนอเรเตอร์
$T_{CW,i}$	อุณหภูมิน้ำเย็นก่อนเข้าเครื่องระเหย
$T_{CW,o}$	อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องระเหย
$T_{CLW,1}$	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้าเครื่องดูตกถีน
$T_{CLW,2}$	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่ออกจากเครื่องดูตกถีน
$T_{CLW,3}$	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นออกเครื่องควบแน่น
$T_{CLW,4}$	อุณหภูมิน้ำหล่อเย็นก่อนเข้าเครื่องควบแน่น
T_A	อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องดูตกถีน


จุดวัด	ตัวแปรที่ทำการวัด
T_E	อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องระเหย
T_C	อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องควบแน่น
T_G	อุณหภูมิสารทำงานที่เจนเนอเรเตอร์
\dot{m}_{HW}	อัตราการไหลของน้ำร้อน
\dot{m}_{CLW}	อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น
\dot{m}_{CW}	อัตราการไหลของน้ำเย็น
W_{SP}	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ปั๊มสารละลาย

อุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจะคล้ายกับอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วยพีแอลซีเป็นส่วนควบคุมและรับค่าจากจุดตรวจวัด อาทิ จุดตรวจวัดอุณหภูมิ จุดตรวจวัดกำลังไฟฟ้า จากนั้นค่าที่ได้จะแสดงผลไปยังจอแสดงผลแอลซีดี และไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่รับค่าจากจุดตรวจวัดอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากจุดตรวจวัดที่เชื่อมต่อเข้ากับพีแอลซี อีกทั้งยังเชื่อมต่อกับพีแอลซีเพื่อทำการรับส่งข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์สมรรถนะ และส่งข้อมูลแสดงผลไปยังระบบอินเทอร์เนต โดยรายละเอียดของอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

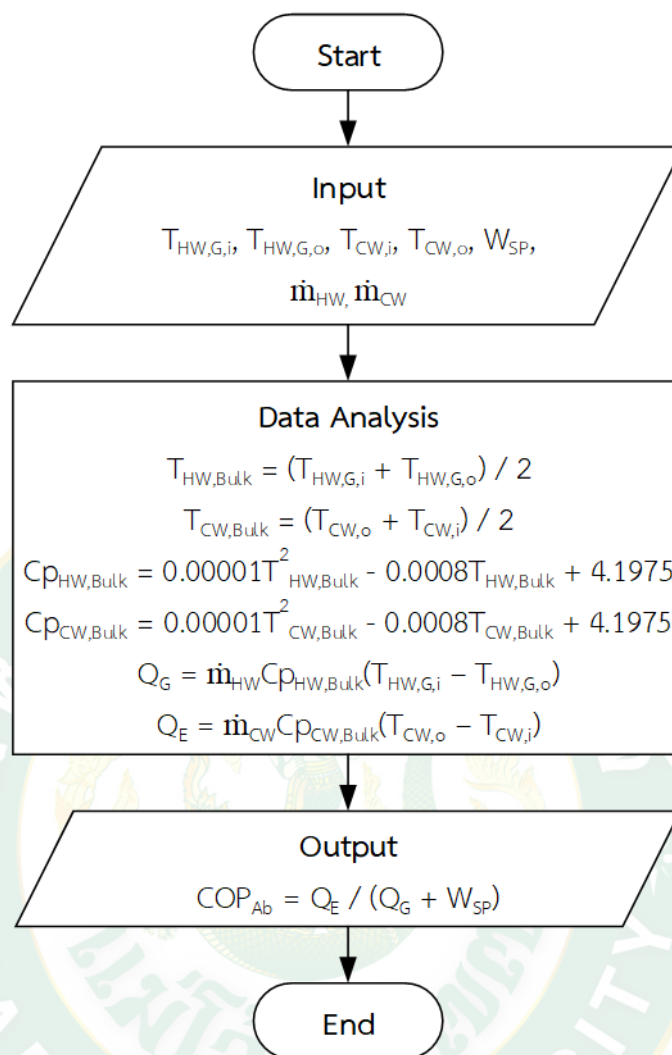
อุปกรณ์	หน้าที่	คุณสมบัติ
1. พีแอลซี 	รับค่าจากจุดตรวจวัด และควบคุมระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	<ul style="list-style-type: none"> - ซีอรุ่น iPro GENIUS IPC 100 - แรงดันไฟฟ้าเข้า 24 V - เชื่อมต่อสัญญาณภายนอกได้ 11 channel - รีเลย์ควบคุม 8 channel - รองรับช่องทางสื่อสารอนุกรม RS 232 และ RS 485

อุปกรณ์	หน้าที่	คุณสมบัติ
<p>2. จอแสดงผลแอลซีดี</p> 	<p>แสดงผลจากชุดควบคุมพีแอลซี</p>	<ul style="list-style-type: none"> - จอแสดงผลแอลซีดีรุ่น VGC810 - แรงดันไฟฟ้าเข้า 24 V - แสดงผล 240x96 pixel - รองรับช่องทางสื่อสารอนุกรม (RS 485)
<p>3. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์</p> 	<p>รับค่าจากจุดตรวจวัดและวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ชื่อรุ่น Arduino Mega 2560 - ใช้แรงดันไฟฟ้า 7-12 V - สัญญาณนาฬิกา 16 MHz - สัญญาณขาเข้า-ออก 60 Pin - รองรับช่องทางสื่อสารอนุกรม RS 232 RS 485 และ I²C
<p>4. เทอร์โมคัปเปิล</p> 	<p>วัดค่าอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ชื่อรุ่น DS18B20 - แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 3.3-5 V - ช่วงอุณหภูมิที่สามารถวัดได้ -55-125 °C - ความคลาดเคลื่อน ±0.5 °C ช่วง -10-85 °C - ความคลาดเคลื่อน ±1.5 °C ช่วง น้อยกว่า -10 °C และมากกว่า 85 °C
<p>5. เครื่องมือวัดอัตราการไหล</p> 	<p>วัดอัตราการไหลของน้ำร้อน น้ำหล่อเย็น และน้ำเย็น</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ชื่อรุ่น TDH 100H - การแสดงผล 16x4 character - ช่วงของอัตราการไหลที่วัดได้ 2.5-950 L/s - ความคลาดเคลื่อน ±1%

อุปกรณ์	หน้าที่	คุณสมบัติ
6. หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า 	วัดกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ภายในระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	- ชื่อรุ่น SCT013 - กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ 0-100 A - แปลงกระแสเป็น 0-50 mA - ความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$

3. พัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

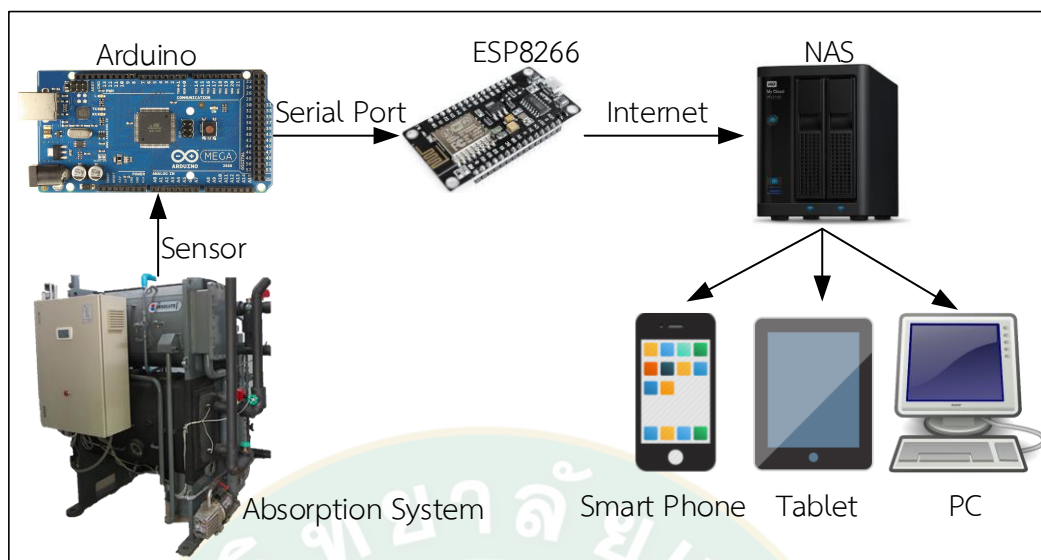
การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำการนำค่าอุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าเจนเนอเรเตอร์ ($T_{HW,G,i}$) อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกเจนเนอเรเตอร์ ($T_{HW,G,o}$) อุณหภูมิน้ำเย็นขาเข้าเครื่องระเหย ($T_{CW,i}$) อุณหภูมิน้ำเย็นขาออกเครื่องระเหย ($T_{CW,o}$) กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารละลาย (W_{SP}) อัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำเย็น (\dot{m}_{HW} และ \dot{m}_{CW}) เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ อีกทั้งยังใช้ในการออกแบบวางจุดตรวจวัดค่าของระบบ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์นำข้อมูลที่ได้ทำการตรวจวัดมาวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำร้อนและน้ำเย็น ($C_{p,HW,Bulk}$ และ $C_{p,CW,Bulk}$) โดยสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นได้จากการหาสมการความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำร้อนกับค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำจากโปรแกรม Refprop (NIST,2018) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เจนเนอเรเตอร์ (Q_G) อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องระเหย (Q_E) และสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP_{Ab}) ตามลำดับ โดยขั้นตอนการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะแสดงในภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ผังการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดุดกลืน

4. สร้างระบบแสดงผลของระบบทำความเย็นแบบดุดกลืนผ่านอินเทอร์เน็ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์นำข้อมูลจากจุดตรวจวัดที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์และพีแอลซี มาทำการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ และทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดุดกลืน จากนั้นส่งข้อมูลผ่านโมดูลไวไฟ (ESP8266) ไปยังที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่าย (NAS) ที่ได้ทำการติดตั้งไว้เพื่อแสดงผลของระบบทำความเย็นแบบดุดกลืนผ่านอินเทอร์เน็ต เพื่อแสดงผ่านเว็บไซต์ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ผังแสดงการเชื่อมต่อข้อมูลระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนแสดงผลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนผ่านระบบอินเทอร์เน็ต จะถูกวิเคราะห์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และถูกนำมาอภิปรายผลการแสดงสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

การออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

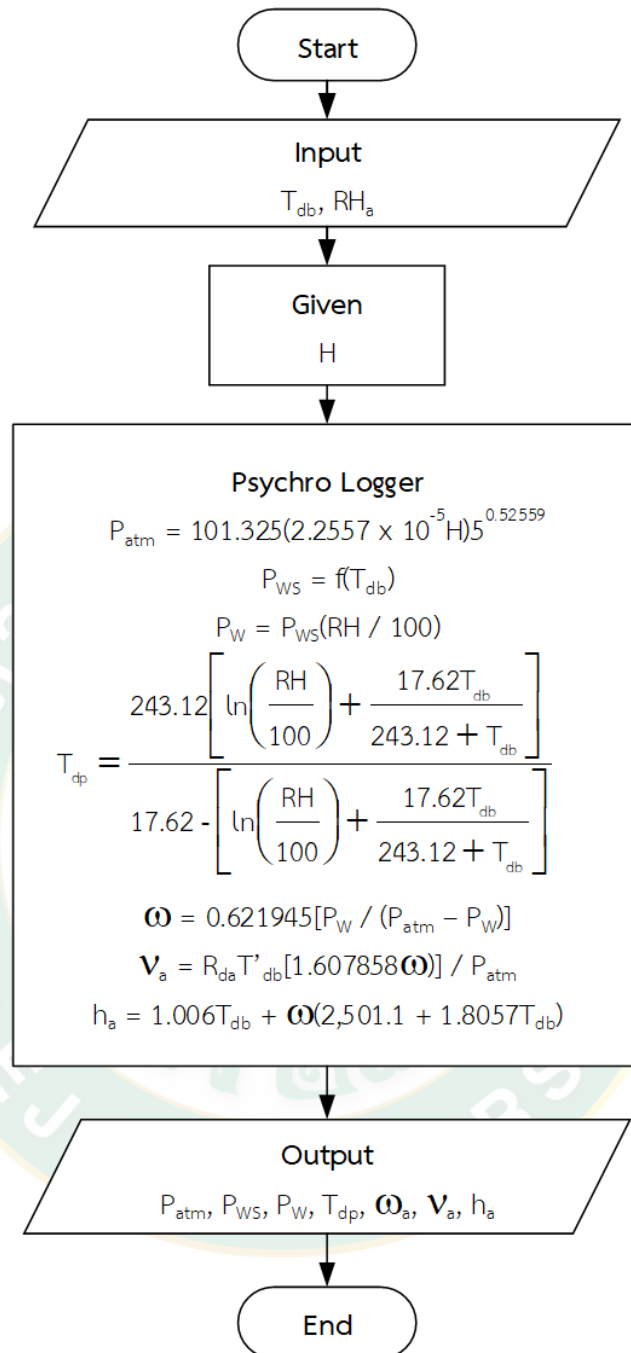
ออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ประกอบด้วยการพัฒนาโปรแกรมไซโครล็อกเกอร์ ออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดน้ำหนัก ติดตั้งจุดตรวจวัด ออกแบบระบบควบคุมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และสร้างระบบแสดงผลของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ผ่านอินเทอร์เน็ต โดยขั้นตอนการดำเนินงานมีดังนี้

1. พัฒนาโปรแกรมไซโครล็อกเกอร์และโปรแกรมการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

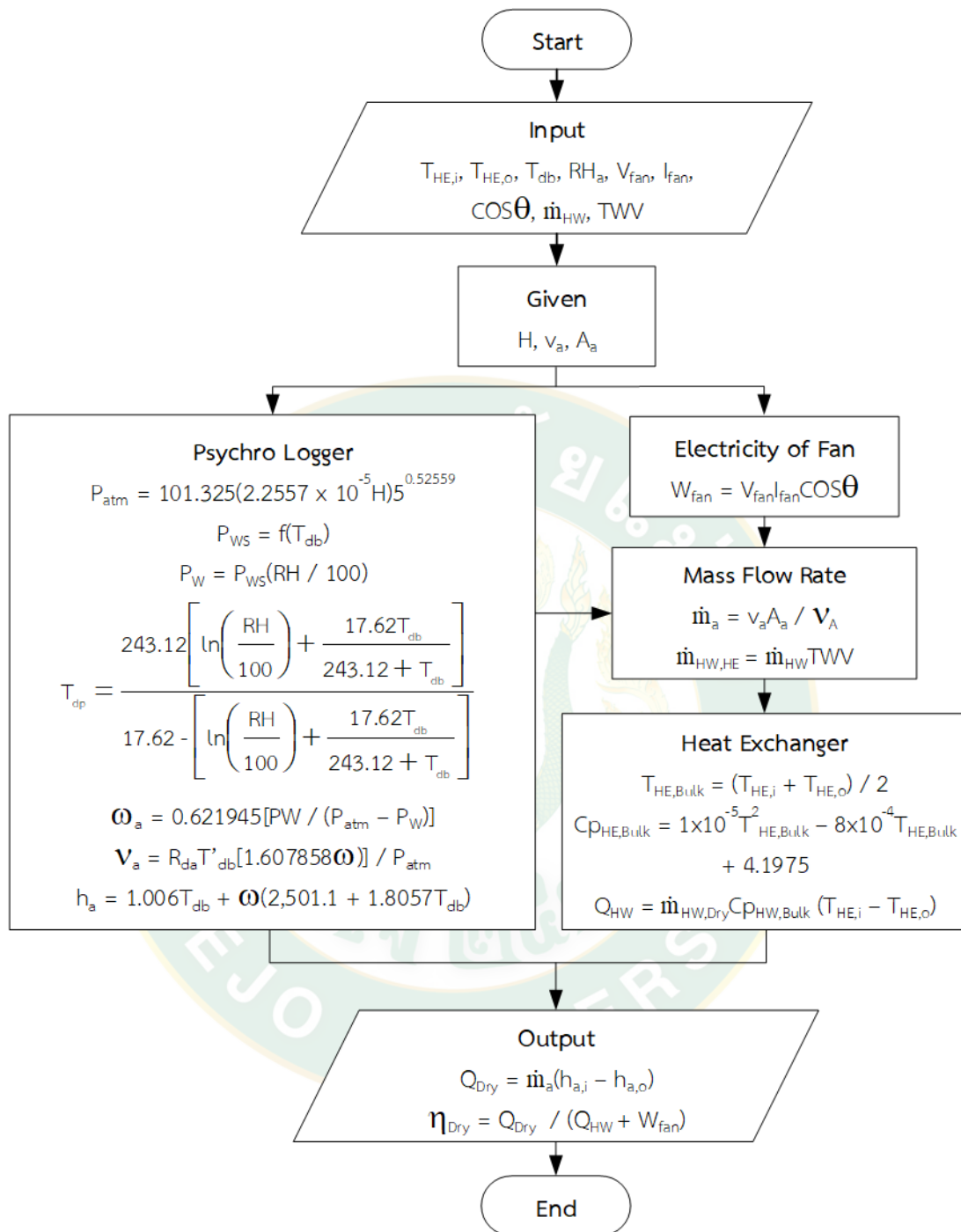
เมื่อต้องการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนในกระบวนการอบแห้งในการหาประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ในปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือที่ใช้ในการวัดอัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศโดยตรง จึงต้องใช้วิธีการตรวจวัดและคำนวณหาค่าด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งในขั้นตอนนี้เป็นการสร้างเครื่องมือที่ใช้หาคุณสมบัติของอากาศชื้น หรือเรียกอีกอย่างว่า ไซโครล็อกเกอร์ (Psychro Logger) ในที่นี้ได้พัฒนาด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่รับค่ามาจากอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (T_{db}) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH_a) เพื่อมาวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศชื้นโดยเริ่มจาก

ความดันชั้นบรรยากาศ (P_{atm}) ที่ใช้ระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล (H) มาทำการวิเคราะห์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ความดันย่อยไอน้ำ (P_{ws}) โดยทำการวิเคราะห์จากอุณหภูมิกะเปาะแห้ง เมื่อได้ค่าความดันย่อยไอน้ำจะสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ความดันไอน้ำ (P_w) โดยนำค่าความชื้นสัมพัทธ์มาวิเคราะห์ จากนั้นค่าความดันชั้นบรรยากาศและความดันไอน้ำสามารถนำมาวิเคราะห์หาอัตราส่วนความชื้น (ω) ได้ เมื่อได้ค่าอัตราส่วนความชื้นได้จะสามารถทำการวิเคราะห์ปริมาณจำเพาะของอากาศ (V_a) ในส่วนของการวิเคราะห์อุณหภูมิจุดกลั่นตัวของอากาศ (T_{dp}) จะวิเคราะห์จากอุณหภูมิกะเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ และเอนทัลปี (h_a) จะทำการวิเคราะห์จากอัตราส่วนความชื้นและอุณหภูมิกะเปาะแห้ง โดยรายละเอียดการวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศขึ้นแสดงในภาพที่ 18 จากนั้นนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปเปรียบเทียบกับแผนภูมิไซโครเมตริก เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศขึ้นด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

จากนั้นทำการพัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ โดยทำการออกแบบโปรแกรมวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าจากจุดตรวจวัดประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าและขาออก ($T_{HE,i}$ และ $T_{HE,o}$) อุณหภูมิกะเปาะแห้งภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ (T_{db}) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH_a) กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลม (I_{fan}) แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลม (V_{fan}) และอัตราการไหลของน้ำร้อน (\dot{m}_{HW}) จากนั้นนำค่าค่าดังกล่าวมาวิเคราะห์ร่วมกับค่าที่ทำการตรวจวัดครั้งเดียวได้แก่ ความเร็วลมเฉลี่ยจากผนังแจกลม (v_a) และพื้นที่ของผนังแจกลม (A_a) มาวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลม (W_{fan}) อัตราการไหลของน้ำร้อนที่เข้าไปยังแผงแลกเปลี่ยนความร้อน ($\dot{m}_{HW,HE}$) อัตราการไหลของลมร้อนจากผนังแจกลม (\dot{m}_a) อัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงแลกเปลี่ยนความร้อน (Q_{HW}) ในส่วนของการวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศขึ้นใช้โปรแกรมไซโครล็อกเกอร์ในการวิเคราะห์ และทำการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้ง (Q_{Dry}) ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ (η_{Dry}) ตามลำดับ โดยขั้นตอนการวิเคราะห์แสดงในภาพที่ 19



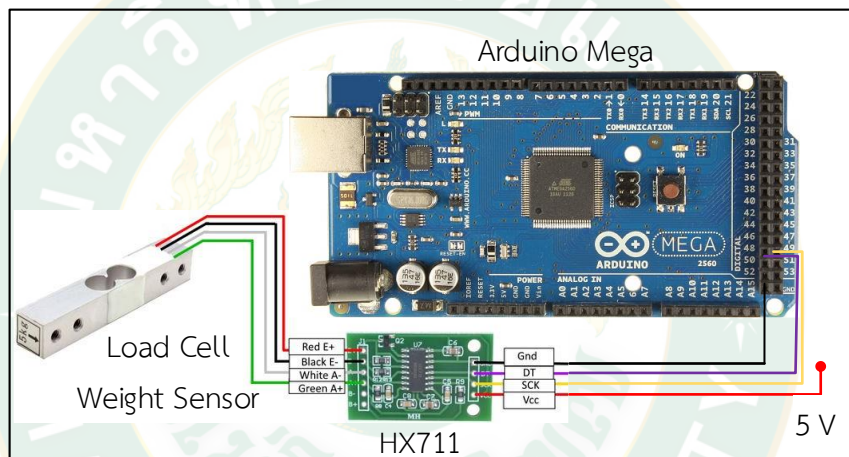
ภาพที่ 18 ฟังก์ชันวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศชื้น



ภาพที่ 19 ผังการวิเคราะห์ประสิทธิภาพห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

2. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดน้ำหนัก

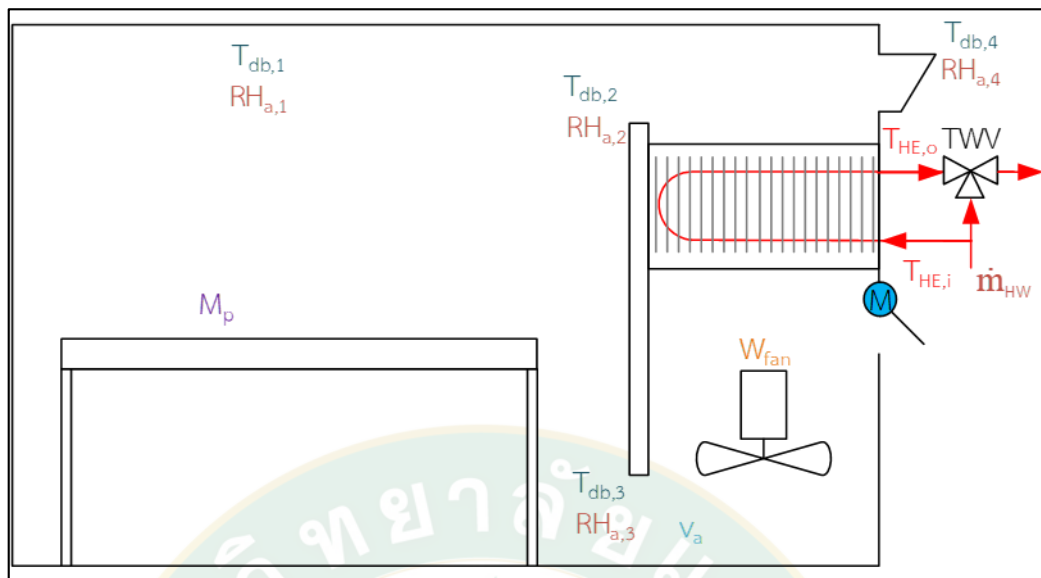
ระบบแสดงผลของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์นอกจากทำการวิเคราะห์และแสดงค่าต่าง ๆ แล้ว ในกระบวนการอบแห้งจำเป็นต้องแสดงค่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ โดยการออกแบบให้ตัวตรวจวัดโหลดเซลล์เป็นฐานรองรับของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ โดยโหลดเซลล์นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนจากแรงหรือน้ำหนักที่กระทำต่อตัวโหลดเซลล์เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ผ่านโมดูลแปลงสัญญาณ HX711 และส่งข้อมูลเข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นทำการติดตั้งตัวตรวจวัดภายในห้องอบแห้งและแสดงผลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตต่อไป โดยการต่อวงจรอุปกรณ์ตรวจวัดน้ำหนักผลิตภัณฑ์แสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 การเชื่อมต่อตัวตรวจวัดโหลดเซลล์เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

3. ติดตั้งจุดตรวจวัดของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ในขั้นตอนนี้จะทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดและอุปกรณ์ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิแสดงในภาพที่ 21 โดยจุดวัดของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ประกอบด้วยอุณหภูมิน้ำร้อน ($T_{HE,i}$ และ $T_{HE,o}$) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง ($T_{db,1}$ - $T_{db,4}$) ความชื้นสัมพัทธ์ ($RH_{a,1}$ - $RH_{a,4}$) ความเร็วลม (v_a) อัตราการไหลของน้ำร้อน (m_{HW}) และกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลม (W_{fan}) รายละเอียดแสดงในตารางที่ 5



