



การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสาน  
ระหว่างปั๊มความร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 1 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนแบบ  
ผสมผสานระหว่างปั๊มความร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์



โดย  
นายสรศักดิ์ วิวัฒน์สรานุกรมย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 1 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

A STUDY PERFORMANCE AND ECONOMIC OPTIMIZATION OF SOLAR HYBRID  
HEAT PUMP



By  
MR. Sorasak WIWATTANASARANROM

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for Master of Engineering (ENGINEERING MANAGEMENT)  
Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT  
Graduate School, Silpakorn University  
Academic Year 2021  
Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างปั๊มความร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์
โดย	นายสรศักดิ์ วิวัฒน์สรานุรมย์
สาขาวิชา	การจัดการงานวิศวกรรม แผนก ก แบบ ก 1 ปริญญาโทบริหารธุรกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)	
พิจารณาเห็นชอบโดย	
	ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. สิทธิชัย แซ่เหลม)	
	อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร)	
	ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ระพี กาญจนะ)	

630920061 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 1 ปริญญามหาบัณฑิต

คำสำคัญ : ระบบทำน้ำร้อนผสมผสาน, ป้อนความร้อนจากแหล่งอากาศ, ระบบทำน้ำร้อนแบบท่อ  
สุญญากาศ,

นาย สรศักดิ์ วิวัฒน์สรณูมย์: การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์  
ของระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างป้อนความร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนผสมผสานระหว่างป้อน  
ความร้อนจากแหล่งอากาศ (Air-source heat pump) และระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์  
(Evacuated-tube solar collector) พร้อมทั้งเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยในการ  
ทดลองประสิทธิภาพจะเป็นการทดลองเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการติดตั้งจริงกับโปรแกรม  
จำลอง จากผลการทดลอง พบว่าในการทำงานของระบบทำน้ำร้อนผสมผสานจะทำงานในช่วง  
08.00 – 16.00 เนื่องจาก ที่เวลาดังกล่าว จะมีความเข้มแสงอาทิตย์ที่ทำให้ระบบทำน้ำร้อนพลังงาน  
แสงอาทิตย์สามารถช่วยผลิตน้ำร้อนได้ ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนผสมผสาน  
เฉลี่ย 3.42 โดยแบ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของป้อนความร้อนเฉลี่ย 3.08 และค่าสัมประสิทธิ์  
ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เฉลี่ย 0.34 เมื่อพิจารณาค่าที่ได้จากโปรแกรม  
คือ ค่าค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนผสมผสาน เฉลี่ย 3.70 โดยแบ่งเป็นค่า  
สัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของป้อนความร้อนเฉลี่ย 3.30 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำ  
น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เฉลี่ย 0.40 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากทั้งสองระบบจะมีค่าสัมประสิทธิ์  
ประสิทธิภาพรวมของระบบน้ำร้อนผสมผสาน ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของป้อนความร้อนจาก  
แหล่งอากาศและค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่  
7.48%, 6.67% และ 14.12% ตามลำดับ พิจารณาการคิดความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบ  
ระบบทำน้ำร้อนผสมผสานกับระบบทำน้ำร้อนโดยใช้น้ำมันเตา ระบบทำน้ำร้อนขดลวดไฟฟ้าและ  
ระบบทำน้ำร้อนโดยใช้แก๊สธรรมชาติ โดยใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในและ  
ระยะเวลาคืนทุนเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ พบว่า ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานสามารถทดแทนระบบ  
ทำน้ำร้อนขดลวดไฟฟ้าได้คุ้มค่ามากที่สุด เนื่องจากได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ 199,183 บาท อัตรา  
ผลตอบแทนภายใน 19% และระยะเวลาคืนทุน 4.83 ปี ซึ่งน้อยกว่าช่วงอายุการใช้งานระบบทำน้ำ  
ร้อนผสมผสาน 15 ปี

630920061 : Major (ENGINEERING MANAGEMENT)

Keyword : Hybrid solar-assisted air source heat pump, Air source heat pump,  
Evacuated tube solar collector

MR. SORASAK WIWATTANASARANROM : A STUDY PERFORMANCE AND  
ECONOMIC OPTIMIZATION OF SOLAR HYBRID HEAT PUMP THESIS ADVISOR :  
ASSISTANT PROFESSOR PRACHUAB KLOMJIT, Ph.D.

The objective of this research is to study the efficiency of a water heating system in combination with an air-source heat pump and a solar hot water system (Evacuated-tube solar collector) along with economic cost comparison. The performance test is a comparative experiment between the actual installed system and the simulation program. From the results of the experiment, it was found that in the work of the solar hybrid heat pump, it will work in the range of 08.00 – 16.00 because at that time there will be the intensity of sunlight that makes the solar water heating system able to produce hot water. The coefficient of performance of the solar hybrid heat pump was averaged at 3.42, divided into the mean coefficient of heat pump efficiency of 3.08 and the mean coefficient of performance of the solar collector of 0.34. When considering the values obtained from the program, the coefficient of performance of the solar hybrid heat pump is averaged at 3.70 divided by the mean heat pump coefficient of 3.30 and the average efficiency of the solar collector at 0.40. Comparing the values obtained from both systems, there is a total efficiency coefficient of the combined hot water system. The efficiency coefficient of the air source heat pump and the efficiency of the solar water heating system is 7.48%, 6.67%, and 14.12% respectively, consider the economic cost-effectiveness comparison of the combined hot water system and the fuel oil heating system. Electric heater and natural gas water heating system using net present value, Internal rate of return, and payback period are the criteria for judgment. It was found that the combined hot water system can be the most cost-effective replacement for the electric heater. Due to the net present value of 199,183 baht, the internal rate of return of 19%, and the payback period of 4.83 years, which is less than the 15-year service life of this system.



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี ด้วยความช่วยเหลือและคำแนะนำจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ทำให้ ได้รับความรู้และประสบการณ์ตลอดการทำงาน ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่มและผู้ช่วย ศาสตราจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ ที่ให้เกียรติเป็นนกรรมการและให้คำแนะนำต่างๆในการจัดทำ วิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ ดร.บรรพต หอบรรลือกิจ ที่ช่วยให้ความรู้และคำแนะนำในการทำวิจัย ขอขอบคุณบริษัทตัวอย่างที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเข้าถึงข้อมูล โดยเฉพาะนางสาวกิตติยา เสือ นาค ที่คอยให้ข้อมูลและเป็นที่ปรึกษาให้คำแนะนำตลอดการทำงาน ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยศิลปากร ด้วยเช่นกัน

อีกทั้งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนจากสำนักงานสภานโยบายการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์และนวัตกรรมแห่งชาติ โดยหน่วยบริหารและจัดการทุน ด้านการพัฒนากำลังคนและทุน ด้านการพัฒนาระบบอุดมศึกษา การวิจัยและการสร้างนวัตกรรม และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ

ในท้ายที่สุดขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัยที่ช่วยให้กำลังใจและสนับสนุนในทุกๆด้าน ขอขอบคุณเพื่อนๆ โครงการ RDI และเพื่อนๆของผู้วิจัยทุกคนที่ช่วยสนับสนุน ให้กำลังใจและการ ช่วยเหลืออย่างดีเสมอมา ผู้วิจัยต้องขอบคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกคนมา ณ ที่นี้ด้วย หวังว่าวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจและเป็นแนวทางการศึกษา วิจัยและพัฒนาต่อไปในอนาคต

นาย สรศักดิ์ วิวัฒน์สราญรมย์



## สารบัญ

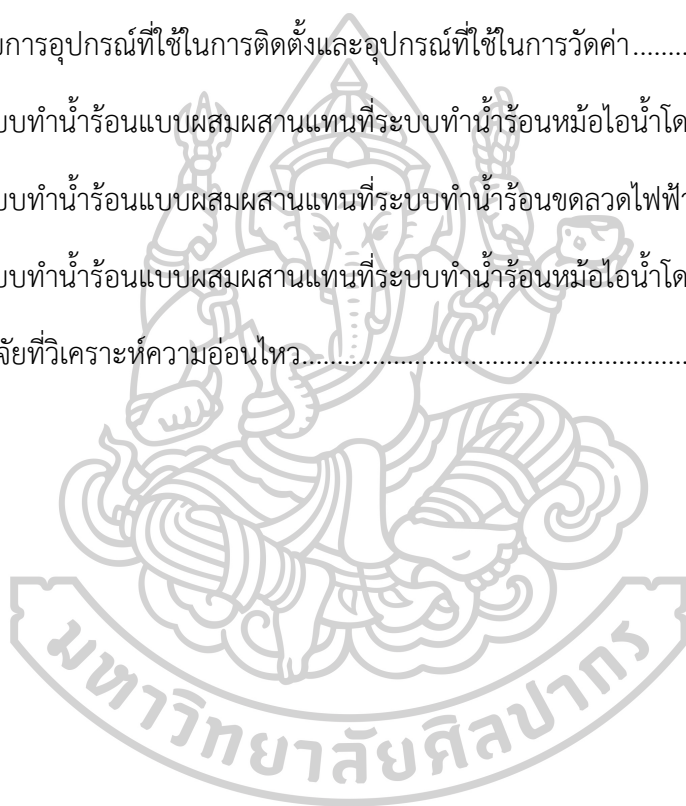
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	๗
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ตารางการดำเนินงาน .....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1. ระบบทำน้ำร้อน Heat Pump .....	5
2.2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.....	9
2.2.1 หลักการทำงานพื้นฐานเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ .....	11
2.2.2 สมการการคำนวณตัวเก็บรังสีอาทิตย์ .....	17
2.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับคำนวณการใช้พลังงานในอาคาร .....	19
2.3.1 ลักษณะทั่วไปของโปรแกรม TRNSYS.....	19
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Transient System Simulation.....	19
2.3.2 โครงสร้างของโปรแกรม .....	20

2.4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุน .....	21
2.4.1 ระยะเวลาคืนทุน (PB) .....	22
2.4.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV).....	22
2.4.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) .....	23
2.5 แนวคิดพื้นฐานทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม .....	24
2.5.1 หลักการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม .....	24
2.5.2 โครงการลงทุนทางอุตสาหกรรมและวิศวกรรม .....	24
2.5.3 การวิเคราะห์ต้นทุน .....	25
2.5.4 การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทน (Cost-benefit analysis).....	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	34
3.1 ขั้นตอนการศึกษาระบบปั๊มความร้อนแบบผสมผสาน .....	35
3.2 ขั้นตอนการประเมินสมรรถนะของปั๊มความร้อนเมื่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ สภาพแวดล้อมและอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน .....	36
3.3 ขั้นตอนตรวจวัดระบบปั๊มความร้อนแบบผสมผสาน.....	37
3.4 ขั้นตอนการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางการเงินของการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิดกับ ปั๊มความร้อนแบบผสมผสาน.....	41
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย.....	43
4.1 ค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิแวดล้อม .....	45
4.2 อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมน้ำร้อน .....	46
4.3 การทำงานของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน .....	47
4.4 ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน .....	48
4.5 เปรียบเทียบระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานกับโปรแกรมจำลอง.....	49

4.6 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างระบบที่ติดตั้งและโปรแกรมจำลอง .....	50
4.8 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการลงทุน .....	51
4.8.1 ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุการใช้งานระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด (Life Cycle Cost)...	51
4.8.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) .....	56
4.8.3 อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR).....	57
4.8.4 ระยะเวลาในการคืนทุน (Simple Payback Period: SPP) .....	58
4.9 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ .....	59
4.9.1 อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ติดตั้งค่า .....	61
4.9.2 ค่าไฟฟ้า.....	61
4.9.3 ค่าน้ำมันเตา.....	62
4.9.4 ค่าแก๊สธรรมชาติ.....	62
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	64
5.1 สรุปวิธีการวิจัย .....	64
5.1.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ .....	64
5.1.2 อุณหภูมิที่กักเก็บในถังกักเก็บความร้อนในช่วงที่มีการใช้น้ำและไม่มีการใช้น้ำ .....	64
5.1.3 การทำงานของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน .....	64
5.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างการติดตั้งจริงและโปรแกรมจำลอง .....	65
5.1.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน .....	65
5.1.6 การวิเคราะห์ความอ่อน .....	66
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	66
รายการอ้างอิง .....	87
ประวัติผู้เขียน .....	90

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ระบบต่างๆในการผลิตน้ำร้อน .....	1
ตารางที่ 2 กระบวนการดำเนินงาน .....	4
ตารางที่ 3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	32
ตารางที่ 4 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า .....	44
ตารางที่ 5 ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนที่ระบบทำน้ำร้อนหม้อไอน้ำโดยใช้น้ำมันเตา .....	53
ตารางที่ 6 ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนที่ระบบทำน้ำร้อนขดลวดไฟฟ้า .....	54
ตารางที่ 7 ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนที่ระบบทำน้ำร้อนหม้อไอน้ำโดยใช้แก๊สธรรมชาติ ...	55
ตารางที่ 8 ปัจจัยที่วิเคราะห์ความอ่อนไหว .....	59



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อน.....	6
รูปที่ 2.2 วัฏจักรการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อน.....	7
รูปที่ 2.3 เครื่องทำน้ำร้อนประเภทต่างๆในตลาดโลก.....	9
รูปที่ 2.4 รังสีของดวงอาทิตย์ในประเทศไทย.....	10
รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.....	11
รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนชนิดไหลเวียน.....	12
รูปที่ 2.7 เครื่องทำน้ำร้อนชนิดไหลเวียนตามธรรมชาติ (ก) และเครื่องทำน้ำร้อนชนิดใช้ปั๊มหมุนเวียน (ข).....	13
รูปที่ 2.8 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผสมผสาน.....	13
รูปที่ 2.9 แผ่นรับแสงแบบแผ่นเรียบ.....	14
รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบและการทำงานของหลอดแก้วสุญญากาศ.....	16
รูปที่ 2.11 แผงรับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ.....	16
รูปที่ 2.12 การติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.....	19
รูปที่ 2.13 แผนภูมิสายงานของโปรแกรม SIMULATION STUDIO.....	20
รูปที่ 3.1 P-H DIAGRAM ของสารทำงาน R-134A สำหรับปั๊มความร้อน.....	37
รูปที่ 3.2 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า.....	38
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ.....	38
รูปที่ 3.4 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิน้ำ.....	39
รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดอัตราการไหล.....	40

รูปที่ 4.1 แผนภาพระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานที่ใช้ในการทดสอบ (ก) ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างปั๊มความร้อนจากแหล่งอากาศและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (ข) 43	
รูปที่ 4.2 แผนภาพระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานโดยใช้โปรแกรมจำลองในการทดสอบ ..... 44	
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ..... 45	
รูปที่ 4.4 อุณหภูมิในถังในการผลิตน้ำร้อน ..... 46	
รูปที่ 4.5 การทำงานของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานใน 1 วัน ..... 47	
รูปที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน ..... 48	
รูปที่ 4.7 ค่าที่ได้จากโปรแกรมจำลอง TRNSYS ..... 49	
รูปที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างการติดตั้งทดสอบและโปรแกรมจำลอง ..... 50	
รูปที่ 4.9 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานเทียบกับระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ ..... 56	
รูปที่ 4.10 อัตราผลตอบแทนภายในของระบบทำน้ำร้อน (IRR) ของการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ ..... 57	
รูปที่ 4.11 ระยะเวลาในการคืนทุนของการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ ..... 58	
รูปที่ 4.12 ปัจจัยของการแทนที่ระบบทำน้ำร้อนผสมผสานกับระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ ด้วยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (ก) อัตราผลตอบแทนภายใน (ข) ระยะเวลาคืนทุน (ค) ..... 61	

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในอาคาร บ้านเรือนต่างๆ โดยส่วนใหญ่จะมีระบบต่างๆที่ช่วยอำนวยความสะดวกมากมาย ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้า และระบบน้ำร้อนน้ำอุ่น เป็นต้น ซึ่งระบบต่างๆที่กล่าวมาเหล่านี้ ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมาก และในระบบดังกล่าว ระบบทำน้ำร้อน เป็นอีกระบบที่การใช้พลังงานเชื้อเพลิงหรือไฟฟ้าสูงที่สุด แสดงข้อมูลตามตารางที่ 1 [1]

ตารางที่ 1 ระบบต่างๆในการผลิตน้ำร้อน

System	Investment Cost (Bath)	Lower heating Value	Efficiency or COP	Unit Price of Fuel	Unit Price of Energy (B/kWh)
Natural Gas	44,791	34,541 kJ/m <sup>3</sup>	0.93	14.51 B/m <sup>3</sup>	1.41 B/kWh
Coal	35,310	29,308 kJ/m <sup>3</sup>	0.65	11.12 B/kg	2.09 B/kWh
Fuel oil	35,310	41,345 kJ/kg	0.80	37.46 B/kg	4.08 B/kWh
LPG	44,791	46,473 kJ/kWh	0.92	91.14 B/kg	7.74 B/kWh
Electric	26,609	3,601 kJ/kWh	0.99	4.96 B/kg	5.02 B/kWh
Heat Pump	197,036	3,601 kJ/kWh	2.70	1.83 B/kg	1.86 B/kWh
Heat Pump	197,036	3,601 kJ/kWh	5.00	0.98 B/kg	1.00 B/kWh



จากตารางที่ 1 ระบบน้ำร้อนแบ่งด้วยกัน 6 ระบบ ได้แก่ ระบบน้ำร้อนที่ใช้แก๊สธรรมชาติ, ถ่านหิน, น้ำมัน, แก๊ส LPG, ระบบน้ำร้อนแบบไฟฟ้า, และระบบน้ำร้อนที่ใช้ปั๊มความร้อนจะเห็นว่าแต่ละระบบมีการลงทุนที่แตกต่างกันโดย ระบบทำน้ำร้อนแบบปั๊มความร้อนมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงที่สุด แต่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงที่สุด อีกทั้งค่าไฟฟ้าต่อหน่วยถูกที่สุดในระบบทำน้ำร้อนทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น

อีกหนึ่งเทคโนโลยีทางเลือกในการผลิตน้ำร้อนน้ำอุ่นทดแทน คือ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเทคโนโลยีนี้อาศัยหลักการของพลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่อย่างไม่มีจำกัด การเปลี่ยนไปใช้เครื่องผลิตน้ำร้อนพลังงานทดแทนสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมาก อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าได้อย่างมหาศาล ถือเป็นความช่วยเหลือให้แก่ประเทศชาติ แต่ด้วยระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานทดแทน จะมีข้อจำกัดในเรื่องของการผลิตน้ำร้อนได้ในขณะที่มีแสงแดดส่องถึงเท่านั้น

ดังนั้นจึงมีความคิดที่จะรวมระบบทำน้ำร้อนระหว่างปั๊มความร้อนและระบบทำน้ำร้อนแบบแสงอาทิตย์ เข้าด้วยกัน เรียกว่า “ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน (Solar Hybrid Heat Pump)” ที่จะช่วยผลิตน้ำร้อนและลดข้อจำกัดในการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนแต่ละประเภทลง อีกทั้งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตน้ำร้อน และจะช่วยประหยัดพลังงานได้เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระบบทำน้ำร้อนแบบเดิม

การจะออกแบบระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานให้สามารถใช้งานได้ตามความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ต้องมีการนำการออกแบบทางวิศวกรรมเข้ามาช่วย ไม่ว่าจะเป็นการคำนวณทางคณิตศาสตร์หรือการใช้โปรแกรมจำลอง เข้ามาช่วยในการออกแบบระบบเปรียบเทียบกับโมเดลระบบ Solar hybrid heat pump ให้มีความคลาดเคลื่อนและน่าเชื่อถือมากที่สุด มากไปกว่านั้นการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานเป็นสิ่งจำเป็นในการพิจารณาการตัดสินใจลงทุนติดตั้งระบบทำน้ำร้อน

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบระบบน้ำร้อนแบบผสมผสาน (Solar hybrid heat pump) ให้เหมาะสมต่อการใช้งานกับธุรกิจกลุ่มโรงแรมขนาดเล็ก
2. วิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานโดยวัดจากค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพ (Coefficient of performance) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 3.0 ตามกระทรวงพลังงานกำหนด
3. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานเทียบกับระบบทำน้ำร้อนประเภทอื่นๆ



### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานจะทำโมเดลเพื่อใช้สำหรับศึกษาเพื่อเก็บข้อมูล โดยที่ใช้เครื่องปั๊มความร้อน ขนาด 6.5 กิโลวัตต์, ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทท่อสุญญากาศ, ถังกักเก็บความร้อน ขนาด 300 ลิตร, น้ำยา R134a ที่ใช้ในการเดินระบบปั๊มความร้อน
2. โปรแกรมจำลองการทดสอบจะใช้โปรแกรม TRNSYS ในการจำลองระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ให้กับทางบริษัทพีรพัฒน์ เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน)
2. โปรแกรมจำลองการใช้งานระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานบ่งบอกประสิทธิภาพในการออกแบบระบบให้ดียิ่งขึ้น
3. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์จะช่วยประกอบการตัดสินใจในการลงทุนเพิ่มมากขึ้น



## 1.5 ตารางการดำเนินงาน

## ตารางที่ 2 กระบวนการดำเนินงาน

กระบวนการดำเนินงาน	ก.ย. 2564	ต.ค. 2564	พ.ย. 2564	ธ.ค. 2564	ม.ค. 2565	ก.พ. 2565	มี.ค. 2565	เม.ย. 2565	พ.ค. 2565
<b>ส่วนที่ 1 ศึกษาและออกแบบระบบทำน้ำร้อน Solar Hybrid Heat Pump</b>									
ศึกษาสภาพปัจจุบันของ ผลิตภัณฑ์									
กำหนดหัวข้อและขอบเขต งานวิจัย									
ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่ เกี่ยวข้อง									
ออกแบบนำเสนอหัวข้องานวิจัย									
<b>ส่วนที่ 2 รวบรวมข้อมูล</b>									
เก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการ วิเคราะห์									
รวบรวมข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Simulation									
รวบรวมข้อมูลจากระบบจริงที่ใช้ ในการติดตั้ง									
<b>ส่วนที่ 3 วิเคราะห์ข้อมูล</b>									
วิเคราะห์ข้อมูลผลกระทบที่เกิด จากสภาวะแวดล้อม (แสงแดด, อุณหภูมิ, ลม)									
วิเคราะห์ข้อมูลระบบ Heat Pump									
วิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพที่ ได้รับ (CoP)									
เปรียบเทียบข้อมูล									
สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล									

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและแนวคิดและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัย ดังนี้

- 2.1 ระบบทำน้ำร้อนปั๊มความร้อน (Heat pump)
- 2.2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collector)
- 2.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณการใช้พลังงานในอาคาร
- 2.4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุน

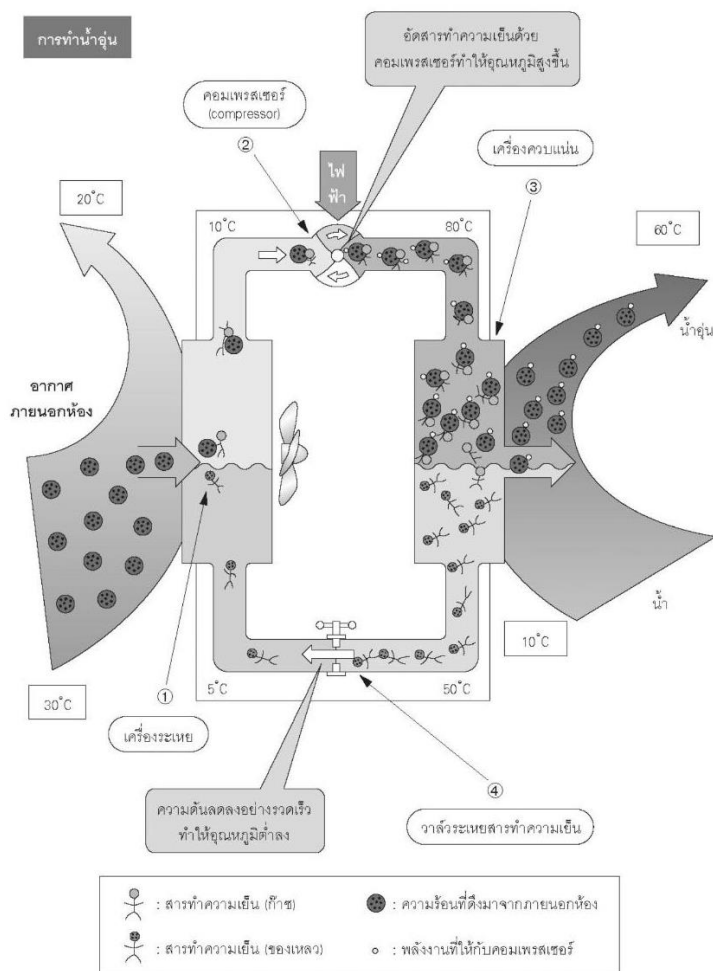
#### 2.1. ระบบทำน้ำร้อน Heat Pump

เครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊ม (heat pump) คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนอุณหภูมิต่ำจากแหล่งหนึ่ง (Heat source) มาทำให้ร้อนขึ้นแล้วส่งไปยังแหล่งที่ต้องการซึ่งมีความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Heat sink) โดยใช้อุปกรณ์เช่นเดียวกับเครื่องปรับอากาศ แต่สามารถใช้ความร้อนที่ออกจากเครื่องเพื่อไปทำน้ำร้อนหรือลมร้อน อุณหภูมิของความร้อนที่ได้ไม่สูงมากนัก ขึ้นอยู่กับชนิดของ Refrigerant ที่ใช้ เช่น R22, R134a, R407C [2]

เครื่องทำน้ำร้อนแบบปั๊มความร้อนใช้อุปกรณ์ที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกับระบบปรับอากาศโดยทั่วไป โดยอุปกรณ์หลักของเครื่องทำน้ำร้อนแบบปั๊มความร้อน มี 4 อุปกรณ์ ได้แก่

- 1) เครื่องอัดไอ (Compressor)
- 2) เครื่องควบแน่น (Condenser)
- 3) วาล์วลดความดัน (Expansion valve)
- 4) เครื่องระเหย (Evaporator)

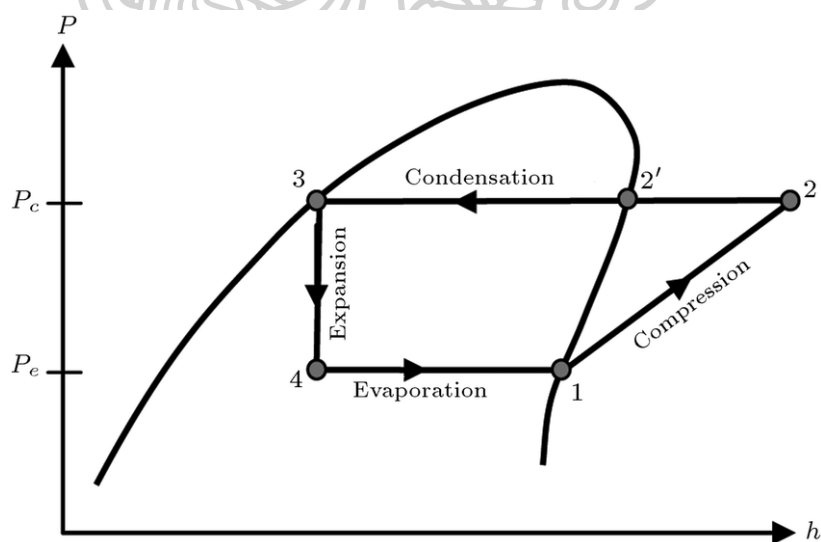
## การทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊มแสดงในรูปที่ 2.1 การทำน้ำอุ่น