ภาพที่ 21 แผนภาพของจุดตรวจวัดและระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิของอบแห้งแบบรวมศูนย์

ตารางที่ 5 รายละเอียดจุดตรวจวัดของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

จุดวัด	ตัวแปรที่วัด
$T_{HE,i}$	อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
$T_{HE,o}$	อุณหภูมิน้ำร้อนออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
$T_{db,1}$	ค่าอุณหภูมิบริเวณเพดานห้องอบแห้ง
$T_{db,2}$	ค่าอุณหภูมิบริเวณผนังแจกลมขาเข้า
$T_{db,3}$	ค่าอุณหภูมิบริเวณผนังแจกลมขาออก
$T_{db,4}$	ค่าอุณหภูมิภายนอกห้องอบแห้ง
$RH_{a,1}$	ค่าความชื้นสัมพัทธ์บริเวณเพดานห้องอบแห้ง
$RH_{a,2}$	ค่าความชื้นสัมพัทธ์บริเวณผนังแจกลมขาเข้า
$RH_{a,3}$	ค่าความชื้นสัมพัทธ์บริเวณผนังแจกลมขาออก
$RH_{a,4}$	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องอบแห้ง
\dot{m}_{HW}	อัตราการไหลของน้ำร้อน
W_{fan}	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลม
M_p	น้ำหนักตัวอย่างผลิตภัณฑ์อบแห้ง
V_a	ค่าความเร็วลมเฉลี่ยออกจากผนังแจกลม

อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมและรับค่าจากตัวตรวจวัดเพื่อทำการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหลัก และทำการแสดงผลไปยังจอแสดงผลแอลซีดี ในส่วนของอุปกรณ์ควบคุมความชื้นและอุณหภูมิของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จะใช้วาล์วสามทางไฟฟ้าในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เข้าไปยังแผงแลกเปลี่ยนความร้อน และใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการเปิดปิดปล่องอากาศเข้าของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ รายละเอียดคุณสมบัติของอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 อุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

อุปกรณ์	หน้าที่	คุณสมบัติ
1. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ 	รับ ค่า จาก จุด ต ร ว จ วัด วิเคราะห์ประสิทธิภาพและควบคุมห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์	<ul style="list-style-type: none"> - ชื่อรุ่น Arduino Mega 2560 - ใช้แรงดันไฟฟ้า 7-12 V - สัญญาณนาฬิกา 16 MHz - สัญญาณขาเข้า-ออก 60 Pin - รองรับช่องทางสื่อสารอนุกรม RS 232 RS 485 และ I²C
2. จอแสดงผลแอลซีดี 	แสดงค่าต่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์	<ul style="list-style-type: none"> - ชื่อรุ่น LCD I²C - แรงดันไฟฟ้าเข้า 5 V - จำนวนตัวอักษร 20x4 char - อยู่ในรูปแบบการสื่อสารแบบอนุกรม (I²C)
3. เทอร์โมคัปเปิล 	วัดค่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่แผงแลกเปลี่ยนความร้อนของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์	<ul style="list-style-type: none"> - ชื่อรุ่น DS18B20 - แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 3.3-5 V - ช่วงอุณหภูมิที่สามารถวัดได้ -55-125 °C - ความคลาดเคลื่อน ±0.5 °C ช่วง -10-85 °C - ความคลาดเคลื่อน ±1.5 °C ช่วง น้อยกว่า -10 °C และมากกว่า 85 °C

อุปกรณ์	หน้าที่	คุณสมบัติ
<p>4. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์</p> 	<p>ตรวจวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ซีอรุ่น DHT22 - แรงดันไฟฟ้าเข้า 3.3-6 V - ช่วงค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ 0-100% - ช่วงค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่วัดได้ -40-80 °C - ความคลาดเคลื่อน ± 2 %RH และ ± 0.5 °C
<p>5. เครื่องมือวัดอัตราการไหล</p> 	<p>วัดอัตราการไหลของน้ำร้อน น้ำหล่อเย็น และน้ำเย็น</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ซีอรุ่น TDH 100H - การแสดงผล 16x4 character - ช่วงของอัตราการไหลที่วัดได้ 2.5-950 L/s - ความคลาดเคลื่อน $\pm 1\%$
<p>6. หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า</p> 	<p>วัดกระแสไฟฟ้าของพัดลมภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ซีอรุ่น SCT013 - กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ 0-100 A - แปลงกระแสเป็น 0-50 mA - ความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$
<p>7. อุปกรณ์ตรวจวัดน้ำหนัก</p> 	<p>วัดน้ำหนักของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ภายในห้องอบแห้ง</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ซีอรุ่น Load Cell Weight Sensor 2 kg - ใช้งานร่วมกับวงจร HX711 - ความคลาดเคลื่อน ± 5 g

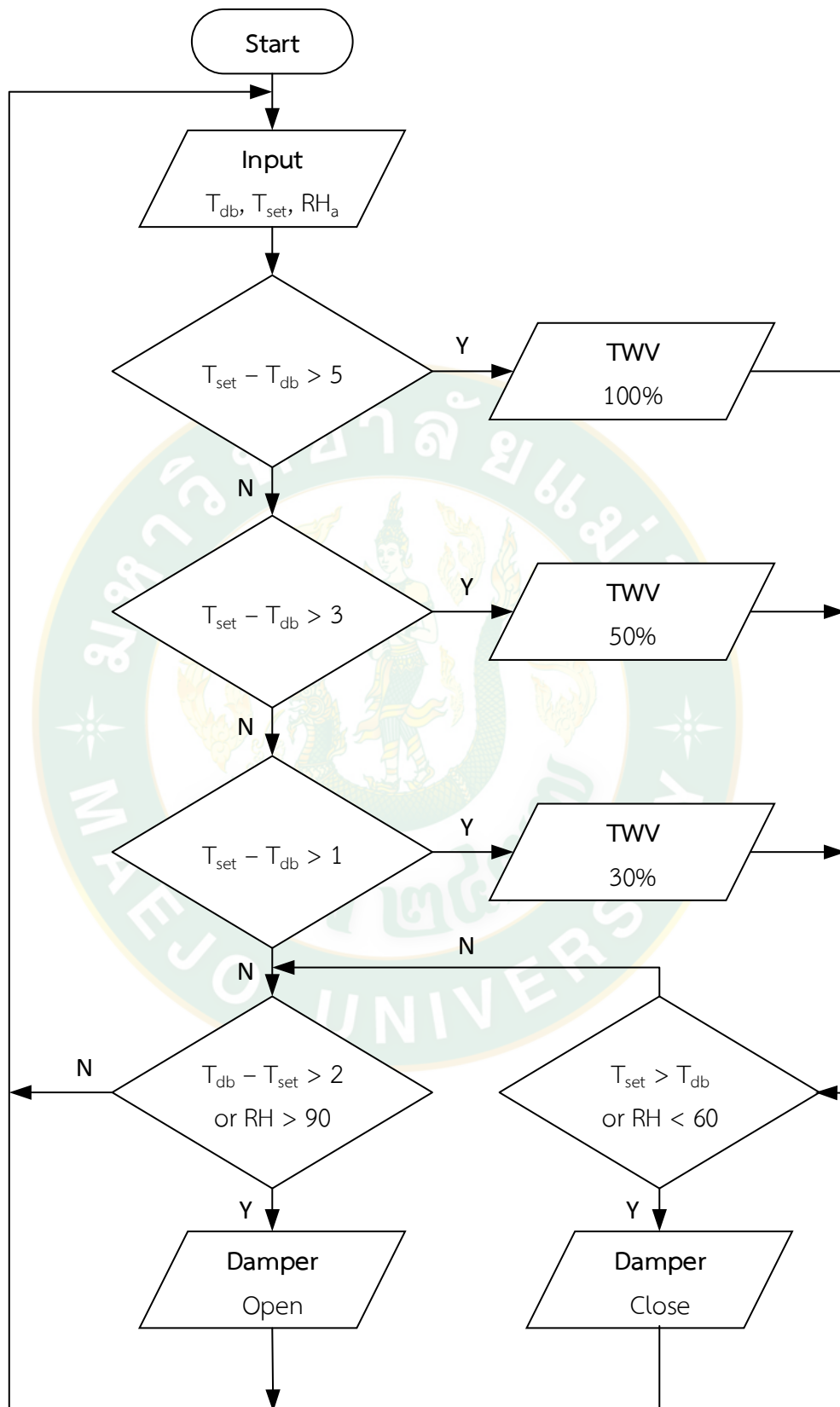
อุปกรณ์	หน้าที่	คุณสมบัติ
8. เครื่องมือวัดความเร็วลม 	วัดความเร็วลมจากผนังแจกลมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์	<ul style="list-style-type: none"> - ซีอรุ่น HT-9819 - แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 9 V - ช่วงการวัด 0.40-30.00 m/s - ความละเอียด 0.01 m/s - ความคลาดเคลื่อน $\pm 3\%$
9. วาล์วสามทางไฟฟ้า 	ใช้ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เข้าไปยังแผงแลกเปลี่ยนความร้อน	<ul style="list-style-type: none"> - ซีอรุ่น RVAN5-24A - แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 24 V - กระแสไฟฟ้า 3 A - แรงดันไฟฟ้าแสดงตำแหน่งของวาล์ว 0-10 V
10. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 	ใช้ในการควบคุมการเปิดปิดปล่องอากาศเข้าของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์	<ul style="list-style-type: none"> - ซีอรุ่น A32 - แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 12 V - กระแสไฟฟ้า 2 A

4. ออกแบบระบบควบคุมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

การออกแบบและสร้างระบบควบคุมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์แบ่งการควบคุมเป็น 2 ระบบ คือ ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง และระบบควบคุมอุณหภูมิ โดยการทำงานของระบบควบคุมความชื้นของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และตัววัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งในการควบคุมความชื้นภายในห้อง เนื่องจากกระบวนการอบแห้งน้ำที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์จะมีการระเหยมาสู่อากาศภายในห้องอบแห้งทำให้สัดส่วนความชื้นภายในห้องอบแห้งสูงขึ้น ส่งผลให้การคายความชื้นของผลิตภัณฑ์ภายในห้องอบแห้งไม่คายความชื้นออกมาอย่างเต็มที่ จึงต้องมีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์โดยการควบคุมการเปิดและปิดปล่องให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60-90% และในขณะเดียวกันจะทำการควบคุมวาล์วสามทางที่ทำหน้าที่ควบคุม

อัตราการไหลของน้ำร้อนที่เข้าไปยังแผงแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อรักษาระดับอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งให้อยู่ในช่วงที่กำหนดโดยผู้ใช้งาน หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบระบบควบคุมความชื้นของห้องอบแห้งก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง และทำการพิจารณาค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในห้องเพื่อทำการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิของห้องอบแห้ง แผนผังการทำงานของระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิแสดงในภาพที่ 22

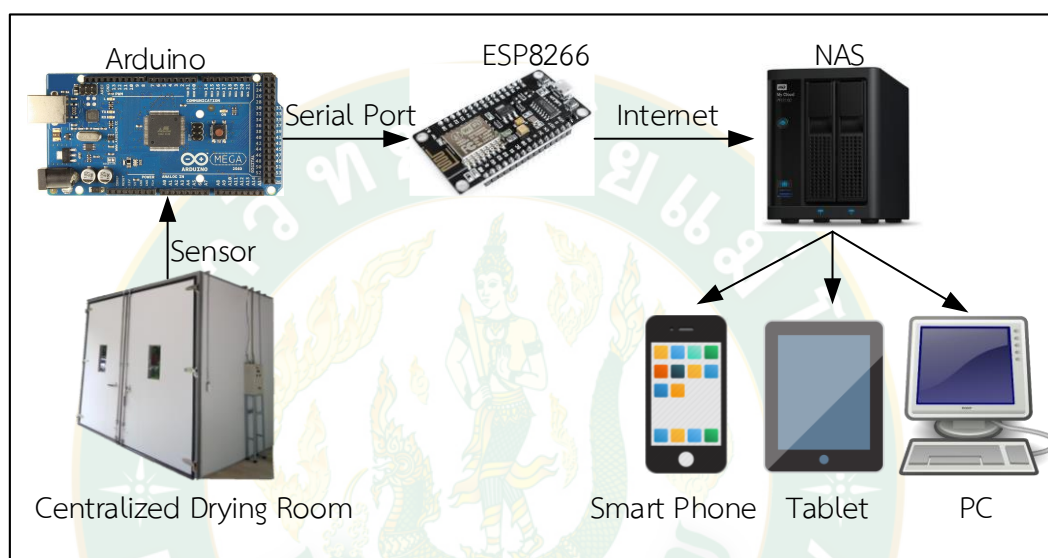




ภาพที่ 22 ลำดับการทำงานของระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง

5. สร้างระบบแสดงผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ผ่านอินเทอร์เน็ต

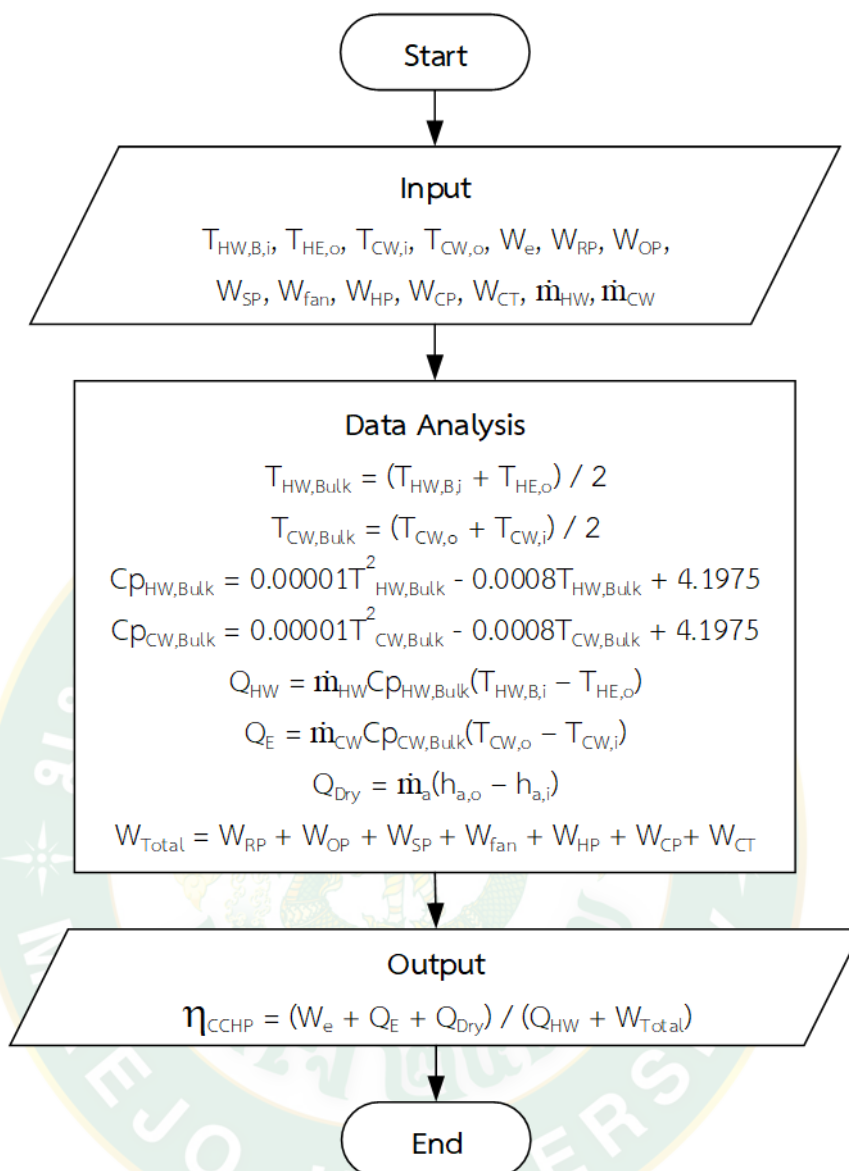
หลังจากทำการออกแบบระบบแบบแสดงผลและวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ จะส่งข้อมูลที่ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ผลผ่านโมดูลไวไฟไปยังอินเทอร์เน็ตโดยนำค่าต่าง ๆ ของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ไปยังที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่ายเพื่อแสดงผลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตดังแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ผังแสดงการเชื่อมต่อข้อมูลห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์แสดงผลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

การสร้างระบบแสดงผลและควบคุมของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ด้วยระบบดังกล่าวได้ใช้พลังงานความร้อนจากแหล่งเดียวกัน จึงต้องมีการวิเคราะห์ผลการผลิตพลังงานร่วม โดยการนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้มสารทำงาน (Q_B) จากวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องระเหย (Q_E) จากระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ (Q_{Dry}) เป็นพลังงานที่ใช้ประโยชน์ ทารด้วยพลังงานที่ป้อนเข้าทั้งหมด (W_{total} และ Q_{HW}) เพื่อทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการผลิตพลังงานร่วมของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน (η_{CCHP}) โดยขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพแสดงในภาพที่ 24



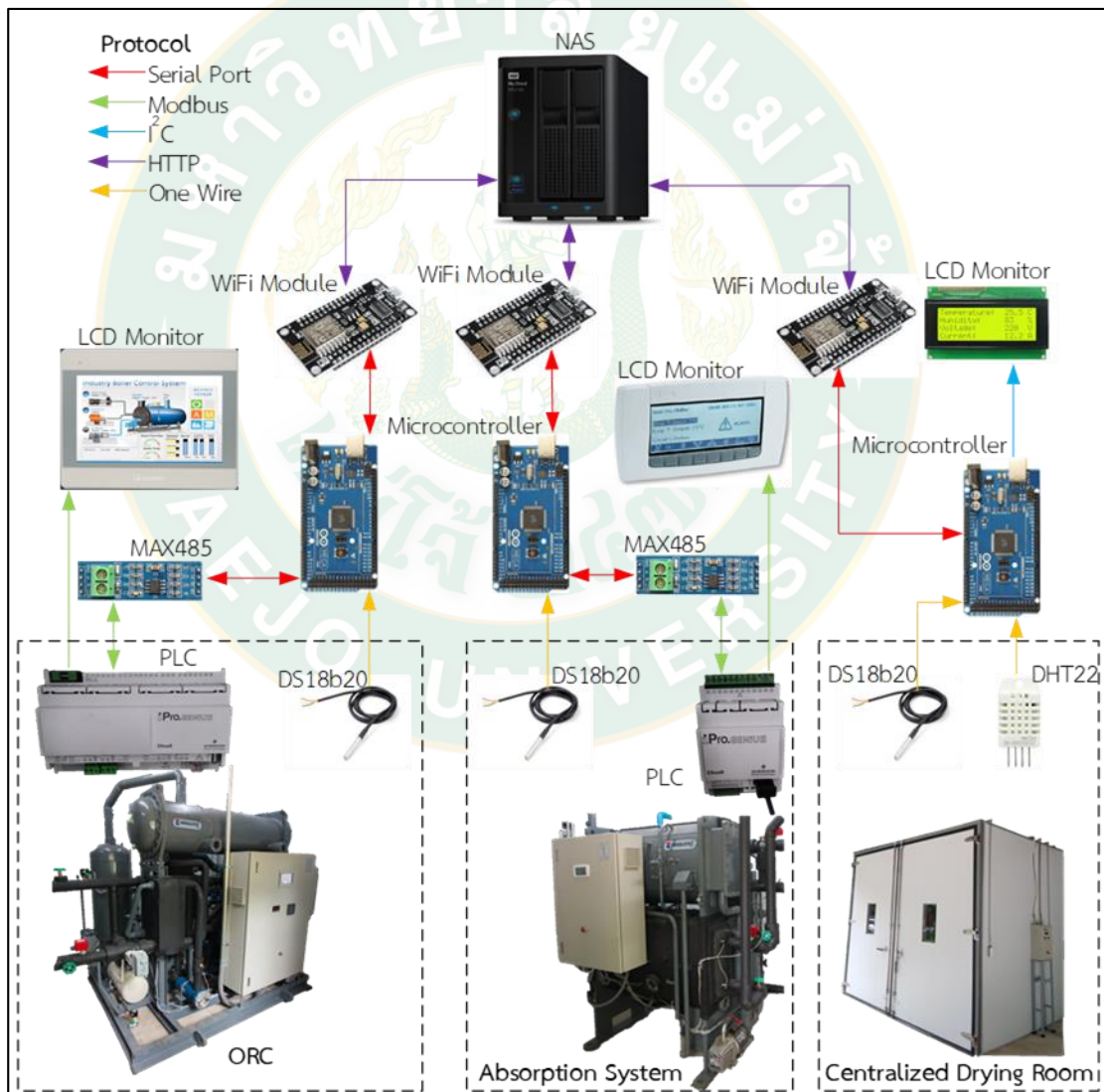
ภาพที่ 24 ขั้นตอนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพร้อมกับการทำความเย็นและความร้อน

การเชื่อมต่อของอุปกรณ์เทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพได้ทำการออกแบบการเชื่อมต่อเชื่อมต่อของอุปกรณ์และทำการแสดงค่าต่าง ๆ ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ผังการเชื่อมต่อระบบรวมแสดงในภาพที่ 25 โดยมีรายละเอียดของการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ดังนี้

- ตัวตรวจวัดที่ทำการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ จะใช้วิธีการเชื่อมต่อแบบวันไว (One Wire) ซึ่งเป็นระบบเชื่อมต่อที่รองรับของตัวตรวจวัดอุณหภูมิ DS18B20 และ DHT22

- จุดตรวจวัดของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์และระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ที่เชื่อมต่อกับพีแอลซีจะมีการประมวลผลและแสดงค่าไปยังจอแสดงผลแอลซีดีผ่านทางสื่อสารอนุกรม RS485

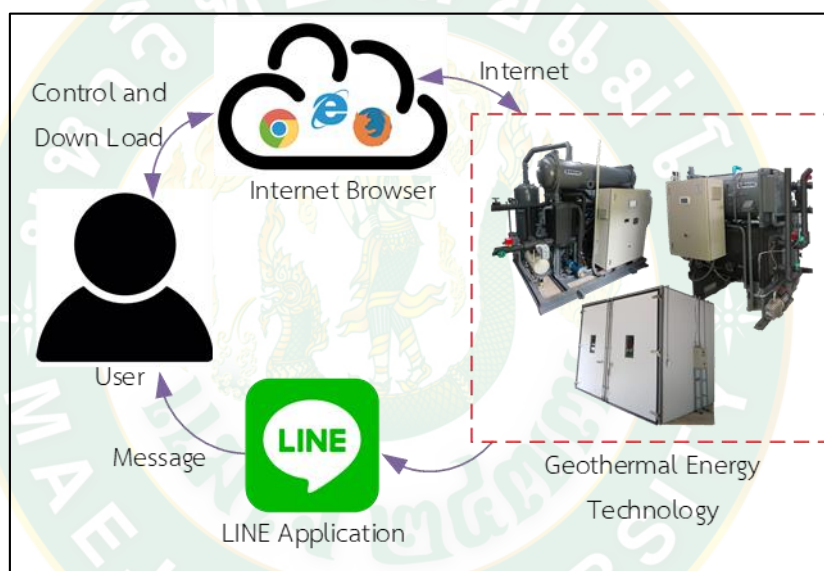
- จอแสดงผลแอลซีดีของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์มีการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านช่องทางสื่อสารไอสแควร์ซี (I²C)
- โมดูลแปลงสัญญาณ MAX485 ทำการเชื่อมต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์กับพีแอลซีผ่านช่องทางสื่อสาร RS485 และแปลงสัญญาณการเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านช่องทาง RS232
- ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อกับโมดูลไวไฟผ่านช่องทางสื่อสาร RS232
- โมดูลไวไฟส่งข้อมูลที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปยังที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่ายด้วยไฮเปอร์เทกซ์ทรานเฟอร์โปรโตคอล (HyperText Transfer Protocol: HTTP)



ภาพที่ 25 ผังแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ

การสร้างระบบแจ้งเตือน ควบคุม และสำรองข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

ระบบแจ้งเตือนและควบคุมผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของวิศวจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ทำการแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลระบบเมื่อมีการเริ่มต้นการทำงานของระบบโดยใช้แอปพลิเคชันไลน์ (LINE Application) ในการแจ้งเตือนให้แก่ผู้ดูแลระบบ และผู้ดูแลระบบสามารถสั่งการทำงาน (เปิดและปิด) ในระยะไกลได้บนเว็บไซต์ด้วยอินเทอร์เน็ตเบราว์เซอร์ (Internet Browser) เป็นตัวกลางในการรับคำสั่ง และในขณะเดียวกันผู้ดูแลระบบสามารถทราบสถานะของระบบได้เมื่อมีการเปิดหรือปิดที่ระบบ อีกทั้งผู้ใช้งานระบบสามารถดาวน์โหลดข้อมูลย้อนหลังได้จากเว็บไซต์ดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ผังแสดงการเชื่อมต่อของระบบแจ้งเตือนและควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ต

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดสอบ

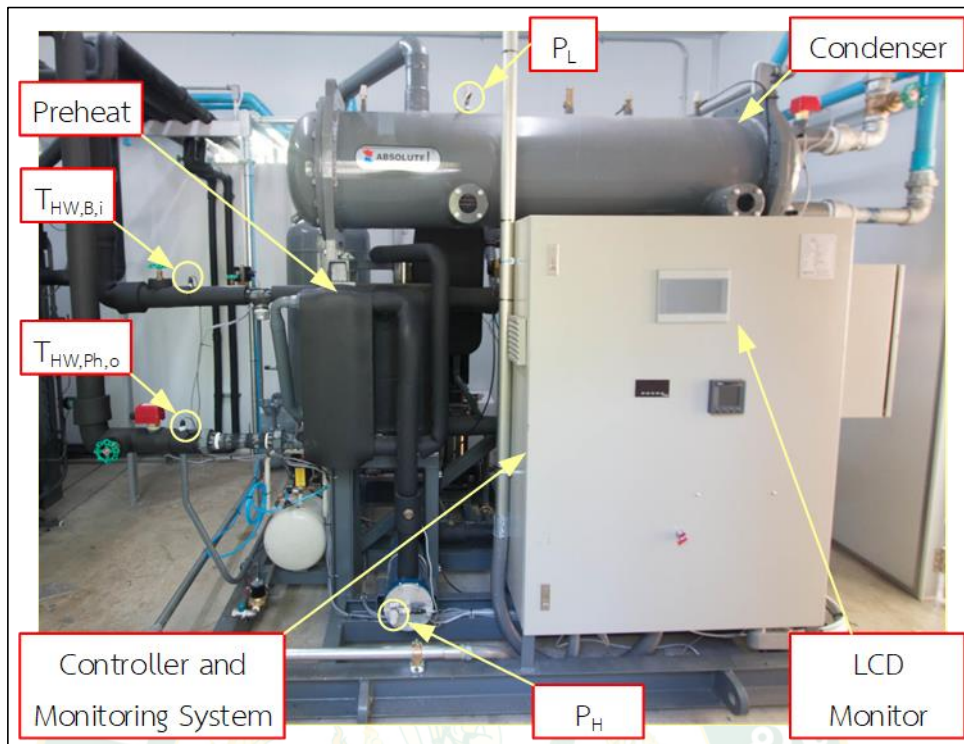
ผลจากการออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ ประกอบด้วย ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ระบบแสดงผลการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนผ่านอินเทอร์เน็ท และระบบแจ้งเตือนและควบคุมผ่านระบบอินเทอร์เน็ทโดยมีรายละเอียดดังนี้

ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

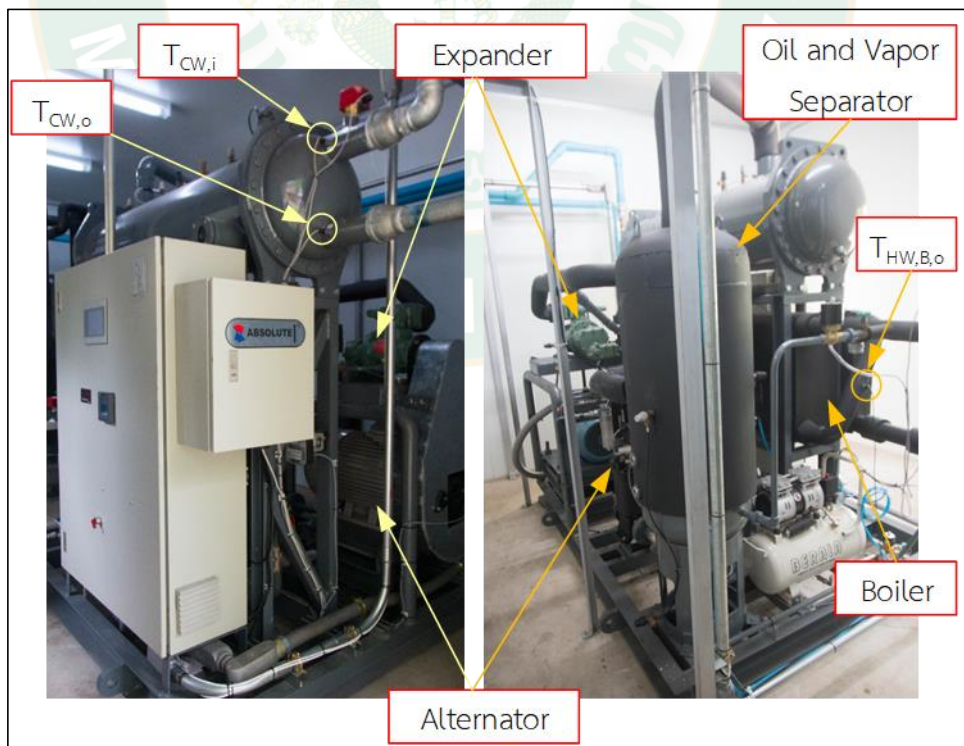
ผลการออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ที่ได้ทำการติดตั้งจุดตรวจวัดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว นำผลจากจุดตรวจวัดมาแสดงค่าต่าง ๆ และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ อีกทั้งแสดงผลผ่านระบบอินเทอร์เน็ท โดยรายละเอียดมีดังนี้

1. ระบบแสดงผลและควบคุมของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

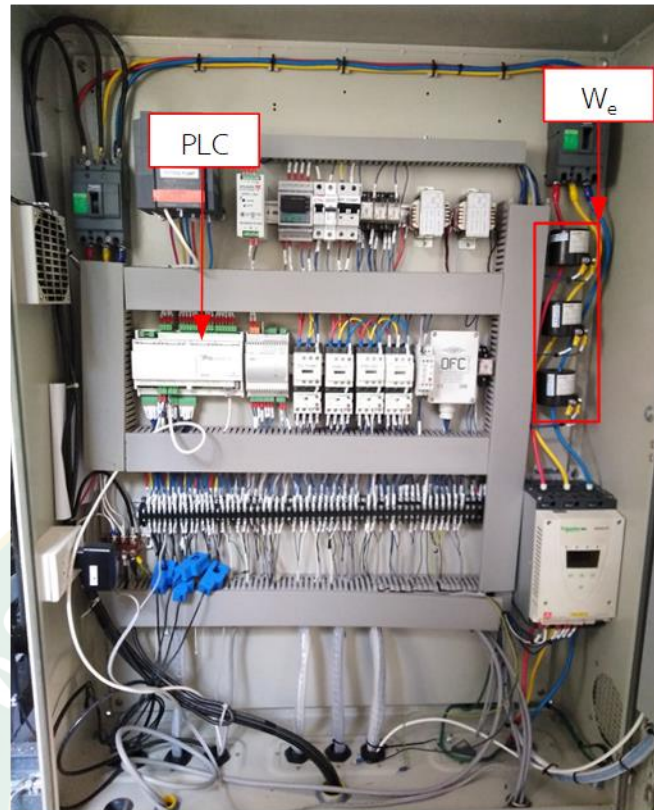
ระบบแสดงผลควบคุมหลังจากทำการติดตั้งจุดตรวจวัดของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ จุดตรวจวัดอุณหภูมิ น้ำร้อน น้ำหล่อเย็น และสารทำงานจะถูกติดตั้งในลักษณะฝังเข้าไปในตัวท่อน้ำร้อนและตัวอุปกรณ์ ตัวอย่างเช่น จุดตรวจวัดอุณหภูมิ น้ำร้อนและน้ำหล่อเย็น ($T_{HW,B,i}$ $T_{HW,B,o}$ $T_{HW,Ph,o}$ $T_{CLW,i}$ และ $T_{CLW,o}$) เป็นจุดวัดที่ฝังอยู่บริเวณท่อของระบบ และจุดตรวจวัดแรงดันสารทำงาน (P_H และ P_L) เป็นจุดวัดที่ฝังเข้าไปในตัวอุปกรณ์ดังแสดงในภาพที่ 27 และ 28 ในส่วนของอุปกรณ์ของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์โดยหลักประกอบด้วยหม้อต้มสารทำงาน เครื่องควบแน่น (Condenser) ปั๊มสารทำงาน (Refrigerant Pump) ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น (Oil Pump) พรีคูล (Precool) พรีฮีท (Preheat) เครื่องขยายตัว (Expander) เครื่องแยกน้ำมันและสารทำงาน (Oil and Vapor Separator) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Alternator) และระบบควบคุม (Controller and Monitoring System) ระบบควบคุมของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์มีพีแอลซีเป็นส่วนควบคุมหลักและแสดงค่าต่าง ๆ ไปยังจอแสดงผลแอลซีดี นอกจากนี้ภายในตู้ควบคุมได้ติดตั้งหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้ในการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้า โดยจุดติดตั้งหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าวัดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (W_e) และอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ในระบบ ดังแสดงในภาพที่ 29 และ 30



ภาพที่ 27 อุปกรณ์และจุดตรวจวัดของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ 1



ภาพที่ 28 อุปกรณ์และจุดตรวจวัดของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ 2



ภาพที่ 29 อุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมของวิทยาลัยการแรงดันอินทรีย์

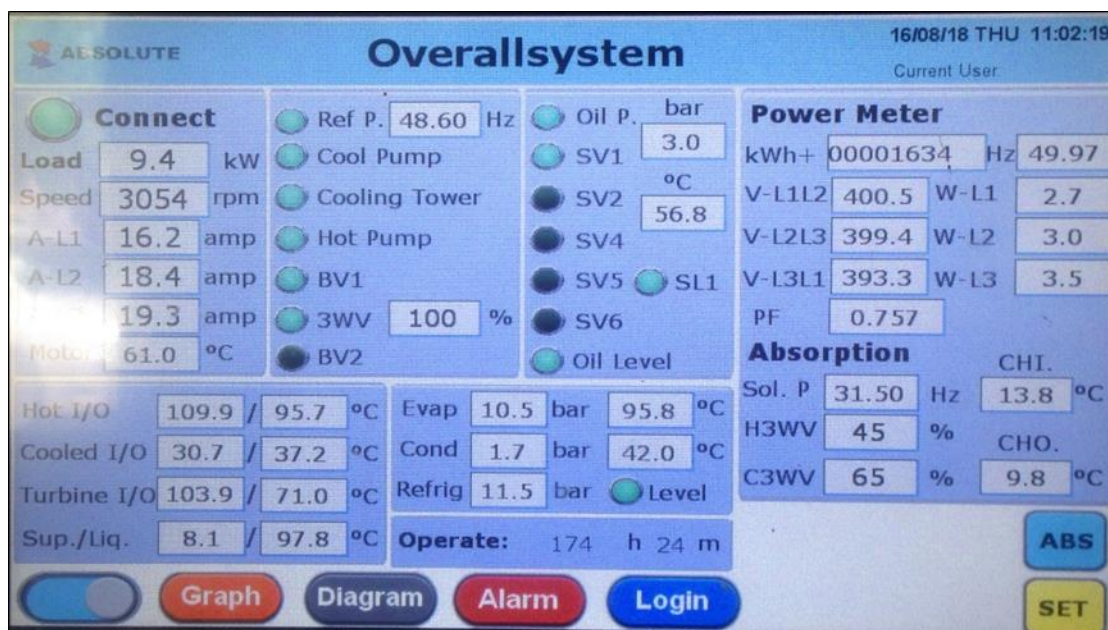


ภาพที่ 30 อุปกรณ์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ



ภาพที่ 31 พีแอลซีควบคุมของวิศวจักรแรงคินสารอินทรีย์

จอแสดงผลแอลซีดีจะทำการดึงข้อมูลจากพีแอลซีผ่านทางช่องทางสื่อสารอนุกรม (RS 485) เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าออกหม้อต้มสารทำงาน อุณหภูมิสารทำงานในระบบ แรงดันสารทำงาน และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ดังแสดงในภาพที่ 32 จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการนำข้อมูลจุดตรวจวัดจากพีแอลซีของวิศวจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านทางช่องทางสื่อสารอนุกรม (RS 485) และจุดตรวจวัดอื่น ๆ เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของวิศวจักรแรงคินสารอินทรีย์ และส่งข้อมูลไปแสดงผลยังที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่ายและเว็บไซต์ ด้วยโมดูลไวไฟผ่านทางช่องทางสื่อสารอนุกรม (RS 232)

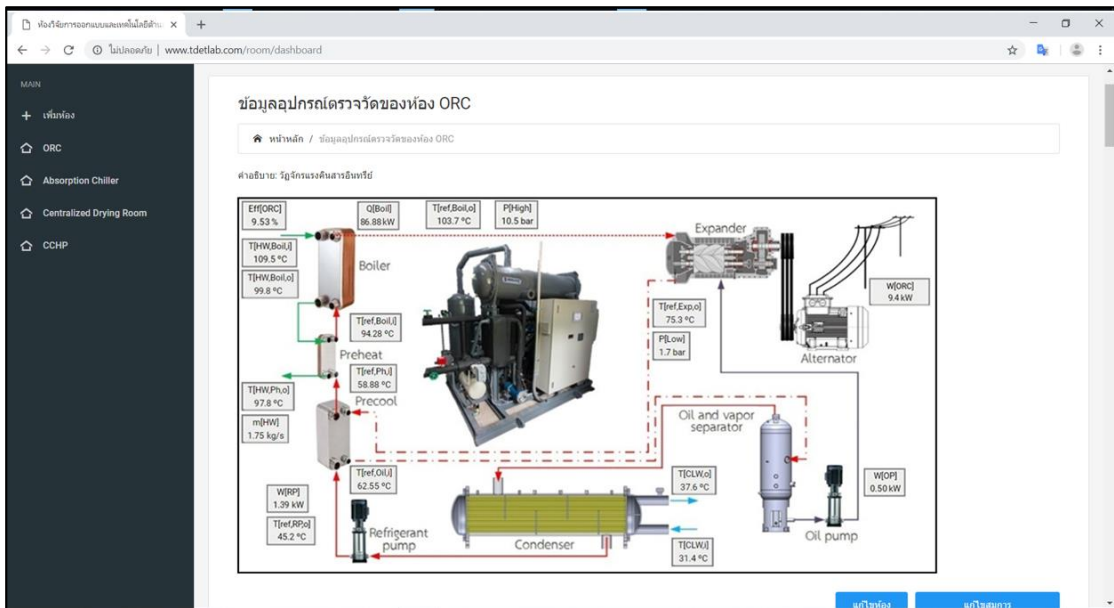


ภาพที่ 32 จอแสดงผลแอลซีดีของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

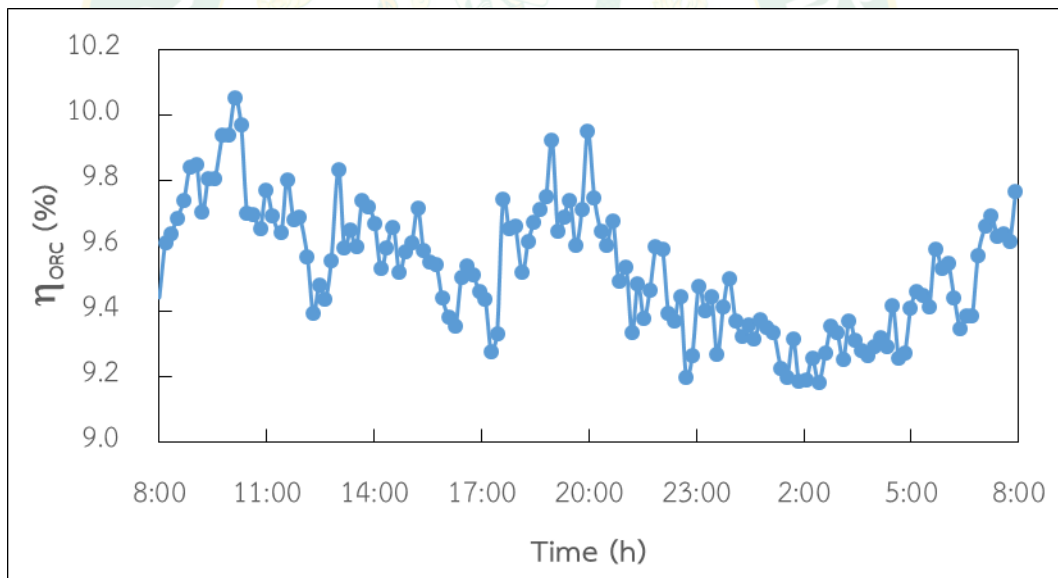
2. ระบบแสดงผลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านอินเทอร์เน็ต

ระบบแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ตแบบเรียลไทม์ สามารถเยี่ยมชมผ่านเว็บไซต์ “www.tdetlab.com” ผู้ใช้งานสามารถเข้าเยี่ยมชมระบบอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ โดยระบบแสดงผลจุดตรวจวัดและการวิเคราะห์ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านอินเทอร์เน็ตแบบเรียลไทม์สามารถเยี่ยมชมได้ในหน้าเว็บไซต์ “www.tdetlab.com/room/dashboard?room_id=5” ประกอบด้วย อุณหภูมิของน้ำร้อนและสารทำงาน กำลังไฟฟ้าของปั๊มสารทำงานและปั๊มน้ำมันหล่อลื่น ความดันสารทำงาน อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้มสารทำงาน ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ และอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 33

จากการแสดงผลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์นำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพ พบว่า อุณหภูมิน้ำร้อนที่เข้ามายังหม้อต้มสารทำงานที่ประมาณ 109.5 °C ผลต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าและน้ำร้อนขาออกมีค่าคงที่ประมาณ 10 °C และอัตราการไหลของน้ำร้อนมีความเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่ประมาณ 1.75 kg/s ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้มสารทำงานแปรเปลี่ยนตามช่วงอยู่ที่ประมาณ 86.88 kW กำลังไฟฟ้าที่วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ที่ผลิตได้ประมาณ 9.40 kW_e และการป้อนกำลังไฟฟ้าให้แก่ปั๊มสารทำงานและปั๊มน้ำมันหล่อลื่นประมาณ 1.80 kW_e ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์เฉลี่ยที่ 9.53% ดังแสดงในภาพที่ 34



ภาพที่ 33 หน้าต่างแสดงผลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านอินเทอร์เน็ท



ภาพที่ 34 ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์

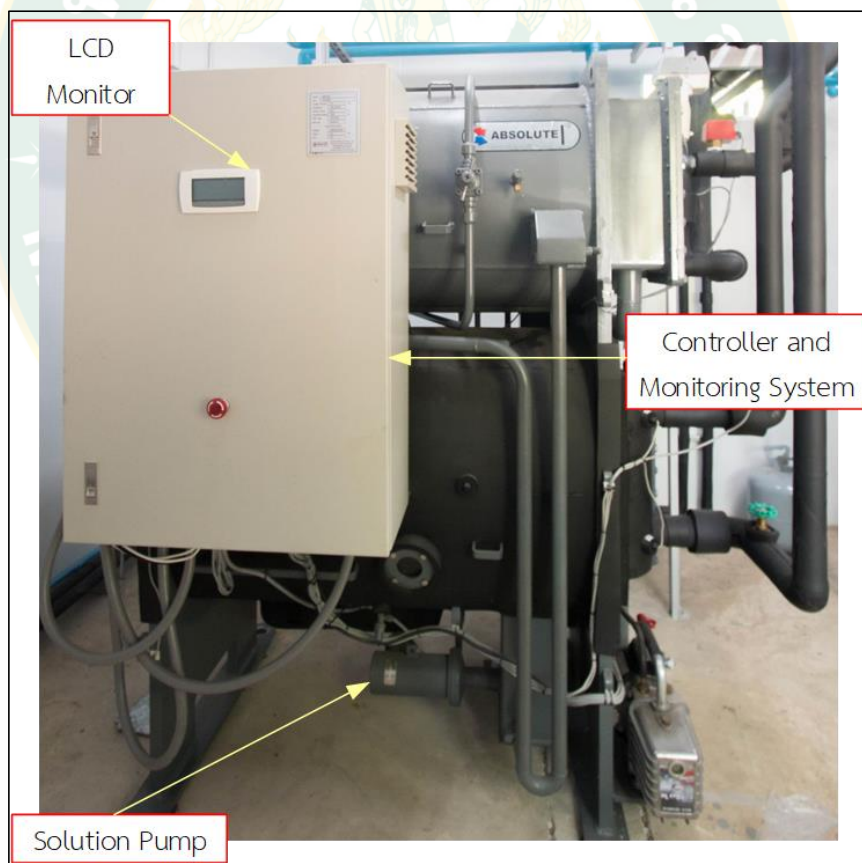
ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

ผลการออกแบบและสร้างระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน เมื่อได้ทำการติดตั้งจุดตรวจวัดของระบบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว และผลที่ได้จากจุดตรวจวัดจะนำมาแสดงค่ายังหน้าจอแสดงผลแอลซีดี และวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของระบบทำ

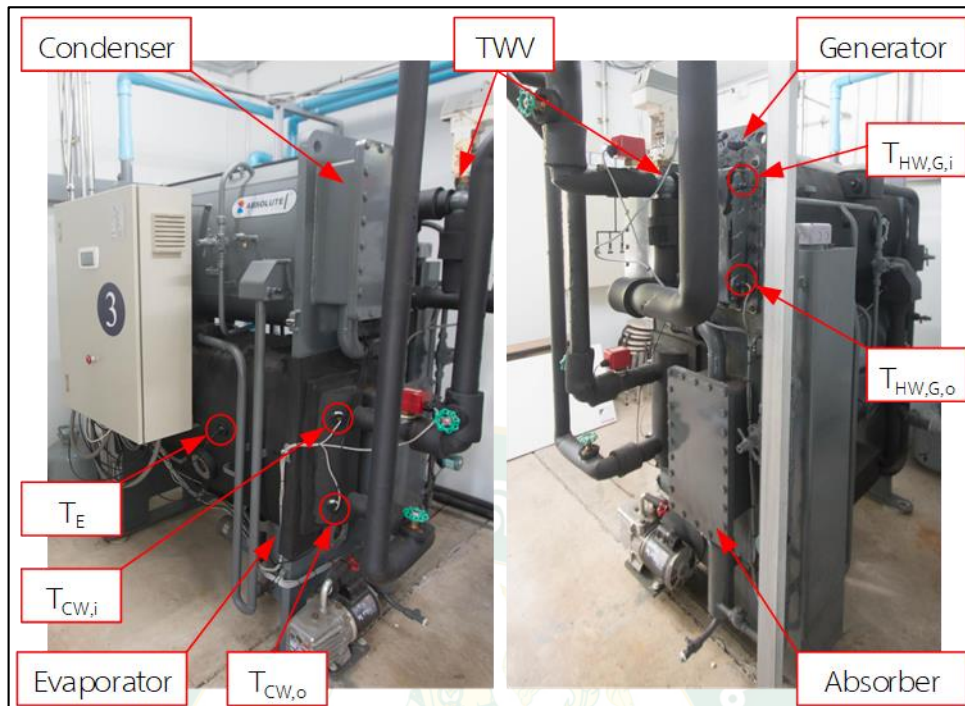
ความเย็นแบบดูดกลืน แล้วนำค่าที่ได้ต่าง ๆ ไปแสดงผลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต โดยรายละเอียดของผลการออกแบบและสร้างมีดังนี้

1. ระบบแสดงผลและควบคุมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

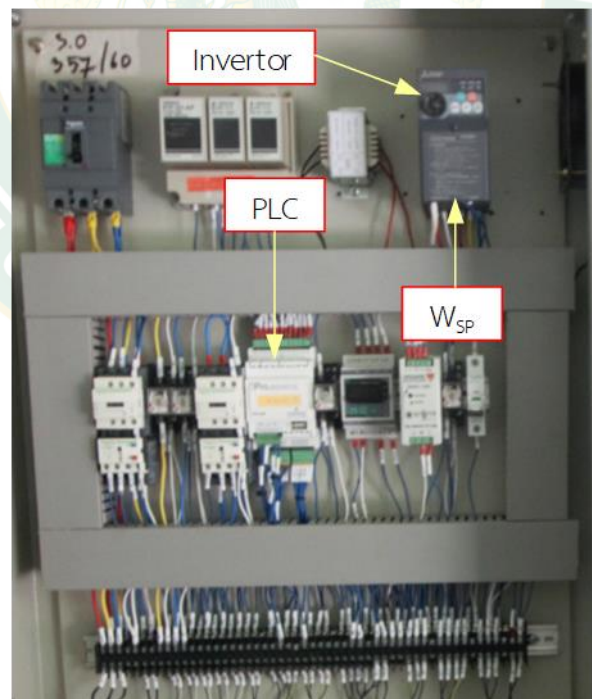
ในส่วนของอุปกรณ์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนประกอบด้วยเจนเนอเรเตอร์ เครื่องควบแน่น เครื่องระเหย เครื่องดูดกลืน ป้อนสารละลาย และระบบควบคุม หลังจากทำการติดตั้งจุดตรวจวัดของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน จุดตรวจวัดอุณหภูมิน้ำร้อนน้ำหล่อเย็นและสารทำงานที่ถูกติดตั้งในลักษณะฝังเข้าไปในตัวท่อน้ำร้อนและตัวอุปกรณ์เช่นเดียวกันกับจุดตรวจวัดของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิน้ำร้อนก่อนเข้าเจนเนอเรเตอร์ ($T_{HW,G,i}$) อุณหภูมิน้ำร้อนออกจากเจนเนอเรเตอร์ ($T_{HW,G,o}$) อุณหภูมิน้ำเย็นก่อนเข้าเครื่องระเหย ($T_{CW,i}$) อุณหภูมิน้ำเย็นออกจากเครื่องระเหย ($T_{CW,o}$) อุณหภูมิสารทำงานที่เครื่องระเหย (T_E) ดังแสดงในภาพที่ 35 และ 36