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อน

จากรูปที่ 2.1 อธิบายหลักการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊ม คือในเครื่องระเหย (evaporator) จะมีสารทำความเย็นซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกบรรจุอยู่ (อุณหภูมิ 5 °C) สารทำความเย็นในเครื่องระเหยนี้จะถูกทำให้อุ่นขึ้นโดยการถ่ายเทความร้อนจากอากาศภายนอกเข้ามา ทำให้สารทำความเย็นระเหยเป็นก๊าซ (อุณหภูมิ 10 °C) จากนั้น ก๊าซจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องอัดไอ (Compressor) ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 80 °C แล้วจะถูกส่งต่อไปยังเครื่องควบแน่น (Condenser) ซึ่งภายนอกเครื่องควบแน่นจะมีน้ำไหลอยู่ เมื่อก๊าซอุณหภูมิ 80 °C ไหลเข้าไปในเครื่องควบแน่นจะมีการถ่ายเทความร้อนให้น้ำที่ไหลอยู่ภายนอก ทำให้น้ำที่อยู่ภายนอกร้อนขึ้นกลายเป็นน้ำอุ่นอุณหภูมิประมาณ 60 °C ทำให้สารทำความเย็นภายในตัวเครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊ม

ที่ตำแหน่งเครื่องควบแน่นจะถูกลดอุณหภูมิลง เหลือประมาณ  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  กลายเป็นสถานะของเหลวอีกครั้ง ดังนั้นการดึงความร้อนจากอากาศเข้ามาถ่ายเทให้น้ำด้วยตัวเครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊มจึงสามารถทำน้ำอุ่นได้ด้วยหลักการดังที่กล่าวมา และในขั้นตอนสุดท้ายสารทำความเย็นภายในจะไหลผ่านวาล์วลดความดัน (Expansion valve) ทำให้ความดันลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งการที่ความดันลดลงอย่างรวดเร็ว นั้น มีหลักการเดียวกับการฉีดสเปรย์ออกจากกระป๋องสเปรย์ ถ้าหากฉีดสเปรย์ออกไปอย่างต่อเนื่อง กระป๋องสเปรย์นั้นจะค่อยๆ เย็นลง ในทำนองเดียวกันตัวเครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊ม ณ ตำแหน่งวาล์วลดความดัน จะทำให้สารทำความเย็นถูกลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิตั้งที่ประมาณ  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  แล้ววนกลับเข้าไปยังเครื่องระเหยอีกครั้ง ดังที่อธิบายไว้แล้วข้างต้น จึงกล่าวได้ว่าเครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊ม เป็นระบบที่สามารถดึงพลังงานความร้อนที่มีในธรรมชาติมาใช้แล้วถ่ายเทต่อไป กำลังไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊มที่ใช้ทั่วไป โดยพิจารณาเครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊มน้ำร้อนที่ความจุ 300 ลิตร มีกำลังไฟฟ้าอยู่ที่  $0.78 - 1.28\text{ kW}$  ต่อตัว ซึ่งน้อยกว่าเครื่องทำน้ำอุ่น ประมาณ 3.5 - 4 เท่า [3] และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการให้ความร้อนพบว่า เพิ่มขึ้น 3 เท่า เมื่อเทียบกับขดลวดไฟฟ้าสามารถประหยัดพลังงานได้ 66% จากข้อมูลกรณีศึกษาการติดตั้งในประเทศ มีระยะเวลาการคืนทุนประมาณ 2 - 5 ปี ซึ่งในบางกรณีเครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊ม อาจให้ระยะเวลาคืนทุนไม่ถึง 1 ปี [4]



รูปที่ 2.2 วงจรการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อน

การทำงานเป็นวัฏจักรของปั๊มความร้อนจะมีวิธีการคำนวณดังรูปที่ 2.2 ต่อไปนี้

กำลังงานที่ป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ สมมติว่าไม่มีการสูญเสียความร้อน คือ จาก ตำแหน่งที่ 1 ถึง ตำแหน่งที่ 2 ได้จาก

$$\dot{W}_{\text{com}} = m_r(h_2 - h_1) \quad (2.1)$$

อัตราความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์ คือ ตำแหน่งที่ 2 ถึงตำแหน่งที่ 3 จะได้

$$\dot{Q}_c = m_r(h_2 - h_3) \quad (2.2)$$

ตำแหน่งที่ 4 ถึงตำแหน่งที่ 1 เป็นอัตราความร้อนที่ถ่ายเทเข้าอีวาपोเรเตอร์ คือ

$$\dot{Q}_g = m_r(h_1 - h_4) \quad (2.3)$$

สารทำงานเมื่อผ่านอุปกรณ์ลดความดัน ใน ตำแหน่งที่ 3 ถึงตำแหน่งที่ 4 จะได้

$$h_3 = h_4 \quad (2.4)$$

ดังนั้น งานที่คอมเพรสเซอร์เกิดจาก

$$\dot{W}_{\text{com}} = \dot{Q}_c - \dot{Q}_g \quad (2.5)$$

การวัดประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนใช้ค่า Coefficient of Performance (COP) โดยสามารถหาได้ดังนี้

$$\text{COP}_h = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{W}_{\text{COP}}} \quad (2.6)$$

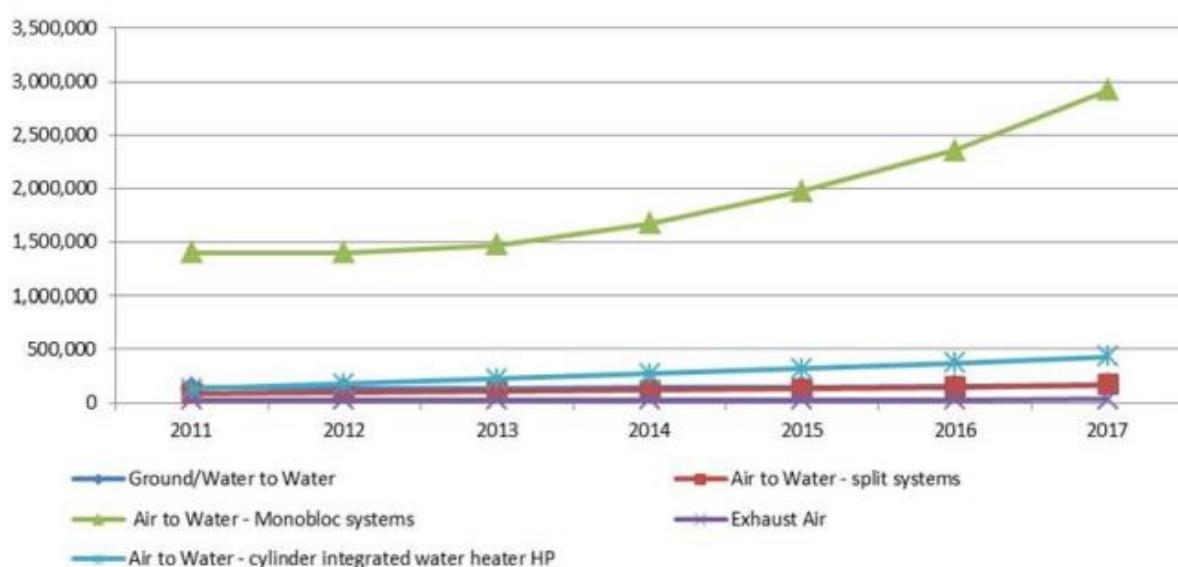
$$\text{COP}_h = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_c - \dot{Q}_g} \quad (2.7)$$

เครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊ม แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามแหล่งที่มาของการให้ความร้อน [5] ได้แก่

1. Air Source Heat Pump คือ เครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊มจากก๊าซมี 2 ประเภท คือ Air to Air heat pump Air to water heat pump
2. Absorption Heat Pump คือ เครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊มชนิดนี้มีแหล่งให้พลังงานความร้อนมาจากน้ำมี 2 ประเภท คือ Water to air heat pump และ Water to water heat pump

3. Ground source heat pump คือ เครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊มชนิดนี้มีแหล่งให้ พลังงานความร้อนมาจากใต้ดิน

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการใช้เครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊มประเภทต่างๆ ในตลาดโลก ดังรูปที่ 2.3 พบว่า เครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊ม Air to water – monobloc system หรือ เครื่องทำน้ำร้อนแบบฮีทปั๊มจากอากาศ โดยมีถังบรรจุน้ำกับเครื่องปั๊มรวมเข้าด้วย เป็นประเภทที่คน ทั่วโลกนิยมใช้สูงสุดและมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกๆปี

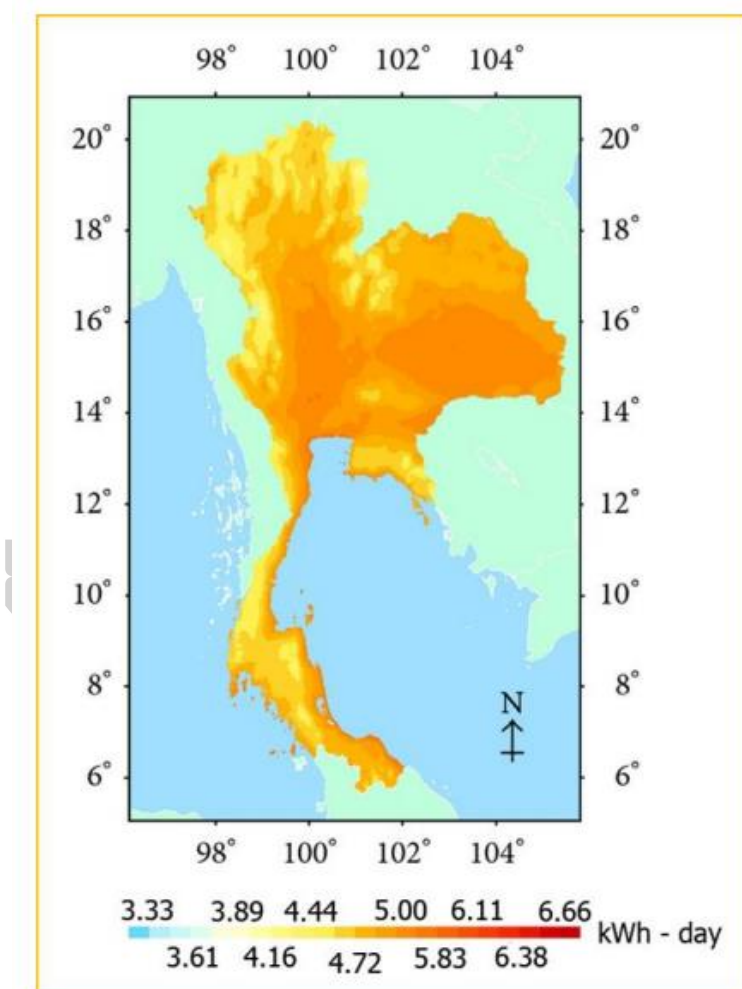


รูปที่ 2.3 เครื่องทำน้ำร้อนประเภทต่างๆในตลาดโลก

## 2.2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษและเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง สำหรับเทคโนโลยีที่มีการใช้งานในประเทศไทยอย่างแพร่หลายและมีความคุ้มค่าในปัจจุบัน ได้แก่ เทคโนโลยีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า เทคโนโลยีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการผลิตน้ำร้อนและ เทคโนโลยีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อการอบแห้ง [6]

ในประเทศไทยพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง 5.56 - 6.67 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (kWh/m<sup>2</sup>/day) ดังรูปที่ 2.4 หรือประมาณ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน (MJ/m<sup>2</sup>/day) ซึ่งได้รับรังสีสูงสุดในเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและบางส่วนของภาคกลางของประเทศไทยถือเป็นตำแหน่งที่ได้รับรังสีจาก ดวงอาทิตย์สูงสุด โดยพื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งประเทศ และมีเพียง 0.5% ของพื้นที่ ในประเทศไทยที่ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ต่ำกว่า 4.45 kWh/m<sup>2</sup>/day [7] แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมี ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

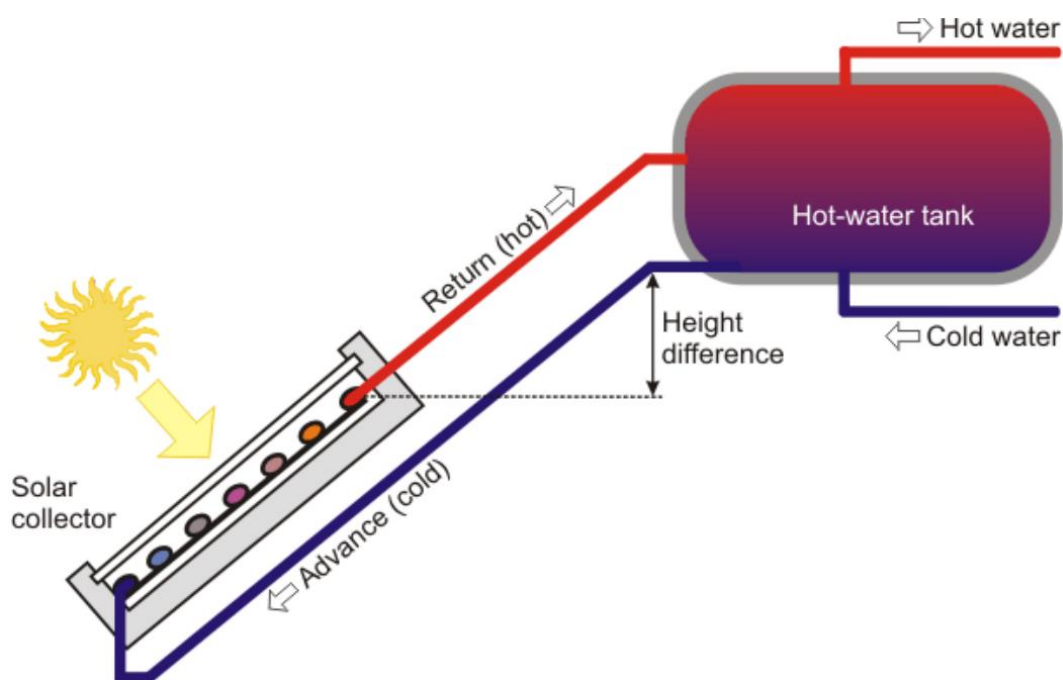


รูปที่ 2.4 รังสีของดวงอาทิตย์ในประเทศไทย



### 2.2.1 หลักการทำงานพื้นฐานเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นระบบการทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ ตกกระทบที่แผงรับความร้อน ความร้อนจะถูกดูดซับและส่งถ่ายความร้อนให้กับน้ำซึ่งอยู่ภายในท่อทองแดง



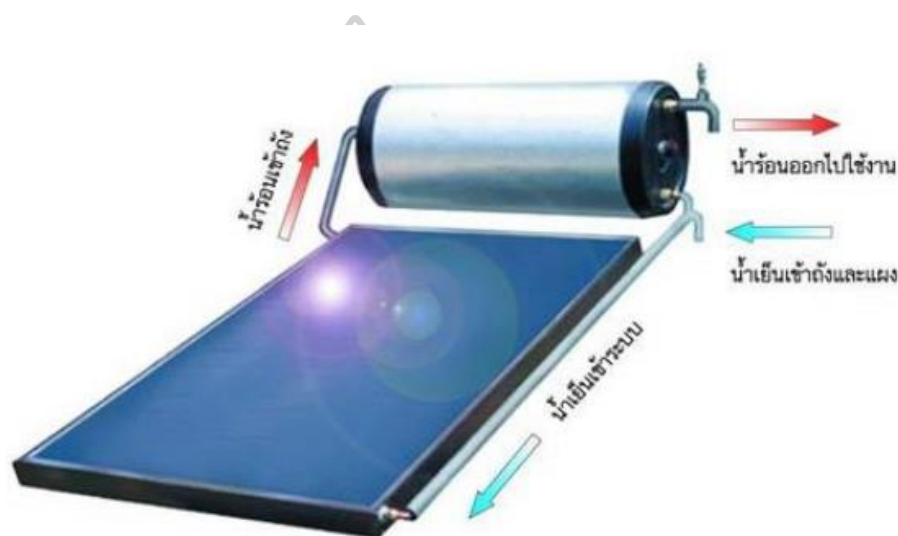
รูปที่ 2.5 หลักการทำงานเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

โดยมีส่วนประกอบหลักแสดงในรูปที่ 2.5 เริ่มจากเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงรับแสงอาทิตย์ผิวของแผงรับแสงจะถูกดูดซับและถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำซึ่งอยู่ภายในท่อทองแดง น้ำจะเกิดการไหลเวียนตามธรรมชาติคือเมื่อน้ำได้รับความร้อนโมเลกุลของน้ำจะขยายตัวทำให้มีความถ่วงจำเพาะน้อยลงเกิดการลอยตัวขึ้นสู่ที่สูง น้ำเย็นที่มีโมเลกุลหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะมากกว่าจะไหลลงไปยังจุดต่ำสุดโดยจะเข้ามาแทนที่น้ำที่ร้อนที่ลอยขึ้นไปยังจุดสูงกว่า เป็นวัฏจักรแบบนี้ตลอด

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่ได้รับการยอมรับและมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายประเทศเช่น อิสราเอล ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น ออสเตรียและจีน [8] เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ตามชนิดของการไหล คือ

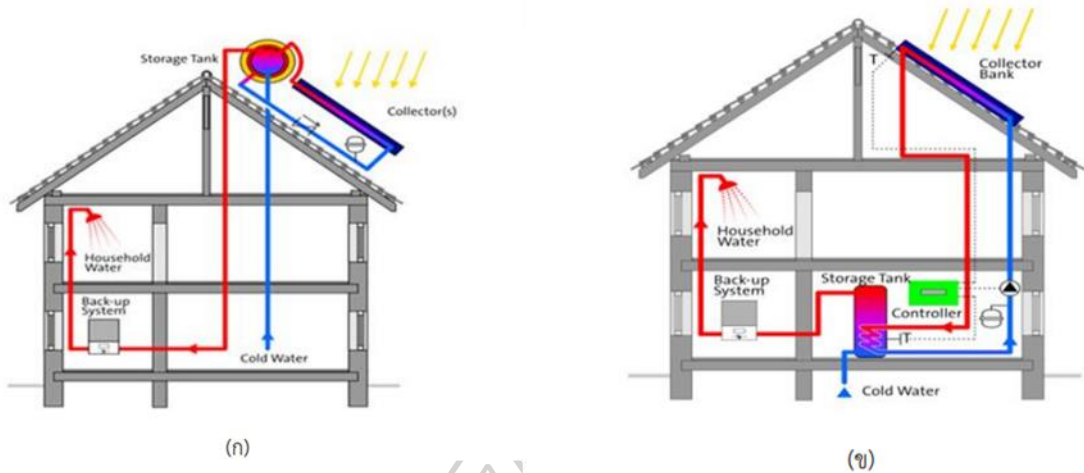
- เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดไหลเวียนตามธรรมชาติเป็นการผลิตน้ำร้อนชนิดที่มีถังเก็บอยู่สูงกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ ใช้หลักการทางธรรมชาติเรียกว่า Thermosyphon [9] โดยน้ำที่ร้อน

กว่าจะอยู่ด้านบน ดังนั้นเมื่อทำการติดตั้งถังเก็บน้ำร้อนให้อยู่สูงกว่าตัวถังเก็บความร้อนจะทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำ ระหว่างตัวถังเก็บความร้อนกับถังเก็บน้ำร้อน เพราะเมื่อ น้ำในตัวถังเก็บความร้อนถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น จะส่งผลให้น้ำจะมีน้ำหนักเบาขึ้น และจะขึ้นไปอยู่ในถังเก็บน้ำร้อนด้านบนตามหลักการพาความร้อนตามธรรมชาติขณะเดียวกันน้ำเย็นที่อยู่ด้านล่างของถังเก็บน้ำร้อน จะไหลไปสู่ด้านล่างของตัวถังเก็บความร้อน เพื่อทดแทนน้ำร้อนที่เคลื่อนที่ขึ้นไปบนถังเก็บน้ำร้อน ในลักษณะ เช่นนี้ ทำให้เกิดการไหลเวียนขึ้นในระบบมีลักษณะคล้ายกับกาลักน้ำ (Siphon) ระบบแบบนี้มีประสิทธิภาพดีและราคาไม่สูงมาก เหมาะสำหรับบ้านพักอาศัยหรือรีสอร์ทดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนชนิดไหลเวียน

- เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดใช้ปั้มน้ำหมุนเวียนเหมาะสำหรับการใช้ผลิตน้ำร้อนจำนวนมาก และมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องมักใช้ในสถานประกอบการ โรงแรม โรงพยาบาล บ้านพักขนาดใหญ่ และอุตสาหกรรมบางประเภท ระบบ ดังกล่าวนี้อุปกรณ์เพิ่มเติม คือ ปั้มน้ำร้อน และระบบควบคุมการทำงานของปั้ม ระบบควบคุมนี้จะมีเทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าและออกของตัวเก็บรังสี ถ้าผลต่างของอุณหภูมิน้อยกว่า 3 - 5 °C แสดงว่าปริมาณของแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนตัวเก็บรังสีน้อยมาก ระบบควบคุมดังกล่าวจะตัดการทำงานของปั้มทันที ส่งผลให้ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน และสูญเสียความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เครื่องทำน้ำร้อนชนิดไหลเวียนตามธรรมชาติ (ก)  
และเครื่องทำน้ำร้อนชนิดใช้ปั๊มหมุนเวียน(ข)

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผสมผสานเป็นการนำเทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์มาผสมผสานกับความร้อนเหลือทิ้ง (Waste Heat) จาก แหล่งต่างๆ เช่น การนำความร้อนจากการระบายความร้อนทิ้งของเครื่องทำความ เย็นหรือเครื่องปรับอากาศมาใช้งาน (Heat recovery) การนำความร้อนจากปล่องควีน Boiler มาใช้งาน (Economizer system) [10] ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เพื่อลดขนาดพื้นที่แผงรับรังสีความร้อนและการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่าเป็นการเพิ่มเสถียรภาพของระบบการผลิตน้ำ ร้อนกับความร้อนที่ปล่อยทิ้งไปในอากาศ ทั้งยังเป็นการลดปริมาณพลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานเชิงพาณิชย์ในการผลิตน้ำร้อนได้อีกด้วย



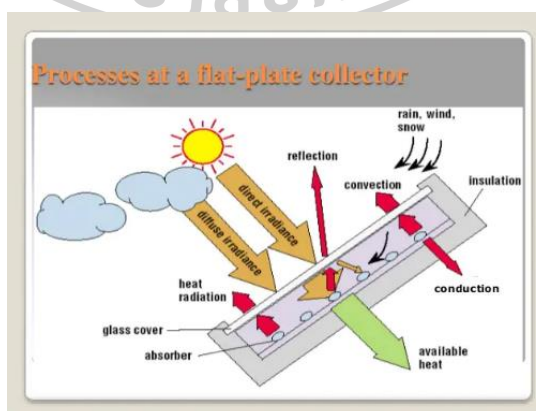
รูปที่ 2.8 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดผสมผสาน

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการใช้พลังงานในรูปความร้อนโดยตัวรับแสงอาทิตย์เป็นตัวดูดเก็บพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนให้แก่ น้ำ ทำให้น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกลายเป็นน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิประมาณ 40 - 70 °C ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการ อาบน้ำ การซักล้าง ซึ่งเป็นการทำน้ำร้อนเพื่อรองรับการใช้งานทั้งในบ้านพักอาศัย โรงแรม โรงพยาบาลหรือโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย 2 ระบบ ได้แก่ ระบบ Passive คือตัวรับแสงอาทิตย์และถังเก็บน้ำร้อน นอกจากนี้จะมีการเพิ่มปั้มน้ำเพื่อเพิ่ม แรงดันและอัตราไหลของน้ำในระบบ Active ตัวรับแสงอาทิตย์จะมีส่วนประกอบหลักสำคัญ (ดังรูปที่ 2.8) ดังนี้คือ

ตัวรับแสงอาทิตย์ (Solar collector) มี 3 ประเภท [6] ได้แก่

1. แผ่นรับแสงแบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector) สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่ำ แผ่นรับแสงแบบนี้จะไม่มีอุปกรณ์ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ ได้แก่ แผ่นรับแสงแบบแผ่นเรียบ ชนิดที่แผ่นปิดใส (Single glazed) และชนิดไม่มีแผ่นปิด (unglazed) ซึ่งสามารถผลิตน้ำได้ที่อุณหภูมิ 40 - 90 °C และ ต่ำกว่า 40 °C ตามลำดับ

หลักการทำงานของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ แผงรับความร้อนจะรับแสงจากด้านหน้า แผงโดยมีกระจกเป็นตัวกัน ยอมให้แสงและความร้อนผ่านเข้าไปภายในแผงและถ่ายเทความร้อนไปยัง ท่อทองแดงซึ่งจะมีน้ำอยู่ภายในท่อทองแดง โดยด้านในจะมี Absorber plate ช่วยดูดซับความร้อนที่รับเข้ามา ภายในแผงรับความร้อนจะมีท่อทองแดงซึ่งมีการวางกระจายภายในแผงเพื่อส่งผ่านความร้อนไปสู่ น้ำที่อยู่ภายในท่อทองแดง น้ำจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและลอยตัวไปยังที่สูงขึ้นตามหลักการ Thermosyphon แผงรับความร้อนที่ดีจะออกแบบให้มีการเก็บความร้อนไว้ภายในแผงให้ดีที่สุด สูญเสียความร้อนไปยังภายนอกน้อยที่สุดเพื่อประสิทธิภาพที่ดีที่สุด



รูปที่ 2.9 แผ่นรับแสงแบบแผ่นเรียบ

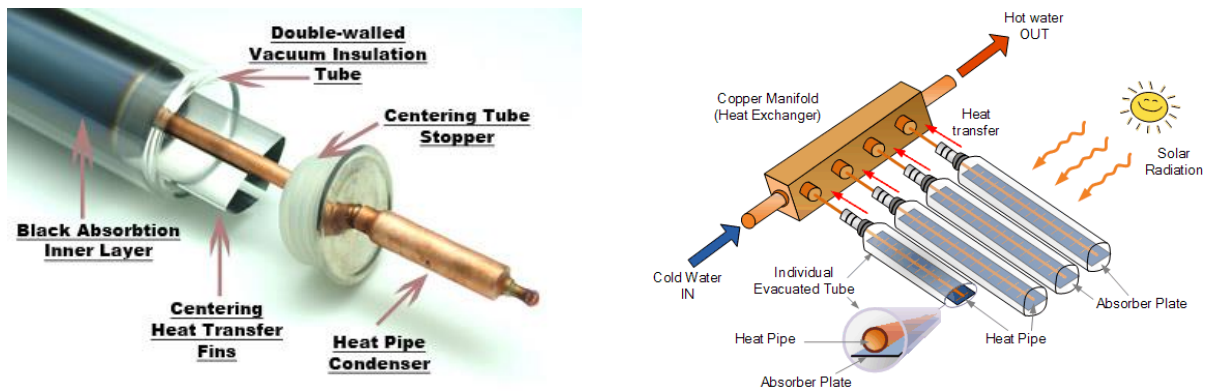
แผงรับแสงทำหน้าที่รับและถ่ายเทความร้อนที่ได้จากดวงอาทิตย์ให้กับน้ำ มีส่วนประกอบ สำคัญดังนี้

Glazing	กระจกปิดด้านบน ใช้กระจกนิรภัย (Tempered glass) ซึ่งสามารถทนแรงกระแทกได้เป็นอย่างดีทำหน้าที่ลดการสะท้อนของแสง และรักษาอุณหภูมิภายในให้สูง
Absorber Plate	แผ่นดูดซับความร้อนทำหน้าที่ดูดซับความร้อน
Insulation	ฉนวนกันความร้อนทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อน คงความร้อนให้เอาไว้ ท่อทางเดินน้ำ(ทองแดง)
Flow tube	ท่อทางเดินน้ำ (ทองแดง)
Header	ท่อเมน (ทองแดง)

2. แผงรับแสงแบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Evacuated tube solar collector) มีลักษณะ เป็นหลอดแก้วสองชั้น ระหว่างชั้นเป็นสุญญากาศ ภายในเคลือบด้วยสารดูดกลืนรังสี มีประสิทธิภาพ สูงเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการน้ำร้อนอุณหภูมิสูงประมาณ 100 – 200 °C

หลักการทำงานแผงทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ การทำงานจะใช้หลักการ Thermosyphon เช่นเดียวกับแผงชนิดแผ่นเรียบ โดยแผงแบบหลอดแก้วจะมีหน้าที่รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยลักษณะของหลอดแก้วจะมีสองชั้น ช่องว่างระหว่างชั้นนอกและชั้นในจะเป็นชั้นสุญญากาศมีคุณสมบัติไม่นำความร้อนลดการสูญเสียความร้อนจากภายในหลอด ผิวแก้วชั้นในจะเคลือบด้วยสารเคลือบที่มีคุณสมบัติการดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ช่องว่างระหว่างผิวชั้นนอกและชั้นในจะถูกดึงเอาอากาศออกทำให้เป็นสุญญากาศ จึงมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อน ทำให้ไม่สูญเสียความร้อนมาทางพื้นผิวของหลอดแก้ว เมื่อหลอดแก้วได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ความร้อนก็จะส่งผ่านไปยังพื้นที่ชั้นในของหลอดแก้ว ซึ่งจะมีท่อทองแดงคอยรับความร้อนอยู่ชั้นในสุดของหลอดแก้ว โดยท่อทองแดงจะปิดปลายทั้งสองด้านภายในบรรจุของเหลวซึ่งเป็นสารนำความร้อน จะเรียกว่าท่อทองแดงนี้ว่า Heat pipe หน้าที่ของแผงนี้หลังจากได้รับความร้อน ของเหลวที่อยู่ภายใน Heat pipe จะร้อนจนเดือด ของเหลวจะพุ่งขึ้นไปถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่ อยู่แกนแผงรับความร้อนดังแสดงในรูปที่ 2.10





รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบและการทำงานของหลอดแก้วสุญญากาศ

ส่วนประกอบของแผงรับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ ประกอบด้วย แกน แผงซึ่งอยู่ด้านบนสุดของแผง โดยแกนแผงนี้จะเป็นทางน้ำเข้าและออกเพื่อมารับความร้อนจากแผง และจะมีหลอดแก้วสุญญากาศประกอบติดกับแผงดังแสดงในภาพที่ 2.11 ส่วนของหลอดแก้วและแกน แผงสามารถถอดแยกชิ้นกันได้ ความสามารถในการทำความร้อนจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวน หลอดแก้วที่ประกอบเป็นแผง โดยแผงรับความร้อนชนิดนี้มักจะผลิตกันที่ 10-30 หลอดแก้ว



รูปที่ 2.11 แผงรับความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ

3. สระแสงอาทิตย์ (Solar Pond) สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิต่ำและไม่มีอุปกรณ์บังคับให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ได้แก่ สระชนิดตื้น (Shallow solar pond) และสระชนิดลึก (deep or salt

gradient solar pond) เป็นต้น สามารถผลิตความร้อนที่ระดับอุณหภูมิ 40 - 60 °C และ 40 - 90 °C ตามลำดับ

## 2.2.2 สมการการคำนวณตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ถือว่าเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานความร้อน และถ่ายเทให้กับของไหลที่ไหลภายในตัวเก็บรังสี ทำให้ของไหลดังกล่าวมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตัวเก็บรังสีที่ดีจะต้องมีความสามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดี มีการสูญเสียความร้อนน้อยและสามารถถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนให้แก่ของไหลได้รวดเร็ว โดยทั่วไป ตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะยึดติดอยู่กับที่ หันหน้าไปทางทิศใต้ และเอียงทำมุมประมาณละติจูดของ ตำแหน่งที่อยู่ [11]

สมการการคำนวณจะเริ่มจากการหาพื้นที่การดูดซับของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ คือ การนำความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อสุญญากาศรวมกับจำนวนท่อสุญญากาศที่ใช้ จะได้พื้นที่รับแสงทั้งหมดของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะคิดจากสมการที่ 2.8

$$A = n \times L \times D \quad (2.8)$$

โดยที่

A = พื้นที่ผิวรับแสงของท่อความร้อน (ตารางเมตร)

n = จำนวนของท่อในระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

L = ความยาวของท่อความร้อน (เมตร)

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อความร้อน (เมตร)

พลังงานจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ หาได้จาก สมการที่ 2.9

$$E_{sol} = I \times A \times T \quad (2.9)$$

โดยที่

$E_{sol}$  = พลังงานในการผลิตความร้อนระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

I = ความเข้มแสงอาทิตย์ ณ เวลาขณะนั้น (วัตต์ต่อตารางเมตร)

T = ช่วงเวลาในการทดสอบ (ชั่วโมง)

พลังงานที่ต้องการในการผลิตน้ำร้อน คัดจากสมการที่ 2.10

$$Q_{shw} = m_1 \times c \times (T_o - T_i) \quad (2.10)$$

โดยที่

$Q_{shw}$  = พลังงานความร้อนที่ผลิตน้ำร้อนได้ (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

$m_1$  = มวลของน้ำ (กิโลกรัม)

$c$  = ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม- องศาเซลเซียส)

$T_o$  = อุณหภูมิน้ำร้อนหลังจากได้รับความร้อน (องศาเซลเซียส)

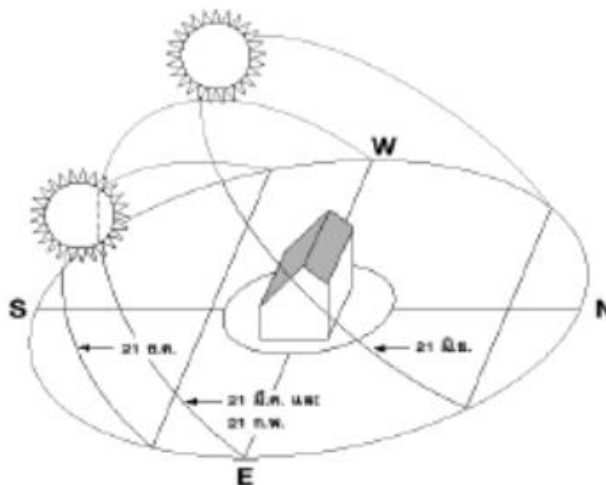
$T_i$  = อุณหภูมิน้ำก่อนเริ่มให้ความร้อน (องศาเซลเซียส)

อัตราส่วนของการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยหาจากพลังงานความร้อนที่ผลิตน้ำร้อนได้ ส่วนด้วยพลังงานความร้อนที่ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้ จากสมการที่ 2.9

$$SF = \frac{Q_{shw}}{E_{sol}} \quad (2.11)$$

ในการติดตั้งตัวรับแสงอาทิตย์นั้น ตำแหน่งที่ควรติดตั้งคือ ตำแหน่งที่จะมีโอกาสได้รับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุด คือจะต้องอยู่สูงพอที่จะไม่ถูกเงาของอาคารข้างเคียงหรือต้นไม้บัง และควรทำให้เป็นมุมเอียงเพื่อให้มีการระบายน้ำที่ดี และสามารถใช้น้ำฝนในการชะล้างสิ่งสกปรก ฝุ่นที่อาจทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำลงไป และหากลักษณะของอาคารเอื้ออำนวยควรติดตั้งที่ทิศใต้เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ทางซีกโลกเหนือ ทำให้แสงแดดจะส่องโดน หลังคาทางด้านทิศใต้ตลอดทั้งปีดังแสดงในรูปที่ 2.12





รูปที่ 2.12 การติดตั้งระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

หากพิจารณาจะพบว่าเครื่องทำน้ำร้อนตามบ้านในปัจจุบันที่นิยมมากที่สุดคือเครื่องทำน้ำร้อนแบบไฟฟ้า โดยเมื่อเทียบราคาค่าเครื่องและการติดตั้งแล้วจะน้อยกว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แต่หากมีการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนจะพบว่าเครื่องทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดโดยมีอายุการใช้งานประมาณ 15-40 ปี ขึ้นอยู่กับชนิดและการดูแลรักษา นอกจากนี้หากมองในระยะยาวแล้วเมื่อเกิดปัญหาการขาดแคลนพลังงานที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้หรือปัญหาการกำหนดราคาน้ำมัน ซึ่งจะส่งผลให้ราคาน้ำมัน แก๊ส และไฟฟ้า มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ แล้วการตัดสินใจใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากจะส่งผลดีต่อการที่จะไม่ได้รับผลกระทบจากสถานการณ์ดังกล่าวแล้ว ยังไม่ก่อให้เกิดมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

### 2.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับคำนวณการใช้พลังงานในอาคาร

โปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าภาระการทำความเย็นที่มีต่อเครื่องปรับอากาศของห้องที่ทำการปรับอากาศ ในการศึกษางานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ TRNSYS 18 เป็นเครื่องมือเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นเป็นรายชั่วโมงของห้องที่ทำการปรับอากาศ เพื่อนำ ข้อมูลไปใช้ในขั้นตอนต่อไปของการประเมินการใช้พลังงานและค่าดัชนีการไหลของการปรับอากาศแบบปริมาตรอากาศคงที่ ซึ่งรายละเอียดเบื้องต้นของโปรแกรม TRNSYS 18 ที่จำเป็นต้องทราบเพื่อใช้ในการวิจัยมีดังต่อไปนี้

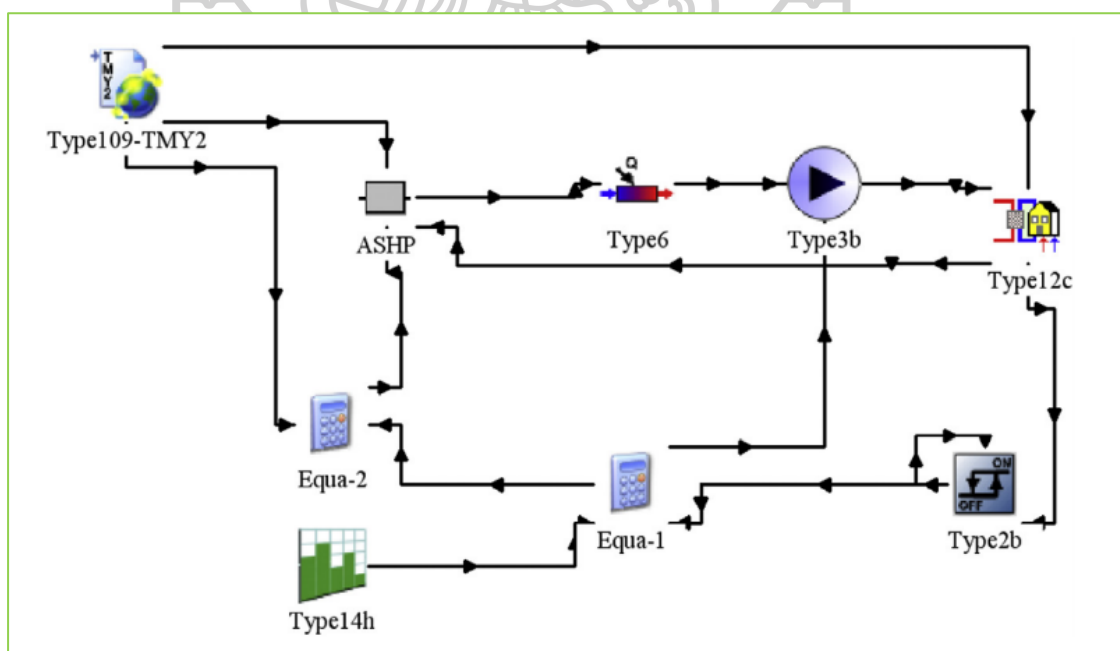
#### 2.3.1 ลักษณะทั่วไปของโปรแกรม TRNSYS

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Transient System Simulation Program (TRNSYS) เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการ จำลองเพื่อคำนวณเกี่ยวกับการใช้พลังงานในอาคารหรือระบบต่างๆ ตัวโปรแกรมสามารถจำลอง ลักษณะการใช้พลังงานของอาคารได้เป็นรายชั่วโมงตลอดทั้งปี ซึ่ง Box คำสั่งสำหรับให้ป้อน

ค่าจะ อธิบายเป็นภาษาอังกฤษที่เข้าใจง่าย แต่ผู้ใช้ต้องเข้าใจหลักการคำนวณด้านการถ่ายเทความร้อนและ ระบบต่างๆ ภายในอาคารเป็นอย่างดี เพราะหน้าต่างแต่ละหน้าต่างที่มี Box สำหรับให้ป้อนค่าที่อยู่ใน Studio program และ TRN build program จะมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งโปรแกรม TRNSYS Version ปัจจุบันจะมีความสะดวกแก่วิศวกรและสถาปนิกที่ต้องการประเมินระบบต่างๆ ภายในอาคารเป็น อย่างยิ่ง ซึ่งวิธีการเดิมมีความซับซ้อนและต้องใช้เวลามาก การใช้พลังงานในอาคาร นั้นขึ้นอยู่กับ รูปร่างของอาคาร คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุที่ใช้ ขนาด และตำแหน่งของผนัง พื้น หลังคา หน้าต่าง และประตู ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเงาจากอุปกรณ์ บังแดดรูปแบบการใช้งานของคนภายในอาคาร ตารางการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง การใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ ลักษณะของสภาพแวดล้อม อุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการของอาคาร นอกจากนั้น โปรแกรม TRNSYS 18 ยังมีวิธีที่ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์ความต้องการพลังงานที่ ซับซ้อนได้โดยไม่ต้องใส่รายละเอียดปลีกย่อยทั้งหมด โดยการใช้ค่าตัวเลือกอัตโนมัติ (Default) ซึ่งเป็นค่าสำหรับตัวแปรที่เครื่องจะใช้ เมื่อผู้ใช้ไม่ได้กำหนดให้เพื่อลดจำนวนตัวแปรที่จะต้องป้อนใน การทำงานของโปรแกรม

### 2.3.2 โครงสร้างของโปรแกรม

ลักษณะโครงสร้างของโปรแกรม TRNSYS 18 มีลักษณะการทำงานโดยภาพรวม ซึ่งสามารถอธิบายผังแผนภูมิสายงาน (Flow chart) ของโปรแกรม Simulation studio แสดงได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ผังแผนภูมิสายงานของโปรแกรม Simulation studio

จากรูปที่ 2.13 ข้อมูลทางสภาพภูมิอากาศ (Weather data) ของพื้นที่ที่อาคารตั้งอยู่โดยจะเป็น Type109 ซึ่งเป็นข้อมูล TMY2 ที่ได้จากการเฉลี่ยในช่วงเวลา 10 ปี ส่วนอาคารที่ใช้จำลองโดยจะเป็น Type56 ซึ่งการใส่ค่ารายละเอียด และระบบต่างๆ ของอาคารสามารถทำได้ใน TRNbuild program ส่วนผลที่ โปรแกรมคำนวณได้โดย TRNEXE program ซึ่งผลที่ได้สามารถแสดงได้หลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็น กราฟ หรือไฟล์ที่เป็นตัวเลข โดยการเลือก Printer Type ต่างๆ

## 2.4 การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุน

การวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ได้เริ่มมีขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นครั้งแรกเมื่อต้นศตวรรษที่ 20 เมื่อรัฐบาลได้ออกกฎหมายได้ออกกฎหมายเกี่ยวกับการพัฒนาและปรับปรุงกิจการพาณิชย์นาวี มีชื่อว่า “The River and Harbor Act” โดยกฎหมายฉบับนี้ได้ให้ความสำคัญของโครงการต่างๆ ที่เกี่ยวกับต้นทุนและผลประโยชน์ทางการค้า ซึ่งนำมาสู่การพัฒนาเทคนิคทางด้านการศึกษาต้นทุนและผลประโยชน์ที่มีตัวตนหรือที่สามารถคิดคำนวณเป็นตัวเงิน มีการขยายองค์ความรู้และแนวคิดในการวิเคราะห์ต้นทุนทางสังคมและเศรษฐกิจในภาคเอกชนต่างๆ ทั่วโลกในปี ค.ศ. 1950 นับแต่นั้นมาประเทศต่างๆ เริ่มให้ความสนใจกับประเด็นการนำหลักเศรษฐศาสตร์การวิเคราะห์ความเป็นไปได้โดยละเอียดก่อนดำเนินโครงการ [12]

การวิเคราะห์ก่อนการตัดสินใจลงทุนโดยใช้ทฤษฎีด้านการศึกษาความเป็นไปได้ในวิธีต่างๆ เพื่อเป็นเครื่องมือที่สามารถบ่งชี้ว่าโครงการนี้มีความเหมาะสมต่อการลงทุนหรือไม่ ประกอบไปด้วย [13]

- การวิเคราะห์ด้านเทคนิค (Technical Analysis) เป็นวิธีการวิเคราะห์เทคโนโลยีที่สามารถทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ควรมีความยืดหยุ่นเพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยน ตามสถานการณ์ในปัจจุบันได้ การวิเคราะห์ด้านเทคนิค (Social Analysis) เป็นการพิจารณารูปแบบองค์กรทาง สังคม มาตรการการครองชีพ รวมทั้งกระบวนการทางสังคม ที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์สูงสุด

- การวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อม (Environment Analysis) เป็นการพิจารณาการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

- การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Analysis) เป็นการพิจารณาโดยใช้ตัวเงินซึ่งบ่งชี้ถึงความสมเหตุสมผลของการลงทุนในรูปของกำไรหรือขาดทุน การตัดสินใจลงทุนดำเนินการใดๆ จำเป็นต้องมีการศึกษาก่อนการลงทุน การวิเคราะห์การลงทุนด้านเศรษฐศาสตร์ มีความสำคัญต่อธุรกิจเป็นอย่างมาก เพราะอาจทำให้ธุรกิจประสบผลสำเร็จ ตามเป้าหมายหรือล้มเหลวจากการตัดสินใจได้ ดังนั้นจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคและเครื่องมือทางการ เงินมาใช้เพื่อประกอบการตัดสินใจ

เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดและมีความเสี่ยงน้อยที่สุด การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์นับเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ทางการลงทุนที่นิยมสูงสุด เนื่องจากได้ค่าออกมาเป็นตัวเลขที่สามารถทำการเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจน ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน (PB) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และ อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

#### 2.4.1 ระยะเวลาคืนทุน (PB)

ระยะเวลาคืนทุน หมายถึง ระยะเวลาที่การลงทุนนั้นใช้ไปในการลงทุนเพื่อให้กระแสเงินสดรับสุทธิที่ได้จากการลงทุนคุ้มค่ากับต้นทุนที่ต้องลงทุนไป ระยะเวลาคืนทุน เป็นการคำนวณหาจุดคุ้มทุนของโครงการที่ทำ โดยมีหน่วยวัดเป็นระยะเวลาว่าเมื่อมีการลงทุนในโครงการนั้นแล้ว จะใช้ระยะเวลากี่งวด (ปี) ในการคืนทุน วิธีการคิดระยะเวลาคืนทุน วิธีนี้จะใช้ได้ดีเมื่อหาผลตอบแทนแล้วใกล้เคียงกันแล้วเปรียบเทียบโครงการที่คืนทุนเร็วที่สุด เนื่องจากโครงการที่คืนทุนเร็วกว่านั้นย่อมมีความเสี่ยงน้อยกว่า [14]

หากผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากันทุกปีสามารถคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน ได้ตั้งสมการ ที่ 2-12 หากผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการในแต่ละปีมีค่าไม่เท่ากัน การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนจะใช้วิธีบวกรายได้หรือผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นในแต่ละปีจนกระทั่งยอดรวมมีค่าเท่ากับเงินลงทุนของโครงการ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{เงินลงทุน (บาท)}}{\text{รายได้หรือผลประโยชน์ที่เกิดขึ้น (บาทต่อปี)}} \quad (2.12)$$

ข้อดี : PB เป็นวิธีที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจและสามารถคำนวณได้ง่ายถือเป็นเครื่องมือในการคัดสรรโครงการลงทุนเบื้องต้น

ข้อเสีย : PB จะไม่แสดงความสามารถในการทำกำไรของโครงการ ไม่คำนึงถึงเงินสดภายหลัง จากการคืนทุน และไม่คำนึงมูลค่าเงินเวลา [14]

#### 2.4.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

เป็นมูลค่าผลตอบแทนที่ได้จากโครงการที่เทียบกลับมาเป็นค่า ณ วันนี้ คือวันที่เริ่มลงทุนซึ่งเป็นตัวกำหนดการตัดสินใจแบบคำนึงถึงค่าของเงินตามเวลา เนื่องจากการลงทุนในระยะยาวจำนวนเงินที่จ่ายไปกับผลตอบแทนที่จะได้รับจากการลงทุนที่เกิดขึ้นในระยะเวลาดังกล่าว ต้องมีการปรับมูลค่าของจำนวนเงินลงทุนกับผลตอบแทนที่จะได้รับให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) สามารถคำนวณหาได้จากสมการ 2.14

$$NPV = \left( \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \right) - I \quad (2.13)$$

เกณฑ์ในการประเมิน สรุปได้ว่าหากโครงการลงทุนใดที่มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

$NPV < 0$  ไม่ควรลงทุนเปลี่ยนเทคโนโลยี

$NPV = 0$  อาจเปลี่ยนหรือไม่เปลี่ยนเทคโนโลยีก็ได้ เนื่องจากผลตอบแทนเท่ากับการลงทุน

$NPV > 0$  ควรลงทุนเปลี่ยนเทคโนโลยี

โดย NPV ที่มีค่าสูงมากจะหมายถึงความคุ้มค่าของการลงทุนสูง

#### 2.4.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

หมายถึง อัตราผลตอบแทนที่ทำให้ค่า NPV ของโครงการลงทุนนั้นมีค่าเท่ากับศูนย์ หรือ อัตราผลตอบแทนที่ทำให้เงินที่ลงทุนไปมีค่าเท่ากับเงินที่ได้รับกลับคืน เมื่อพิจารณาด้วยมูลค่าของเงินตามเวลา ซึ่งอัตราผลตอบแทนภายในนี้จัดว่าเป็น อัตราคิดลด (Discount Rate) ที่ใช้คำนวณมูลค่าของเงินตราเวลา เช่นเดียวกับ อัตราดอกเบี้ย และต้นทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของเงินทุน ดังแสดงในสมการที่ 2.15 โดยถ้าอัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) ค่าสูงกว่าต้นทุนของเงินทุนหรืออัตราดอกเบี้ยเงินทุนก็ควรลงทุน แต่ถ้าอัตราผลตอบแทนของโครงการมีค่าต่ำกว่าต้นทุนของเงินทุนหรืออัตราดอกเบี้ยเงินทุนไม่ควรลงทุนในโครงการ (วราภิกาน์ ไพศาลธยางกูล, 2557)

$$0 = \left( \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+IRR)^t} \right) - I \quad (2.14)$$

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ คือ นำค่า IRR มาเปรียบเทียบกับอัตราดอกเบี้ยนโยบาย หรือ  $r$  ที่ใช้ในการประเมิน NPV ข้างต้น โดย

$IRR < \text{ดอกเบี้ยนโยบาย}$  ไม่ควรลงทุน เนื่องจากผลตอบแทนที่ได้ต่ำกว่าค่าเสียโอกาสของการใช้เงินลงทุน

$IRR = \text{ดอกเบี้ยนโยบาย}$  ไม่มีความแตกต่างระหว่างลงทุนหรือไม่ลงทุน เนื่องจากผลตอบแทน ที่ได้เท่ากับค่าเสียโอกาสของการใช้เงินลงทุน

$IRR > \text{ดอกเบี้ยนโยบาย}$  ควรลงทุน เพราะได้ประโยชน์มากกว่าต้นทุนทางการเงินที่เสียไป เนื่องจากผลตอบแทนที่ได้มากกว่าค่าเสียโอกาสของการใช้เงินลงทุน



ในกรณีที่มีการเลือกหลายโครงการ จะเลือกโครงการที่ให้อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ที่สูงที่สุดเป็นอันดับแรก เนื่องจากประโยชน์จากการตอบแทนสูงสุด

## 2.5 แนวคิดพื้นฐานทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

ในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์มีการพัฒนามากขึ้น ทำให้ผลงานทางด้านวิศวกรรมได้ถูกนำมาใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมาย และเช่นเดียวกับการออกแบบทางด้านวิศวกรรม ที่จะต้องมีการลงทุนเพื่อดำเนินโครงการในการก่อสร้างต่อไป แต่เนื่องจากทรัพยากรที่มีอยู่ในโลกเราในปัจจุบันมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นผลงานทางด้านวิศวกรรมจึงต้องพิจารณาปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์มากขึ้น เพื่อให้ต้นทุนในการใช้ทรัพยากรในการผลิตต่ำที่สุดและงานมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

### 2.5.1 หลักการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

1. ค่าเงินมีความสัมพันธ์กับเวลา กล่าวคือ เงินจำนวนเท่ากันที่เกิดขึ้นที่เวลาต่างกัน ค่าของเงินนั้นจะมีค่าไม่เท่ากัน
2. ในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมเป็นการวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจและเพื่อเป็นการวางแผนการในอนาคต ดังนั้นจึงต้องมีการคาดการณ์ในอนาคตภายใต้สมมติฐานว่าในอนาคตที่เราคาดการณ์ไว้มีการเปลี่ยนแปลงน้อย