ภาพที่ 35 อุปกรณ์และจุดตรวจวัดของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน 1



ภาพที่ 36 อุปกรณ์และจุดตรวจวัดของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน 2



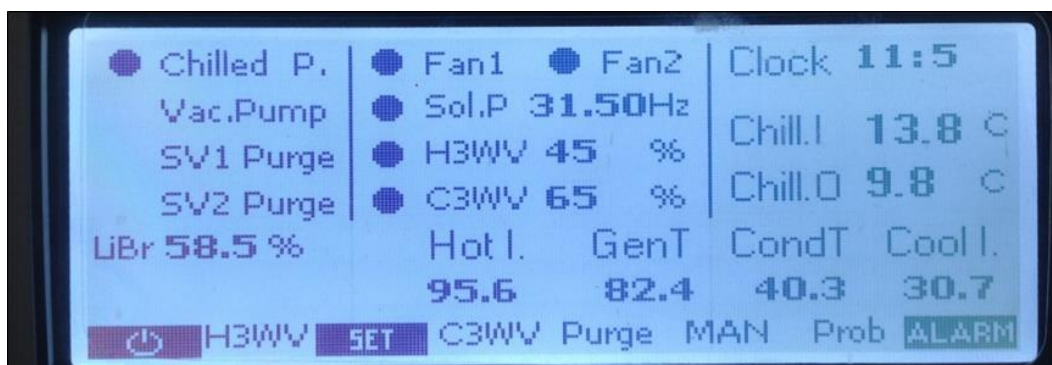
ภาพที่ 37 อุปกรณ์ภายในตู้ควบคุมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

ระบบแสดงผลและควบคุมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจะใช้พีแอลซีควบคุมหลัก และแสดงผลด้วยจอแสดงผลแอลซีดี นอกจากนั้นพีแอลซีทำหน้าที่ควบคุมปั๊มสารละลายด้วยช่องทางสื่อสารอนุกรม (RS 485) ไปยังอินเวอร์เตอร์ ซึ่งอินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ และอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถวัดกำลังไฟฟ้าของปั๊มสารละลาย (W_{sp}) ตั้งแสดงในภาพที่ 37 จากนั้นส่งข้อมูลได้ ส่งค่าไปยังพีแอลซี (ภาพที่ 38) ในการแสดงผล



ภาพที่ 38 พีแอลซีควบคุมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

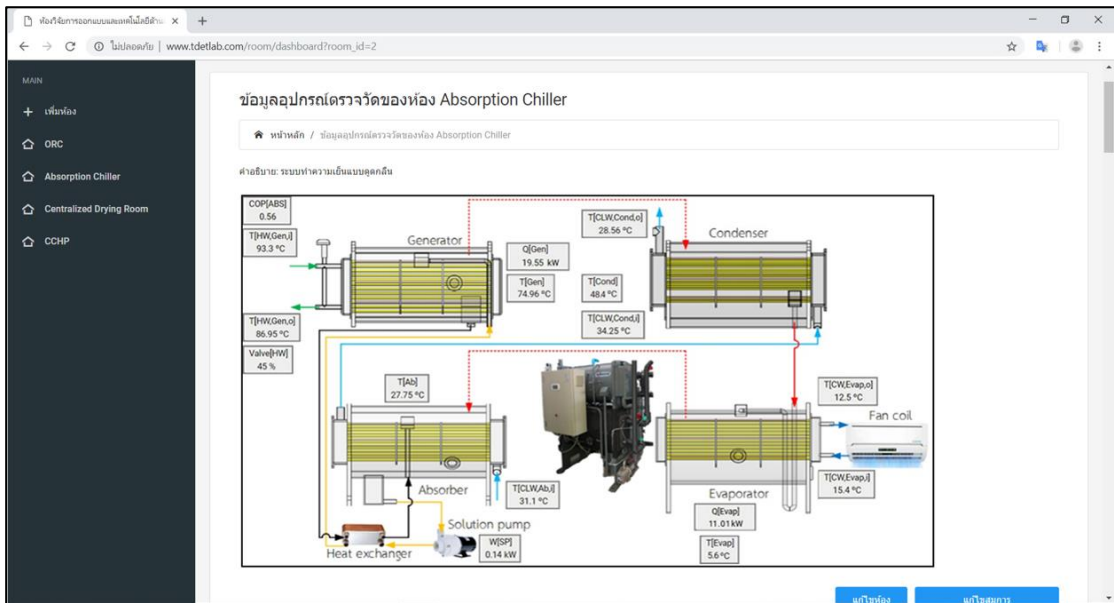
จอแสดงผลแอลซีดีของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจะทำการนำค่าต่าง ๆ จากจุดตรวจวัดผ่านช่องทางสื่อสารอนุกรม (RS 485) ไปแสดงยังจอแสดงผลแอลซีดี และแสดงค่าอุณหภูมิน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเย็น อุณหภูมิสารทำงานในระบบ และจุดตรวจวัดอื่น ๆ ดังแสดงในภาพที่ 39 จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการนำข้อมูลจากอุปกรณ์ควบคุมหลักของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนผ่านช่องทางสื่อสารอนุกรม (RS 485) และจุดตรวจวัดอื่น ๆ เพื่อนำข้อมูลของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนไปวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะ และส่งข้อมูลไปยังที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่ายเพื่อแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ต ด้วยโมดูลไอไฟผ่านช่องทางสื่อสารอนุกรม (RS 232)



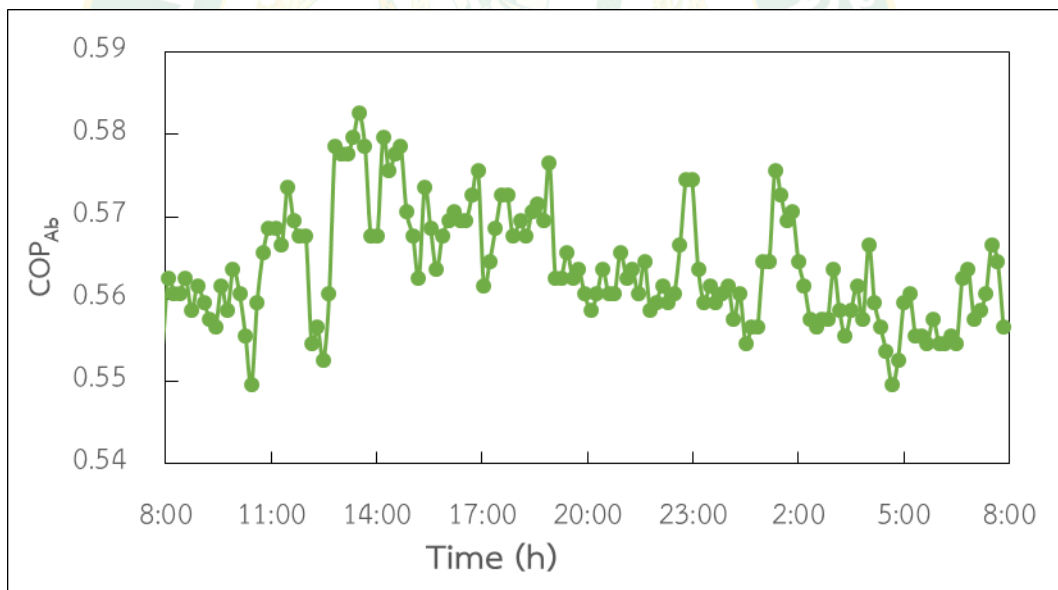
ภาพที่ 39 จอแสดงผลแอลซีดีของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

2. ระบบแสดงผลของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนผ่านอินเทอร์เน็ต

ระบบแสดงผลจุดตรวจวัดและการวิเคราะห์ผ่านอินเทอร์เน็ตของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจะอยู่ในหน้าเว็บไซต์ “www.tdetlab.com/room/dashboard?room_id=2” จุดตรวจวัดต่าง ๆ ประกอบด้วยอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าออกที่เจเนอเรเตอร์ อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าออกเครื่องระเหย กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารละลาย และค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นที่แสดงแบบเรียลไทม์ดังแสดงในภาพที่ 40 เมื่อวิเคราะห์จากระบบแสดงผล น้ำร้อนที่ออกจากวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ เข้าไปยังเจเนอเรเตอร์ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ $93.30\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยน้ำร้อนที่ป้อนเข้าจะถูกควบคุมโดยวาล์วสามทางไฟฟ้า ทำให้น้ำร้อนมีอัตราการไหลประมาณ 0.80 kg/s ผลต่างของอุณหภูมิประมาณ $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เจเนอเรเตอร์ประมาณ 19.55 kW และอัตราการไหลของน้ำเย็นประมาณ 0.70 kg/s เข้าเครื่องระเหยที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ $15.40\text{ }^{\circ}\text{C}$ เข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนที่เครื่องระเหยประมาณ $12.50\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องระเหยประมาณ 11.01 kW ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนใช้กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารละลายประมาณ 0.15 kW_e เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนมีค่าประมาณ 0.56 ดังแสดงในภาพที่ 41



ภาพที่ 40 หน้าต่างแสดงผลของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนผ่านอินเทอร์เน็ท



ภาพที่ 41 สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดและปิดพัดลมในผนังแจกลม และแสดงผลผ่านจอแสดงผลแอลซีดี ระบบแสดงผลของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์แสดงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง อุณหภูมิน้ำร้อนที่แผง

แลกเปลี่ยนความร้อน กระแสไฟฟ้าของพัดลม คุณสมบัติของอากาศชื้น อัตราการถ่ายเทความร้อน ภายในห้องอบแห้ง และประสิทธิภาพในการอบแห้งโดยมีรายละเอียดดังนี้

1. โปรแกรมไฮโครล็อกเกอร์

ผลการทดสอบความถูกต้องของไฮโครล็อกเกอร์เมื่อเทียบกับแผนภูมิไฮโครเมตริกผลที่ได้พบว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อรับค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากจุดตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (DHT22) ที่อุณหภูมิที่ 26.50 °C ความชื้นที่ 83.10% และกำหนดค่าความสูงจากระดับน้ำทะเลที่ 0 m ผลที่ไฮโครล็อกเกอร์ทำการวิเคราะห์ คือ ความดันชั้นบรรยากาศ 101.32 kPa เมื่อทำการเทียบกับแผนภูมิไฮโครเมตริกมีความผิดพลาดที่ 0% ความดันไอน้ำ 2.85 kPa อุณหภูมิจุดกลั่นตัว 23.39 °C อัตราส่วนความชื้น 18.00 g_w/kg_{da} ปริมาตรจำเพาะ 0.87 m³/kg และเอนทัลปีอากาศชื้น 72.54 kJ/kg ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรวมที่ 1.26% ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบโปรแกรมไฮโครล็อกเกอร์กับแผนภูมิไฮโครเมตริก

Moist Air Property	Psychro Logger	Psychrometric Chart	Error (%)
Barometric Pressure (P_{atm})	101.32 kPa	101.32 kPa	0.00
Partial Pressure of Water Vapor (P_w)	2.85 kPa	2.90 kPa	1.71
Dew Point Temperature (T_{dp})	23.39 °C	23.60 °C	0.89
Humidity Ratio (ω_a)	18.00 g _w /kg _{da}	18.50 g _w /kg _{da}	2.70
Specific Volume (V_a)	0.870 m ³ /kg	0.874 m ³ /kg	0.47
Enthalpy of Moist Air (h_a)	72.54 kJ/kg	73.50 kJ/kg	1.31

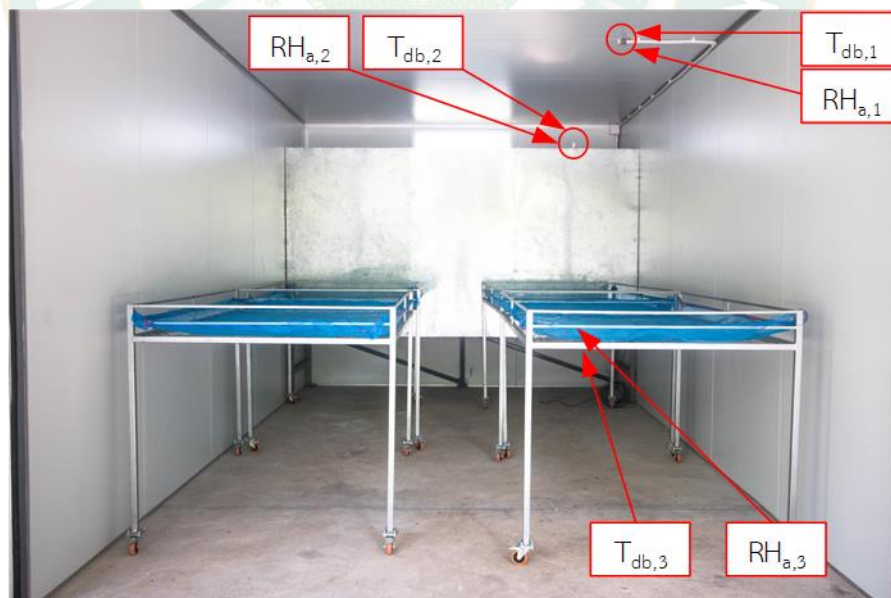
2. จุดตรวจวัดและระบบควบคุมห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ในส่วนของอุปกรณ์วัดน้ำหนักของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ที่ถูกติดตั้งบริเวณตะแกรงอบแห้ง มีลักษณะเป็นตะแกรงขนาดเล็กเพื่อรองรับตัวอย่างผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยมีตัวตรวจวัดโหลดเซลล์รองรับ ซึ่งข้อมูลน้ำหนักที่ส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์จะผ่านการแปลงสัญญาณให้เป็นค่าน้ำหนักที่ทำการตรวจวัดได้ ดังแสดงในภาพที่ 42

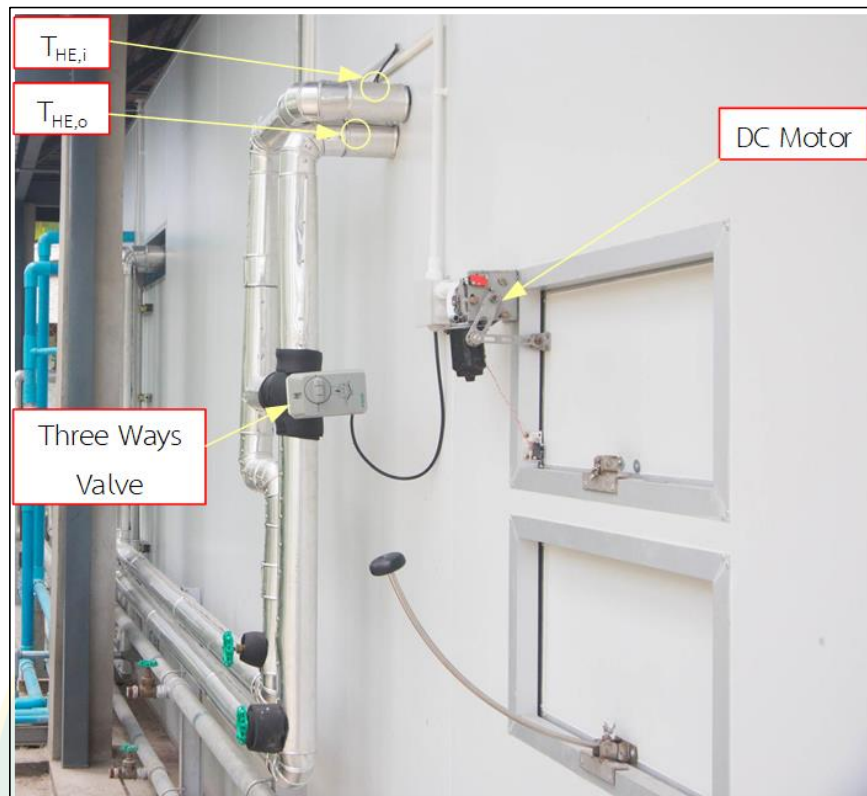


ภาพที่ 42 อุปกรณ์วัดน้ำหนักตัวอย่างผลิตภัณฑ์ภายในห้องอบแห้ง

ตัวอย่างจุดตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ใช้ ติดตั้ง บริเวณผนังห้องอบแห้ง ($T_{db,1}$ และ $RH_{a,1}$) ด้านบนผนังแจกลม ($T_{db,2}$ และ $RH_{a,2}$) และอุปกรณ์วัด น้ำหนักตัวอย่างผลิตภัณฑ์ (M_p) ดังแสดงในภาพที่ 43 และบริเวณด้านหลังห้องอบแห้งทำการติดตั้ง จุดตรวจวัดอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าและออกที่แผงแลกเปลี่ยนความร้อน ($T_{HE,i}$ และ $T_{HE,o}$) ดังแสดงในภาพ ที่ 44



ภาพที่ 43 จุดตรวจวัดภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์



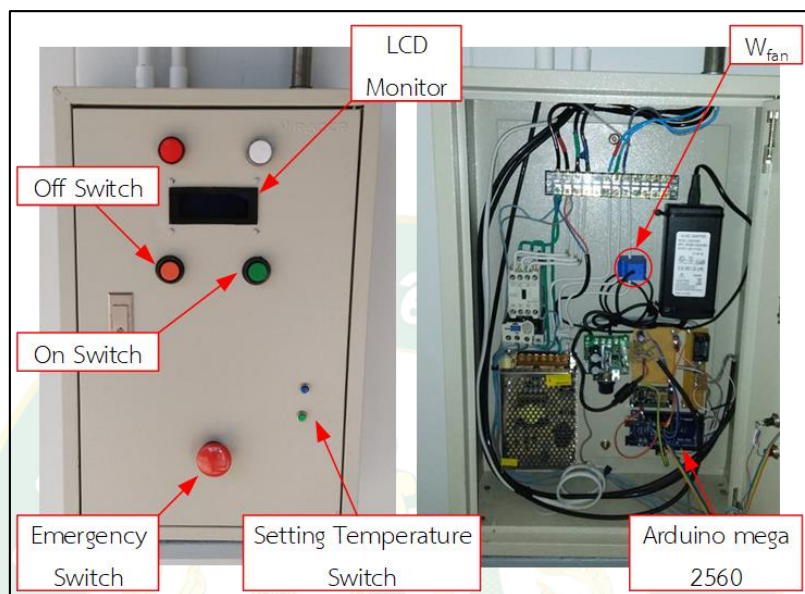
ภาพที่ 44 อุปกรณ์ควบคุมและจุดตรวจวัดด้านหลังห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ในส่วนของระบบควบคุมความชื้นและอุณหภูมิของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ได้ทำการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการควบคุมการเปิดและปิดปล่องอากาศโดยการใช้ก้านหมุนบังคับปล่องอากาศเข้า เพื่อควบคุมความชื้นภายในห้องอบแห้ง และวาล์วสามทางไฟฟ้าในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เข้าไปยังแผงแลกเปลี่ยนความร้อนดังแสดงในภาพที่ 45 และสามารถตั้งค่าอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งที่ตู้ควบคุม



ภาพที่ 45 วาล์วสามทางไฟฟ้า (ซ้าย) มอเตอร์ไฟฟ้า (ขวา)

ระบบแสดงผลและควบคุมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ภายในตู้ควบคุมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ได้ทำการติดตั้งหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าในการวัดกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าของพัดลม (W_{fan}) ดังแสดงในภาพที่ 46



ภาพที่ 46 ระบบแสดงผลและควบคุมห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ข้อมูลจุดตรวจวัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และแสดงผลผ่านจอแสดงผลแอลซีดี โดยตัวอย่างการแสดงผลประกอบด้วยอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิน้ำร้อน กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้พัดลม และน้ำหนักตัวอย่างผลิตภัณฑ์ รวมถึงแสดงการตั้งค่าอุณหภูมิห้องอบแห้ง ดังแสดงในภาพที่ 47

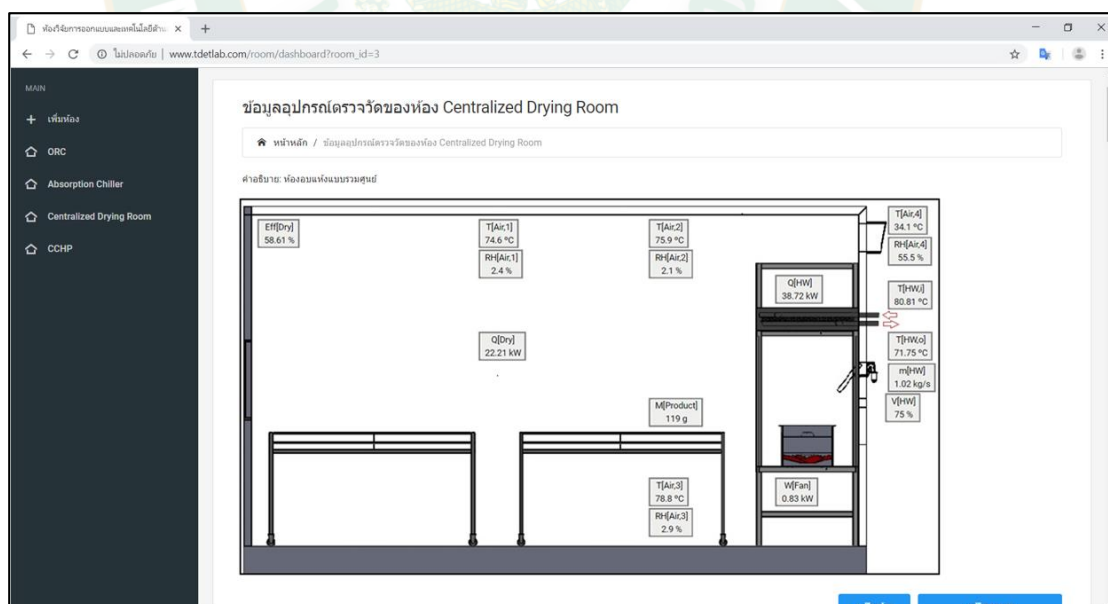


ภาพที่ 47 จอแสดงผลแอลซีดีของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

จากนั้นข้อมูลวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ถูกส่งข้อมูลไปยังที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่าย ในการแสดงผลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ด้วยโมดูลไวไฟผ่านช่องทางสื่อสารอนุกรม (RS 232)

3. ระบบแสดงผลของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ผ่านอินเทอร์เน็ต

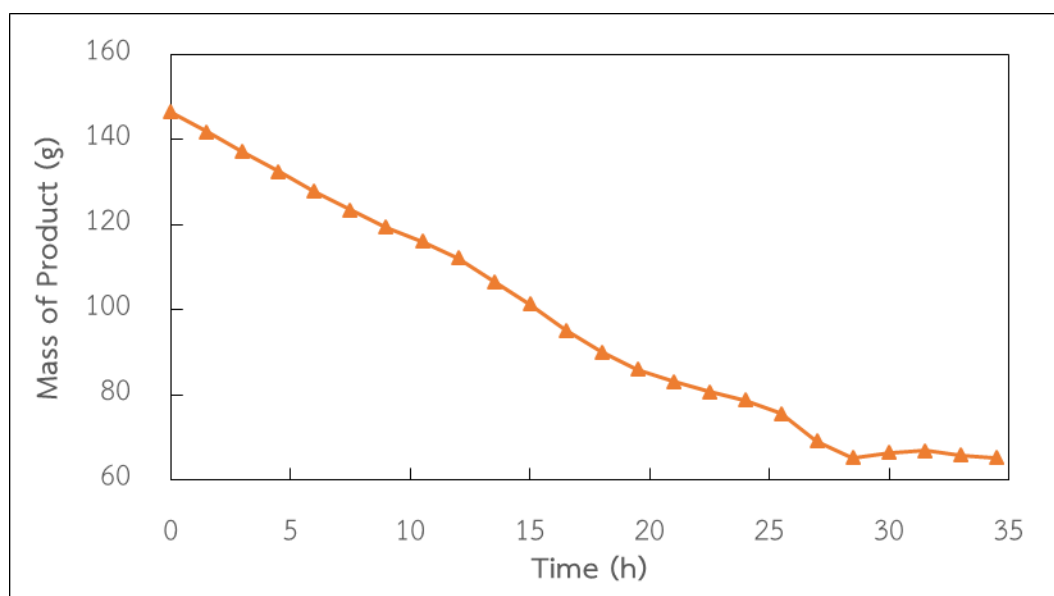
ระบบแสดงผลของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ผ่านอินเทอร์เน็ตแสดงค่าต่าง ๆ จากจุดตรวจวัดไปยังที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่าย ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อโมดูลไวไฟผ่านช่องทางสื่อสารอนุกรม (RS 232) และโมดูลไวไฟทำหน้าที่เชื่อมต่อข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่ายในระบบอินเทอร์เน็ต เพื่อแสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต จะอยู่ในหน้าเว็บไซต์ “www.tdetlab.com/room/dashboard?room_id=3” จุดตรวจวัดต่าง ๆ ประกอบด้วยน้ำหนักตัวอย่างผลิตภัณฑ์อบแห้ง อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าออกแผงแลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิกระเปาะแห้งภายในห้องอบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลม อัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงแลกเปลี่ยนความร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้ง และประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ที่แสดงผลแบบเรียลไทม์ดังแสดงในภาพที่ 48



ภาพที่ 48 หน้าต่างแสดงผลของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ผ่านอินเทอร์เน็ต