### 2.5.2 โครงการลงทุนทางอุตสาหกรรมและวิศวกรรม

โครงการลงทุนโดยทั่วไปนั้นอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ โครงการลงทุนในทรัพย์สินจริงที่ให้ผลผลิต เช่น เครื่องจักร โรงงานและอุปกรณ์ ฯลฯ โครงการลงทุนทางอุตสาหกรรมและวิศวกรรมจะเป็นโครงการที่เกี่ยวกับทรัพย์สินจริงที่ให้ผลผลิต โดยทรัพย์สินจริงจะมีลักษณะที่ต่างไปจากทรัพย์สินทางการเงินดังนี้

1. เมื่อเลือกลงทุนแล้วมักเปลี่ยนใจได้ยาก ดังนั้นจึงอาจจะทำให้องค์กรขาดความคล่องตัวในอนาคตได้ เมื่อมีโครงการใหม่ที่ดีกว่ามาให้พิจารณา
2. แบ่งย่อยโครงการได้ยาก โครงการลงทุนประเภททรัพย์สินจริงนี้มักจะต้องทำทั้งโครงการและไม่สามารถทำเพียงส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงการ
3. โครงการมักมีอายุยืนยาวและแต่ละโครงการมักจะมีอายุของโครงการแตกต่างกันไป
4. จำนวนโครงการที่ให้พิจารณามักมีไม่มาก เมื่อเทียบกับโครงการลงทุนในทรัพย์สินทางการเงิน และโครงการทางอุตสาหกรรมและวิศวกรรมโดยปกติจะต้องใช้เงินลงทุนสูง ลักษณะเหล่านี้ แยกโครงการลงทุนในทรัพย์สินจริงออกจากโครงการลงทุนในทรัพย์สินทางการเงิน ซึ่งชี้ให้เห็นถึงผลกระทบอัน

ยาวนานเมื่อได้ตัดสินใจไปแล้ว ดังนั้นในการวิเคราะห์การตัดสินใจทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรมจะช่วยให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง เพื่อช่วยลดความเสี่ยงและเพิ่มความเชื่อมั่นในการตัดสินใจต่อไป

### 2.5.3 การวิเคราะห์ต้นทุน

ต้นทุน (cost) และค่าใช้จ่าย (expense) มีความใกล้เคียงกันมาก แต่พอจะจำแนกได้ว่าต้นทุนหมายถึง ผลรวมของเงินที่ใช้ไปทั้งหมดในการผลิต ส่วนเงินที่ใช้ไปในทางอื่นๆ ของการผลิตหรือเรื่องทั่วไป ในกิจการมักเรียกว่าค่าใช้จ่าย

ต้นทุนมีอยู่หลายชนิด ต้นทุนแต่ละชนิดมีความหมายแตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ เช่น วัตถุประสงค์เพื่อใช้วางแผนควบคุมต้นทุน ใช้แสดงในงบการเงิน ใช้วางแผนกลยุทธ์ ใช้ประเมินผลต่างๆ เป็นต้น

ในการวิเคราะห์ต้นทุนนั้นจำเป็นต้องทราบว่าต้นทุนหรือกลุ่มต้นทุนมีความสัมพันธ์กับอะไร ในลักษณะไหน ความสัมพันธ์ดังกล่าวยิ่งมากเท่าใด ความถูกต้องในข้อมูลต้นทุนยิ่งมีมากขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามต้นทุนรวมมักจะประกอบไปด้วยต้นทุนย่อยมากมาย การจำแนกแต่ละต้นทุนย่อยทำให้ความถูกต้องมีมากขึ้นแต่ทำให้ต้นทุนการจำแนกเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้นจะต้องพิจารณาจากความเหมาะสม เช่น ความสัมพันธ์ของต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ ปริมาณการผลิต

### 2.5.4 การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทน (Cost-benefit analysis)

การวิเคราะห์ต้นทุนผลตอบแทนในการตัดสินใจการลงทุน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดผลตอบแทนและต้นทุนของโครงการ (Benefit and Cost Identification) การกำหนดต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการ จำเป็นต้องมีการแจงรายละเอียดที่มาของผลตอบแทนของโครงการว่ามาได้อย่างไร และมีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด ส่วนรายละเอียดด้านต้นทุน ประกอบด้วยต้นทุนการดำเนินงานโครงการ (Explicit cost) ต้องมีการประเมินค่าใช้จ่ายและการตีมูลค่าของต้นทุนและผลตอบแทนในทางเศรษฐศาสตร์มาคิดด้วย เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการประเมินโครงการ

ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์การเงิน (Financial cost-Benefit analysis) การวิเคราะห์ทางการเงินเป็นการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของโครงการ หรือเงินลงทุน และผลตอบแทนของโครงการ หรือผลกำไรทางการเงินสำหรับโครงการเอกชน วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ทางการเงิน เพื่อวิเคราะห์ว่าโครงการที่จัดทำขึ้นมีความคุ้มค่าหรือไม่ กล่าวคือ ผลตอบแทนที่ได้รับควรจะสูงกว่าเงินที่ลงทุนไป

โดยคำนึงค่าเสียโอกาสซึ่งอยู่ในรูปของอัตรา ส่วนลด (Discount rate) การวิเคราะห์การเงินของโครงการจะวิเคราะห์ด้านต่างๆ ดังนี้คือ

1. การวิเคราะห์ทางด้านเงิน (Financial analysis) - มูลค่าปัจจุบันของโครงการ (Net present value : NPV) - อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) - ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

2.5.4.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present value : NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุนหรือพลังงานในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปี ตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงิน ที่จ่ายออกไป ภายใต้ โครงการที่กำลังพิจารณา ณ อัตราลดค่า (discount rate) หรือค่าของทุน (cost of capital) ที่กำหนดจาก คำนียามข้างต้น การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ จะต้องทราบข้อมูลดังนี้ - กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ - กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีตลอดอายุโครงการ - ระยะเวลาของโครงการ - อัตราลดค่าหรือค่าของทุนของธุรกิจ

2.5.4.2 อัตราผลตอบแทนภายใน คือการหาค่า discount rate ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าค่า IRR มากกว่าหรือเท่ากับค่าของทุน discount rate (1) ที่ผู้ลงทุนเลือกใช้เป็นจุดตัดสินใจ ก็ถือได้ว่าเป็นโครงการ ดังกล่าวเป็นโครงการที่น่าลงทุน

2.5.4.3 ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period) คือ ระยะเวลา (เป็นจำนวนปี / เดือน หรือวัน) ที่กระแส เงินสด รับจากโครงการ สามารถชดเชย กระแสเงินสดจ่าย ลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการพอดี เนื่องจากโครงการที่ขอรับการสนับสนุน จะมี ลักษณะการลงทุน เพียงครั้งเดียว ในปีแรก และให้ผลตอบแทน ที่เท่ากันทุกปี ในการเลือกโครงการ ค่าระยะเวลาคืนทุนจะแสดงให้เห็นว่า ต้องใช้เวลานาน เพียงใดในการได้ทุนคืน ถ้าสามารถได้ทุนคืนเร็ว โครงการ ก็จะน่าสนใจ วิธีดังกล่าวจะมีข้อเสีย ในการเลือกโครงการ คือ วิธีนี้จะไม่ให้ความสนใจ ถึง เงินเข้าสุทธิในส่วนที่ได้หลังจากช่วงเวลา คืนทุนแล้ว ซึ่งอาจจะมีผลตอบแทนภายหลังมากกว่า โครงการที่มี PBP เร็วกี่ได้ แต่ PBP สำหรับการประเมินโครงการ ของกองทุนฯ สามารถนำมาใช้ พิจารณาได้เนื่องจาก ลักษณะโครงการที่ขอการสนับสนุน จะให้ผลการประหยัดพลังงาน ที่เท่ากัน ตลอดอายุ ของโครงการ

ขั้นตอนที่ 3 การศึกษาหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจในการลงทุน (Investment decision) การตัดสินใจในการลงทุน หมายถึง การตัดสินใจเกี่ยวกับการเลือกโครงการ ลงทุนว่าควรลงทุน โครงการใด จึงจะให้ผลตอบแทนตามต้องการ โดยใช้เกณฑ์ในการตัดสินใจ ทางการลงทุนที่คำนึงค่าเสียโอกาส



(opportunity cost) ได้แก่ การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการดังรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้ว [9]

การหาค่ามูลค่าการดำเนินงานและค่าบำรุงรักษานั้น ในระยะเริ่มแรกของการดำเนิน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงดูแลรักษาจะมีน้อย แต่เมื่อระดับการผลิตเพิ่มสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายส่วนนี้ก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นการประมาณค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จึงมักนิยมประมาณเป็นรายการค่าใช้จ่ายที่คาดว่าจะมีความสอดคล้องกับปริมาณการผลิตและการดำเนินงาน ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาอาจ ได้มาจากการสอบถามข้อมูลของตัวแทนจำหน่ายหรือฝ่ายขายปั๊มความร้อนก็ได้

$$\text{ค่าดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาระบบ} = (\text{มูลค่าของเงินลงทุน}) \times 0.005 \quad (2.15)$$

จากการสอบถามข้อมูลของตัวแทนจำหน่าย ระบุว่ามูลค่าการบำรุงรักษาในปีถัดไปจะเพิ่มขึ้นประมาณ 7 เปอร์เซ็นต์ จากการสำรวจค่าประกันระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละบริษัทผู้ผลิต พบว่าอัตราค่าประกันระบบคิดร้อยละ ของการติดตั้งระบบส่วนใหญ่จะคิดที่ร้อยละ 0-10 ของค่าติดตั้งระบบ ระยะการรับประกันอยู่ในช่วง 1-5 ปี ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขของบริษัทผู้ผลิตและรายการในการรับประกัน ในงานศึกษานี้จะใช้ค่า ประกันระบบที่ 1 เปอร์เซ็นต์ของเงินลงทุน เนื่องจากเป็นค่าประกันขั้นต่ำที่สุด

$$\text{ค่าประกัน} = (\text{มูลค่าของเงินลงทุน}) \times 0.01 \quad (2.16)$$

การคำนวณมูลค่าซากจะเป็นการคิดมูลค่าของระบบ เมื่อระยะเวลาผ่านไป ซึ่งจะนำมาหักล้างออกจาก มูลค่าของเงินลงทุนของระบบ สำหรับการศึกษานี้จะคิดมูลค่าซากของระบบทำน้ำร้อนแต่ละประเภท ที่ร้อยละ 10 ของเงินลงทุน

$$\text{มูลค่าซาก} = (\text{มูลค่าของเงินลงทุน}) \times 0.1 \quad (2.17)$$

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(บุญฤทธิ์ , 2553) [15] การประหยัดพลังงานในระบบการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนในอาคาร โรงแรม,ศึกษาระบบปั๊มความร้อนประเภท Air source heat pump จำนวน 10 เครื่อง ขนาดของปั๊มความร้อนรวมทั้งสิ้น 460 กิโลวัตต์และถังเก็บน้ำร้อนขนาด 25,500 ลิตร ตรวจสอบสมรรถนะโดยใช้ทฤษฎี P-h Diagram พบว่าสมรรถนะการทำงานของระบบผลิตน้ำร้อนทุกกรณีมีค่าสูงกว่าค่าที่มาตรฐานกำหนด และวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงิน โดยใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (BCR) อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) และระยะเวลาในการคืนทุน (SPP) เป็นเกณฑ์การตัดสินใจ พบว่าทุกกรณีมีความคุ้มค่าในการลงทุนถึงแม้ปั๊มความร้อนยังมีราคาสูง

มากแต่ผลประโยชน์ที่ได้รับจากผลประหยัดพลังงานและค่าบำรุงรักษา มีค่ามากพอที่จะทำให้คุ้มค่าทางการเงิน

(ชลดา,2555) [16] การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนเสริมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ภายใต้สภาพอากาศของจังหวัดขอนแก่นในประเทศไทย ซึ่งระบบนี้ได้ทำการออกแบบถังน้ำร้อนความจุ 100 ลิตร แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ พื้นที่ 2.16 ตารางเมตรโดยนำมาเปรียบเทียบกับระบบทำน้ำร้อนจากเครื่องทำน้ำร้อนโดยอาศัยความร้อนเหลือทิ้งจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาดเล็ก พบว่าการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนเสริมพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตน้ำร้อนได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าระบบผลิตน้ำร้อนจากเครื่องทำน้ำร้อนโดยอาศัยความร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาดเล็ก

(ณัฐวุฒิ, 2556) [17] การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของการทำความร้อนโดยใช้ปั๊มความร้อนแทนหม้อต้มไอน้ำในโรงแรมขนาดเล็ก จากการศึกษาพบว่าโรงแรมมีความต้องการใช้น้ำร้อน 8,000 ลิตรที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสด้วยการใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นเชื้อเพลิง ทำการเปลี่ยนระบบทำความร้อนจากที่กล่าวมา เป็นปั๊มความร้อน ขนาด 67 กิโลวัตต์ จำนวน 3 เครื่องและถังเก็บน้ำร้อนความจุ 20,000 ลิตร ค่าการบำรุงรักษา 14,980 บาทในปีแรกและเพิ่มขึ้นปีละ 7% ค่าประกันระบบเท่ากับ 29,960 บาทต่อปีตลอดอายุโครงการ ระยะเวลาคืนทุน (PBP) เท่ากับ 0.93 ปี

(สุภัทรชัย, 2560) [18] การศึกษาความเป็นไปได้และแนวทางการส่งเสริมการใช้ปั๊มความร้อนในโรงแรม พบว่าอัตราการผลิตน้ำร้อนโดยเฉลี่ยทั้งปีของโรงแรมขนาด 293, 380, 670 ห้อง ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ประหยัดได้จากการเปลี่ยนมาใช้ปั๊มความร้อน เท่ากับ 1,541,611 , 3,312,437, 2,216,940 MJ/ปี คิดเป็นมูลค่าได้ 499,483, 1,061,277 และ 1,832,359 บาท/ปี ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ทางการเงินพบว่าอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) อยู่ในช่วง 30.7% ถึง 43.9% โดยมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วง 1.91 ถึง 2.4 ปี ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงระบบผลิตน้ำร้อนที่มีอยู่เดิมเป็นระบบปั๊มความร้อนจึงเป็นไปได้ในการลงทุน

(ภควัด, 2561) [19] การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำอุ่นด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 กิโลวัตต์ จากการศึกษาพบว่า ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์และส่งผลต่อประสิทธิภาพ ได้แก่ อัตราการไหลของสารทำความเย็น อัตราการไหลของน้ำ อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปเรเตอร์และอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์โดยประสิทธิภาพจะแปรผันตามอัตราการไหลของสารทำความเย็น อัตรา

การไหลของน้ำและอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าฮีวโปเรเตอร์ ส่วนอุณหภูมิน้ำเข้าคอนเดนเซอร์ จะมีค่าแปรผกผันกับค่าประสิทธิภาพจากความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าว สามารถนำไปประยุกต์ใช้ควบคุมการทำงานของปั๊มความร้อนให้มีค่าประสิทธิภาพ สูงสุดซึ่งจะทำให้ประหยัดพลังงานและใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบน้ำร้อนประหยัดพลังงานที่ใช้ปั๊มความร้อนในอนาคตได้

(อภิวัฒน์, 2562) [20] ศึกษาเปรียบเทียบระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างแบบแผ่นเรียบและแบบหลอดแก้วสุญญากาศ จากการเก็บข้อมูลจริงเป็นระยะเวลาประมาณ 4 เดือน โดยวิเคราะห์จากปัจจัยที่อาจจะมีผลต่ออุณหภูมิของน้ำ เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์ ความชื้นในอากาศ อุณหภูมิอากาศ น้ำเข้า-ออกแผงรับความร้อน พบว่า สภาพอากาศมีผลต่อการผลิตน้ำร้อนมากที่สุด โดยในวันที่แสงแดดดีจะทำความร้อนได้สูงแต่ในวันที่ฝนตกจะไม่สามารถทำความร้อนได้และแผงทำความร้อนทั้งสองแบบมีช่วงการทำความร้อนที่ไม่เท่ากัน โดยที่แผงทำความร้อนแบบแผ่นเรียบจะมีช่วงเวลาที่สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำได้แคบกว่าแบบหลอดแก้วประมาณ 1.5-2 ชั่วโมงต่อวัน นอกจากนี้ ยังพบว่าแผงแบบแผ่นเรียบมีอัตราการสูญเสียความร้อนที่สูงกว่าแบบหลอดแก้วสุญญากาศ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิบริเวณที่ทำการทดลองโดยเฉพาะในช่วงเวลากลางคืน โดยปัจจัยเหล่านี้ ส่งผลให้แผงทั้งสองชนิด มีผลได้เปรียบเสียเปรียบต่างกันไป ทางด้านจุดคุ้มทุนพบว่า ทั้งสองระบบมีจุดคุ้มทุนไม่ต่างกันมากนัก ขึ้นอยู่กับราคาขายในท้องตลาด

(Giti Nouri, 2019) [21] ศึกษาการจำลองกำหนดค่าต่างๆ ระบบปั๊มความร้อนใต้ดินกับพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อใช้ผลิตผลิตความร้อนและความเย็น โดยใช้โปรแกรมจำลอง TRNSYS พบว่าได้ค่าประสิทธิภาพ 3.96 และทำการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบระบบที่เหมาะสมที่สุดที่เสนอกับระบบทั่วไป โดยพิจารณาที่ความต้องการใช้พลังงาน 9,401.5 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ต้นทุนของระบบรวมกับการดำเนินการเปรียบเทียบกับระบบทำน้ำร้อนที่ใช้เชื้อเพลิง พบว่าการใช้ระบบทำน้ำร้อนปั๊มความร้อนใต้ดิน ทำให้มีระยะเวลาคืนทุน 6 ปี ซึ่งทำให้ระบบดังกล่าวมีความเป็นไปได้ที่จะลงทุนในภาคเหนือของอิหร่านที่มีสภาพภูมิอากาศเย็น

(Qi Lu , 2017) [22] การศึกษาของเขาประเมินตัวชี้วัดทางเศรษฐกิจบางอย่างสำหรับปั๊มความร้อนแหล่งพื้นดินในแนวตั้งที่อยู่อาศัย (GSHP) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบนี้คือ 3.8 สำหรับการทำความร้อน ตัวชี้วัดทางเศรษฐกิจใช้ในการประเมินระบบทำความร้อน จากการวิเคราะห์พบว่าสำหรับอายุการออกแบบ 20 ปี ระบบปั๊มความร้อนจากแหล่งอากาศ (ASHP) มีความน่าสนใจทางการเงินมากกว่าระบบ GSHP แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับอายุการออกแบบ 40 ปี ระบบ

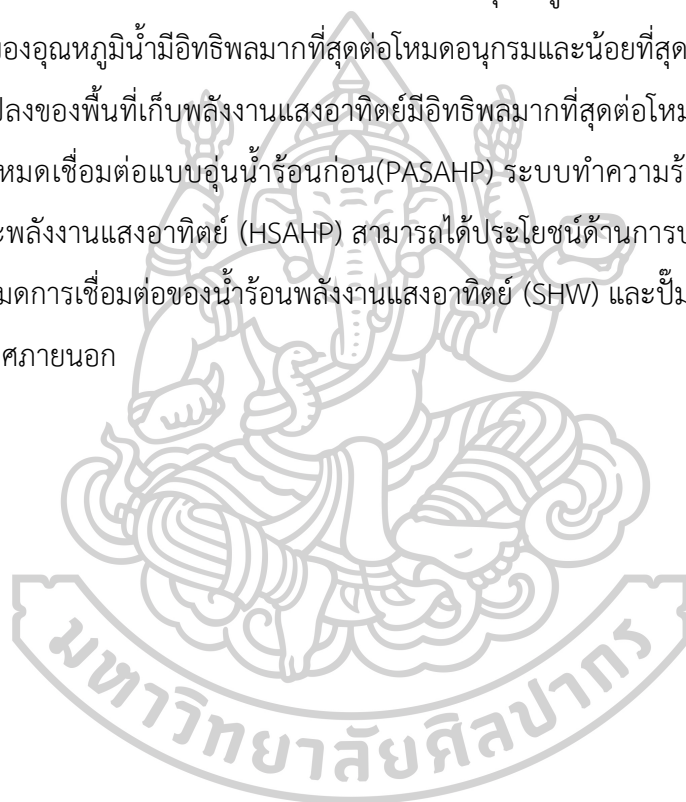
GSHP ให้มากกว่านั้นประหยัดกว่าทางเลือกอื่นรวมถึงระบบ ASHP อัตราผลตอบแทนค่อนข้างต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม การได้รับการสนับสนุนของรัฐบาล โดยเครดิตภาษีจากต้นทุนต่ำลง 8% ทำให้ระบบ GSHP มีความน่าลงทุนเพิ่มมากขึ้นทั้งอายุการใช้งานที่น้อยลง

(Tianhe Long , 2020) [23] ศึกษาเปรียบเทียบความร้อนแบบอากาศร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อประเมินประสิทธิภาพในการออกแบบระบบให้มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของทิเบต โดยใช้โปรแกรมจำลอง TRNSYS ช่วยในการตัดสินใจ ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของระบบในช่วงหน้าร้อนประสิทธิภาพคือ 2.68 และประสิทธิภาพเฉลี่ย 1.95 ระบบทำความร้อนแสงอาทิตย์มีส่วนพลังงานแสงอาทิตย์ 42.79% สำหรับฤดูร้อน นอกจากนี้ อุณหภูมิน้ำร้อนของถังเก็บน้ำโดยทั่วไปจะแปรผันใกล้กับ 45 °C ซึ่งบ่งชี้ว่าอุณหภูมิของน้ำเป็นไปตามข้อกำหนดด้านความร้อนส่วนใหญ่โดยคำนึงถึงเวลาทำความร้อน ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน พบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับพื้นที่ของตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ มุมของตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ ละปริมาตรของถังเก็บน้ำคือ 225 ตารางเมตร , 45 ° และ 30 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เศษส่วนแสงอาทิตย์เฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 0.793 เพิ่มขึ้น 85.3% จากระบบเดิม

(Hong Li, 2014) [24] การตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบทำความร้อนปั๊มความร้อนด้วยความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ศึกษาเปรียบเทียบความร้อนด้วยความร้อนจากแสงอาทิตย์แบบผสมผสานกับการจัดเก็บพลังงานตามฤดูกาลสำหรับทั้งการให้ความร้อนในอากาศและน้ำร้อน (DHW) ในพื้นที่ที่มีอากาศหนาวเย็น และใช้ซอฟต์แวร์ TRNSYS จำลองและเปรียบเทียบกับระบบทำความร้อนแบบธรรมดา นอกจากนี้อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบได้รับการวิเคราะห์ ผลการสอบสวนพบว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบทั้งหมดถึง 3.7 ในช่วงเดือนที่มีความร้อน โดยเฉลี่ยแล้วประสิทธิภาพ รายเดือนสำหรับความร้อนในพื้นที่ประมาณ 3.2 เมื่อเทียบกับระบบทำความร้อนในพื้นที่แบบดั้งเดิม ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและอัตราการประหยัดพลังงานรายเดือนสำหรับการทำความร้อนในพื้นที่อยู่ที่ประมาณ 52% นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิแถบแดดแบบที่ดีที่สุดของหน่วยปั๊มความร้อนจากอากาศสู่น้ำคือ 7 องศาเซลเซียส ค่าที่เหมาะสมที่สุดปัจจัยการจัดเก็บควรอยู่ในช่วง 0.5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> ถึง 0.8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> และเสนอพื้นที่เก็บพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในช่วง 130 m<sup>2</sup> - 160 m<sup>2</sup> ด้วยพารามิเตอร์ที่เสนอโดยเฉพาะ ประสิทธิภาพของระบบสำหรับการทำความร้อนในพื้นที่เพิ่มขึ้น 12.8% เมื่อเทียบกับการออกแบบดั้งเดิม สรุปได้ว่าระบบทำความร้อนปั๊มความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ออกแบบให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

และลดพลังงานมหาศาลการบริโภคเมื่อเทียบกับระบบทำความร้อนแบบดั้งเดิมที่ใช้ในอาคารที่มีอากาศเย็น

(Jibo Long , 2021) [25] ทำการศึกษาระบบทำความร้อนแบบผสมผสานระหว่างน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และปั๊มความร้อนจากอากาศ (HSAHP ) ซึ่งสามารถต่อในรูปแบบต่างๆ คือ น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (SHW) และปั๊มความร้อนจากแหล่งอากาศ (ASHP) โดยมีการต่อโหมดการทำความร้อนแบบคู่ขนาน โหมดการทำความร้อนแบบอนุกรม และโหมดการเชื่อมต่อแบบอุ่นน้ำร้อนก่อน ผลการวิจัยพบว่า ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อมมีความสำคัญ โหมดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำมีอิทธิพลมากที่สุดต่อโหมดอนุกรมและน้อยที่สุดต่อโหมดคู่ขนาน การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เก็บพลังงานแสงอาทิตย์มีอิทธิพลมากที่สุดต่อโหมดคู่ขนานและมีอิทธิพลน้อยที่สุดต่อโหมดเชื่อมต่อแบบอุ่นน้ำร้อนก่อน(PASAHP) ระบบทำความร้อนแบบรวมระหว่างปั๊มความร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์ (HSAHP) สามารถได้ประโยชน์ด้านการประหยัดพลังงานที่ดีโดยการเปลี่ยนโหมดการเชื่อมต่อของน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (SHW) และปั๊มความร้อน (ASHP) ตามค่าสภาพอากาศภายนอก



ตารางที่ 3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย	งานวิจัย	ทฤษฎี / หลักการ			
		ระบบทำความร้อน	สมการคณิตศาสตร์ของระบบทำความร้อน	โปรแกรมจำลองการทดสอบระบบทำน้ำร้อน	การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุน
(บุญฤทธิ์ , 2553)	การประหยัดพลังงานในระบบการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนในอาคารโรงแรม		●		●
(ชลดา,2555)	การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนเสริมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ภายใต้สภาพอากาศของจังหวัดขอนแก่นในประเทศไทย	●	●		
(ณัฐวุฒิ, 2556)	การศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของการทำความร้อนโดยใช้ปั๊มความร้อนแทนหม้อต้มไอน้ำในโรงแรมขนาดเล็ก	●			●
(สุภัทรชัย , 2560)	การศึกษาความเป็นไปได้และแนวทางการส่งเสริมการใช้ปั๊มความร้อนในโรงแรม	●	●		●
(ภควัต, 2561)	การศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำอุ่นด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 กิโลวัตต์	●	●		