3.1. แสดงผลการวัดน้ำหนักตัวอย่างผลิตภัณฑ์อบแห้งแบบเรียลไทม์

เมื่อเริ่มต้นทดสอบการอบแห้งผลิตภัณฑ์พบว่า น้ำหนักของตัวอย่างผลิตภัณฑ์เริ่มต้นที่ประมาณ 144 g และเมื่อเทียบกับเวลาจะเห็นได้ว่าน้ำหนักลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงประมาณ 62 g ที่ประมาณ 29 h ซึ่งสามารถใช้ในการวัดน้ำหนักแสดงผลแบบเรียลไทม์ได้ดังแสดงในภาพที่ 49



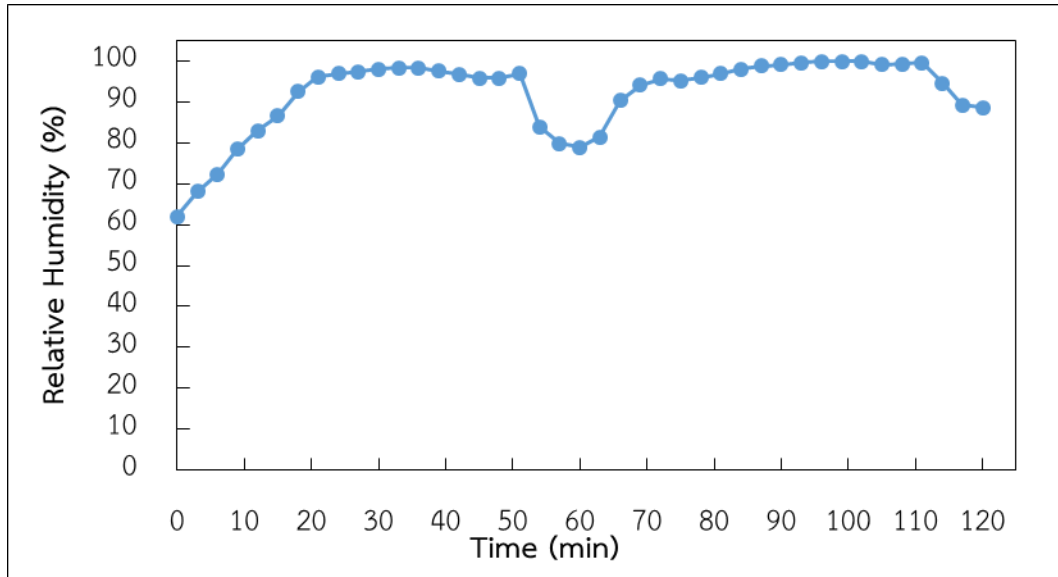
ภาพที่ 49 ผลการตรวจวัดน้ำหนักของตัวอย่างผลิตภัณฑ์ขณะทำการอบแห้ง

3.2. ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิ

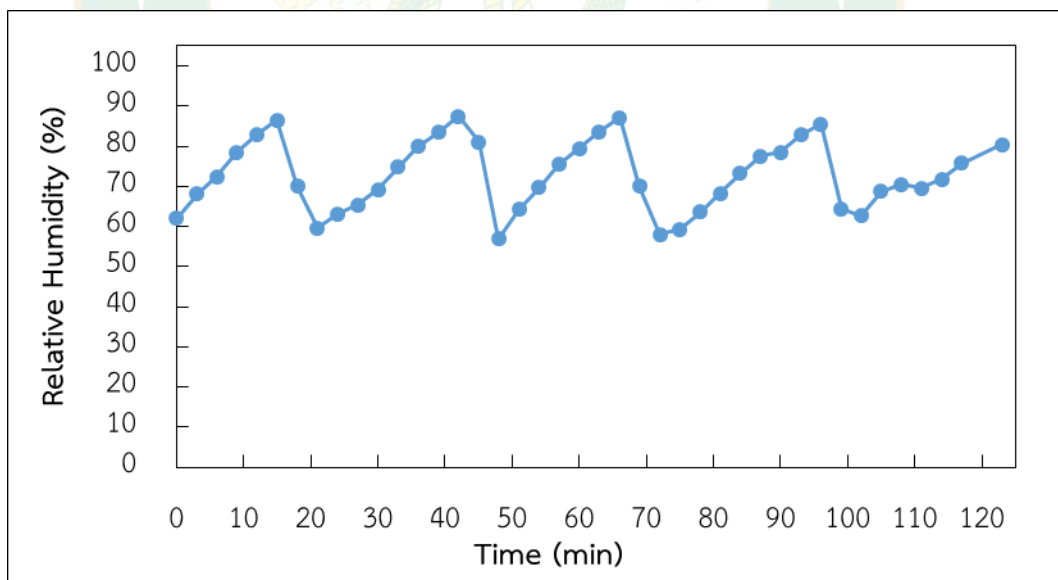
ระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์เมื่อทำการทดสอบระบบผลที่ได้พบว่า ระบบก่อนปรับปรุงมีการเกิดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งมากกว่า 90% ในเวลานาน และเมื่อทำการเปิดปล่องอากาศเข้าในช่วงเวลาที่ 50 min ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งถูกระบายหลังจากครบกำหนดการเปิดปล่องอากาศเข้าที่ 10 min ทำการปิดปล่องทำให้เกิดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งเพิ่มสูงกว่า 90% นานกว่า 30 min ดังแสดงในภาพที่ 50

ระบบหลังปรับปรุงที่ทำการติดตั้งมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเข้าไปยังปล่องอากาศเข้าของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ระบบควบคุมสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งได้โดยทดสอบป้อนความชื้นเข้าไปภายในห้องอบแห้งเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งมีค่ามากกว่า 90% ปล่องอากาศเข้าของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ทำการเปิด ทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งลดลง และเมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งลดต่ำกว่า 60% ปล่องอากาศเข้าของห้องอบแห้งทำการปิดลง ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งสามารถระบายออกได้ โดย

ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งให้อยู่ในช่วง 60-90% ดังแสดงในภาพที่ 51



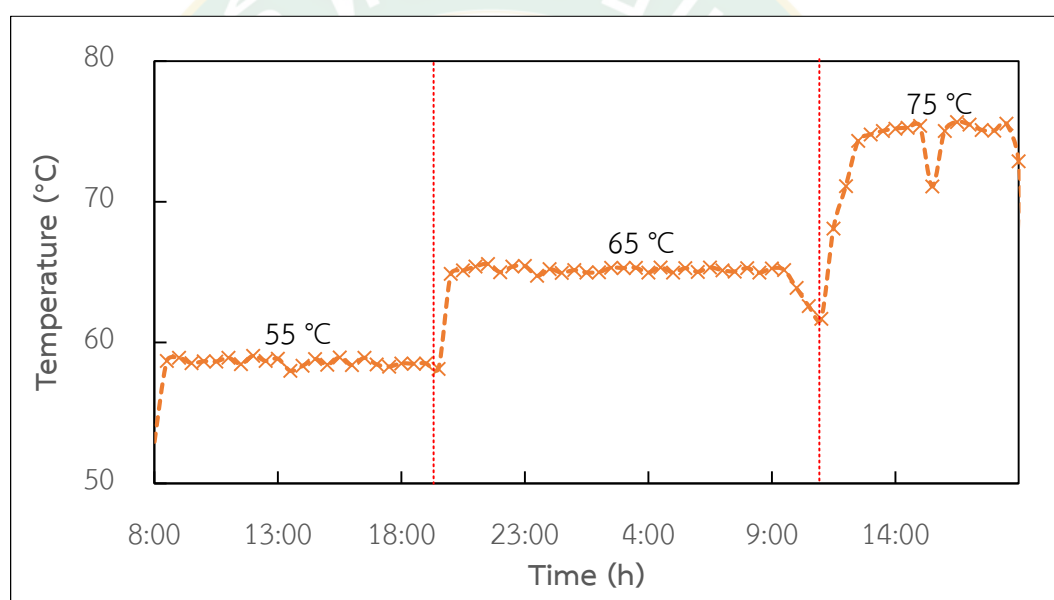
ภาพที่ 50 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ก่อนปรับปรุง



ภาพที่ 51 ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์หลังปรับปรุง

ระบบควบคุมอุณหภูมิเมื่อทำการทดสอบระบบผลที่ได้ พบว่า สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งตามอุณหภูมิที่ทำการตั้งค่า โดยการควบคุมวาล์วสามทางไฟฟ้าให้หรือเร่งตามการตั้ง

ค่าที่ 55 °C 65 °C และ 75 °C เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งสูงหรือต่ำกว่าค่าอุณหภูมิที่กำหนด ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการควบคุมวาล์วสามทางไฟฟ้าในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำร้อน ทำให้สามารถควบคุมอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงแลกเปลี่ยนความร้อนภายในห้องอบแห้งส่งผลให้ความร้อนภายในห้องอบแห้งมีการสะสมความร้อนช้าลง และเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นเกินกว่าที่กำหนดไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสั่งการเปิดปล่อยอากาศเข้าของห้องอบแห้งเพื่อให้อากาศภายนอกเข้ามาผสมกับอากาศที่ได้รับความร้อนจากแผงแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้อากาศที่เข้าไปยังบริเวณอบแห้งมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอากาศภายในห้องอบแห้ง ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศภายในห้องอบแห้งลดลงทำให้ระบบสามารถรักษาระดับของอุณหภูมิตามที่กำหนดดังแสดงในภาพที่ 52

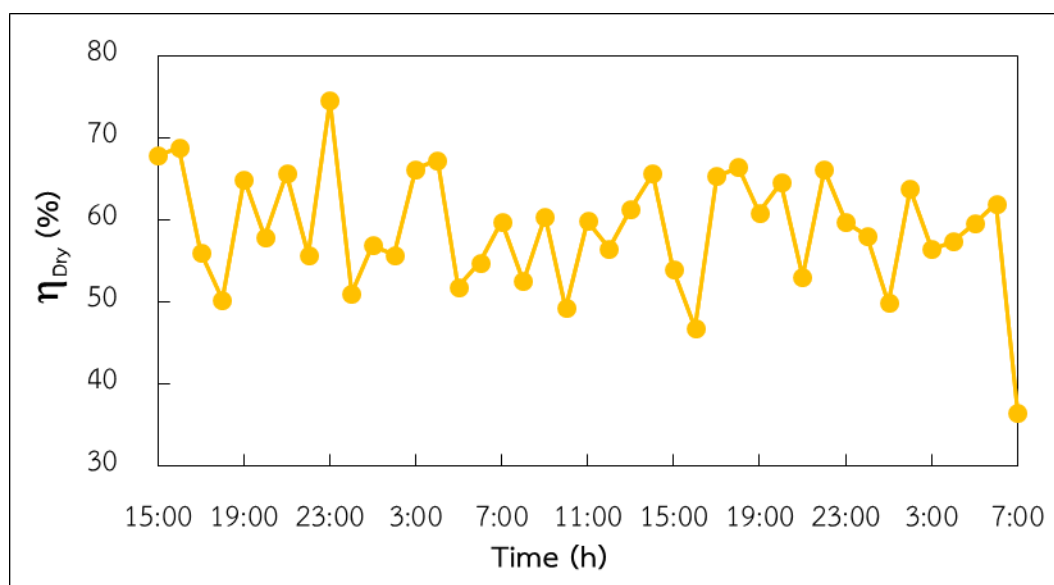


ภาพที่ 52 อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง

3.3. ระบบแสดงผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

เมื่อทำการวิเคราะห์จากระบบจากการแสดงผลประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ผ่านอินเทอร์เน็ต พบว่า อุณหภูมิน้ำร้อนที่ไหลเข้าไปยังแผงแลกเปลี่ยนความร้อนถูกควบคุมอัตราการไหลด้วยวาล์วสามทางไฟฟ้าทำให้อัตราการไหลของน้ำร้อนมีค่าประมาณ 1.02 kg/s โดยอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าไปยังแผงแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าประมาณ 80.81 °C อัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงแลกเปลี่ยนความร้อนประมาณ 38.72 kW อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศด้านบนผนังแจกลมประมาณ 75.90 °C ค่าความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 2.10% อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศอากาศด้านล่างผนังแจกลมประมาณ 78.8 °C ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าประมาณ 2.90% กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่

พัดลมมีค่าประมาณ 0.83 kW_e ความเร็วลมมีค่าเฉลี่ยที่ 1.31 m/s ส่งผลให้การวิเคราะห์อัตราการไหลของลมร้อนมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1.64 kg/s อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งมีค่าประมาณ 22.21 kW และเมื่อนำค่าที่แสดงผลแบบเรียลไทม์มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งมีค่าเฉลี่ยที่ 56.16% ดังแสดงในภาพที่ 53



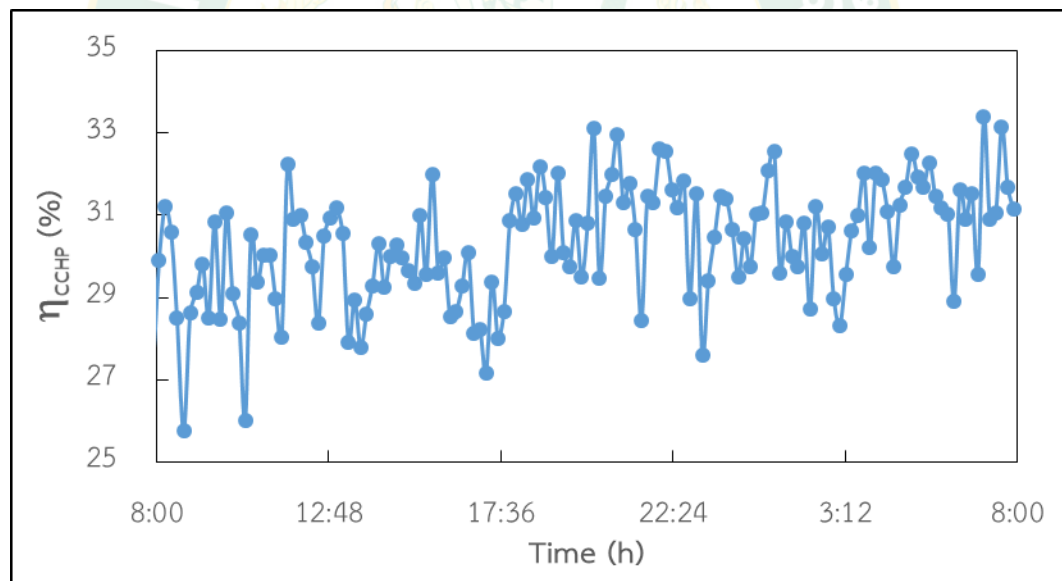
ภาพที่ 53 ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ระบบแสดงผลการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนผ่านอินเทอร์เน็ต

หลังจากได้ทำการแสดงผลและวิเคราะห์ผลของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ จากนั้นแสดงผลการวิเคราะห์ของระบบผลิตพลังงานร่วมผ่านอินเทอร์เน็ตของระบบจะอยู่ในหน้าเว็บไซต์ “www.tdetlab.com/room/dashboard?room_id=4” แสดงในภาพที่ 54 จากผลที่แสดง พบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนมีการผลิตไฟฟ้าจากวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ประมาณ 9.40 kW_e อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องระเหยของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนประมาณ 11.01 kW และอัตราการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ประมาณ 22.26 kW และพลังงานความร้อนจากน้ำร้อนประกอบด้วย อัตราการถ่ายเทความร้อนของน้ำร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบผลิตพลังงานร่วมประมาณ 137.18 kW กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ระบบรวมอยู่ที่ประมาณ 5.87 kW_e ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพแบบเรียลไทม์ของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนมีค่าเฉลี่ยที่ 29.83% ดังแสดงในภาพที่ 55



ภาพที่ 54 หน้าต่างแสดงผลเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพผ่านอินเทอร์เน็ต

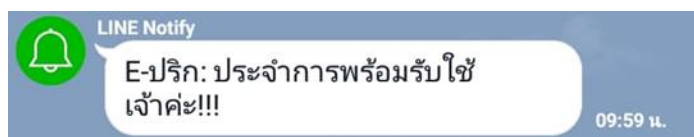


ภาพที่ 55 ประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อนแบบขั้นบันได

ระบบแจ้งเตือน ควบคุม และสำรองข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

ระบบแจ้งเตือนผู้ใช้งานของระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ ทำการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยที่ผู้ใช้งานสามารถรับข้อความได้ผ่านกลุ่มสนทนาเพื่อรับการแจ้งเตือนจากระบบ ซึ่งในระบบได้ทำการตั้งค่าการแจ้งเตือน

เมื่อมีการเริ่มการทำงานของระบบ ประกอบวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ตัวอย่างข้อความที่ทำการส่งมายังผู้ใช้งานแสดงในภาพที่ 56



ภาพที่ 56 การแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์

ระบบควบคุมผ่านระบบอินเทอร์เน็ตสามารถควบคุมการเปิดและปิดระบบต่าง ๆ ในหน้าเว็บไซต์ “www.tdetlab.com/admin/room” ซึ่งในส่วนนี้สามารถเข้าได้เพียงผู้ดูแลระบบ (Admin) เพื่อทำการสั่งการเปิดและปิดระบบต่าง ๆ ได้เมื่อมีเหตุฉุกเฉินหรือสั่งการควบคุมเปิดและปิด ผู้ดูแลระบบสามารถสั่งการเปิดและปิดโดยเลือกสวิตช์ในหน้าเว็บไซต์ตามชื่อต่าง ๆ และในกรณีที่ผู้ใช้งานทำการเปิดหรือปิดระบบที่กล่องควบคุม ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งสัญญาณให้สวิตช์บนเว็บไซต์ทำการแสดงสถานะเปิดหรือปิดตามการเปิดปิดในแต่ละระบบของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพดังแสดงในภาพที่ 57

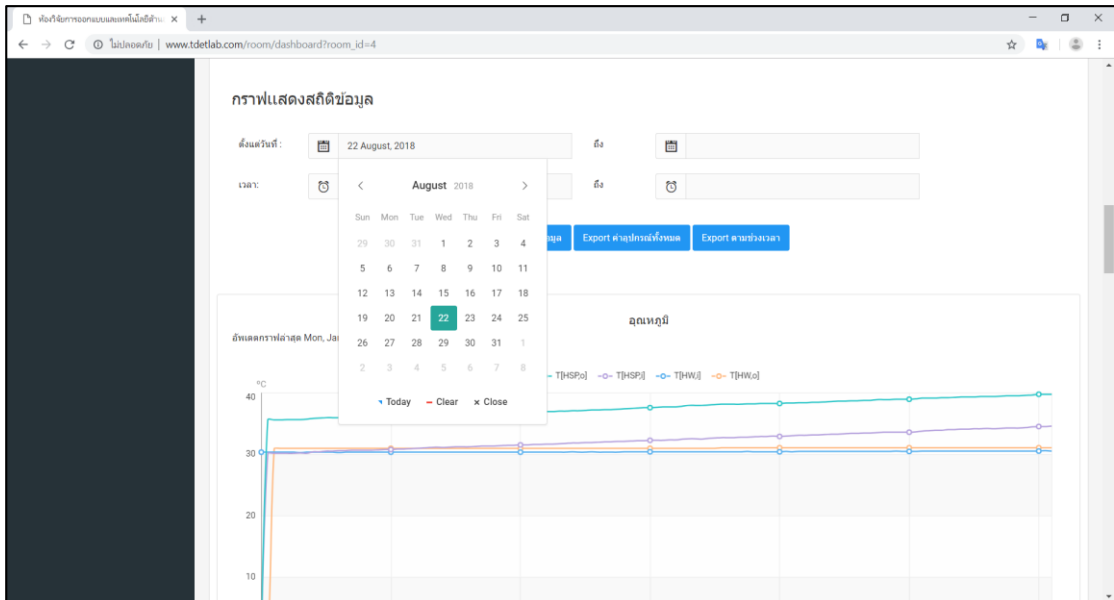
สถานะห้อง ^	ชื่อห้อง	เครื่องมือ
<input checked="" type="checkbox"/>	ORC	
<input checked="" type="checkbox"/>	Absorption Chiller	
<input type="checkbox"/>	Centralized Drying Room	
<input type="checkbox"/>	CCHP	

Showing 1 to 4 of 4 en Previous **1** Next

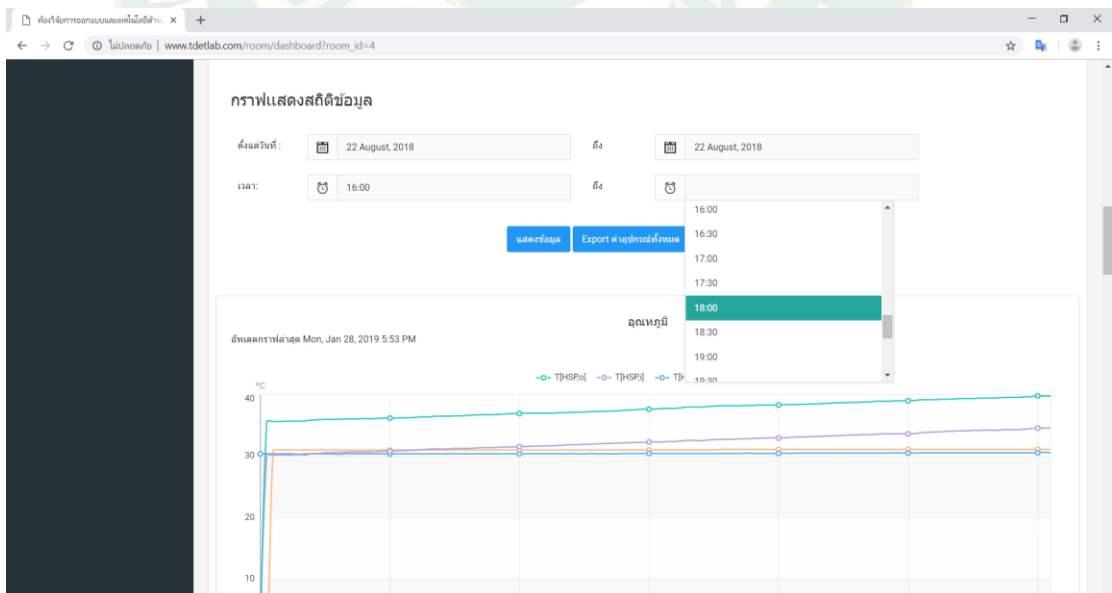
ภาพที่ 57 หน้าเว็บไซต์สั่งการเปิดและปิดระบบต่าง ๆ

นอกจากระบบแจ้งเตือนและระบบควบคุมบนเว็บไซต์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตของเทคโนโลยีพลังงานความร้อนใต้พิภพ ซึ่งในระบบนี้จะสามารถดาวน์โหลดได้เฉพาะผู้ใช้งานที่มีรหัสที่ได้รับอนุญาต ระบบบันทึกผลของจุดตรวจวัดและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ด้วยการเลือกช่วงเวลาเริ่มต้นโดยเลือกวันที่และเวลาดังแสดงในภาพที่ 58 และเวลาสิ้นสุดที่หน้าเว็บไซต์

ดังแสดงในภาพที่ 59 จากนั้นทำการคลิกปุ่ม “Export ค่าอุปกรณ์ทั้งหมด” เพื่อทำการดาวน์โหลดไฟล์ข้อมูลที่ทำการบินที่บนเว็บไซต์ และไฟล์ที่ทำการบินดาวน์โหลดมาได้เป็นไฟล์สกุล “.xls” ซึ่งสามารถเปิดได้โดยโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) ดังแสดงในภาพที่ 60