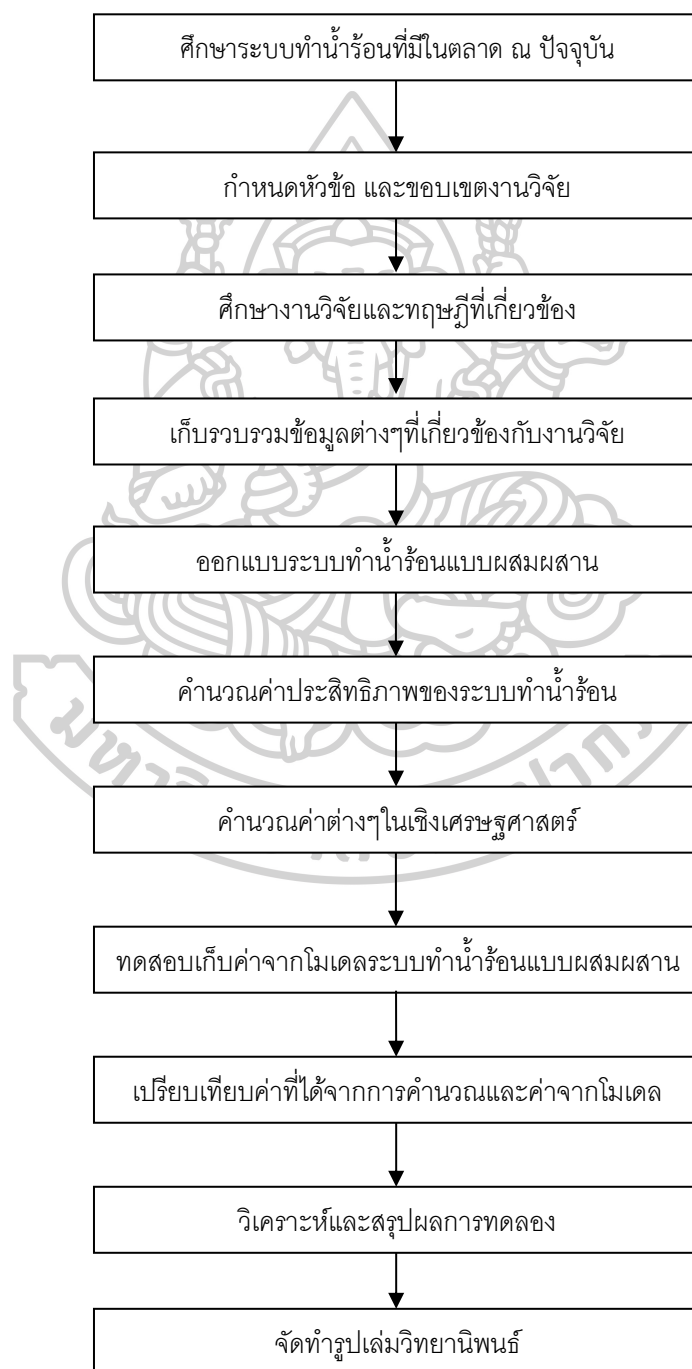
ผู้วิจัย	งานวิจัย	ทฤษฎี / หลักการ			
		ระบบทำความร้อน	สมการคณิตศาสตร์ของระบบทำความร้อน	โปรแกรมจำลองการทดสอบระบบทำน้ำร้อน	การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุน
(Giti Nouri, 2019)	Designing and optimization of solar assisted ground source heat pump system to supply heating, cooling and hot water demands		●	●	
(Qi Lu , 2017)	Economic analysis of vertical ground source heat pump systems in Melbourne	●			●
(Tianhe Long , 2020)	Performance analysis and optimization of a solar-air source heat pump heating system in Tibet, China	●	●		
(Hong Li, 2014)	Performance investigation of a combined solar thermal heat pump heating system		●	●	
(Jibo Long , 2021)	Study on energy-saving operation of a combined heating system of solar hot water and air source heat pump	●	●	●	



### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการศึกษาประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างปั๊มความร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานและการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังต่อไปนี้



ศึกษาสภาพทั่วไปของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน

ระบบทำน้ำร้อนที่ใช้สำหรับโรงแรมในปัจจุบันนี้มีหลายระบบ โดยอาคาร โรงแรมจะใช้งานระบบทำความร้อนชนิดใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในด้านต่างๆ ได้แก่ มูลค่าลงทุน เริ่มต้น และการดำเนินการของระบบทำน้ำร้อน ผลตอบแทนการลงทุนและจุดคุ้มทุน ของระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิด ซึ่งอาคารส่วนใหญ่ในปัจจุบันจะนิยมติดตั้งระบบทำน้ำร้อนจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และระบบไฟฟ้า ได้แก่ ระบบทำน้ำร้อนจากน้ำมันเตา แก๊สปิโตรเลียมเหลว(LPG) ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์และปั๊มความร้อนเป็นต้น

ในการศึกษานี้ศึกษาระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน ที่มีความต้องการปริมาณน้ำร้อนอุณหภูมิไม่เกิน 60 °c ที่ โดยจะทำการออกแบบรูปแบบการติดตั้ง ปั๊มความร้อน ขนาดปั๊มความร้อน และศึกษาประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนเมื่อสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนแปลงโดยทำการศึกษาที่สภาวะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานพร้อมทั้งตรวจวัดสมรรถนะการทำงานของระบบปั๊มความร้อนเมื่อใช้งานจริงหลังจากติดตั้งเปรียบเทียบกับมาตรฐาน รวมถึงการศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินสำหรับโรงแรมอื่นที่มีเงื่อนไขการผลิตน้ำร้อนเดียวกันในการนำระบบปั๊มความร้อนมาใช้แทนระบบผลิตน้ำร้อนจากระบบอื่น

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษานี้ประกอบด้วยขั้นตอนในการทำงาน 4 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

- 3.1 ขั้นตอนการศึกษาระบบปั๊มความร้อนแบบผสมผสาน
- 3.2 ขั้นตอนการประเมินสมรรถนะของปั๊มความร้อนเมื่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน
- 3.3 ขั้นตอนตรวจวัดสมรรถนะระบบปั๊มความร้อนแบบผสมผสาน
- 3.4 ขั้นตอนการศึกษาความคุ้มค่าทางการเงินของการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนแทน เครื่องทำน้ำร้อนแต่ละชนิด

### 3.1 ขั้นตอนการศึกษาระบบปั๊มความร้อนแบบผสมผสาน

ในการศึกษาระบบปั๊มความร้อนแบบผสมผสานเพื่อให้มีความเหมาะสม สำหรับการใช้งานผลิตน้ำร้อนที่มีความต้องการปริมาณ น้ำร้อนตามมาตรฐานจาก Heating, Ventilating, Air Conditioning Guides ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2,800 L/day ที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 °c โดยมีปัจจัยพื้นฐานต่างๆที่ต้องพิจารณาสำหรับการติดตั้งระบบปั๊ม ความร้อนสำหรับโรงแรมกรณีศึกษา ดังนี้

- ขนาดการทำความร้อนของปั๊มความร้อน
- ขนาดถังเก็บน้ำร้อน
- รูปแบบการจ่ายน้ำร้อนให้แก่ห้องพักภายในโรงแรม
- ข้อจำกัดและข้อได้เปรียบในการติดตั้งปั๊มความร้อน

โดยจะทำการศึกษาข้อมูลจากคุณสมบัติของระบบปั๊มความร้อนของบริษัทพีรพัฒน์ เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน) และการใช้เครื่องทำน้ำร้อนแบบแสงอาทิตย์ รุ่น TR20/1.8 ซึ่งเป็นระบบปั๊มความร้อนผสมผสานที่เลือกมาใช้ในการติดตั้ง ทั้งนี้จะทำการศึกษา ขนาดการทำความร้อนของปั๊ม ความร้อนขนาดของถังเก็บน้ำร้อน และรูปแบบการจ่ายน้ำร้อนให้แก่ห้องพักภายในโรงแรม พร้อมทั้งศึกษาข้อจำกัดและข้อได้เปรียบในการติดตั้งปั๊มความร้อนแบบผสมผสาน ปั๊มความร้อนดังกล่าว

### 3.2 ขั้นตอนการประเมินสมรรถนะของปั๊มความร้อนเมื่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งาน

การประเมินสมรรถนะของปั๊มความร้อนจากสูตรการคำนวณทางทฤษฎีโดยใช้ P-h Diagram ของสารทำความเย็น R-134a การพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบจะศึกษาภายใต้สมมุติฐานให้ตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกับสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อนทุกค่าคงที่ ทั้งนี้ให้มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะอุณหภูมิสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานโดยพิจารณาที่สภาวะดังต่อไปนี้

1. กำหนดให้ระบบปั๊มความร้อนภายใต้สภาวะที่เป็นปกติในการเปรียบเทียบ ดังนี้

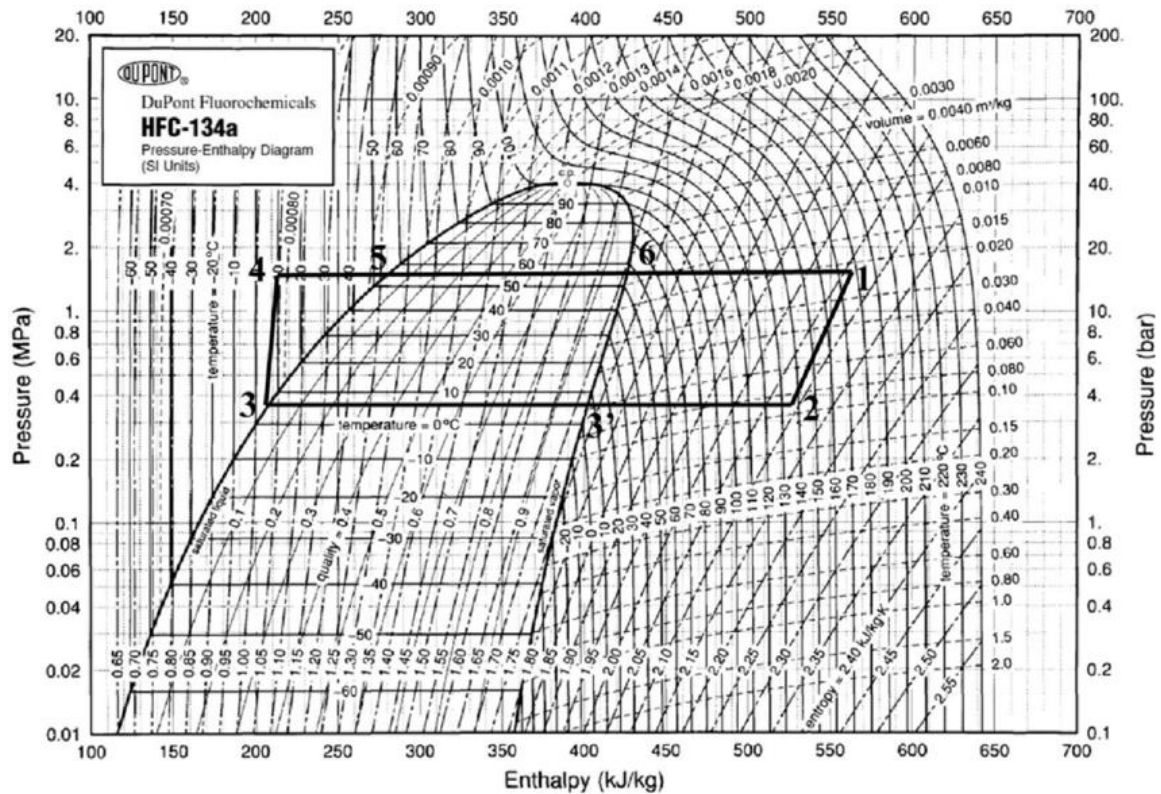
อุณหภูมิที่ Evaporator ( $T_E$ ) = 30 °c (อุณหภูมิสภาพแวดล้อม)

อุณหภูมิที่ Condense ( $T_C$ ) = 60 °c (อุณหภูมิน้ำร้อน)

2. ดำเนินการเปลี่ยนแปลงสภาวะการทำงานต่างๆของระบบปั๊มความร้อน ดังนี้

อุณหภูมิที่ Evaporator ( $T_E$ ) = 25 - 40 °c (อุณหภูมิสภาพแวดล้อม)

อุณหภูมิที่ Condense ( $T_C$ ) = 50 - 60 °c (อุณหภูมิน้ำร้อน)



รูปที่ 3.1 P-h Diagram ของสารทำงาน R-134a สำหรับปั๊มความร้อน

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพของระบบปั๊มความร้อนจากสูตรการคำนวณทางทฤษฎี นั้นจะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบจากสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความร้อน (COP) ของระบบโดยเปรียบเทียบจากตารางและรูปภาพ จากความสัมพันธ์ระหว่าง

- อุณหภูมิสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความร้อน (COP)
- อุณหภูมิน้ำร้อนใช้งานที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความร้อน (COP)

### 3.3 ขั้นตอนตรวจวัดระบบปั๊มความร้อนแบบผสมผสาน

การตรวจวัดระบบปั๊มความร้อนแบบผสมผสาน มีขั้นตอนในการตรวจวัดระบบปั๊มความร้อน 2 ขั้นตอน คือ

3.3.1 ขั้นตอนการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดในการหาค่าประสิทธิภาพและความสิ้นเปลืองของสถานะการทำงานของระบบทำน้ำร้อน ที่มีความต้องการปริมาณน้ำร้อนอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ที่ 140 ลิตรต่อชั่วโมง เครื่องมือเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นในการเก็บข้อมูล โดยเครื่องมือที่นำมาใช้ในการตรวจวัดต้องมีความแม่นยำสูงและมีค่าความผิดพลาดต่ำโดยต้องมีการนำเครื่องมือที่ใช้ไปทำการสอบเทียบหรือรับรองมาตรฐานจากผู้ผลิตก่อนการตรวจวัด ประกอบด้วย

### 1. เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Power Meter)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการบันทึกและเก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้าของระบบทำน้ำร้อนที่ใช้งาน ใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้ารวมของระบบปั๊มความร้อน เพื่อนำมาประกอบการคำนวณและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อน ซึ่งมีคุณสมบัติของเครื่อง คือสามารถวัดที่ย่านการวัด 1,000VDC 1750VAC/10ADC / 10AAC/ วัดแรงดันไฟฟ้า และวัดได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ



รูปที่ 3.2 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

### 2. เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ (Thermometer)

เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ (Thermometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิของสภาพอากาศแวดล้อม บริเวณระบบปั๊มความร้อนแบบผสมผสาน มีคุณสมบัติคือสามารถวัดอุณหภูมิ ที่ย่านการวัด -199.99-1770 C (-199.99-43218 F ) สามารถใช้กับเทอร์โมคัปเปิ้ลประเภท K,J,R,E,T และสามารถต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน RS -232 Temperature Accuracy+/- 1°C



รูปที่ 3.3 เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ



### 3. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิน้ำ (Water Proof Temperature Sensor)

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิน้ำ (Water Proof Temperature Sensor) ยี่ห้อ DS18B20 ใช้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิของน้ำก่อนและหลังเข้าระบบปั๊มความร้อนแบบผสมผสาน มีคุณสมบัติคือย่านการวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่าง  $-55 - 125\text{ }^{\circ}\text{C}$  พร้อม RTD Temperature Accuracy  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ทั้งนี้เครื่องวัดอุณหภูมิดังกล่าวเป็นประเภทติดตั้งอยู่กับที่โดยจะติดตั้งไว้ที่ท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออกเพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำ



รูปที่ 3.4 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิน้ำ

#### 4. เครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow meter)

เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำเป็นเครื่องมือวัดความเร็วน้ำเพื่อหาปริมาณการไหล ของน้ำในการทำงานของระบบ Heat Pump มีคุณสมบัติคือสามารถวัดปริมาณที่ไหลเข้า-ออกระบบ ทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อน



รูปที่ 3.5 เครื่องมือวัดอัตราการไหล

เนื่องจากการศึกษาทดลองได้ดำเนินการวัดอุณหภูมิของน้ำป้อน อุณหภูมิน้ำร้อนที่ เครื่องสามารถทำได้ อุณหภูมิของสภาพอากาศแวดล้อมบริเวณปั๊มความร้อน อัตราการไหลของน้ำที่ ไหลเข้า เครื่อง ซึ่งใช้เป็นตัวแปรในการคำนวณพลังงานความร้อนที่น้ำป้อนได้รับจริงพร้อมทั้งวัด กระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้าของเครื่องขณะทำงานเพื่อคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพสมรรถนะของเครื่องปั๊มความร้อนที่ติดตั้งใช้งาน โดยใช้อัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนที่ป้อนได้รับจริงและวัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง

#### 3.3.2 ขั้นตอนและวิธีการจัดเก็บข้อมูล

การเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาสมรรถนะระบบปั๊มความร้อนแบบผสมผสาน กรณีศึกษานั้นเป็นการเก็บข้อมูลเพื่อหาสภาวะเงื่อนไขการทำงานของระบบทำน้ำร้อนหลังจากการติดตั้งเพื่อใช้ในการศึกษาสมรรถนะระบบปั๊มความร้อนเมื่อมีการใช้งาน โดยมีรายละเอียด



การตรวจวัดข้อมูลจากระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน ซึ่งใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อน ร่วมกับการทำงานของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยการเก็บข้อมูลเพื่อให้ได้ผลที่ได้ จากการตรวจวัดมีความแม่นยำและถูกต้อง ต้องทำการเก็บข้อมูลให้มีความละเอียด และมีการบันทึกข้อมูลหลายครั้ง เพื่อนำไปใช้โดยการหาค่าเฉลี่ยจากการตรวจวัด ในการตรวจวัดจะทำการตรวจวัด เครื่องปั๊มความร้อน โดยตรวจวัดแต่ละค่าต่อไปนี้

- อุณหภูมิของน้ำป้อนและอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้ ( $^{\circ}\text{C}$ )
- อุณหภูมิของอากาศเข้าและอุณหภูมิของอากาศออก ( $^{\circ}\text{C}$ )
- อัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าเครื่อง (L/hr)
- กระแสไฟฟ้า (A)
- ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

### 3.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์ผลในส่วนนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การทำความร้อนของเครื่องปั๊มความร้อนแบบผสมผสานกับมาตรฐานกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานฉบับที่ 2 (2550)

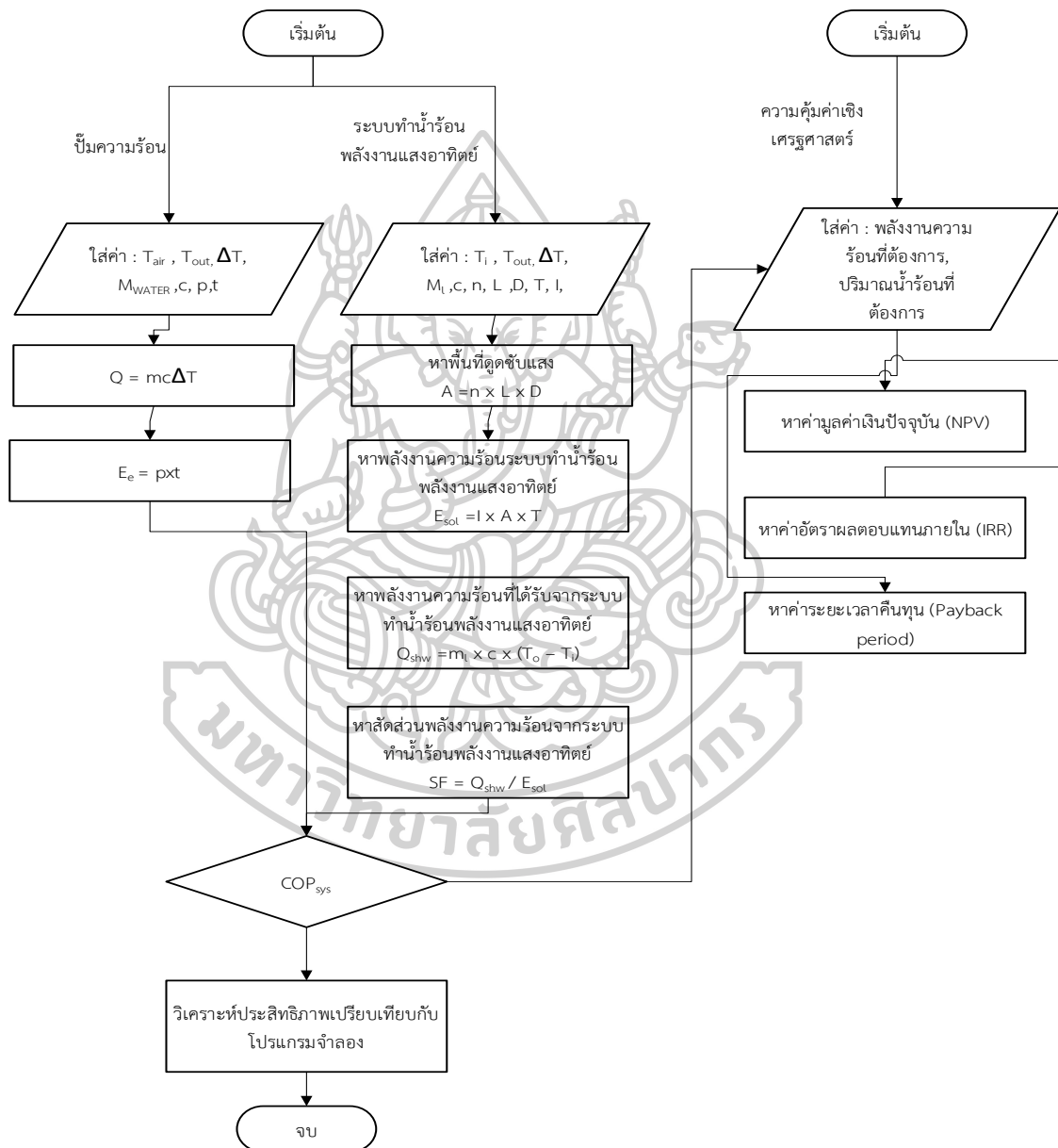
### 3.4 ขั้นตอนการเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางการเงินของการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิดกับปั๊มความร้อนแบบผสมผสาน

โดยจะทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมทางการเงินของการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิดกับปั๊มความร้อนแบบผสมผสาน ซึ่งมีรายละเอียดการศึกษา ดังนี้

1. เปรียบเทียบต้นทุนของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด โดยต้นทุนจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้นและต้นทุนขณะดำเนินการ
2. เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิด
3. เปรียบเทียบผลตอบแทนการลงทุนของระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิด โดยใช้มูลค่าผลประโยชน์จากการเลือกใช้ปั๊มความร้อนแบบผสมผสานแทนระบบทำน้ำร้อนชนิดอื่นๆ ได้แก่ ผลประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่อปี

4. เปรียบเทียบจุดคุ้มทุนโครงการของระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิดกับปั๊มความร้อน โดยใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการและระยะเวลา ในการคืนทุนเป็นตัวชี้วัด

กระบวนการหาค่าประสิทธิภาพและการคิดความคุ้มทุน



## บทที่ 4

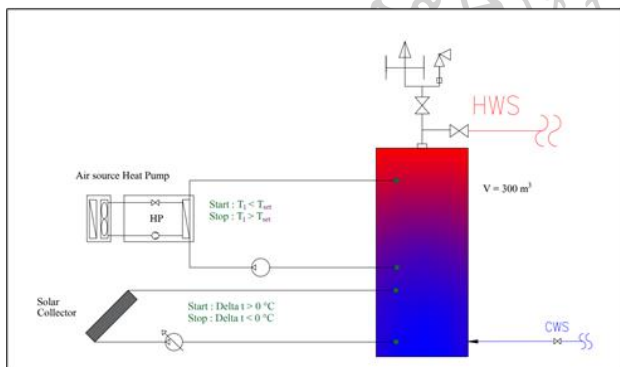
### ผลการดำเนินการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างปั๊มความร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์ โดยในการวิจัยทำการออกแบบระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานขึ้นมา จากนั้นทำการวัดค่าต่างๆและหาค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพที่ได้จากระบบทำน้ำร้อนรวมถึงการเปรียบเทียบระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานกับโปรแกรมจำลอง ในผลการทดลองจะแบ่งเป็น 2 แบบ มีรายละเอียดดังนี้

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน

การศึกษาความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน

รายละเอียดเกี่ยวกับระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน

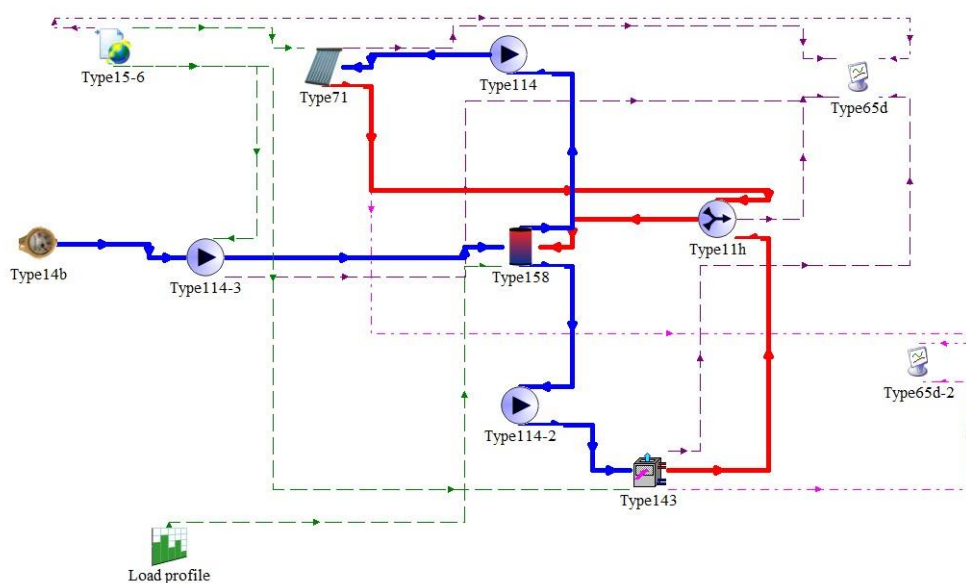


(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 แผนภาพระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานที่ใช้ในการทดสอบ (ก) ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างปั๊มความร้อนจากแหล่งอากาศและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (ข)



รูปที่ 4.2 แผนภาพระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานโดยใช้โปรแกรมจำลองในการทดสอบ