ภาพที่ 58 การเลือกช่วงข้อมูลเริ่มต้นที่ทำการบินโหลด



ภาพที่ 59 การเลือกช่วงข้อมูลสิ้นสุดที่ทำการบินโหลด

วันที่ เวลา	T[CLW,i]	T[HW,Boil,i]	T[HW,Ph,o]	W[ORC]	W[RP]	EH[ORC]	W[OP]	Q[Boil]	P[High]	P[Low]	T[CLW,o]	T[ref,Boil,i]	T[HW,Boil,o]	m[HW]	T[ref,Boil,o]	m[CLW]	T[ref,Exp,o]	T[ref,RP,o]	T[ref,OL,i]	T[ref,OL,o]	Q[Cond]	m[ref]	T[ref,Ph,i]
2018-09-01 08:00:00	30.1	110.8	95.7	9.5	1.38	8.54	0.55	88.62	10.5	1.7	36.7	93.02	99.53	1.84	104.7	1.69	71.8	41.7	60.63	46.59	1.9	57.44	
2018-09-01 08:01:00	30.1	110.8	95.7	9.4	1.39	8.44	0.53	88.59	10.5	1.7	36.7	92.83	99.53	1.84	104.7	1.67	71.7	41.8	60.69	45.98	1.9	57.5	
2018-09-01 08:02:00	30.1	110.8	95.7	9.4	1.39	8.51	0.53	87.81	10.5	1.7	36.7	92.83	99.53	1.81	104.7	1.67	71.7	41.8	60.69	46.02	1.9	57.44	
2018-09-01 08:03:00	30.1	110.8	95.7	9.4	1.46	8.46	0.53	87.61	10.5	1.7	36.7	93.02	99.53	1.83	104.7	1.67	71.7	41.8	60.69	46.08	1.9	57.5	
2018-09-01 08:04:00	30.2	110.8	95.7	9.4	1.46	8.47	0.52	87.56	10.4	1.7	36.8	93.02	99.47	1.82	104.7	1.66	71.7	41.9	60.69	45.8	1.9	57.5	
2018-09-01 08:05:00	30.2	110.8	95.7	9.4	1.39	8.46	0.53	88.31	10.4	1.7	36.8	92.93	99.53	1.83	104.8	1.68	71.9	41.9	60.81	46.41	1.9	57.63	
2018-09-01 08:06:00	30.2	110.8	95.7	9.4	1.39	8.48	0.54	88.03	10.5	1.7	36.8	92.93	99.53	1.83	104.8	1.68	71.9	41.9	60.69	46.46	1.9	57.5	
2018-09-01 08:07:00	30.2	110.8	95.7	9.4	1.39	8.53	0.53	87.76	10.5	1.7	36.8	92.93	99.53	1.81	104.8	1.68	71.9	41.9	60.75	46.52	1.9	57.63	
2018-09-01 08:08:00	30.2	110.8	95.7	9.4	1.38	8.55	0.52	87.71	10.5	1.7	36.8	92.93	99.47	1.81	104.7	1.68	71.9	41.9	60.75	46.47	1.9	57.56	
2018-09-01 08:09:00	30.3	110.8	95.7	9.4	1.38	8.58	0.53	87.3	10.5	1.7	36.9	93.02	99.47	1.8	104.7	1.67	71.8	42.1	60.81	45.96	1.9	57.63	
2018-09-01 08:10:00	30.3	110.8	95.7	9.4	1.44	8.53	0.52	87.17	10.5	1.7	36.9	93.02	99.53	1.8	104.7	1.66	71.8	42.1	60.75	45.95	1.9	57.5	
2018-09-01 08:11:00	30.3	110.8	95.7	9.4	1.44	8.69	0.52	85.7	10.5	1.7	36.9	92.83	99.53	1.78	104.7	1.64	71.7	41.8	60.75	45.54	1.9	57.56	
2018-09-01 08:12:00	30.3	110.8	95.7	9.4	1.44	8.66	0.53	85.82	10.5	1.7	36.9	92.83	99.53	1.78	104.7	1.65	71.7	41.8	60.75	45.58	1.9	57.5	
2018-09-01 08:13:00	30.3	110.8	95.7	9.4	1.44	8.52	0.51	87.37	10.5	1.7	36.9	92.83	99.53	1.81	104.7	1.65	71.7	41.8	60.63	45.6	1.9	57.38	
2018-09-01 08:14:00	30.3	110.8	95.7	9.4	1.4	8.72	0.5	86	10.5	1.7	36.9	92.83	99.53	1.77	104.7	1.65	71.7	41.8	60.63	45.59	1.9	57.38	
2018-09-01 08:15:00	30.3	110.8	95.7	9.4	1.4	8.76	0.51	85.49	10.5	1.7	36.9	92.83	99.53	1.77	104.7	1.63	71.7	41.6	60.69	45.09	1.9	57.38	
2018-09-01 08:16:00	30.3	110.8	95.7	9.4	1.45	8.56	0.51	86.96	10.5	1.7	36.9	92.83	99.53	1.79	104.7	1.64	71.7	41.6	60.63	45.16	1.9	57.5	
2018-09-01 08:17:00	30.3	110.8	95.7	9.4	1.45	8.74	0.51	85.1	10.5	1.7	36.9	92.83	99.53	1.76	104.7	1.63	71.8	41.8	60.75	44.89	1.9	57.5	
2018-09-01 08:18:00	30.3	110.8	95.7	9.4	1.45	8.7	0.52	85.47	10.5	1.7	36.9	92.83	99.53	1.77	104.7	1.64	71.8	41.8	60.69	45.35	1.9	57.5	
2018-09-01 08:19:00	30.3	110.8	95.7	9.5	1.37	8.8	0.52	85.84	10.5	1.7	36.9	92.83	99.53	1.79	104.7	1.63	71.8	41.8	60.75	44.98	1.9	57.56	
2018-09-01 08:20:00	30.3	110.8	95.7	9.5	1.37	8.85	0.52	86.04	10.5	1.7	36.9	92.93	99.53	1.78	104.8	1.63	71.8	41.8	60.69	45.03	1.9	57.44	
2018-09-01 08:21:00	30.3	110.8	95.7	9.5	1.37	8.79	0.52	86.53	10.5	1.7	36.9	92.93	99.53	1.78	104.8	1.65	71.8	41.8	60.69	45.65	1.9	57.5	
2018-09-01 08:22:00	30.3	110.8	95.7	9.4	1.41	8.64	0.52	86.46	10.5	1.7	36.9	92.93	99.53	1.79	104.7	1.64	71.8	41.8	60.75	45.61	1.9	57.5	
2018-09-01 08:23:00	30.3	110.8	95.7	9.4	1.41	8.7	0.52	85.88	10.5	1.7	36.9	92.93	99.53	1.78	104.7	1.65	71.8	41.8	60.81	45.93	1.9	57.5	

ภาพที่ 60 ตัวอย่างไฟล์ที่ได้ทำการดาวน์โหลด

ผลการศึกษาดังกล่าว ที่ได้ทำการสร้างและทดสอบระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ จะนำไปสรุปผลการศึกษาในลำดับถัดไป



บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเรื่องระบบควบคุมและแสดงผลอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพมีข้อสรุป และข้อเสนอแนะดังนี้

สรุปผลการศึกษา

จากผลการออกแบบสร้างและทดสอบสามารถสรุปได้ว่า ระบบแสดงผลและควบคุมของ เทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ ประกอบด้วยตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์โดย

1. ระบบควบคุมควบคุมของตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์ใช้พีแอลซีในการควบคุม และแสดงผล ไปยังจอแสดงผลแอลซีดีผ่านทางสื่อสารอนุกรม (RS 485) ส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการแสดงผลของตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านอินเทอร์เน็ต ด้วยโมดูลไวไฟผ่านทางสื่อสาร อนุกรม (RS 232) ประสิทธิภาพของตัวจักรแรงคินสารอินทรีย์มีค่าเฉลี่ยที่ 9.53%

2. ระบบควบคุมของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนใช้พีแอลซีในการควบคุม และแสดงผลไป ยังจอแสดงผลแอลซีดีผ่านทางสื่อสารอนุกรม (RS 485) ส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อ ทำการแสดงผลของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนผ่านอินเทอร์เน็ต ด้วยโมดูลไวไฟผ่านทาง สื่อสารอนุกรม (RS 232) สัมประสิทธิสมรรถนะของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนมีค่าเฉลี่ยที่ 0.56

3. ระบบควบคุมของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม ความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วง 60-90% และอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งได้ ส่งค่าไปยังที่เก็บข้อมูลที่ แนบมากับเครือข่ายผ่านโมดูลไวไฟด้วยโมดูลไวไฟผ่านทางสื่อสารอนุกรม (RS 232) แสดงผล ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ผ่านอินเทอร์เน็ตแบบเรียลไทม์โดยมีค่าเฉลี่ย 56.16%

4. ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความ ร้อน จากระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ ประสิทธิภาพการผลิต พลังงานร่วมเฉลี่ย 29.83%

5. ระบบแจ้งเตือนของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพสามารถแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ โดยมีผู้ใช้งานอยู่ในกลุ่มสนทนา

6. ระบบควบคุมการเปิดและปิดระยะไกลของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพสามารถสั่งเปิด และปิดระบบได้ โดยผู้ดูแลระบบเว็บไซต์คลิกที่สวิตซ์ที่หน้าเว็บไซต์

ข้อเสนอแนะ

ตัวตรวจวัดค่าอุณหภูมิน้ำร้อน (DS18B20) ของระบบแสดงผลและควบคุมอัจฉริยะของเทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ มีความคลาดเคลื่อนในการรับค่าอุณหภูมิที่ $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในช่วงการวัดอุณหภูมิที่ $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่เมื่อทำการวัดน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิเกิน $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนเมื่อทำการคำนวณค่าที่ได้จากตัวตรวจวัดด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้จึงเป็นที่น่าสนใจในการใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยในช่วงอุณหภูมิสูง

ตัวตรวจวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในปัจจุบันของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ที่ใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (DHT22) มีความคลาดเคลื่อนในการรับค่าในช่วงความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ 0 ถึง 100% ช่วงค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่วัดได้ -40 ถึง $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ และความคลาดเคลื่อน $\pm 2\text{ \%RH}$ และ $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ช่วงการเกิดความผิดพลาดที่ทำให้การรับค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เข้ามามีความคลาดเคลื่อน อาจส่งผลให้การวิเคราะห์ค่าของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์มีความคลาดเคลื่อนตาม จึงเป็นที่น่าสนใจในการใช้อุปกรณ์ที่มีความแม่นยำที่มากขึ้นในการใช้งานในอนาคต

บรรณานุกรม

- รัฐพร ไชยญาติ. 2560. **เทคโนโลยีความร้อนใต้พิภพ (Geothermal Energy Technology)**,
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. พิมพ์ครั้งที่ 6 ,
381 หน้า
- รัฐพร ไชยญาติ. 2560. **การนำความร้อนทิ้งกลับคืน (Waste Heat Recovery)**, วิทยาลัยพลังงาน
ทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. พิมพ์ครั้งที่ 6 , 457 หน้า
- ปรานต์ เมฆอากาศ, ชวโรจน์ ใจสิน, รัฐพร ไชยญาติ และจักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล. 2561. ระบบ
ควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ (Smart Controller System of Centralized
Drying Room), **การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST**, 3, 69-80. Adonis C. and Eliseo
V. 2014. An Experimental Investigation of the Fruit Drying Performance of a Heat
Pump Dryer. **Biology and Environmental Sciences**, 14, 25-29.
- Chaiyat N., Chaichana C., and Singharajwarapan FS. 2014. Geothermal Energy Potentials
and Technologies in Thailand. **Fundam Renewable Energy Appl**, 4, 1-9.
- Conrad O., Perera R. and Shafiur R. 1997. Heat pump dehumidifier drying of food.
Trends in Food Science & Technology, 8, 75-79.
- Dae K.L., Byoung H.A. and Ji H.J. 2018. Method to Control an Air Conditioner by Directly
Measuring the Relative Humidity of Indoor Air to Improve the Comfort and
Energy Efficiency. **Applied Energy**, 215, 290-299.
- Emel K. and Raif B. 2009. Project and group based learning and competition based
evaluation in lesson of microcontroller applications. **ScienceDirect**, 1, 1513-
1518.
- Hamid G., Alireza K., Mortaza A. and Shahin R. 2016. Improving Exergetic Performance
Parameters of a Rotating-Tray Air Dryer via a Simple Heat Exchanger. **Applied
Thermal Engineering**, 94, 13-23.
- Henrik L., Poul AO., David C. and Brian VM. 2017. Smart energy and smart energy
systems. **Energy**, 137, 556-565.
- 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, N.P., 1-9

- 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.
- Majid K., Gabrielle VM. and Liping W. 2018. Continuous monitoring of indoor environmental quality using an Arduino-based data acquisition system. **Journal of Building Engineering**, 19, 412-419.
- Maytham A., Azah M., Tamer K., Hussain S., Raad H., and Jamal A. 2017. Real time optimal schedule controller for home energy management system using new binary backtracking search algorithm. **Energy and Buildings**, 138, 215-227.
- Merlin S., Andre Z., Romian R. and Yann R. 2018. Mathematical Modelling and Numerical Simulation of a Simple Solar Dryer for Tropical Wood Using a Collector. **Applied Thermal Engineering**, 131, 356-369.
- NIT (National institute of standards and technology), Lnc. (Refprop version 10: costomer number 40754). **Thermodynamic properties of refrigerant and refrigerant mixtures software**, America. 2018.
- Pablo MR., Maria JL., Margarida LS., Pedro G., Pedro PS. And Jose C. 2017. First exposure to Arduino through peer-coaching: Impact on students' attitudes towards programming. **Computers in Human Behavior**, 76, 51-58.
- Prashant S.C., Anil K., Chayut N. and Jan B. 2018. Thermal Modeling and Drying Kinetics of Bitter Gourd Flakes Drying in Modified Greenhouse Dryer. **Renewable Energy**, 118, 799-813.
- 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.
- 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.
- Tchamyé B., Helene D., Jean-Michel M., Claude M., Yaovi A. and Kossi N. 2014. Inventory and Comparative Characteristics of Dryer Used in the Sub-Saharan Zone: Criteria Influencing Dryer Choice. **Renewable and Sustainable Energy**

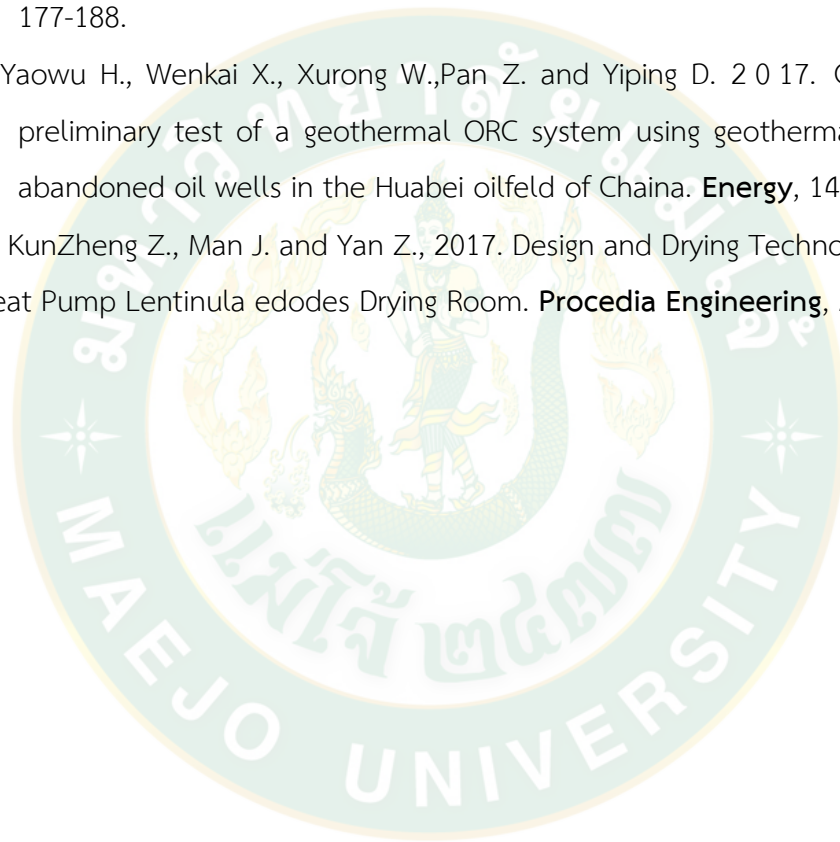
Reviews, 40, 1240-1259.

Vijayan S., Jayapragash R., Abhinav B., and Praveen A. 2017 Solar tracking methods to maximize PV system output – A review of the methods adopted in recent decade. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 74, 130-138.

Xiaodong Y., Youbing Z., Bo Z., Feiteng H., Yu C., and Shuaijie R. 2017 Optimal energy flow control strategy for a residential energy local network combined with demand-side management and real-time pricing. **Energy and Buildings**, 150, 177-188.

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.

Yin L., KunZheng Z., Man J. and Yan Z., 2017. Design and Drying Technology Research of Heat Pump Lentinula edodes Drying Room. **Procedia Engineering**, 205, 983-988.





ภาคผนวก



- ชื่อผู้แต่ง: ปรานต์ เมฆอากาศ
ชวโรจน์ ใจสิน
นัฐพร ไชยญาติ
จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล
- เรื่อง: ระบบควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ (Smart Controller System of Centralized Drying Room)
- การสัมมนา: การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3
- หน้าที่: 69-80
- สถานที่: โรงแรม Loft Mania Boutique Hotel อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร
- วันที่: 24-25 พฤษภาคม 2561





การประชุมวิชาการระดับชาติ ประจำปี ๒๕๖๑ (ครั้งที่ ๓)
ด้านสารสนเทศ การจัดการ การบริหารธุรกิจ วิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี
Multi National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business administration,
Engineering, Sciences and Technology (IAMBEST)

เกียรติบัตรฉบับนี้ ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

ปรานต์ เมฆอากาศ ชาวโรจน์ ไจสิน นัฐพร ไชยญาติ และจักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความวิจัย ภาคบรรยาย
เรื่อง “ระบบควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์”

วันที่ ๒๔ - ๒๕ พฤษภาคม ๒๕๖๑
ณ ลพท์ มาเนีย บูทีค โฮเทล อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร



(ศาสตราจารย์ ดร.สุชีวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

อธิการบดี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ระบบควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์
Smart Controlling System of Centralized Drying Room

ปรานต์ เมฆอากาศ¹ ชาวโรจน์ ไจสิน^{1*} นัฐพร ไชยญาติ¹ และ จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล²
Pran Makarkard¹, Chawaroj Jaisin^{1*}, Nattaporn Chaiyat¹ and Chakkarphan Thawongamyingsakul²

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

²สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

¹School of Renewable Energy, Maejo University

² Faculty of engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak

* Corresponding author: njaisin@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ โดยการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลเอวีอาร์เป็นตัวประมวลผลคุณสมบัติอากาศชื้น และอัตราการถ่ายเทความร้อนในห้องอบแห้ง หรือที่เรียกว่า ไซโครล็อกเกอร์ ซึ่งระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งใช้หลักการเปิด/ปิดปล่อยระบายอากาศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการอบแห้ง จากผลการศึกษาพบว่า ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ก่อนการปรับปรุง เมื่อทำการทดสอบอบแห้งจะทำการปิดปล่อยระบายอากาศประมาณ 50 min/h และเปิดปล่อยระบายอากาศ 10 min/h เพื่อระบายอากาศชื้นออกจากห้องอบแห้ง จากการศึกษาทดสอบก่อนปรับปรุงความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้งมีปริมาณมากกว่า 90% เป็นระยะเวลาประมาณ 40 min/h ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งค่อนข้างต่ำ และหลังการปรับปรุงได้ทำการติดตั้งระบบควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ โดยการตั้งค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90% ให้ทำการเปิดปล่อยระบายอากาศ และเมื่อความชื้นดังกล่าวลดลงเหลือ 60% ให้ทำการปิดปล่อยระบายอากาศ จากการศึกษาทดสอบระบบหลังการปรับปรุงสามารถควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90% ได้ระยะเวลาไม่เกิน 5 min/h นอกจากนี้ไซโครล็อกเกอร์สามารถวิเคราะห์และแสดงผลคุณสมบัติอากาศชื้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน รวมถึงประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ได้แบบเรียลไทม์

คำสำคัญ: ความชื้นสัมพัทธ์ ไซโครล็อกเกอร์ ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ระบบควบคุมอัจฉริยะ

Abstract

This research studies a smart relative humidity controller (RHC) of a centralized drying room by developed an AVR microcontroller of microprocessors a moist air property and heat transfer rate in the drying room, which is named as Psychro Logger. The RHC is set algorithm for controlling a released air window as on/off to performance efficiency of the drying room. From the study results, it could be found that the normal centralized drying room is normally set the operating time for on and off the released air window as 50 min/h and 10 min/h, respectively. In addition, the testing results show relative humidity of the moist air at higher than 90% around 40 min/h. Which the efficiency of the drying room was lows. While the developed drying room could be controlled relative humidity of the moist air at higher than 90% less 5 min/h, by relative humidity setted at 90% higher and 60% lower. Moreover, the new smart controller could be shown a real time data of moist air properties, heat transfer rate of and drying room efficiency.

Keywords: Centralized Drying Room, Psychro Logger, Relative Humidity, Smart Controller System

บทนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการนำความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการป้อนพลังงานความร้อนเข้าไปเพื่อให้เนื้อที่อยู่ที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมา และวิธีการระบายความชื้นภายในพื้นที่อบแห้งที่หลากหลาย เช่น Conrad et al. (1997) ได้ทำการทดลองอบผลไม้โดยใช้ป้อนความร้อนที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายในห้องอบแห้งผ่านพัดลม โดยความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เดิมอยู่ที่ 66.5% เมื่อผ่านกระบวนการความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เหลือ 15% และระบายความชื้นโดยวิธีการเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Adonis and Eliseo (2014) ที่ใช้การกลั่นตัวของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศภายในห้องอบแห้งโดยการนำอากาศที่มีความชื้นสูงผ่านเครื่องระเหยของป้อนความร้อนที่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิจุดกลั่นตัว ทำให้อไอน้ำในอากาศควบแน่นออกนอกพื้นที่อบแห้ง และงานวิจัยของ Chaiyat et al. (2014) ได้ทำการศึกษาที่ศึกษาภาพและเทคโนโลยีด้านพลังงานความร้อนได้พิภพ 97 แห่งของประเทศไทยพบว่า น้ำพุร้อนศักยภาพปานกลางที่มีอุณหภูมิระหว่าง 60-80 °C และน้ำพุร้อนศักยภาพปานกลางที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 60 °C สามารถนำไปใช้เป็นแหล่งความร้อนให้แก่ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์เพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรได้ วิธีการระบายความชื้นของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ จะทำการเปิด/ปิดปล่อยระบายความชื้นของห้องอบแห้ง [นัฐพร, 2560]

จากบทความที่ได้กล่าวมาข้างต้นยังไม่มีระบบการควบคุมความชื้นของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ จึงเป็นที่มาของงานวิจัยระบบควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ เพื่อพัฒนาโปรแกรมไซโครล็อกเกอร์ (Psychro Logger) และสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติร่วมกับห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ สร้างระบบวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้ง

1) ทฤษฎี

ระบบควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ใช้ทฤษฎีหลักในการออกแบบและพัฒนา คือ ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.1) ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ (นัฐพร, 2560)

ห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์เป็นการใช้ประโยชน์จากความร้อนทิ้งในรูปแบบของเหลวและก๊าซ โดยมีหลักการทำงาน คือ การป้อนความร้อนเข้าไปยังแผงแลกเปลี่ยนความร้อนในจุดที่ 1 ทำให้อากาศบริเวณรอบ ๆ แผงแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น และพัดลมในจุดที่ 3 จะทำหน้าที่พัดอากาศให้วนในห้องอบแห้งทำให้อากาศภายในห้องอบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้น เพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์ในจุดที่ 5 เมื่อผลิตภัณฑ์ได้รับความร้อนน้ำในผลิตภัณฑ์จะระเหยออกจากผลิตภัณฑ์กลายเป็นไอน้ำทำให้อากาศภายในห้องอบแห้งมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น และทำการเปิดปล่อยถ่ายเทอากาศด้านล่างในจุดที่ 6 เพื่อนำอากาศภายนอกเข้ามาแทนที่ อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะถูกระบายออกไปปล่อยถ่ายเทอากาศด้านบนในจุดที่ 7 ดังแสดงใน Figure 1

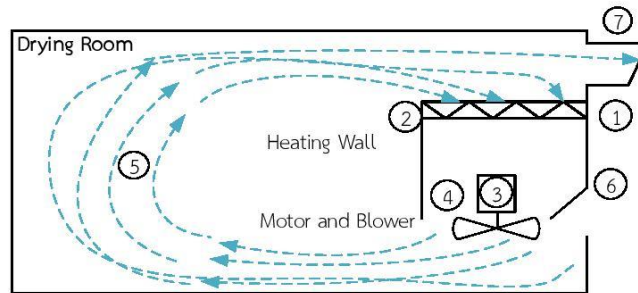


Figure 1 แผนภาพอุปกรณ์ทำงานห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

การวิเคราะห์การอบแห้งผลิตภัณฑ์สามารถวิเคราะห์จากการถ่ายเทความร้อนของอากาศขึ้นในกระบวนการอบแห้ง น้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ และพลังงานความร้อนที่เข้าไปยังผลิตภัณฑ์ และการคำนวณหาประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ สามารถหาได้จากอัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงแลกเปลี่ยนความร้อนเข้าสู่ระบบลดด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนส่วนด้วยพลังงานที่ป้อนให้แก่ระบบดังนี้

$$Q_{\text{Drying}} = \dot{m}_a[(h_{a,o} - h_{a,i}) + (\rho_{a,o} - \rho_{a,i})h_f] \quad (1)$$

$$Q_{\text{HW}} = \dot{m}_{\text{HW}}C_{p\text{HW,bulk}}(T_{\text{HW,i}} - T_{\text{HW,o}}) \quad (2)$$

$$\rho_{\text{Drying}} = Q_{\text{Drying}} / (Q_{\text{HW}} + W_{\text{fan}}) \quad (3)$$

1.2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ ระบบคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายโดยผ่านการออกแบบวงจร และยังสามารถโปรแกรมคำสั่งเพื่อควบคุมขาอินพุต/เอาต์พุต (Input/Output) เพื่อสั่งงานให้ไปควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบด้วย หน่วยประมวลผล (Micro Processor) หน่วยความจำชั่วคราว (RAM) หน่วยความจำถาวร (ROM) และสัญญาณไฟฟ้าขาเข้าและขาออก (I/O Pins) ซึ่งในยุคปัจจุบันนั้นสามารถทำการเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายของคอมพิวเตอร์ทั่วไป ดังนั้นการสั่งงานจึงไม่ใช่เพียงหน้าแผงวงจรแต่ยังสามารถสั่งงานในระยะไกลผ่านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ได้

อุปกรณ์และวิธีการศึกษา

ระบบควบคุมอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์มีขั้นตอนวิธีการดำเนินงานการศึกษาดังนี้

1) อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ระบบควบคุมความชื้นของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์รับรู้ภายในห้องอบแห้ง โดยอุปกรณ์รับรู้ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จะติดตั้งภายในห้องอบแห้ง (DHT1-DHT5) อุปกรณ์รับรู้อุณหภูมิน้ำร้อนไหลเข้า/ออกแผงแลกเปลี่ยนความร้อนของห้องอบแห้ง (DS18B20) อุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่พัลลัม (Watt Meter) ดังแสดงตัวอย่างดัง Figure 2 และตำแหน่งอุปกรณ์รับรู้ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องอบแห้ง ประกอบด้วย ด้านบนของผนังแจกลม (DHT₁) ด้านในผนังแจกลม (DHT₂) ด้านล่างผนังแจกลม (DHT₃) เพดานห้องอบแห้ง (DHT₄) ด้านหน้าของห้องอบแห้ง (DHT₅) และด้านนอกห้องอบแห้ง (DHT₆)

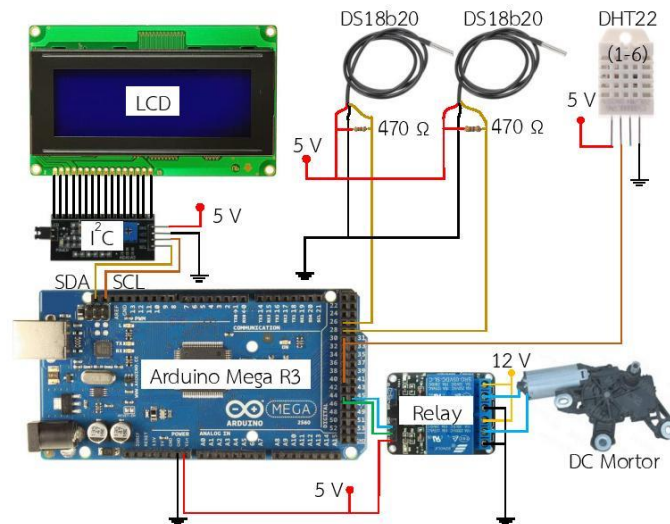


Figure 2 แผนภาพวงจรระบบควบคุมอุณหภูมิของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

- 2) ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ โดยห้องอบแห้งมีขนาดกว้าง 3.6 m ยาว 6 m สูง 3 m ทำการติดตั้งจุดวัดเพื่อใช้ในการพัฒนาโปรแกรมไซโครล็อกเกอร์ในขั้นตอนต่อไป
- 3) พัฒนาโปรแกรมไซโครล็อกเกอร์ เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศชื้น โดยการนำสมการที่ใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์หาคุณสมบัติของอากาศชื้น ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งจะมีรายละเอียดขั้นตอนการคำนวณดังแสดงใน Figure 3 และทำการเปรียบเทียบกับแผนภูมิไซโครเมตริกเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณของไมโครคอนโทรลเลอร์ และใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้ง
- 4) ทดสอบความชื้นภายในห้องอบแห้งก่อนปรับปรุง โดยการใช้หม้อต้มน้ำร้อนไฟฟ้าต้มน้ำในการสร้างความชื้นภายในห้องอบแห้ง บันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นภายในห้องอบแห้ง
- 5) ทดสอบความชื้นภายในห้องอบแห้งหลังการปรับปรุง โดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง ในระบบควบคุมความชื้นภายในห้องอบแห้งจะกำหนดการเปิดปล่อยถ่ายเทอากาศด้านล่างตามค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดที่ 90% และกำหนดการปิดปล่อยถ่ายเทอากาศด้านล่างตามค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดที่ 60% บันทึกค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นภายในห้องอบแห้ง
- 6) ทดสอบการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ขั้นตอนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศชื้นด้วยโปรแกรมไซโครล็อกเกอร์ เพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนของอากาศชื้นในห้องอบแห้ง และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของห้องอบแห้งระหว่างระบบควบคุมความชื้นก่อนปรับปรุงและระบบควบคุมความชื้นหลังปรับปรุงดังแสดงใน Figure 3

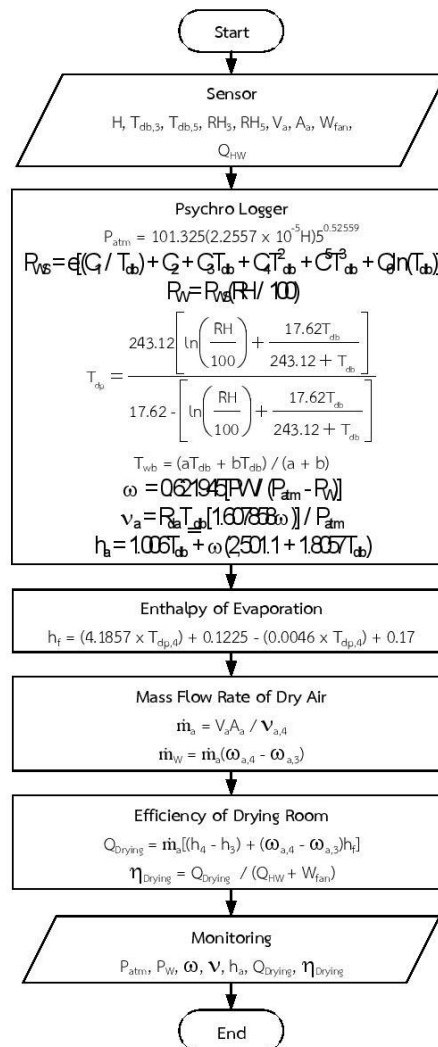


Figure 3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

ผลและการอภิปรายผล

1) โปรแกรมไซโครล็อกเกอร์

ผลการศึกษาพบว่า ไซโครล็อกเกอร์สามารถคำนวณค่าของคุณสมบัติอากาศชื้นประกอบด้วย ความดันชั้นบรรยากาศ (P_{atm}) ความดันย่อยของไอน้ำ (P_w) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (T_{dp}) อัตราส่วนความชื้น (\square_a) ปริมาตรจำเพาะ (\square_a) และเอนทัลปี (h_a) โดยมีรายละเอียดและค่าความคลาดเคลื่อนดังแสดงใน Table 1

Table 1 การทดสอบการคำนวณค่าของไซโครล็อกเกอร์เปรียบเทียบกับแผนภูมิไซโครเมทริก

Sensor Input			
High of Sea	0 m		
Dry Bulb Temperature (T_{db})	26.5 °C		
Relative Humidity (RH)	83.1%		
Moist Air Property	Psychro Logger	Psychrometric Chart	Error 5%
Barometric Pressure (P_{atm})	101.32 kPa	101.32 kPa	0%
Partial Pressure of Water Vapor (P_w)	2.85 kPa	2.90 kPa	1.71%
Dew Point Temperature (T_{dp})	23.39 °C	23.6 °C	0.89%
Humidity Ratio (\square_a)	18 g _w /kg _{da}	18.5 g _w /kg _{da}	2.7%
Specific Volume (\square_a)	0.870 m ³ /kg	0.874 m ³ /kg	0.47%
Enthalpy of Moist Air (h_a)	72.54 kJ/kg	73.5 kJ/kg	1.31%

2) ระบบควบคุมความชื้นในห้องอบแห้งก่อนปรับปรุง

ผลการทดสอบพบว่า กระบวนการอบแห้งของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์จะทำการปิดปล่องระบายความชื้น 50 min/h และจะทำการเปิดปล่องระบายความชื้น 10 min/h ทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบแห้ง (RH_{DR}) มีค่ามากกว่า 90% เป็นระยะเวลาที่มากกว่า 40 min/h และใช้กำลังไฟฟ้าให้แก่พัดลม (W_{fan}) ที่ 287 W ดังแสดงใน Figure 4

3) ระบบควบคุมความชื้นในห้องอบแห้งหลังปรับปรุง

ผลการทดสอบพบว่า ความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ภายในห้องอบแห้งสามารถกำหนดให้อยู่ในช่วง 60-90% ได้โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นภายในห้องอบแห้ง (RH_{DR}) มีค่ามากกว่า 90% ไม่เกิน 5 min ใช้ระยะเวลาในช่วงเปิดปล่องระบายความชื้นประมาณ 6 min/h ใช้พลังงานไฟฟ้าในการควบคุมการเปิด/ปิดปล่องระบายอากาศด้านล่างของห้องอบแห้ง 18-24 W ดังแสดงใน Figure 5

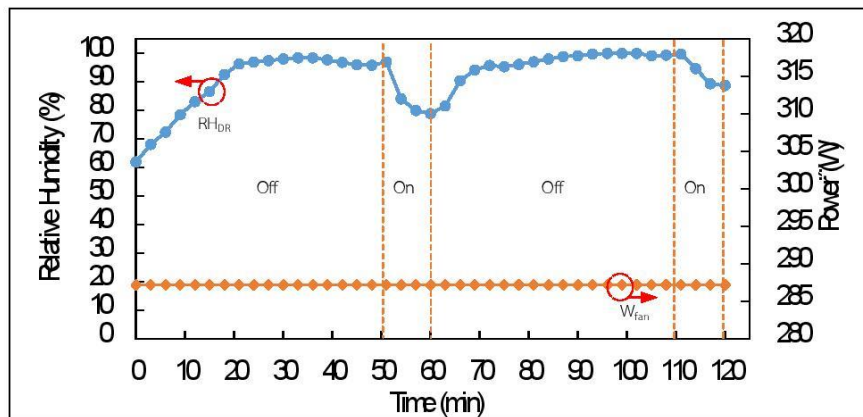


Figure 4 ผลการทดลองระบบควบคุมความชื้นก่อนปรับปรุง

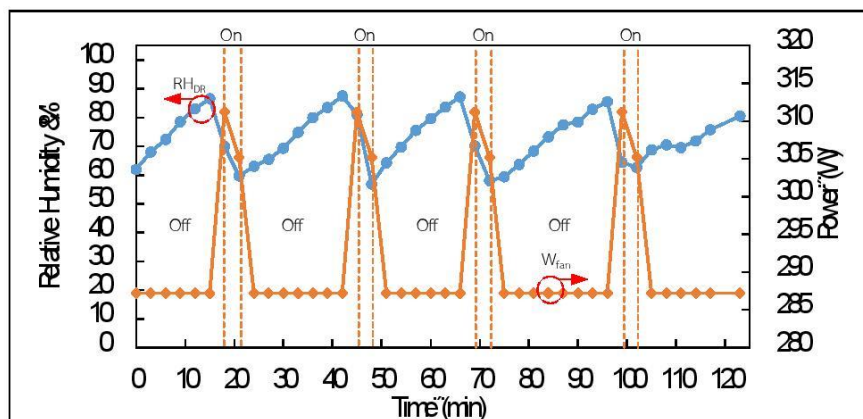


Figure 5 ผลการทดลองระบบควบคุมความชื้นหลังปรับปรุง

4) วิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์

จากการทดสอบไซโครลือกเกอร์ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศชื้นในจุดที่ 3 (DHT₃) และ 4 (DHT₄) จากนั้นวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้งพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนของแผงแลกเปลี่ยนความร้อน (Q_{HW}) มีค่าประมาณ 40 kW และอัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องอบแห้ง (Q_{Drying}) ที่ 17.16-37.85 kW เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ (T₃ และ T₄) และความชื้นสัมพัทธ์ (RH₃ และ RH₄) ดังแสดงใน Figures 6 และ 7 ตามลำดับ

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3

The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business Administration, Engineering, Science and Technology



และเมื่อนำค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของห้องอบแห้งมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพ แบ่งตามระบบควบคุมความชื้นก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงได้ดังนี้

4.1) ประสิทธิภาพของระบบควบคุมความชื้นก่อนปรับปรุง

ผลการทดสอบพบว่า ในช่วงเริ่มต้นค่าความชื้นสัมพัทธ์ในจุดที่ 3 (RH₃) และจุดที่ 4 (RH₄) เมื่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ในจุดที่ 3 เพิ่มขึ้นมากกว่า 80% ในช่วงเวลา 10-50 min และ 70-110 min ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนภายในกระบวนการอบแห้งลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของห้องอบแห้ง (Q_{Drying}) ลดลง และการระบายความชื้นภายในห้องอบแห้งไม่เต็มที่เท่าที่ควร ทำให้ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งในระบบควบคุมความชื้นก่อนปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 49.54% ดังแสดงใน Figure 8

4.2) ประสิทธิภาพของระบบควบคุมความชื้นหลังปรับปรุง

ผลการทดสอบพบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในจุดที่ 4 (RH₄) และจุดที่ 3 (RH₃) ถูกระบายความชื้นให้อยู่ในช่วง 60-90% ทำให้อากาศไม่ถึงจุดอิ่มตัว ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของห้องอบแห้ง (Q_{Drying}) มีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 66.2% ดังแสดงใน Figure 9

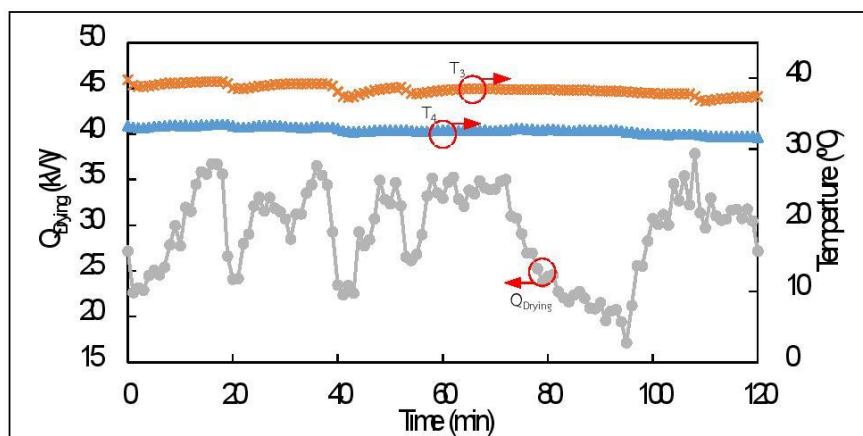


Figure 6 ผลการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนจุดที่ 3 และ 4 เทียบกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

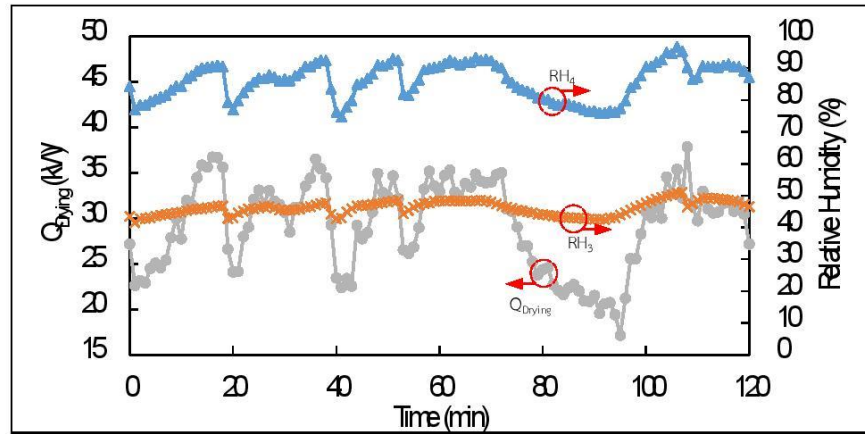


Figure 7 ผลการวิเคราะห์อัตราการถ่ายเทความร้อนจุดที่ 3 และ 4 เทียบกับความชื้นสัมพัทธ์

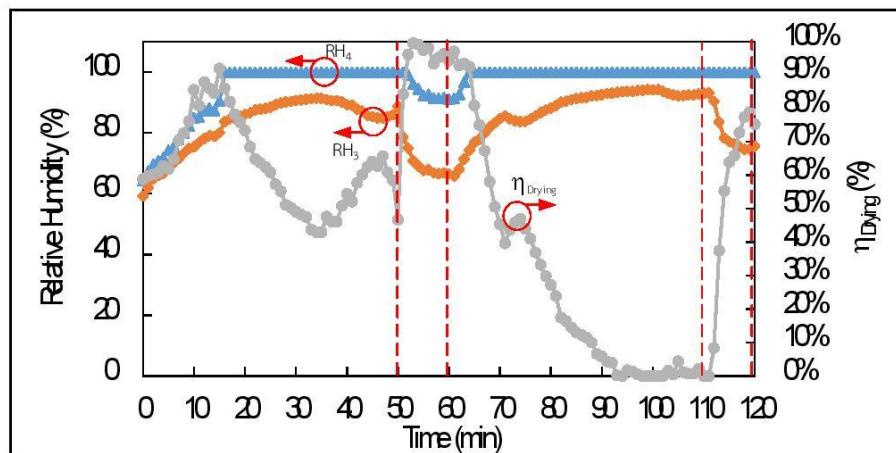


Figure 8 ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งก่อนปรับปรุงเปรียบเทียบกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ในจุดที่ 3 และจุดที่ 4

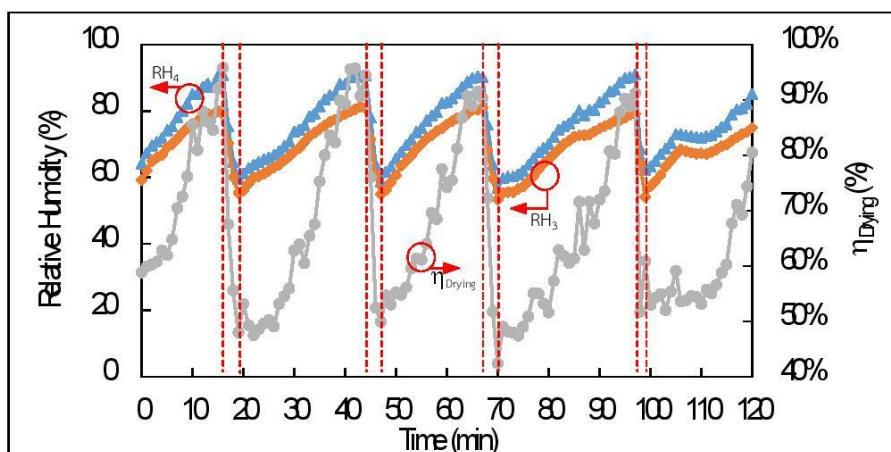


Figure 9 ประสิทธิภาพของห้องอบแห้งหลังปรับปรุงเปรียบเทียบกับค่าความชื้นสัมพัทธ์ในจุดที่ 3 และจุดที่ 4

สรุปผล

จากการออกแบบและพัฒนากระบวนการควบคุมความชื้นอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ผลที่ได้ คือ

- 1) โปรแกรมไซโครล็อกเกอร์สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติอากาศชื้นประกอบด้วย ความดันบรรยากาศ ความดันไอน้ำอิ่มตัว ความดันย่อยของไอน้ำ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง อัตราส่วนความชื้น ปริมาตรจำเพาะ และเอนทัลปี โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.26%
- 2) ระบบควบคุมความชื้นอัจฉริยะของห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์สามารถควบคุมความชื้นภายในห้องอบแห้งให้อยู่ในช่วง 60-90%
- 3) ประสิทธิภาพกระบวนการอบแห้งของระบบควบคุมความชื้นก่อนปรับปรุงเฉลี่ย 49.54% ระบบควบคุมความชื้นหลังปรับปรุงเฉลี่ย 66.2% สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งเฉลี่ย 34.13%

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาภายใต้โครงการ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” และขอขอบคุณ “โครงการผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำความเย็นและความร้อน” ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินงาน

เอกสารอ้างอิง

- นัฐพร ไชยญาติ. 2560. การนำความร้อนทิ้งกลับคืน (Waste Heat Recovery), วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้. พิมพ์ครั้งที่ 6 , 457 หน้า
- Adonis C. and Eliseo V. 2014. An Experimental Investigation of the Fruit Drying Performance of a Heat Pump Dryer. *Biology and Environmental Sciences*. 14: 25-29.

- Chaiyat N., Chaicha C., and Singharajwarapan F. 2014. Geothermal Energy Potentials and Technologies in Thailand. Fundamental of Renewable Energy and Applications. 1-9.
- Conrad O., Perera R. and Shafiur R. 1997. Heat pump dehumidifier drying of food. Trends in Food Science & Technology. 8: 75-79.
- Dae K.L., Byoung H.A. and Ji H.J. 2018. Method to Control an Air Conditioner by Directly Measuring the Relative Humidity of Indoor Air to Improve the Comfort and Energy Efficiency. Applied Energy. 215: 290-299.
- Hamid G., Alireza K., Mortaza A. and Shahin R. 2016. Improving Exergetic Performance Parameters of a Rotating-Tray Air Dryer via a Simple Heat Exchanger. Applied Thermal Engineering. 94: 13-23.
- Merlin S., Andre Z., Romian R. and Yann R. 2018. Mathematical Modelling and Numerical Simulation of a Simple Solar Dryer for Tropical Wood Using a Collector. Applied Thermal Engineering. 131:356-369.
- Prashant S.C., Anil K., Chayut N. and Jan B. . Thermal Modeling and Drying Kinetics of Bitter Gourd Flakes Drying in Modified Greenhouse Dryer. Renewable Energy. 118: 799-813.
- Tchamye B., Helene D., Jean-Michel M., Claude M., Yaovi A. and Kossi N. 2014. Inventory and Comparative Characteristics of Dryer Used in the Sub-Saharan Zone: Criteria Influencing Dryer Choice. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 40: 1240-1259.
- Yin L., KunZheng Z., Man J. and Yan Z., 2017. Design and Drying Technology Research of Heat Pump Lentinula edodes Drying Room. Procedia Engineering. Pp. 983-988.

รายการสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

A	Area, (m ²)
C _p	Heat Capacity, (kJ/kg•K)
h	Enthalpy, (kJ/kg)
M	Mass, (kg)
P	Pressure, (kPa)
Q	Heat Rate, (kW)
T	Temperature, (°C)
V	Velocity, (m/s)

ตัวกรีก

ε	Effectiveness, (%)
ṁ	Mass Flow Rate, (kg/s)
η	Efficiency, (%)
v	Specific Volume, (m ³ /kg)
ω	Humidity Ratio, (g _w /kg _{da})

การประชุมวิชาการระดับชาติ IAMBEST ครั้งที่ 3
The 3rd National Conference on Informatics, Agriculture, Management, Business
Administration, Engineering, Science and Technology



อักษรย่อ

a	Air
da	Dry Air
db	Dry Bulb
dp	Dew point
DR	Drying Room
f	Fluid
HW	Hot Water
i	Inlet
o	Outlet
w	Water

- ชื่อผู้แต่ง: ปรานต์ เมฆอากาศ
ชวโรจน์ ใจสิน
นัฐพร ไชยญาติ
จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล
- เรื่อง: ระบบควบคุมและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จากส่วนควบคุมหลัก PLC ผ่านอินเทอร์เน็ตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง 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)
- การสัมมนา: การประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5
- หน้าที่: 1210-1220
- สถานที่: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
- วันที่: 6-8 ธันวาคม 2561



การประชุมวิชาการวิจัย และนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5

“ผู้วิจัยรับใช้สังคม ด้วยนวัตกรรมสร้างสรรค์”

ขอขอบเกียรติบัตรนี้ไว้เพื่อแสดงว่า

ปราณต์ เมฆอากาศ ชวโรจน์ ใจสิน นัฐพร ไชยญาติ และจิกรพันธ์ กาวรงามยิ่งสกุล

ได้เข้าร่วมนำเสนอบทความในการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 5

เรื่อง ระบบควบคุมและแสดงผลอัจฉริยะระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ของกิจการน้ำพุร้อนสินน้ำแก๊ง

อำเภอแฉอม ตามแนวพระราชดำริ

ระหว่าง วันที่ 6 - 8 ธันวาคม 2561
ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตาก

รองศาสตราจารย์ ศาสศิริ ส่องจิตต
ผู้ปฏิบัติหน้าที่อธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ระบบควบคุมและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จากส่วนควบคุมหลัก PLC
ผ่านอินเทอร์เน็ตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์
ของกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน 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 ใจสิน¹ นัฐพร ไชยญาติ¹
จักรพันธ์ ถาวรวงมยิ่งสกุล² และพรพรรณ ชนาภิวัดน์³
Pran Makarkard¹, Chawaraj Jaisin¹, Nattaporn Chaiyat¹
Chakkarphan Thawonngamyingsakul² and Pornpan Chanapiwat

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

²สาขาวิศวกรรมเครื่องกล 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

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาระบบควบคุมและแสดงผลการผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ในกิจการน้ำพุร้อนสันกำแพง อำเภอแม่อน จังหวัดเชียงใหม่ โดยวัฏจักรแรงดันอินทรีย์มีพีแอลซี (PLC) เป็นระบบควบคุมหลักและมีการติดตั้งจุดตรวจวัดที่เชื่อมต่อกับพีแอลซีเพื่อใช้การควบคุมและแสดงผล งานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดูইโน (Arduino Mega 2560) ทำการเชื่อมต่อกับส่วนควบคุมหลักที่แอลซีผ่านช่องทางสื่อสารแบบอนุกรม (RS485) เพื่อสร้างระบบควบคุมการเปิดปิดระบบระบบเครื่องช่วยอินเทอร์เน็ตผ่านโมดูลไอพี (ESP8266) ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านช่องทางสื่อสารแบบอนุกรม (RS232) และทำการติดตั้งจุดตรวจวัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้านพลังงานของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อแสดงผลผ่านระบบเครื่องช่วยอินเทอร์เน็ต ผลการศึกษา พบว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเชื่อมต่อสื่อสารกับพีแอลซีผ่านช่องทางสื่อสารแบบอนุกรม (RS485) โดยช่วงเวลาในการรับส่งค่าอยู่ที่ประมาณ 2 s และเชื่อมต่อบริเวณควบคุมและแสดงผลของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์กับระบบเครื่องช่วยอินเทอร์เน็ตผ่านโมดูลไอพี ที่สามารถควบคุมการเปิดปิดทางไกลผ่านระบบเครื่องช่วยอินเทอร์เน็ตได้ 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

ในงานด้านพลังงานทดแทนได้มีการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติเข้ามาช่วยโดยเรียกว่าพลังงานอัจฉริยะ พลังงานอัจฉริยะหรือระบบพลังงานอัจฉริยะนิยมใช้กันอย่างมากแพร่หลายตั้งแต่ปี 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) ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนใต้พิภพด้วยวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ที่มีผลพลเหลืออยู่ประเทศจีน ที่ได้ทำการสร้างและทดสอบวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ที่ใช้น้ำมันรำงผลที่ได้ พบว่าประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ 5.33% ที่การผลิตกระแสไฟฟ้า 163.44 kW และ Saeid MB. Et.al ได้ทำการวิจัยเศรษฐศาสตร์จากพลังงานความร้อนใต้พิภพที่ใช้วัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ผลิตไฟฟ้าจากไอเสียโรงไฟฟ้าชามาลานประเทศอิหร่าน มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 20.57% Nattaporn et al. (2014) ได้ศึกษาศักยภาพของแหล่งพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย และได้แบ่งความศักยภาพออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ ศักยภาพสูงที่มีอุณหภูมิมากกว่า 80 °C สามารถใช้วัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ในการผลิตไฟฟ้า ศักยภาพปานกลางที่มีอุณหภูมิระหว่าง 60-80 °C สามารถใช้ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ และศักยภาพต่ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 60 °C จะทำการเพิ่มอุณหภูมิด้วยวัฏจักรอัดไอเพื่อให้สามารถเข้าร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และห้องอบแห้งแบบรวมศูนย์ได้

กิจการนำความร้อนสันกำแพงเป็นแหล่งน้ำพุร้อนที่ศักยภาพสูงมีช่วงอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 105-120 °C และได้ใช้วัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ในการผลิตไฟฟ้าขนาดกำลังการผลิตอยู่ที่ 10 kW ใช้ที่แอลซีในการควบคุมระบบโดยมีการติดตั้งตัวตรวจวัดเพื่อแสดงผลของอุณหภูมิ น้ำร้อนที่ป้อนให้แก่ระบบ แรงดันสารทำงาน อุณหภูมิสารทำงาน และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้แสดงผลยังหน้าจอแอลซีดี แต่ยังคงขาดระบบที่ช่วยในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านพลังงาน อีกทั้งยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำเสนอระบบควบคุมและแสดงผลทางไกลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบและสร้างระบบควบคุมและแสดงผลของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยทำการวิเคราะห์ผลทาง

พลังงานด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ประยุกต์ใช้งานในด้านพลังงานทดแทน

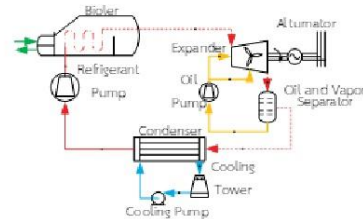
2. วัตถุประสงค์

- เพื่อสร้างระบบควบคุมและแสดงผลของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต
- เพื่อสร้างระบบวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
- เพื่อออกแบบประยุกต์การใช้งานทางด้านพลังงานร่วมกับระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

3. แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1) วัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์

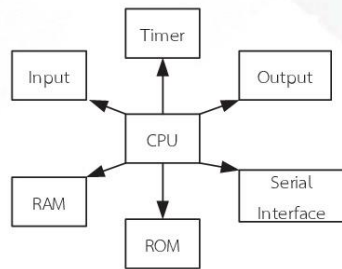
หลักการการทำงานของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ สารทำงานในสถานะของเหลว จะถูกส่งมารับความร้อนที่หม้อต้มสารทำงาน (Boiler) โดยปั๊มสารทำงาน (Refrigerant Pump) จากนั้นสารทำงานจะรับความร้อนเป็นไอร้อนยวดยิ่งเข้าสู่เครื่องขยายตัว (Expander) ขับเพลลาที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Alternator) เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้า จากนั้นความดันและอุณหภูมิของไอสารทำงานที่ทางออกของเครื่องขยายตัวเ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



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์

3.2) ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ ระบบควบคุมที่มีหน่วยประมวลผล (CPU) ที่ทำหน้าที่ประมวลผลตามคำสั่งที่ผู้ใช้งานจะทำการพัฒนา 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 ที่เชื่อมต่อกันได้มากยุคหลังปี ค.ศ. 2000 โลกมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ออกมาเป็นจำนวนมาก โดยใช้ระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในการบริหารจัดการแทน

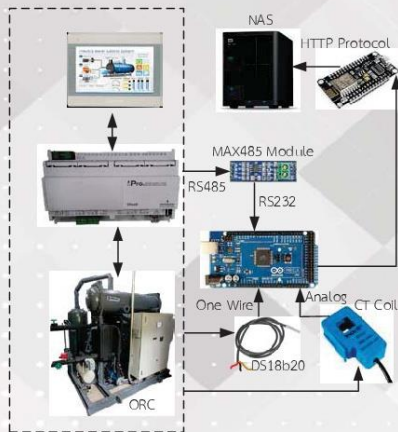
ผู้ใช้งาน เพื่อความสะดวกสบายในชีวิตประจำวันของผู้ใช้งาน



รูปที่ 3 อินเทอร์เน็ตจัดการทุกสรรพสิ่ง

4. ขั้นตอนละวิธีการศึกษา

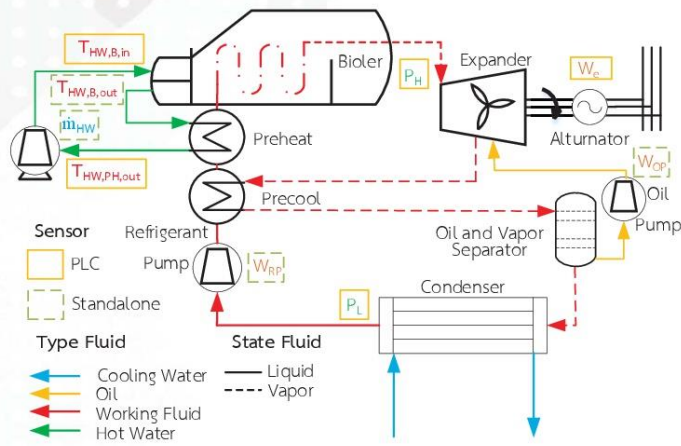
ขั้นตอนและวิธีการศึกษาของงานวิจัยนี้ได้ทำการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ากับพีแอลซีเพื่อทำการดึงข้อมูลจากตัวตรวจวัด และทำการติดตั้งไอซีวัดอุณหภูมิ (DS18B20) และหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (CT Coil) เพื่อทำการวัดค่าเพิ่มเติมเนื่องจากจุดตรวจวัดที่เชื่อมต่อกับพีแอลซีไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพที่ต้องการวัดค่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่ออกจากหม้อต้มสารทำงาน และค่ากระแสไฟฟ้าของปั๊มสารทำงานและปั๊มน้ำมันหล่อลื่นของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยรายละเอียดของขั้นตอนละวิธีการศึกษามีดังนี้



รูปที่ 4 ผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบควบคุมและแสดงผล

4.1) การเชื่อมต่อนระบบควบคุมและแสดงผล

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบควบคุมและแสดงผลของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์นำข้อมูลของ ตัวตรวจวัดจากหน่วยควบคุมหลักของระบบ ประกอบด้วย อุณหภูมิน้ำร้อนเข้ายังหม้อต้มสารทำงาน ($T_{HW,B,in}$) อุณหภูมิน้ำร้อนออก อุปกรณ์เพิ่มความร้อน ($T_{HW,PH,out}$) ความดันสารทำงานด้านสูง (P_H) ความดันสารทำงานด้านต่ำ (P_L) และกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (W_e) หลังจากนั้นทำการติดตั้งไอซีวัดอุณหภูมิ (DS18B20) ในการวัดอุณหภูมิน้ำร้อนออกจากหม้อต้มสารทำงาน ($T_{HW,B,out}$) เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในรูปแบบอินไวร์ (One Wire) รวมถึงติดตั้งหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (CT Coil) ที่อุปกรณ์ไฟฟ้าในวัฏจักรแรงดันอินทรีย์ในการวัดค่ากระแสไฟฟ้า เพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าของปั๊มสารทำงาน (W_{pp}) ปั๊มน้ำมันหล่อลื่น (W_{op}) และวัดค่ากระแสของปั๊มน้ำร้อน วิเคราะห์ร่วมกับกระแสเต็มและอัตราการไหลเต็มของปั๊มน้ำร้อนเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำร้อน (m_{HW}) โดยรายละเอียดจะแสดงในรูปที่ 5 และ ตารางที่ 1



รูปที่ 5 อุปกรณ์จุดตรวจวัดของวัฏจักรแรงดันอินทรีย์

4.2) ออกแบบและสร้างระบบควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ต

ระบบควบคุมระยะไกลของวิถจักรแรงคินสารอินทรีย์ใช้ที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่าย (Network Attached Storage: NAS) เป็นศูนย์กลาง ที่ทำการเชื่อมต่อผ่านโมดูลไวไฟผ่านโพรโทคอลสื่อสารสำหรับการแลกเปลี่ยนสารสนเทศผ่านอินเทอร์เน็ต (HTTP Protocol) โดยจะทำการสร้างสวิตช์บนหน้าเว็บไซต์เพื่อใช้เป็นตัวแทนปุ่มเปิดปิดของระบบ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถสั่งการเปิดปิดผ่านอินเทอร์เน็ตได้ โดยพัฒนาโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ในการป้อนคำสั่งเปิดปิดระบบเข้าไปยังพีแอลซีซึ่งเป็นหน่วยควบคุมหลัก และสามารถประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานทางไกลผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ถามสถานะของสวิตช์จากเว็บไซต์ เพื่อใช้ในการควบคุมการเปิดปิดวิถจักรแรงคินสารอินทรีย์ ตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 6

4.3) ออกแบบและสร้างระบบแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ต

ระบบแสดงผลวิถจักรแรงคินสารอินทรีย์จะทำการรับค่าข้อมูลของจุดวัดภายในของวิถจักรแรงคินสารอินทรีย์เข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่าของจุดวัดที่เข้าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการวิเคราะห์ผลด้านพลังงาน

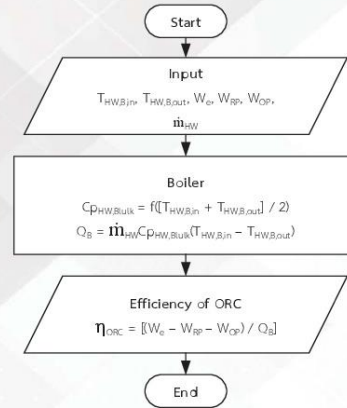
ของวิถจักรแรงคินสารอินทรีย์ ซึ่งจะรับค่าอุณหภูมิน้ำร้อนเข้าออกหม้อต้มสารทำงาน (Boiler) และอัตราการไหลของน้ำร้อน (m_{HW}) เพื่อทำการคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อต้มสารทำงาน (Q_B) จากนั้นทำการคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้โดยการนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (W_e) ลบให้กับผลรวมของพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารทำงาน (W_{RP}) และปั๊มน้ำร้อน (W_{OP}) และทำการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของระบบ (η_{RC}) โดยขั้นตอนการวิเคราะห์ของระบบแสดงในรูปที่ 7 หลังจากนั้นระบบแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ตใช้ที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่ายเป็นตัวกลางในการเก็บข้อมูล เชื่อมต่อด้วยโมดูลไวไฟ (ESP8266) ผ่านช่องทางการสื่อสารแบบอนุกรม (RS232) ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ การติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และพีแอลซีนี้ใช้วิธีการสื่อสารแบบอนุกรม (RS485) ในการสื่อสาร โดยใช้ข้อมูลที่อยู่ที่ (Address) และคำสั่ง (Function) ของพีแอลซีจากการพัฒนาโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ ของวิถจักรแรงคินสารอินทรีย์ 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) อาร์ดูอโน
P_H	แรงดันสารทำงานด้านสูง	ตัวตรวจวัดแรงดัน พีแอลซี
P_L	แรงดันสารทำงานด้านต่ำ	
W_e	กำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	เพาเวอร์มิเตอร์ พีแอลซี
W_{RP}	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มสารทำงาน	โวลต์มิเตอร์ หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า อาร์ดูอโน
W_{OP}	กำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ปั๊มน้ำร้อน	
m_{HW}	อัตราการไหลของน้ำร้อน	หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า อาร์ดูอโน



รูปที่ 6 การเชื่อมต่อผู้ใช้งานร่วมกับวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต



รูปที่ 7 ขั้นตอนการวิเคราะห์วัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์

5. ผลการวิจัย

ผลการออกแบบและสร้างระบบควบคุมและแสดงผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จากพีแอลซี ผ่านอินเทอร์เน็ตของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์มีดังนี้

5.1 การเชื่อมต่อระบบควบคุมและแสดงผล

ระบบตรวจวัดและแสดงผลของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ทำการนำข้อมูลจากอุปกรณ์ควบคุมหลักของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์ผ่านช่องทางพอร์ทอนุกรม (RS485) แสดงค่าโดยหลัก คือ อุณหภูมิน้ำร้อนเข้าออกหม้อต้มสารทำงาน แรงดันสารทำงาน และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ แสดงยังแอลซีดีมินิเตอร์บริเวณหน้ากล่องดังแสดงในรูปที่ 8 และ 9



รูปที่ 8 ส่วนควบคุมหลักของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์



รูปที่ 9 หน้าจอแสดงผลของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำการเชื่อมต่อกับพีแอลซี ผ่านช่องทางสื่อสารแบบอนุกรม (RS485) ใช้วิธีการสื่อสารในลักษณะมอดบัส (Modbus RTU) โดยได้กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นมาสเตอร์ (Master) และพีแอลซีเป็นสเลฟ (Slave) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการถามค่าจากพีแอลซีทีละค่าตามตำแหน่งของเลขที่อยู่ (Address) และยังสามารถกำหนดค่าของเลขที่อยู่ในบางตำแหน่งได้เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของพีแอลซีผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ การสื่อสารระหว่างพีแอลซีไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นใช้เวลาต่อครั้งไม่เกิน 2 s และใช้เวลาในการบันทึกค่าไปยังที่เก็บข้อมูลที่แนบมากับเครือข่ายในระยะเวลา 1 min

5.2) ระบบควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ต

ระบบควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ตในส่วนนี้สามารถเข้าได้เพียงผู้ดูแลระบบ (Admin) เพื่อทำการสั่งการเปิดหรือปิดปฏิกรณ์แรงดันสารอินทรีย์ได้ในการควบคุมระยะไกล โดยทำการเปิดปิดด้วยการกดสวิทช์ในหน้าเว็บไซต์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการถามค่าสวิทช์จากเว็บไซต์ผ่านโมดูลไวไฟ เพื่อทำการสั่งการเปิดปิดระบบตามสถานะของสวิทช์ในเว็บไซต์ อีกทั้งสวิทช์ในเว็บไซต์สามารถเปลี่ยนสถานะได้โดยการสั่งเปิดปิดที่ระบบควบคุมหลัก โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านโมดูลไวไฟ ดังแสดงในรูปที่ 17

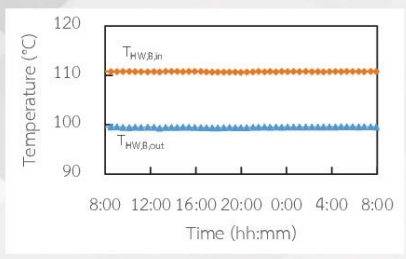


รูปที่ 17 หน้าต่างควบคุมทางไกลผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

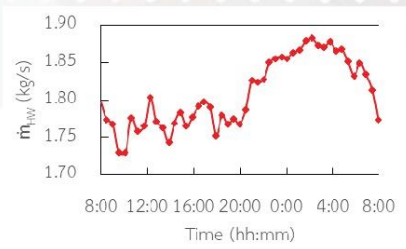
5.3) ระบบแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ต

ระบบแสดงผลผ่านอินเทอร์เน็ตของปฏิกรณ์แรงดันสารอินทรีย์สามารถเยี่ยมชมผ่านเว็บไซต์ ผู้ใช้งานสามารถเข้าเยี่ยมชมระบบตรวจวัดและแสดงผลวิเคราะห์ผ่านอินเทอร์เน็ตบนเบราว์เซอร์ในหน้าเว็บไซต์

[www.tdetlab.com, 2561] ประกอบด้วย อุณหภูมิของน้ำร้อนที่เข้าออกหม้อต้มสารทำงาน อัตราการไหลของน้ำร้อน อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้มสารทำงาน กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า และประสิทธิภาพของวัฏจักรแรงดันสารอินทรีย์



รูปที่ 10 อุณหภูมิของน้ำร้อนหม้อต้มสารทำงาน

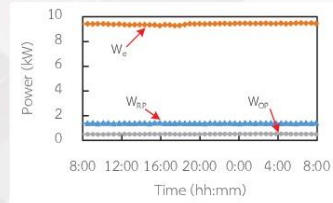


รูปที่ 11 อัตราการไหลของน้ำร้อน

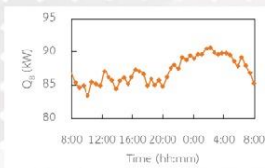
ผลต่างของอุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าและออกมีค่าคงที่ประมาณ 10 °C (แสดงในรูปที่ 10) และอัตราการไหลของน้ำร้อนที่เข้าไปยังหม้อต้มสารทำงานมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่ 1.73-1.88 kg/s (แสดงในรูปที่ 11) ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้มสารทำงานมีค่าขึ้นลงตามตัวแปรเปลี่ยนแปลงตามช่วงอยู่ในช่วงประมาณ 83.48-90.72 kW (แสดงในรูปที่ 12) แต่ในส่วนควบคุมหลัก



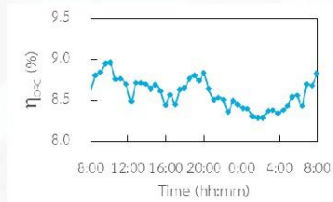
ของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์จะควบคุมอัตราการไหลของสารทำงานจึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่วัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ค่อนข้างคงที่ 9.2-9.5 kW และการป้อนกำลังไฟฟ้าให้แก่ปั๊มสารทำงานและปั๊มน้ำมันหล่อลื่นมีค่าคงที่ 1.89-1.96 kW (แสดงในรูปที่ 13) เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์นำค่าที่ได้มาทำการคำนวณแล้ว ค่าประสิทธิภาพมีค่าผันตามเมื่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้มสารทำงานสูงขึ้นที่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



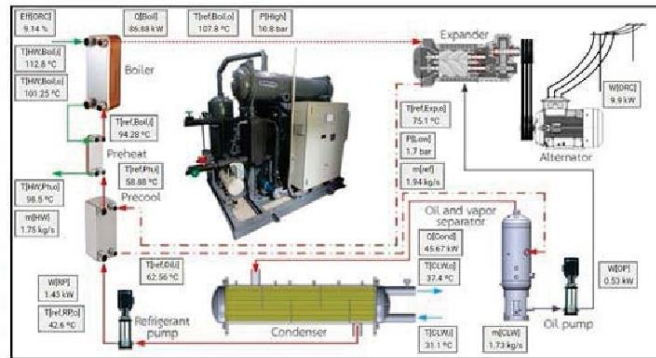
รูปที่ 13 กำลังไฟฟ้าของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (W_c) ปั๊มสารทำงาน (W_{pp}) และปั๊มน้ำมันหล่อลื่น (W_{op})



รูปที่ 12 อัตราการถ่ายเทความร้อนของหม้อต้มสารทำงาน



รูปที่ 14 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพแบบเรียลไทม์



รูปที่ 15 หน้าแสดงผลของวัฏจักรแรงคินสารอินทรีย์ผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

6. อภิปรายผลการวิจัย

ระบบควบคุมและแสดงผลของวงจรรังสีสมทบอินทรีไฮดรอนระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตประโยชน์ที่ได้จากระบบ คือ การวิเคราะห์ของผู้ทำวิจัยด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และช่วยในการบันทึกค่าต่าง ๆ จากผลการทดสอบพบว่า เมื่ออุณหภูมิมีน้ำร้อนที่เข้ามายังหม้อต้มสารทำงานประมาณ 110 °C ระบบควบคุมหลักจะทำการควบคุมอัตราการไหลของสารทำงาน ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิในหม้อต้มสารทำงานคงที่ ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่วงจรรังสีสมทบอินทรีที่สามารถผลิตได้เฉลี่ยที่ 9.39 kW และภาระการใช้งานไฟฟ้าของระบบเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยโดยมีสารทำงานกับปั๊มน้ำมันหม้อต้มใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1.93 kW ส่งผลให้ประสิทธิภาพของวงจรรังสีสมทบอินทรีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการคำนวณมีค่าอยู่ที่ 8.29%-8.96% ผลการคำนวณจากไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยรวมที่ 3.97% โดยความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมาจากตัวแปรที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีตำแหน่งทศนิยมน้อยกว่าคอมพิวเตอร์ จึงทำให้เกิดการผิดพลาดในการคำนวณขึ้น อีกทั้งไอซีตัวอุณหภูมิ (DS18B20) มีความผิดพลาดของตัวอุปกรณ์จึงมีผลในความคลาดเคลื่อนในการคำนวณ

7. สรุป

ระบบควบคุมและแสดงผลของวงจรรังสีสมทบอินทรีไฮดรอนระบบควบคุมทางไกลสามารถเปิดปิดระบบได้ผ่านเว็บไซต์ อีกทั้งสามารถวิเคราะห์ผลทางด้านพลังงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่หม้อต้มสารทำงานเฉลี่ยที่ 87.17 kW กำลังการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 9.39 kW และประสิทธิภาพของวงจรรังสีสมทบอินทรีเฉลี่ยที่ 8.59% โดยมีความผิดพลาดที่ 3.97% อีกทั้งยังสามารถแสดงผลต่าง ๆ จากจุดวัดและผลจากการคำนวณไปยังหน้าเว็บไซต์แบบเรียลไทม์ได้ ซึ่งทำให้เห็นประสิทธิภาพของระบบได้ในทันที และประโยชน์ที่ได้จากระบบควบคุมและแสดงผล คือ สามารถบันทึกผลการทดสอบของวงจรรังสี

สมทบอินทรีไฮดรอนแบบเรียลไทม์ โดยผลที่ได้สามารถนำไปใช้ในศึกษาวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าด้วยวงจรรังสีสมทบอินทรีต่อไป

8. ข้อเสนอแนะ

ในจุดตรวจวัดที่ได้ทำการติดตั้งเพิ่มเติมจากระบบเดิมได้ทำการติดตั้งไอซีตัวอุณหภูมิ และหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า ซึ่งหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่ได้ทำการวัดนั้นวัดได้เพียงกระแสไฟฟ้า แล้วจึงนำไปคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าโดยการใช้ค่าแรงดันและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจากพีแอลซีมาคำนวณรวม แต่ยังไม่สามารถทราบถึงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่ตัวอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แท้จริงได้ จึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าโดยตรง ที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ เพื่อให้ทราบถึงค่ากำลังไฟฟ้าโดยตรง และเพิ่มความแม่นยำในการคำนวณของไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวชิราวุธวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ได้ให้ทุนการศึกษาภายใต้โครงการ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” และขอขอบคุณ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงานภายใต้ “โครงการ การผลิตไฟฟ้าร่วมกับการทำ ความเย็นและความร้อนแบบขั้นบันไดจากพลังงานความร้อนใต้พิภพในประเทศไทย” 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 International 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) . **การนำความร้อนที่กลับคืน (Weate Heat Recovery)**. 6. มหาวิทยาลัยแม่โจ้ : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ห้องวิจัยการออกแบบและเทคโนโลยีด้านอุณหพลภาพ (Thermal Design and Technology Laboratory). (2561) . **ข้อมูล**

อุปกรณ์ตรวจวัดของห้อง ORC [ออนไลน์] ได้จาก : http://www.tdeltlab.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
η	ประสิทธิภาพ	$\%$

11.2) อักษรย่อ

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

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายปรานต์ เมฆอากาศ
เกิดเมื่อ	3 กุมภาพันธ์ 2536
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2559 ปริญญาตรี สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา เชียงราย พ.ศ. 2556 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเทคนิค คอมพิวเตอร์ วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย พ.ศ. 2554 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างเมคคา ทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคเชียงราย