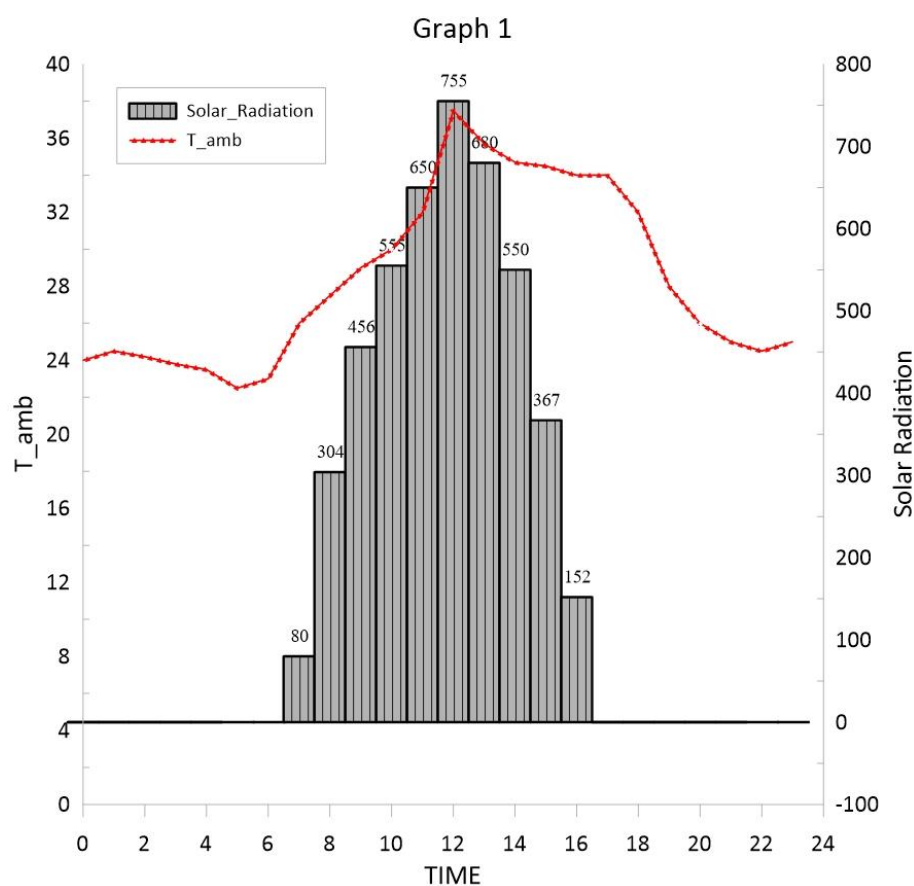
จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 เป็นแผนภาพที่ใช้ในการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่าง ป้อนความร้อนจากแหล่งอากาศและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยอุปกรณ์ดังกล่าวและ คุณสมบัติจะเป็นแบบเดียวกันและมีคุณสมบัติตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายการอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่า

รายการ	คุณสมบัติ
<b>อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการทดสอบ</b>	
1. ป้อนความร้อนจากแหล่งอากาศ	Heating capacity 6.5 kW, R-134a
2. แผงรับรังสีแสงอาทิตย์	Model: TR20/1.8 Water capacity 150 Liter in 60 degrees Celsius
3. ถังกักเก็บน้ำร้อน ขนาด 300 ลิตร	Material: Stainless steel, Epoxy coated
4. ระบบท่อน้ำร้อนและท่อหมุนเวียน	Plastic-aluminium-plastic
5. ปั๊มหมุนเวียน	Wilo 28 W 220 Volt 1 phase 50 Hz
6. ตู้ควบคุมและระบบไฟฟ้า	IEC Schneider

#### 4.1 ค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิแวดล้อม

ศึกษาค่าความเข้มแสงในแต่ละวันโดยใช้เครื่องมือวัดความเข้มแสง (Pyranometer) และศึกษาอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ผลที่ได้ดังรูปที่ 4.3



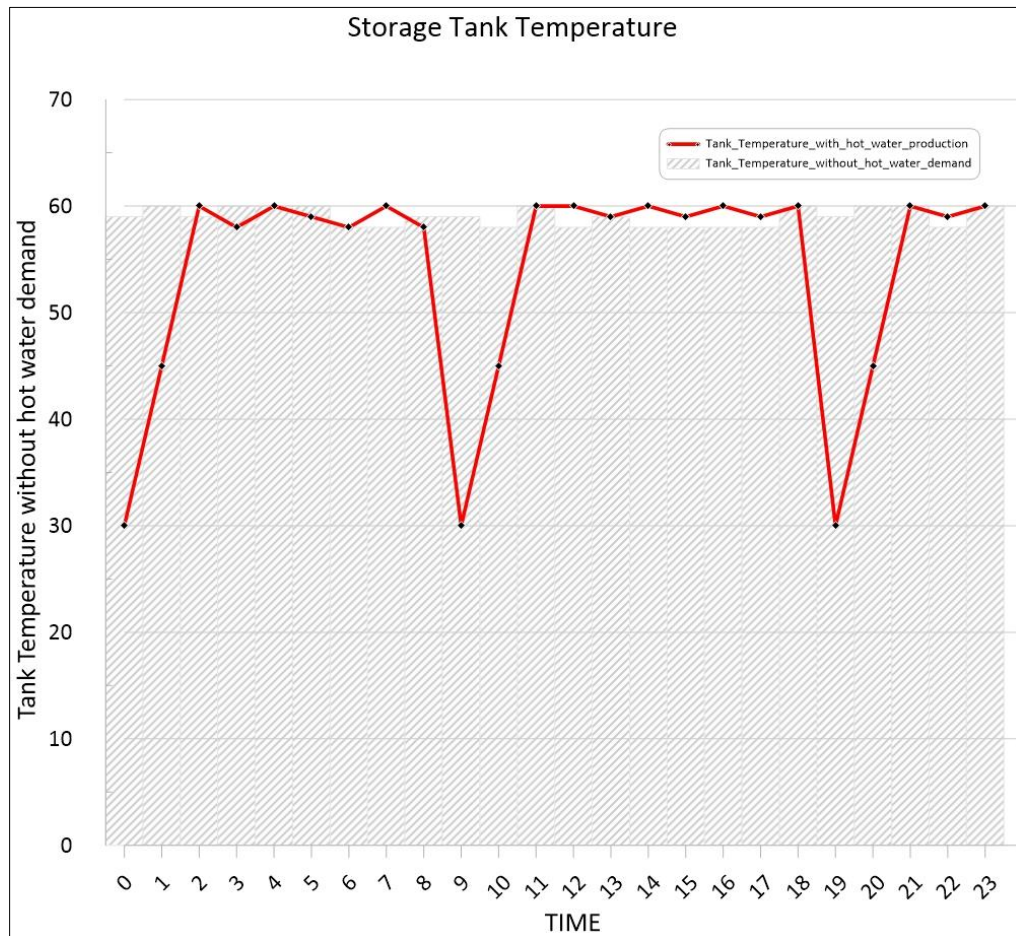
รูปที่ 4.3 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (ข้อมูล ณ วันที่ 4 ธันวาคม 2564)

จากกราฟที่ 4.3 แสดงอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ โดยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมวัดจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและค่าความเข้มของแสงวัดจากเครื่องวัดค่าความเข้มแสง (Pyranometer) ช่วงเวลาตั้งแต่ 00.00 – 23.00 จากกราฟค่าความเข้มแสงสูงสุดของวันอยู่ที่ 755 วัตต์ต่อตารางเมตร ในช่วงเวลา 12.00 ซึ่งเป็นช่วงที่มีแสงแดดจ้าที่สุดของวันหลักจากนั้นจะลดลงตามช่วงเวลา ในส่วนของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีค่าประมาณ 24 – 37.6 องศาเซลเซียสโดยจากกราฟ พบว่า ค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้นอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในทางกลับกันเมื่อค่าความเข้มแสงลดลง อุณหภูมิก็จะลดลงเช่นกัน ผลการทดลองดังกล่าวทำให้ทราบว่าระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้หลักการดูดซับพลังงาน

แสงอาทิตย์ สามารถทำงานได้ในช่วงเวลา 8.00 – 17.00 เท่านั้น เนื่องจากว่ามีความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์เพียงพอที่จะผลิตน้ำร้อน

#### 4.2 อุณหภูมิของน้ำในถังเก็บสะสมน้ำร้อน

ศึกษาอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตได้จากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิในถังเก็บสะสมความร้อนที่มีการใช้น้ำและไม่มีการใช้น้ำ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิในถังในการผลิตน้ำร้อน (ข้อมูล ณ วันที่ 4 ธันวาคม 2564)

จากรูปที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิในถังเก็บสะสมความร้อนสแตนเลส ขนาด 300 ลิตร ผลการทดลองพบว่า ถังสะสมความร้อนที่ใช้งานสามารถเก็บสะสมอุณหภูมิได้นาน ตลอดทั้งวันสังเกตจากกราฟแท่งที่ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานไม่ได้มีการใช้งาน อุณหภูมิที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิมีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 58 – 60 องศาเซลเซียสตลอดทั้งวัน และจากกราฟเส้นเป็นกราฟที่ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานผลิตน้ำร้อนในถังเก็บสะสมความร้อนจะเห็นว่า อุณหภูมิในถังเก็บสะสมความร้อนค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นตามที่ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานผลิตน้ำร้อน โดยการผลิตน้ำร้อนของระบบทำน้ำร้อนจะผลิตน้ำร้อนจากอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสจนถึงอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจะใช้เวลา

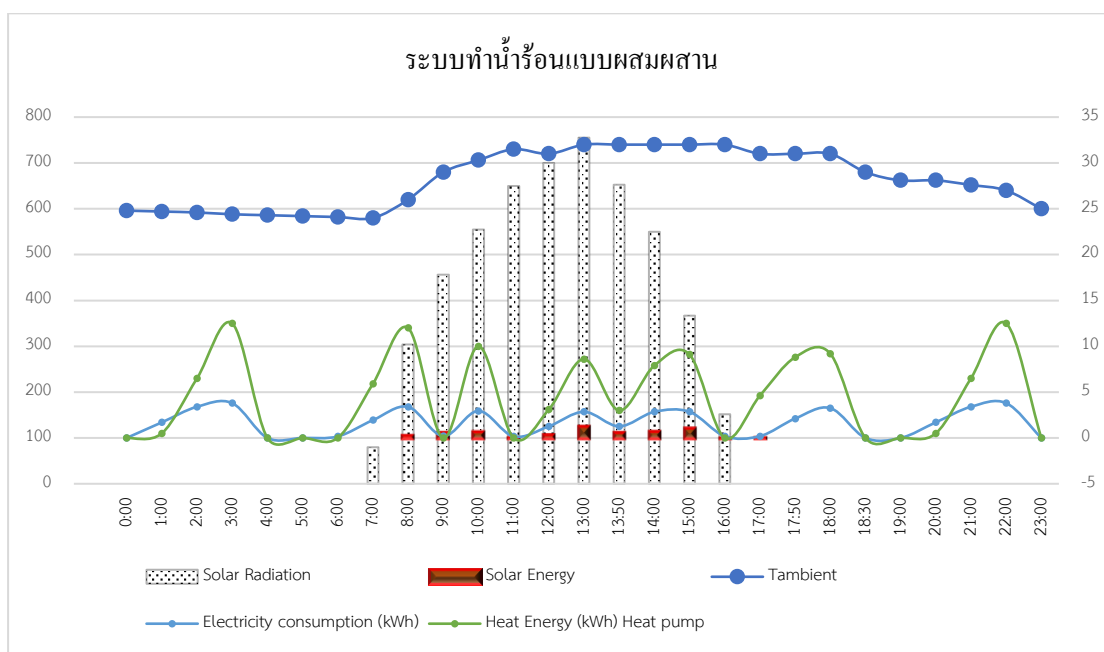


ในการผลิตอยู่ในช่วง 1 ชั่วโมง 30 นาทีถึง 2 ชั่วโมง โดยขึ้นอยู่กับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ขณะนั้นในการผลิตน้ำร้อน หลังจากทีระบบทำน้ำร้อนผลิตจนเต็มถึงสะสมความร้อน ก็จะเป็นช่วงของการกักเก็บรักษาอุณหภูมิภายในดังต่อไปนี้

#### 4.3 การทำงานของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน

ในการทดสอบระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานโดยการผลิตน้ำร้อนใน 1 วันการทดลองจากรูปที่

4.5



รูปที่ 4.5 การทำงานของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานใน 1 วัน

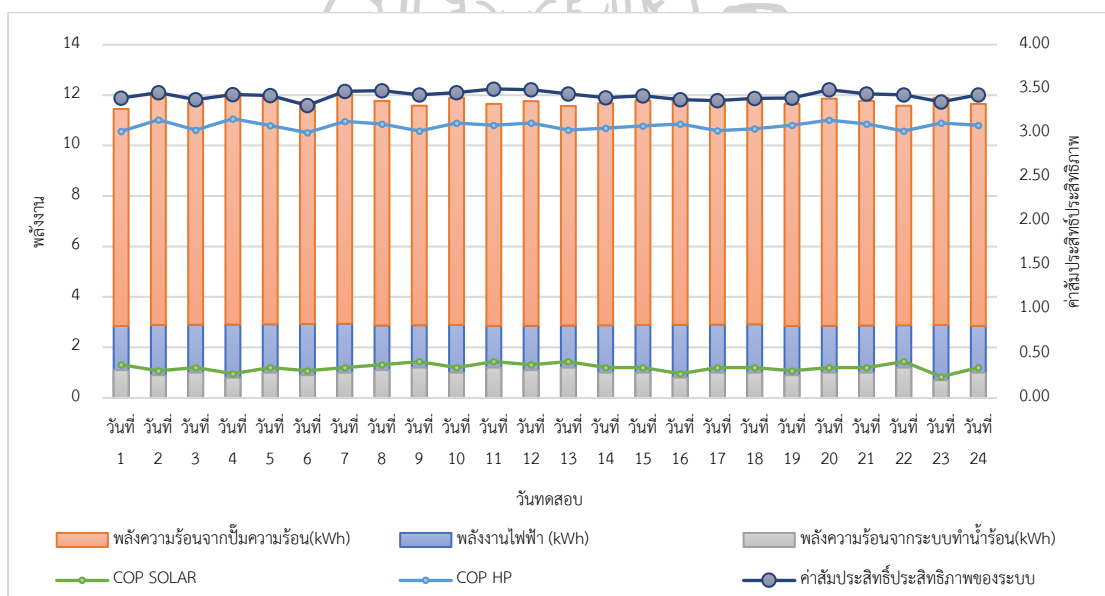
จากรูปที่ 4.5 การทำงานของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานในช่วงเวลาต่างๆ จากกราฟแสดงค่าต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Ambient temperature) ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (Solar radiation) พลังงานไฟฟ้าที่ให้กับระบบ (Electric consumption) พลังงานความร้อนที่ผลิตได้จากระบบปั๊มความร้อน (Heat energy by heat pump) และพลังงานความร้อนที่ผลิตได้จากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Heat energy by solar collector) พบว่า ในช่วงของการผลิตน้ำร้อนเวลา 00.00 -07.00, 17.00-23.00 เป็นช่วงที่ไม่มีแสงของแสงอาทิตย์ระบบปั๊มความร้อนจะทำงานเพียงระบบเดียว แต่ในช่วง 08.00 -16.00 จะมีการผลิตน้ำร้อนสองระบบคือระบบปั๊มความร้อนและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อพิจารณาพลังงานความร้อนที่ได้จากปั๊มความร้อนในช่วงที่ไม่มีแสงแดดจะผลิตความร้อนมากกว่าช่วงที่มีแสงแดด คิดเป็นร้อยละ 16 ของพลังงานความร้อน



ร้อนช่วงที่ไม่มีแสงแดด อีกทั้งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบในช่วงที่ไม่มีแสงแดดจะมากกว่าช่วงที่มีแสงแดด คิดเป็น ร้อยละ 25 ของพลังงานความร้อนช่วงที่ไม่มีแสงแดด ด้วยเหตุนี้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะช่วยในการประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากกว่าการใช้ระบบปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว อีกทั้งเวลาที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานจะสามารถทำน้ำร้อนตามอุณหภูมิที่กำหนดได้เร็วกว่าระบบทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนในช่วงที่ไม่มีแสงแดดเพียงอย่างเดียว

#### 4.4 ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน

การวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน เป็นการบันทึกค่าการทดลองทั้ง 24 วัน ตั้งแต่ เดือนธันวาคม 2564 ถึงเดือน กุมภาพันธ์ 2565 โดยทำการบันทึกค่าช่วงที่มีมีแสงแดดที่ทำให้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานด้วย จากนั้นนำค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดหาค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนผสมผสาน ดังรูปที่ 4.6



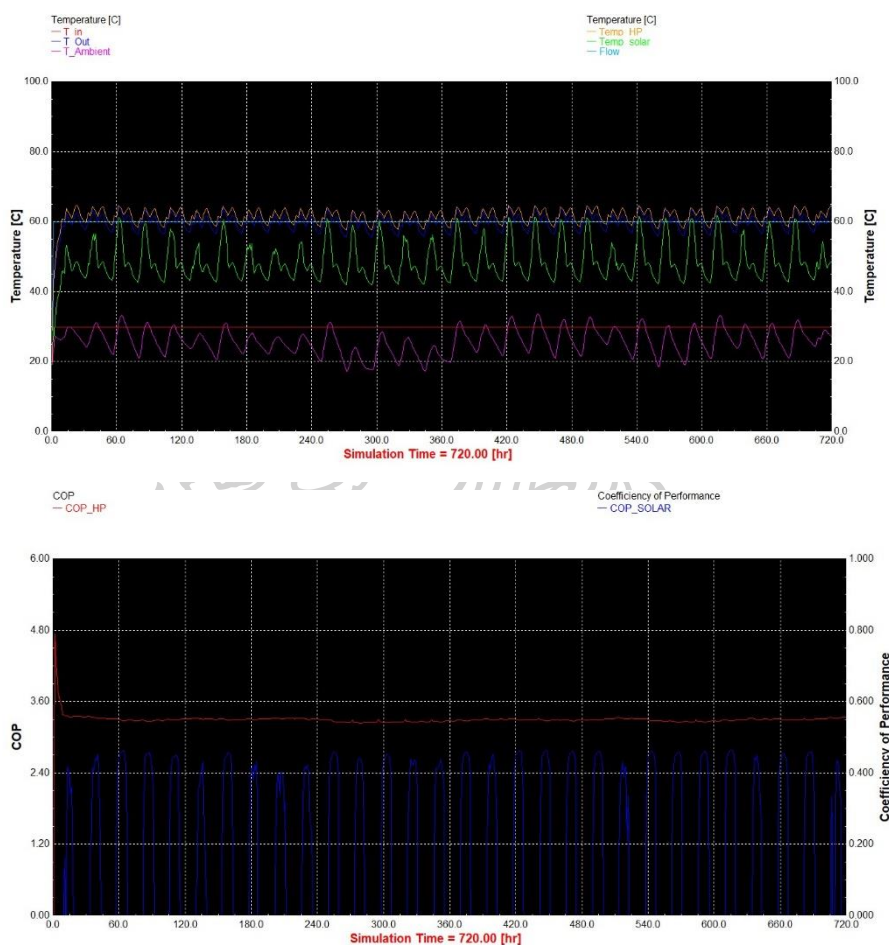
รูปที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน

จากรูปที่ 4.6 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานโดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานเกิดจากการรวมกันระหว่างระบบทำน้ำร้อนปั๊มความร้อนจากแหล่งอากาศและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เข้าด้วยกัน และนำมาเปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน ผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าในช่วง 3.2 – 3.5 ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์ ณ วันที่ทำการทดลอง ค่าที่ได้จะเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของปั๊ม

ความร้อนในช่วง 3 – 3.1 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในช่วง 0.1 – 0.4

#### 4.5 เปรียบเทียบระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานกับโปรแกรมจำลอง

การใช้โปรแกรมจำลอง TRNSYS จะเป็นการจำลองระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างปั๊มความร้อนจากแหล่งอากาศและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยอุปกรณ์และเงื่อนไขรวมถึงสภาพอากาศจำลองเหมือนกับระบบการติดตั้งจริง



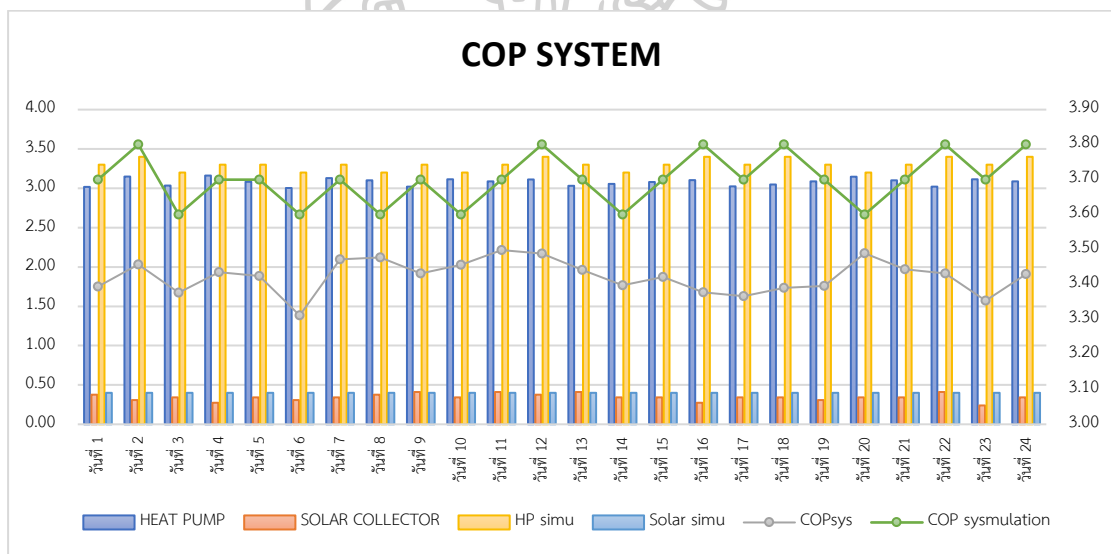
รูปที่ 4.7 ค่าที่ได้จากโปรแกรมจำลอง TRNSYS

รูปที่ 4.7 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมจำลอง โดย การจำลองเป็นระยะเวลา 1 เดือน สภาพอากาศที่ใช้อ้างอิงกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย ค่าที่แสดงได้แก่ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Ambient temperature), อุณหภูมิน้ำขาเข้า (Inlet temperature), อุณหภูมิน้ำขาออก (Outlet temperature), อุณหภูมิจากปั๊มความร้อน (Temperature of Heat Pump), อุณหภูมิจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Temperature of Solar collector), ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของปั๊มความร้อนจากแหล่งอากาศ (COP of Heat Pump) และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบ

ทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (COP of Solar collector) โดยผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย อุณหภูมิน้ำเข้าที่ 30 องศาเซลเซียส ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานมีอุณหภูมิขาออกที่ 60 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิปี้มความร้อนจากแหล่งอากาศได้ตามที่กำหนดไว้คือ 60 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์คือ 60 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกัน ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน โดยค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของปี้มความร้อนจากแหล่งอากาศเฉลี่ย 3.3 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย 0.4

#### 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างระบบที่ติดตั้งและโปรแกรมจำลอง

เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานในการติดตั้งจริงและโปรแกรมจำลอง โดยทำการเปรียบเทียบในช่วงระยะเวลาเดือนธันวาคม พศ.2564 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พศ.2565 ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างการติดตั้งทดสอบและโปรแกรมจำลอง

จากรูปที่ 4.8 เปรียบเทียบระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานจากการวัดผ่านระบบที่ติดตั้งจริงและโปรแกรมจำลอง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของปี้มความร้อนจากแหล่งอากาศที่วัดจริงมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของปี้มความร้อนจากโปรแกรมจำลอง 6.67% ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดจริงมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์

ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากโปรแกรมจำลอง 14.12% และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานรวมกันระหว่างปั๊มความร้อนและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดจริงมีค่าน้อยกว่าโปรแกรมจำลอง 7.48% :

#### 4.8 ผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมในการลงทุน

การวิเคราะห์การลงทุนเครื่องทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างปั๊มความร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์โดยจะทำการเปรียบเทียบมูลค่างานเริ่มต้นและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบทำน้ำร้อนแต่ละชนิดเทียบกับระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน รวมทั้งประโยชน์ที่ได้จะได้รับทางการเงินของโครงการ ในช่วงเวลาของอายุโครงการ 15 ปี โดยใช้มูลค่าปัจจุบันของผลที่ได้สุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ณ ระดับอัตราคิดลดร้อยละ 12 ต่อปี (ใช้อัตราคิดลดอัตราดอกเบี้ยของธนาคารกรุงไทย ณ วันที่ 1 เมษายน พ.ศ.2564) และระยะเวลาในการคืนทุน (SPP) เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจเลือกใช้ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานซึ่งสามารถทำได้จากการเปรียบเทียบผลประหยัดที่ได้จากการใช้ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน (Solar Hybrid Heat Pump) ผลิตน้ำร้อนในเงื่อนไขการผลิตเดียวกันแทนการใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ได้แก่

- กรณีที่ 1 การผลิตน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนการใช้น้ำมันเตา
- กรณีที่ 2 การผลิตน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนการใช้ขดลวดไฟฟ้า
- กรณีที่ 3 การผลิตน้ำร้อนจากระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนการก๊าซธรรมชาติ

โดยเงื่อนไขการผลิตน้ำร้อนคือต้องมีอุณหภูมิใช้งานสูงสุดที่ 60 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อมมีค่าเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมของจังหวัดเพชรบุรี ทั้งนี้กำหนดให้การผลิตน้ำร้อนทั้งหมด 2,800 ลิตรต่อวัน ดังนั้นพลังงานความร้อนที่น้ำต้องการมีค่าเท่ากับ 107.5 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อวัน

##### 4.8.1 ค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุการใช้งานระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด (Life Cycle Cost)

ต้นทุนหรือค่าใช้จ่าย (Cost) ทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนทุกประเภทนั้นย่อมประกอบด้วยต้นทุน 2 ส่วน คือ ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น ( $C_i$ ) และต้นทุนขณะดำเนินการ ( $C_o$ ) คือ ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นครั้งแรกและต้นทุนเงินประกันที่เพิ่มขึ้นต่อปีเมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนระบบผลิตน้ำร้อนชนิดอื่นๆ ทั้งนี้ต้นทุนการลงทุนเริ่มต้น (Investment Cost) ของโครงการนั้นในการศึกษานี้จะถือว่าต้นทุนค่าแรงงานในการติดตั้ง พร้อมทั้งอุปกรณ์ประกอบระบบผลิตน้ำร้อน เช่น ระบบเดินท่อ สายไฟฟ้า และอุปกรณ์อื่นๆ ของแต่ละระบบมีค่าเท่ากัน และในส่วนของต้นทุนขณะดำเนินการ (Operation cost) ประกอบด้วย ค่าประกันระบบ ค่าซ่อมบำรุง ค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในส่วนดังกล่าวของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน โดยทั่วไปค่าประกันระบบจะมีค่าเท่ากับ 1% ของมูลค่าเริ่มต้น ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานคำนวณจากเชื้อเพลิงและ

ไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำร้อนภายใต้สภาวะเงื่อนไขเดียวกันโดยการคิดคำนวณ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานตลอดอายุการใช้งานของระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิด ทอย่างไรก็ตามค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานในการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละชนิดยังมีความเกี่ยวข้องกับรายได้ที่ได้จากมูลค่าซากที่ทำให้ค่าใช้จ่ายนั้นลดลง การศึกษานี้ใช้วิธีการคิดค่าเสื่อมราคาแบบลดเท่ากันทุกปี รายละเอียดดังตารางที่ 5, 6, และ 7 ตามลำดับ



**ตารางที่ 5** ระบุการทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนที่ระบบทำน้ำร้อนหม้อไอน้ำโดยใช้ถ่านหินเตา

ปี	เงินลงทุน (บาท)	มูลค่าซาก (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	ค่าประกัน (บาท)	ค่าเชื้อเพลิง (บาทต่อปี)	ต้นทุน A	มูลค่าของเงิน ปัจจุบันสุทธิ PV (A)	มูลค่าสะสม CU PV
0	459,000						-459,000	-459,000	-459,000
1			34,989	2,295	4,590	61,232	19,358	17,283.93	-441,716.07
2			34,989	2,295	4,590	61,232	19,358	15,432.08	-426,283.99
3			34,989	2,295	4,590	61,232	19,358	13,778.64	-412,505.35
4			34,989	2,295	4,590	61,232	19,358	12,302.36	-400,202.99
5			34,989	2,295	4,590	61,232	19,358	10,984.25	-389,218.74
6			34,989	2,295	4,590	61,232	19,358	9,807.37	-379,411.38
7			34,989	2,295	4,590	61,232	19,358	8,756.58	-370,654.80
8			34,989	2,295	4,590	61,232	19,358	7,818.37	-362,836.43
9			34,989	2,295	4,590	61,232	19,358	6,980.69	-355,855.74
10			34,989	2,295	4,590	61,232	19,358	6,232.76	-349,622.98
11			34,989	2,295	4,590	61,232	19,358	5,564.96	-344,058.02
12			34,989	2,295	4,590	61,232	19,358	4,968.72	-339,089.30
13			34,989	2,295	4,590	61,232	19,358	4,436.35	-334,652.95
14			34,989	2,295	4,590	61,232	19,358	3,961.03	-330,691.92
15		45,900	34,989	2,295	4,590	61,232	65,258	11,922.39	-318,769.53
IRR							-3%		
Payback Period							23.7		
NPV							-318,770		

**ตารางที่ 6** ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนที่ระบบทำน้ำร้อนชนิดลาวาไฟฟ้า

ปี	เงินลงทุน (บาท)	มูลค่าซาก (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	ค่าประกัน (บาท)	ค่าไฟระบบ ไฟฟ้าเดิม (บาทต่อปี)	ต้นทุน A	มูลค่าของเงิน ปัจจุบันสุทธิ PV (A)	มูลค่าสะสม CU PV
0	459,000						-459,000	-459,000	-459,000
1			34,989	2,295	4,590	137,280	95,406	85,183.93	-373,816.07
2			34,989	2,295	4,590	137,280	95,406	76,057.08	-297,758.99
3			34,989	2,295	4,590	137,280	95,406	67,908.11	-229,850.89
4			34,989	2,295	4,590	137,280	95,406	60,632.24	-169,218.65
5			34,989	2,295	4,590	137,280	95,406	54,135.93	-115,082.72
6			34,989	2,295	4,590	137,280	95,406	48,335.65	-66,747.07
7			34,989	2,295	4,590	137,280	95,406	43,156.83	-23,590.24
8			34,989	2,295	4,590	137,280	95,406	38,532.88	14,942.64
9			34,989	2,295	4,590	137,280	95,406	34,404.36	49,347.00
10			34,989	2,295	4,590	137,280	95,406	30,718.18	80,065.18
11			34,989	2,295	4,590	137,280	95,406	27,426.95	107,492.12
12			34,989	2,295	4,590	137,280	95,406	24,488.34	131,980.47
13			34,989	2,295	4,590	137,280	95,406	21,864.59	153,845.06
14			34,989	2,295	4,590	137,280	95,406	19,521.96	173,367.02
15		45,900	34,989	2,295	4,590	137,280	141,306	25,816.08	199,183.10
IRR							19%		
Payback Period							4.81		
NPV							199,183		

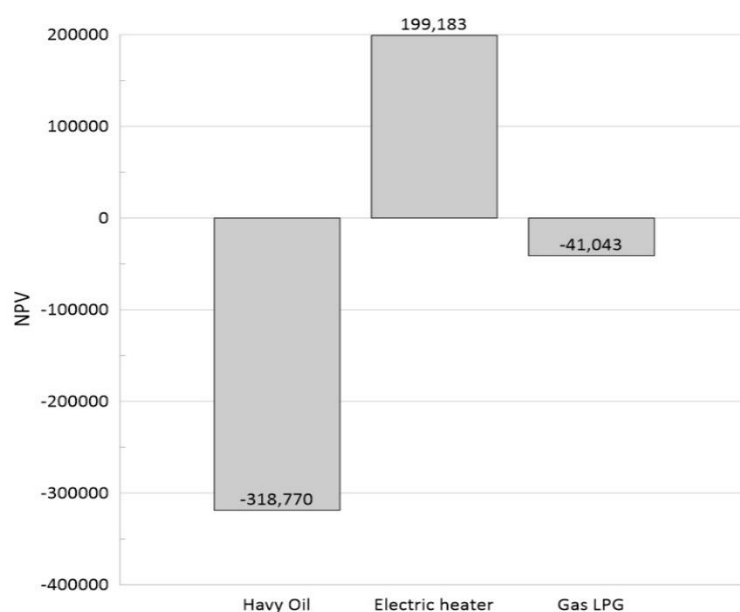


ตารางที่ 7 ระบุการทำนํารื้อแบบผสมผสานแทนที่ระบบทำนํารื้อนหม้อเอน้ำโดยใช้แก๊สธรรมชาติ

ปี	เงินลงทุน (บาท)	มูลค่าซาก (บาท)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	ค่าประกัน (บาท)	ค่าในระบบ ไฟฟ้าเดิม (บาทต่อปี)	ต้นทุน A	มูลค่าของเงิน ปัจจุบันสุทธิ PV (A)	มูลค่าสะสม CU PV	
0	459,000						-459,000	-459,000	-459,000	
1			34,989	2,295	4,590	102,009	60,135	53,691.96	-405,308.04	
2			34,989	2,295	4,590	102,009	60,135	47,939.25	-357,368.78	
3			34,989	2,295	4,590	102,009	60,135	42,802.91	-314,565.88	
4			34,989	2,295	4,590	102,009	60,135	38,216.88	-276,349.00	
5			34,989	2,295	4,590	102,009	60,135	34,122.21	-242,226.78	
6			34,989	2,295	4,590	102,009	60,135	30,466.26	-211,760.52	
7			34,989	2,295	4,590	102,009	60,135	27,202.02	-184,558.50	
8			34,989	2,295	4,590	102,009	60,135	24,287.52	-160,270.98	
9			34,989	2,295	4,590	102,009	60,135	21,685.28	-138,585.70	
10			34,989	2,295	4,590	102,009	60,135	19,361.86	-119,223.84	
11			34,989	2,295	4,590	102,009	60,135	17,287.38	-101,936.46	
12			34,989	2,295	4,590	102,009	60,135	15,435.16	-86,501.31	
13			34,989	2,295	4,590	102,009	60,135	13,781.39	-72,719.92	
14			34,989	2,295	4,590	102,009	60,135	12,304.81	-60,415.10	
15		45,900	34,989	2,295	4,590	102,009	106,035	19,372.20	-41,042.91	
			IRR					10%		
			Payback Period					7.63		
			NPV					-41,043		

#### 4.8.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางการเงินของการเลือกใช้ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนการใช้ระบบขดลวดความร้อน ระบบทำน้ำร้อนจากการใช้น้ำมันเตา ระบบก๊าซธรรมชาติ เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางสำหรับในกรณีที่โรงแรมต้องการเปลี่ยนมาใช้ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนระบบอื่นๆ



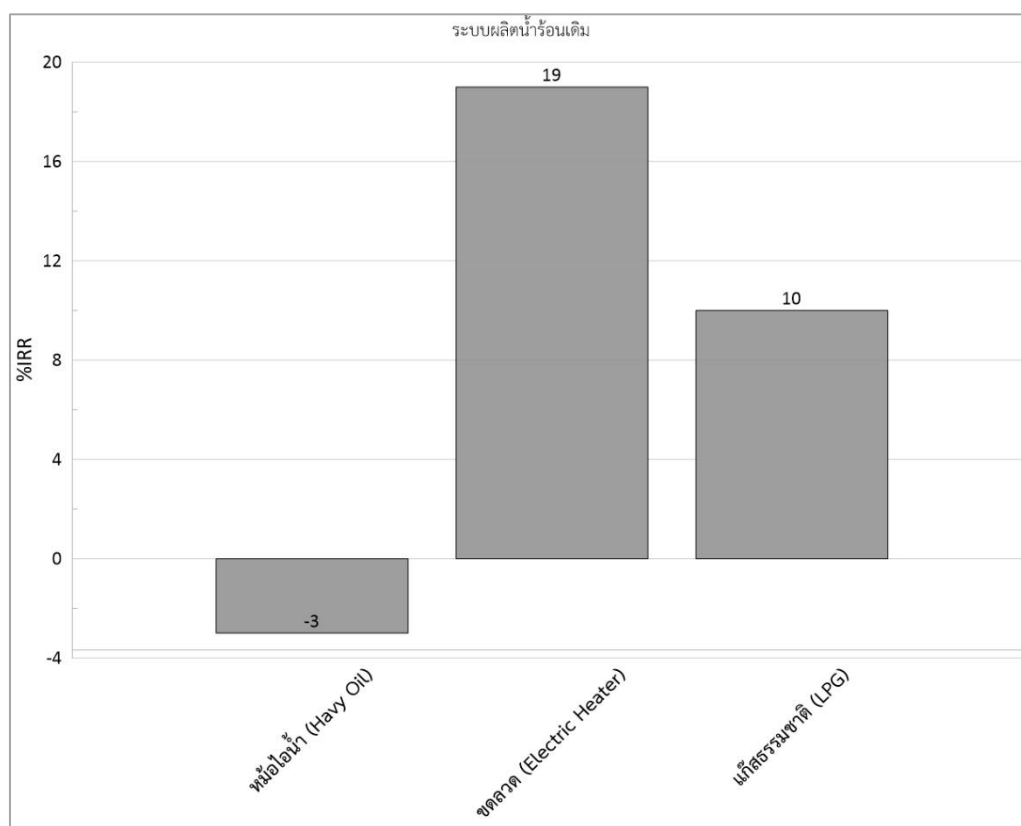
รูปที่ 4.9 มูลค่าปัจจุบันสุทธิของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานเทียบกับระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ

จากการศึกษามูลค่าปัจจุบันสำหรับการเปลี่ยนระบบทำน้ำร้อนชนิดอื่นๆมาใช้ระบบทำความร้อนแบบผสมผสาน พบว่า ระบบหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทน้ำมันเตา ระบบผลิตน้ำร้อนจากขดลวดไฟฟ้า และระบบผลิตน้ำร้อนจากก๊าซธรรมชาตินั้นมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ -318,770, 199,183, -41,043 บาท ตามลำดับ โดยมีค่าบวกเพียงระบบทำน้ำร้อนแบบขดลวดไฟฟ้า ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนระบบทำน้ำร้อนอื่นๆจาก 3 ระบบมาเป็นการใช้ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานภายใต้เงื่อนไขการผลิตน้ำร้อนเดียวกันนั้นมีความคุ้มค่าในการลงทุน ทั้งนี้เนื่องมาจากมูลค่าผลประโยชน์จากการเปลี่ยนระบบทั้ง 3 ดังกล่าวมาใช้ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานนั้นมีมูลค่าตลอดอายุการใช้งาน 15 ปี ที่อัตราคิดลด 12% มีค่ามากกว่ามูลค่าในการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานจึงทำให้มีความคุ้มค่าในการลงทุน อีกทั้งค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานมีค่าต่ำกว่า

ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของระบบผลิตน้ำร้อนจากขดลวดไฟฟ้า ระบบหม้อไอน้ำที่ใช้เชื้อเพลิงประเภทน้ำมันเตา ระบบผลิตน้ำร้อนจากก๊าซธรรมชาติ

#### 4.8.3 อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) คือผลตอบแทนของเงินลงทุนตลอดอายุโครงการเป็นร้อยละ หรืออัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการเท่ากับศูนย์ หากค่า IRR มีค่ามากกว่าดอกเบี่ย 12% จึงคิดว่าจะมีความคุ้มค่าในการลงทุน

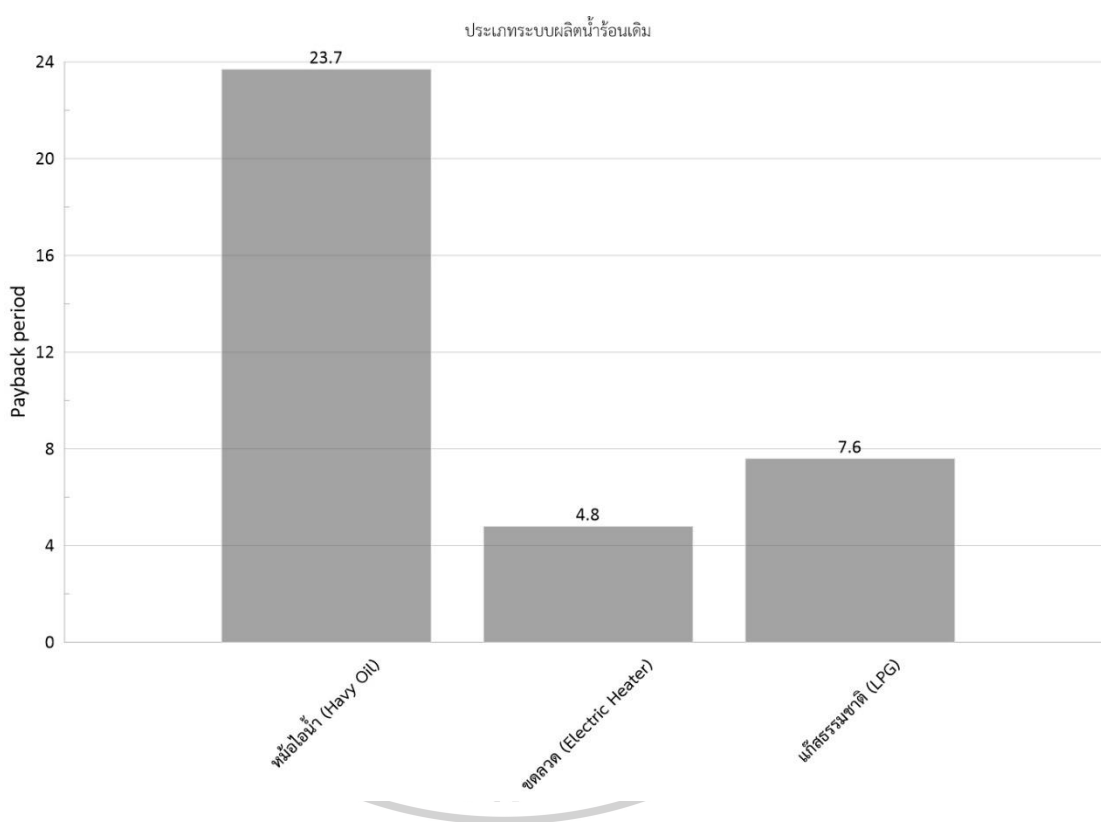


รูปที่ 4.10 อัตราผลตอบแทนภายในของระบบทำน้ำร้อน (IRR) ของการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ

จากการวิเคราะห์ผลพบว่าอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) ของการเปลี่ยนระบบผลิตน้ำร้อนจากหม้อไอน้ำชนิดเชื้อเพลิงจากน้ำมันเตา ระบบขดลวดความร้อน และระบบผลิตน้ำร้อนจากก๊าซธรรมชาติ เป็นระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสาน มีค่าเท่ากับ -3,19,10 ตามลำดับ ซึ่งค่าของอัตราผลตอบแทนภายในโครงการมีค่าสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้มาลงทุนที่ 12% ดังนั้นระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานเหมาะสมที่จะติดตั้งมากกว่าระบบระบบขดลวดความร้อนและแก๊สธรรมชาติ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำที่สุด

#### 4.8.4 ระยะเวลาในการคืนทุน (Simple Payback Period: SPP)

ระยะเวลาในการคืนทุน (Simple Payback Period : SPP) คือค่าที่บ่งบอกว่าเมื่อลงทุนแล้ว จะคืนทุนภายในระยะเวลาเท่าใด ทั้งนี้สามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวเป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจลงทุนได้อีกค่าหนึ่ง หากค่า ระยะเวลาในการคืนทุนไม่เกินกว่า 3 ปีหรือมีค่าไม่เกินกว่าครึ่งหนึ่งของ อายุการใช้งานสูงสุด จึงจัดว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุนที่เหมาะสม



รูปที่ 4.11 ระยะเวลาในการคืนทุนของการติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ

จากการวิเคราะห์พบว่าระยะเวลาการคืนทุนหลังจากที่มีการลงทุนเพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนมาใช้ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนระบบผลิตน้ำร้อนประเภทอื่นๆ ซึ่งได้แก่ระบบผลิตน้ำร้อนจากระบบผลิตน้ำร้อนจากหม้อไอน้ำชนิดเชื้อเพลิงจากน้ำมันเตา ระบบขดลวดความร้อน และระบบผลิตน้ำร้อนแบบใช้ก๊าซธรรมชาติ มีค่าเท่ากับ 23.7, 4.8, 7.6 ปี ตามลำดับ แม้ว่าระยะเวลาดังกล่าวของ

ระบบทำน้ำร้อนแบบขดลวดความร้อนและแก๊สธรรมชาติมีค่าไม่เกินกว่าอายุการใช้งานสูงสุดของระบบทำให้ได้รับผลประโยชน์ จึงถือได้ว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุน

#### 4.9 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการระบบทำน้ำร้อนผสมผสานระหว่างปั๊มความร้อนกับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นั้นเป็นการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ อันได้แก่

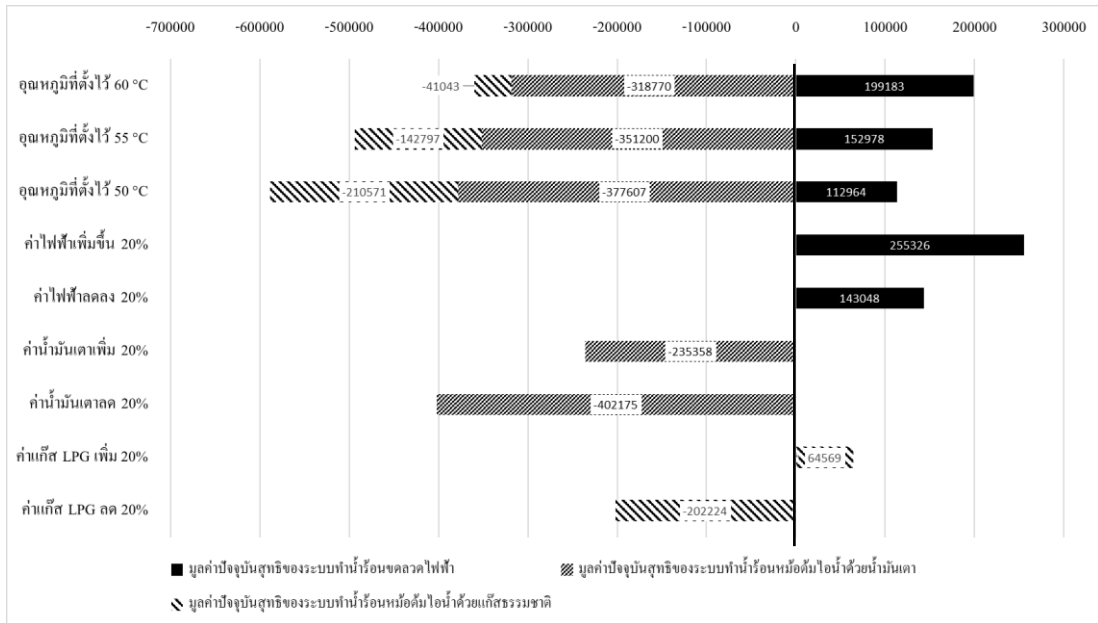
1. อุณหภูมิของระบบทำน้ำร้อนผสมผสาน
2. ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย
3. ค่าน้ำมันเตา
4. ค่าแก๊ส LPG

ถ้าหากเปลี่ยนแปลงไปมีผลทำให้ความคุ้มค่าของโครงการนี้เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเพียงใด โดยในงานวิจัยฉบับนี้จะหาความอ่อนไหวต่อความคุ้มค่าของโครงการโดยใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการในการวิเคราะห์ ระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการจะกำหนดการเปลี่ยนแปลงในปัจจัยต่างๆโดยกำหนดช่วงการเปลี่ยนแปลงให้อยู่ในช่วง -20% ถึง 20% และผลการศึกษาความอ่อนไหวของโครงการที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ แสดงในตารางที่ 8

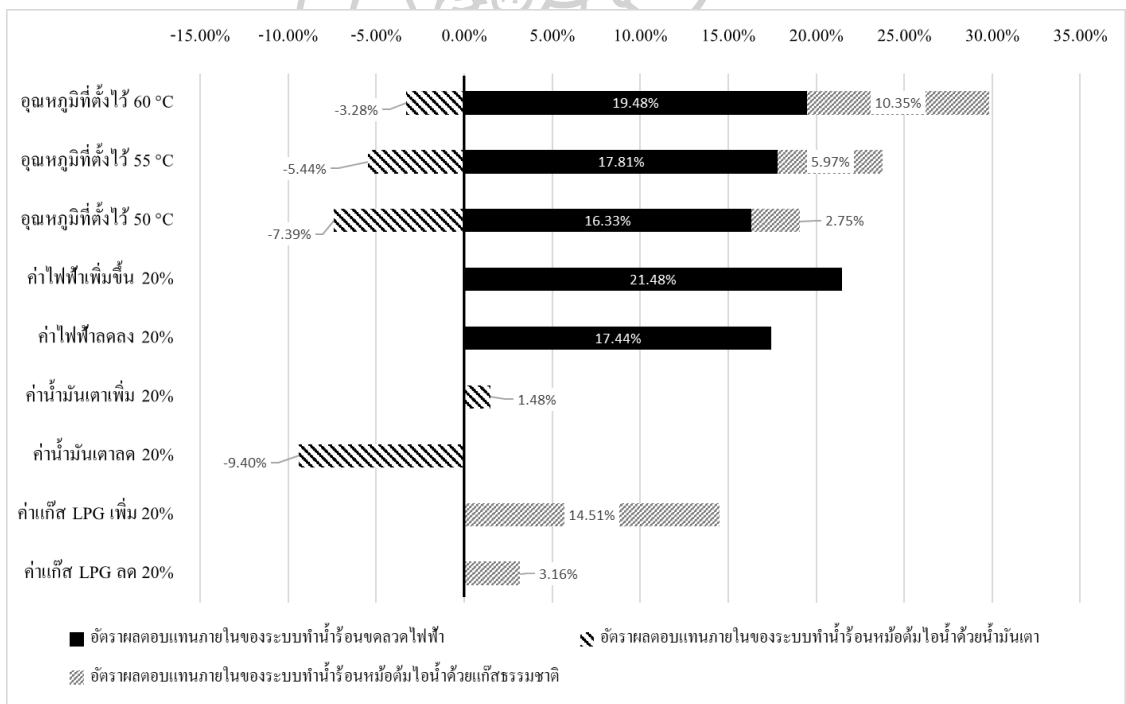
ตารางที่ 8 ปัจจัยที่วิเคราะห์ความอ่อนไหว

ลำดับ	รายการ	ค่าเดิม	-20%	20%
1	อุณหภูมิของน้ำร้อน	60 °C	50 °C	55 °C
2	ค่าไฟฟ้า	4 บาท	3.2 บาท	4.7 บาท
3	ค่าน้ำมันเตา	16 บาท	12.9 บาท	19.4 บาท
4	ค่าแก๊ส LPG	25 บาท	20 บาท	30 บาท

ผลการทดสอบความอ่อนไหวของปัจจัยที่มีผลต่อระบบทำน้ำร้อนผสมผสานดังรูปที่ 30 (ก) (ข) และ (ค)

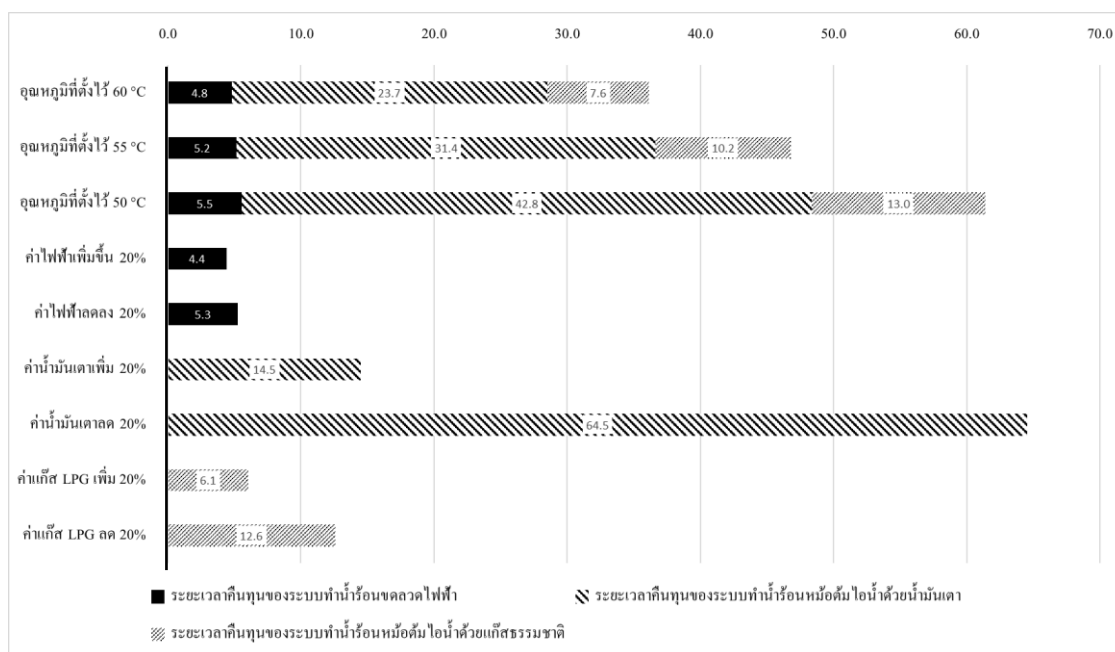


(ก)



(จ)





(ค)

**รูปที่ 4.12** ปัจจัยของการแทนที่ระบบทำน้ำร้อนผสมผสานกับระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ ด้วยมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (ก) อัตราผลตอบแทนภายใน (ข) ระยะเวลาคืนทุน (ค)

#### 4.9.1 อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ตั้งค่า

4.9.1.1 กรณีอุณหภูมิของน้ำร้อนลดลงจาก 60 องศาเซลเซียสเป็น 55 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปัจจัยอื่นๆคงที่ ส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิในการแทนที่ระบบทำน้ำร้อนผสมผสานกับระบบทำน้ำร้อนอื่นๆลดลงทั้งหมดเช่นเดียวกับอัตราผลตอบแทนภายในลดลงเช่นกัน แต่เมื่อพิจารณาระยะเวลาคืนทุนของโครงการจะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิลดลงทั้งสามระบบ ดังรูปที่ 30 (ก) (ข) (ค)

4.9.1.2 กรณีอุณหภูมิของน้ำร้อนลดลงจาก 60 องศาเซลเซียสเป็น 50 องศาเซลเซียส ในขณะที่ปัจจัยอื่นๆคงที่ ส่งผลให้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในลดลงมากที่สุดและระยะเวลาคืนทุนของโครงการก็จะมากที่สุดด้วยเช่นกัน ดังรูปที่ 30 ก ข ค

#### 4.9.2 ค่าไฟฟ้า

4.9.2.1 กรณีค่าไฟฟ้าลดลงจากเดิม 4 บาทต่อหน่วยเป็น 3.2 บาทต่อหน่วยในขณะที่ปัจจัยอื่นๆคงที่ ส่งผลต่อการแทนที่ระบบทำน้ำร้อนแบบขดลวดไฟฟ้าด้วยระบบทำน้ำร้อนผสมผสานเพียงระบบเดียว โดยพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิลดลงจากเดิม 199,183 บาทเป็น 143,048 บาท เมื่อพิจารณา

ผลตอบแทนภายมีค่าลดลงจากเดิม 19.48% เป็น 17.44% และพิจารณาระยะเวลาดำเนินทุนจะมีระยะเวลาดำเนินทุนเพิ่มขึ้นจากเดิม 4.8 ปีเป็น 5.3 ปี

4.9.2.2 กรณีค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากเดิม 4 บาทต่อหน่วยเป็น 4.7 บาทต่อหน่วยในขณะที่ปัจจัยอื่นๆคงที่ ส่งผลต่อการแทนที่ระบบทำน้ำร้อนแบบขดลวดไฟฟ้าด้วยระบบทำน้ำร้อนผสมผสานเพียงระบบเดียว โดยพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิเพิ่มขึ้นจากเดิม 199,183 บาทเป็น 255,326 บาท เมื่อพิจารณาผลตอบแทนภายมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม 19.48% เป็น 21.48% และพิจารณาระยะเวลาดำเนินทุนจะมีระยะเวลาดำเนินทุนลดลงจากเดิม 4.8 ปีเป็น 4.4 ปี

#### 4.9.3 ค่าน้ำมันเตา

4.9.3.1 กรณีค่าน้ำมันเตาลดลงจากเดิม 16 บาทต่อลิตรเป็น 12.9 บาทต่อลิตรในขณะที่ปัจจัยอื่นๆคงที่ ส่งผลต่อการแทนที่ระบบทำน้ำร้อนหม้อต้มโดยใช้น้ำมันเตาด้วยระบบทำน้ำร้อนผสมผสานเพียงระบบเดียว โดยพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิลดลงจากเดิม -318,770 บาทเป็น -402,175 บาท เมื่อพิจารณาผลตอบแทนภายมีค่าลดลงจากเดิม -3.28% เป็น -9.40% และพิจารณาระยะเวลาดำเนินทุนจะมีระยะเวลาดำเนินทุนเพิ่มมากขึ้นจากเดิม 23.7 ปีเป็น 64.5 ปี ซึ่งมากกว่าระยะเวลาการใช้งานระบบทำน้ำร้อนผสมผสาน

4.9.3.2 กรณีค่าน้ำมันเตาเพิ่มขึ้นจากเดิม 16 บาทต่อลิตรเป็น 19.4 บาทต่อลิตรในขณะที่ปัจจัยอื่นๆคงที่ ส่งผลต่อการแทนที่ระบบทำน้ำร้อนหม้อต้มโดยใช้น้ำมันเตาด้วยระบบทำน้ำร้อนผสมผสานเพียงระบบเดียว โดยพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิเพิ่มขึ้นจากเดิม -318,770 บาทเป็น -235,538 บาท เมื่อพิจารณาผลตอบแทนภายมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม -3.28% เป็น 1.48% และพิจารณาระยะเวลาดำเนินทุนจะมีระยะเวลาดำเนินทุนลดลงจากเดิม 23.7 ปีเป็น 14.5 ปี

#### 4.9.4 ค่าแก๊สธรรมชาติ

4.9.4.1 กรณีค่าแก๊สธรรมชาติลดลงจากเดิม 25 บาทต่อลิตรเป็น 20 บาทต่อลิตรในขณะที่ปัจจัยอื่นๆคงที่ ส่งผลต่อการแทนที่ระบบทำน้ำร้อนหม้อต้มโดยใช้แก๊สธรรมชาติด้วยระบบทำน้ำร้อนผสมผสานเพียงระบบเดียว โดยพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิลดลงจากเดิม -41,043 บาทเป็น -202,224 บาท เมื่อพิจารณาผลตอบแทนภายมีค่าลดลงจากเดิม 10.35% เป็น 3.16% และพิจารณาระยะเวลาดำเนินทุนจะมีระยะเวลาดำเนินทุนเพิ่มมากขึ้นจากเดิม 7.6 ปีเป็น 12.6 ปี

4.9.4.2 กรณีค่าแก๊สธรรมชาติเพิ่มขึ้นจากเดิม 25 บาทต่อลิตรเป็น 30 บาทต่อลิตรในขณะที่ปัจจัยอื่นๆคงที่ ส่งผลต่อการแทนที่ระบบทำน้ำร้อนหม้อต้มโดยใช้แก๊สธรรมชาติด้วยระบบทำน้ำร้อน

ผสมผสานเพียงระบบเดียว โดยพิจารณามูลค่าปัจจุบันสุทธิเพิ่มขึ้นจากเดิม -41,043 บาทเป็น 64,569 บาท เมื่อพิจารณาผลตอบแทนภายในมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม 10.35% เป็น 14.51% และพิจารณาระยะเวลาคืนทุนจะมีระยะเวลาคืนทุนเพิ่มมากขึ้นจากเดิม 7.6 ปีเป็น 6.1 ปี



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปวิธีการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างปั๊มความร้อนและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบทำน้ำร้อนให้สามารถใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานมากที่สุด โดยการนำระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้แต่ด้วยข้อจำกัดของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถใช้งานได้ตลอดทั้งวัน ดังนั้นจึงต้องมีระบบทำน้ำร้อนเสริมการใช้งาน จึงเลือกเป็นระบบทำน้ำร้อนจากปั๊มความร้อนแหล่งอากาศ โดยการทดสอบทำการศึกษาดูประสิทธิภาพและเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ดังนี้

##### 5.1.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

พิจารณาค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ สรุปได้ว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะมีในช่วง 08.00 -16.00 ในแต่ละวันที่อากาศโปร่งใสเท่านั้นและหากค่าความเข้มแสงอาทิตย์มากก็จะทำให้อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมากขึ้นไปด้วย

##### 5.1.2 อุณหภูมิที่กักเก็บในถังกักเก็บความร้อนในช่วงที่มีการใช้น้ำและไม่มีการใช้น้ำ

จากการผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสและเก็บไว้ในถังกักเก็บความร้อน สรุปได้ว่าถังเก็บความร้อนสามารถเก็บน้ำที่อุณหภูมิสูงได้ตลอดทั้งวัน อยู่ในช่วง 58 – 60 องศาเซลเซียสและในช่วงของผลิตน้ำร้อนเก็บไว้ในถังอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นจาก 30 องศาเซลเซียสจนถึง 60 องศาเซลเซียสและกักเก็บภายในถังเก็บความร้อนต่อไป

##### 5.1.3 การทำงานของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน

การทดลองผลิตน้ำร้อนและบันทึกผลการทดลองในแต่ละช่วงเวลา สรุปได้ว่าระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานจะสามารถทำงานได้ดีพร้อมกันในช่วงเวลาที่มีแสงแดด 08.00 -17.00 โดยระบบทำน้ำร้อนผสมผสานจะทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ให้กับระบบจะมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับระบบทำน้ำร้อนปั๊มความร้อนในช่วงที่ไม่มีแสงแดด อีกทั้งการผลิตน้ำร้อนในระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานช่วงที่มีแสงแดดจะผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสถึงอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสได้เร็วกว่าระบบทำน้ำร้อนแบบปั๊มความร้อนระบบเดียวที่ไม่มีแสงแดด แต่พลังงานความร้อนที่ได้ที่ผลิตได้จากปั๊มความร้อนในช่วงที่ไม่มีแสงแดดจะมากกว่าช่วงที่มีแสงแดด แต่อย่างไรก็ตามพลังงานความร้อนที่

หายไปของระบบทำน้ำร้อนปั๊มความร้อนในช่วงที่มีแสงแดดจะถูกแทนที่ด้วยพลังงานความร้อนจากระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มาทดแทน จนผลิตน้ำร้อนได้เพียงพอ

ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าในช่วง 3.2 – 3.5 ขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์ ณ วันที่ทำการทดลอง ค่าที่ได้จะเกิดจากค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของปั๊มความร้อนในช่วง 3.0 – 3.1 และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วง 0.1 – 0.4

#### 5.1.4 ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างการติดตั้งจริงและโปรแกรมจำลอง

เปรียบเทียบระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานจากการวัดผ่านระบบที่ติดตั้งจริงและโปรแกรมจำลอง พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของปั๊มความร้อนจากแหล่งอากาศที่วัดจริงมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของปั๊มความร้อนจากโปรแกรมจำลอง 6.67% ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดจริงมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จากโปรแกรมจำลอง 14.12% และค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานรวมกันระหว่างปั๊มความร้อนและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดจริงมีค่าน้อยกว่าโปรแกรมจำลอง 7.48% ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นจะเกิดจากสภาพภูมิอากาศ ความเข้มแสงอาทิตย์ ณ ช่วงเวลาการทดลองจริงที่ไม่ตรงกับโปรแกรมจำลอง ทำให้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อน

#### 5.1.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน

เปรียบเทียบระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานกับระบบทำน้ำร้อนอื่น ได้แก่ระบบทำน้ำร้อนแบบหม้อไอน้ำโดยใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง ระบบทำน้ำร้อนแบบขดลวดความร้อนและระบบทำน้ำร้อนแบบใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง สรุปได้ว่า ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานมีความคุ้มค่าในการลงทุนเมื่อเปรียบเทียบกับระบบทำน้ำร้อนแบบขดลวดความร้อนโดยใช้มูลค่าปัจจุบัน (NPV) เป็นตัวเปรียบเทียบโดยมูลค่าปัจจุบันเท่ากับ 199,183 บาท หากใช้อัตรผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) ของการเปลี่ยนระบบผลิตน้ำร้อนพบว่าระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานเหมาะสมที่จะติดตั้งมากกว่าระบบขดลวดความร้อนและแก๊สธรรมชาติ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานต่ำที่สุด โดยมีค่าอัตรผลตอบแทนของขดลวดความร้อนและระบบน้ำร้อนใช้แก๊สธรรมชาติเท่ากับ 19 และ 10 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบโดยใช้ระยะเวลาการคืนทุน พบว่า การเปลี่ยนระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานในระบบขดลวดความร้อนและระบบผลิตน้ำร้อนแบบใช้แก๊สธรรมชาติค่าไม่เกินกว่าอายุการใช้งานสูงสุดของระบบทำให้ได้รับผลประโยชน์ จึงถือได้ว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุน โดยระยะเวลาใน

การคืนทุนของการเปลี่ยนระบบขดลวดความร้อนและระบบผลิตน้ำร้อนแบบใช้แก๊สธรรมชาติคือ 4.8 และ 7.6 ปีตามลำดับ

5.1.6 การวิเคราะห์ความอ่อนโดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุนของการแทนที่ระบบทำน้ำร้อนผสมผสานกับระบบทำน้ำร้อนขดลวดไฟฟ้า หม้อต้มน้ำร้อนน้ำมันเตาและหม้อต้มน้ำร้อนโดยใช้แก๊สธรรมชาติได้แก่ อุณหภูมิ ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย ค่าน้ำมันเตาและค่าแก๊สธรรมชาติสรุปว่าอุณหภูมิที่เซตตั้งค่าไว้จะทำให้ได้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุนคัมค่าที่สุด หากเป็นปัจจัยค่าไฟฟ้า ค่าน้ำมันเตาและค่าแก๊สธรรมชาติเมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุนมีความคัมค่ามากขึ้นไปด้วย ในทางกลับกันหากค่าไฟฟ้า ค่าน้ำมันเตาและค่าแก๊สธรรมชาติลดลงก็จะมีผลต่อมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุนน้อยลงเช่นกัน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาประสิทธิภาพและความคัมค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างปั๊มความร้อนและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากการศึกษาดังต่อไปนี้

5.2.1 ควรมีการศึกษาจำลองสถานการณ์ของระบบทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนเสริมพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชนิดอื่นๆ

5.2.2 งานวิจัยไม่ได้ศึกษาการครอบคลุมถึงผลของการเปลี่ยนแปลงความชื้นในอากาศและความเร็วลมของอากาศที่ผ่านอุปกรณ์ปั๊มความร้อนและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะส่งผลต่อค่า COP


5.2.3 ควรทำการศึกษาถึงผลของการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนและระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบอื่นๆ


5.2.4 ควรทำการศึกษาถึงผลของการเปลี่ยนชนิดสารทำความเย็น การเพิ่มอัตราการไหลของน้ำที่มากขึ้น รวมถึงการเปลี่ยนอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดอื่นๆ เพื่อให้ได้ค่า COP ที่สูงขึ้นและเป็น การประหยัดพลังงานในระบบ










 Type71			
<b>Parameter ที่ศึกษา</b>			
Collector length	2 m	Collector width	1
Number of tubes	20	Inner tube diameter	
Outer tube diameter		Number of identical covers	
<b>Input ที่ศึกษา</b>			
Inlet temperature		Solar Radiation	
<b>Output ที่ศึกษา</b>			
Temperature at outlet (°C)		Efficiency	

 Type72			
<b>Parameter ที่ศึกษา</b>			
Tank Volume	3 m <sup>3</sup>	Collector width	1
<b>Input ที่ศึกษา</b>			
Hot-side Temperature (°C)		Ambient Temperature (°C)	
Cold-side Temperature (°C)			
<b>Output ที่ศึกษา</b>			
Temperature to heat source (°C)			

 Type3b	
<b>Input ที่ศึกษา</b>	
Inlet fluid Temperature (°C)	Inlet mass flow rate (kg/hr)
Control signal	
<b>Output ที่ศึกษา</b>	
Outlet fluid temperature (°C)	Outlet flow rate (kg/hr)

 Type109-TMY2	
<b>Parameter ที่ศึกษา</b>	
Header Lines to skip	1
<b>Output ที่ศึกษา</b>	
Ambient temperature (°C)	BANGKOK INFORMATION
Total radiation on horizontal (kJ/hr.m2)	
Sky diffuse radiation on horizontal (kJ/hr.m2)	

 load_w	
<b>Parameter ที่ศึกษา</b>	
Time at point	
Water draws at point	
<b>Output ที่ศึกษา</b>	
Average water draw (kJ/hr)	



ตารางที่ 1 บันทึกผลการทดลองของระบบทำน้ำร้อนผสมผสาน ณ วันที่ 4 ธันวาคม 2564

เวลา	Tambient	Solar Radiation	Tin_HP	Tout_HP	Electricity consumption (kWh)	Heat Energy (kWh) Heat pump	Solar Energy
0:00	24.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1:00	24.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2:00	24.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3:00	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4:00	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5:00	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6:00	24.1	0.0	29.0	0.0	0.2	0.0	0.0
7:00	24.0	80.0	28.4	29.0	1.9	5.9	0.0
8:00	26.0	304.0	51.0	52.0	3.4	11.5	0.0
9:00	29.0	456.0	60.0	60.0	0.0	12.5	0.0
9:45	30.3	508.0	60.0	60.0	0.0	0.0	0.0
10:00	30.3	555.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11:00	31.5	650.0	32.0	36.0	0.2	0.0	0.0
12:00	31.0	755.0	44.0	47.0	1.3	3.1	0.4
12:25	32.0	755.0	55.0	61.0	2.9	8.3	0.7
13:00	32.0	680.0	58.0	60.0	2.9	8.6	1.2
13:50	32.0	615.0	31	32	0.3	3.0	0.3
14:00	32.0	550.0	48.0	49.0	3.0	8.8	0.5
15:00	32.0	367.0	58	60	3.0	8.9	0.9
16:00	32.0	152.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17:00	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17:10	31.0	0.0	32.0	34.0	0.2	0.0	0.1
17:50	31.0	0.0	46.0	47.0	0.2	4.6	0.1



18:00	31.0.	0.0	0.0	0.0	1.7	6.7	0.0
18:30	29.0	0.0	57.0	58.0	2.1	8.8	0.0
19:00	28.1	0.0	59.0	60.0	3.3	9.2	0.0
20:00	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21:00	27.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:00	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23:00	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 2 บันทึกผลการทดลองของระบบทำน้ำร้อนผสมผสาน ณ วันที่ 5 ธันวาคม 2564

เวลา	Tambient	Solar Radiation	Tin_HP	Tout_HP	Electricity consumption (kWh)	Heat Energy (kWh) Heat pump	Solar Energy
0:00	24.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1:00	24.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2:00	24.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3:00	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4:00	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5:00	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6:00	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7:00	24.0	95.0	30	30	1.7	6.0	0.0
8:00	25.7	298.0	45	48	3.4	11.0	0.0
9:00	27.6	445.0	59	60.0	0.0	13.5	0.0
10:00	29.1	575.0	32.0	33.0	0.2	0.0	0.0
11:00	30.5	635.0	46.0	49.0	1.3	3.5	0.2
12:00	31.3	779.0	58.0	60.0	2.9	9.0	1.0
13:00	32.0	650.0	32.0	34.0	0.2	0.0	0.0
14:00	32.5	545.0	46.0	47.0	1.4	3.5	0.4

15:00	32.6	400.0	58.0	60.0	2.9	8.9	1.1
16:00	32.4	150.0	58.0	60.0	0.0	0.0	0.0
17:00	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18:00	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19:00	29.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:00	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21:00	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:00	27.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23:00	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 3 บันทึกผลการทดลองของระบบทำน้ำร้อนผสมผสาน ณ วันที่ 11 ธันวาคม 2564

เวลา	Tambient	Solar Radiation	Tin_HP	Tout_HP	Electricity consumption (kWh)	Heat Energy (kWh) Heat pump	Solar Energy
0:00	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1:00	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2:00	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3:00	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4:00	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5:00	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6:00	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7:00	24.0	50.0	30	30	1.7	6.0	0.0
8:00	26.0	240.0	45	48	3.4	11.0	0.0
9:00	29.0	420.0	59	60.0	0.0	12.0	0.0
10:00	30.3	600.0	31.0	34.0	0.2	0.0	0.0
11:00	31.5	640.0	44.0	47.0	1.3	3.5	0.4
12:00	31.0	740.0	58.0	60.0	2.8	9.0	1.2

13:00	32.0	680.0	31.0	34.0	0.2	0.0	0.0
14:00	32.0	550.0	44.0	47.0	1.3	3.5	0.4
15:00	32.0	367.0	58.0	60.0	3.0	9.0	1.2
16:00	32.0	152.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17:00	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18:00	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19:00	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:00	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21:00	27.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:00	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23:00	25.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 4 บันทึกผลการทดลองของระบบทำน้ำร้อนผสมผสาน ณ วันที่ 12 ธันวาคม 2564

เวลา	Tambient	Solar Radiation	Tin_HP	Tout_HP	Electricity consumption (kWh)	Heat Energy (kWh) Heat pump	Solar Energy
0:00	24.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1:00	24.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2:00	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3:00	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4:00	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5:00	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6:00	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7:00	24.0	30.0	30	31	1.7	6.0	0.0
8:00	26.0	200.0	46	48	3.4	11.0	0.0
9:00	29.0	500.0	59	60.0	0.0	13.0	0.0
10:00	30.3	600.0	31.0	34.0	0.2	0.0	0.0

11:00	31.5	680.0	44.0	47.0	1.3	3.5	0.4
12:00	31.0	720.0	58.0	60.0	3.0	9.0	1.2
13:00	32.0	680.0	58.0	60.0	0.0	0.0	0.0
14:00	32.0	600.0	31.0	34.0	0.2	0.0	0.0
15:00	32.0	400.0	44.0	47.0	1.3	3.5	0.4
16:00	32.0	199.0	58.0	60.0	2.9	8.8	1.2
17:00	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18:00	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19:00	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:00	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21:00	27.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:00	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23:00	25.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 5 บันทึกผลการทดลองของระบบทำน้ำร้อนผสมผสาน ณ วันที่ 18 ธันวาคม 2564

เวลา	Tambient	Solar Radiation	Tin_HP	Tout_HP	Electricity consumption (kWh)	Heat Energy (kWh) Heat pump	Solar Energy
0:00	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1:00	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2:00	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3:00	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4:00	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5:00	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6:00	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7:00	24.0	50.0	30	32	1.7	6.0	0.0
8:00	26.0	100.0	45	48	3.4	11.0	0.0

9:00	29.0	400.0	59	60.0	0.0	12.5	0.0
10:00	30.3	450.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11:00	31.5	670.0	30.0	33.0	0.2	0.0	0.0
12:00	30.0	690.0	44.0	47.0	1.3	3.5	0.4
13:00	32.0	690.0	58.0	60.0	2.9	8.9	1.2
14:00	32.0	550.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15:00	31.0	330.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16:00	31.0	180.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17:00	31.0	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18:00	30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19:00	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:00	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21:00	27.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:00	27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23:00	25.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 6 บันทึกผลการทดลองของระบบทำน้ำร้อนผสมผสาน ณ วันที่ 19 ธันวาคม 2564

เวลา	Tambient	Solar Radiation	Tin_HP	Tout_HP	Electricity consumption (kWh)	Heat Energy (kWh) Heat pump	Solar Energy
0:00	24.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1:00	24.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2:00	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3:00	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4:00	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5:00	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6:00	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

7:00	24.0	50.0	30	30	1.7	6.0	0.0
8:00	26.0	100.0	45	48	3.4	11.0	0.0
9:00	29.0	400.0	59	60.0	0.0	12.5	0.0
10:00	30.3	450.0	30.0	31.0	0.2	0.0	0.0
11:00	31.5	670.0	44.0	47.0	1.3	3.5	0.4
12:00	31.7	690.0	58.0	60.0	2.9	9.0	1.2
13:00	32.0	690.0	58.0	60.0	0.0	0.0	0.0
14:00	32.0	550.0	31.0	32.0	0.2	0.0	0.0
15:00	32.0	330.0	44.0	47.0	1.3	3.5	0.4
16:00	32.0	180.0	58.0	60.0	2.9	8.8	1.3
17:00	31.0	40.0	58.0	60.0	0.0	0.0	0.0
18:00	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19:00	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:00	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21:00	27.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:00	27.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23:00	25.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 7 บันทึกผลการทดลองของระบบทำน้ำร้อนผสมผสาน ณ วันที่ 25 ธันวาคม 2564

เวลา	Tambient	Solar Radiation	Tin_HP	Tout_HP	Electricity consumption (kWh)	Heat Energy (kWh) Heat pump	Solar Energy
0:00	24.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1:00	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2:00	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3:00	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4:00	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



5:00	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6:00	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7:00	24.0	20.0	30	30	1.7	6.0	0.0
8:00	26.0	200.0	45	48	3.4	11.0	0.0
9:00	29.0	380.0	59	60.0	0.0	12.5	0.0
10:00	30.3	440.0	30.0	32.0	0.2	0.0	0.0
11:00	31.5	450.0	44.0	47.0	1.3	3.5	0.4
12:00	31.7	800.0	58.0	60.0	2.9	9.0	1.2
13:00	32.0	780.0	58.0	60.0	0.0	0.0	0.0
14:00	32.1	610.0	30.0	32.0	0.2	0.0	0.0
15:00	32.2	440.0	44.0	47.0	1.3	3.5	0.4
16:00	32.0	200.0	58.0	60.0	2.9	8.9	1.3
17:00	31.7	20.0	58.0	60.0	0.0	0.0	0.0
18:00	31.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19:00	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:00	28.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21:00	27.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:00	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23:00	25.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ตารางที่ 8 บันทึกผลการทดลองของระบบทำน้ำร้อนผสมผสาน ณ วันที่ 26 ธันวาคม 2564

เวลา	Tambient	Solar Radiation	Tin_HP	Tout_HP	Electricity consumption (kWh)	Heat Energy (kWh) Heat pump	Solar Energy
0:00	24.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1:00	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2:00	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

3:00	24.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4:00	24.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5:00	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6:00	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7:00	24.0	20.0	30	30	1.7	6.0	0.0
8:00	26.0	40.0	45	48	3.4	11.0	0.0
9:00	29.4	400.0	59	60.0	0.0	12.5	0.0
10:00	30.3	600.0	31.0	33.0	0.2	0.0	0.0
11:00	31.5	770.0	44.0	47.0	1.3	3.5	0.4
12:00	31.7	810.0	58.0	60.0	2.9	9.0	1.2
13:00	31.8	800.0	58.0	60.0	0.0	0.0	0.0
14:00	32.1	450.0	30.0	34.0	0.2	0.0	0.0
15:00	32.3	400.0	44.0	47.0	1.3	3.5	0.4
16:00	32.0	200.0	58.0	60.0	2.9	9.0	1.2
17:00	31.8	20.0	58.0	60.0	0.0	0.0	0.0
18:00	31.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19:00	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20:00	28.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21:00	27.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22:00	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23:00	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0



## การวิเคราะห์ต้นทุนและความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน

### 1. ต้นทุนการเงินของโครงการ

ต้นทุนหรือรายจ่ายทางการเงินของโครงการ ประกอบด้วยค่าลงทุนทั้งหมดของโครงการ ตั้งแต่ค่าอุปกรณ์ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานรวมถึงค่าแรงสำหรับการติดตั้ง

### 2. ค่าลงทุนอุปกรณ์และแรงงานในการติดตั้งระบบ (Investment Cost)

สามารถสรุปค่าลงทุนอุปกรณ์และแรงงานในการติดตั้งระบบเป็นค่าใช้จ่าย รวมเป็นเงิน 459,000 บาท

### 3. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาระบบ (Operating and Maintenance Cost)

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาประกอบด้วย ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษา ค่าแรงงาน ค่าอะไหล่ซ่อมแซม ค่าดำเนินการ และค่าบำรุงรักษาระบบดังกล่าวถือว่าครอบคลุม ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นเช่น ค่าไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษา ค่าแรงงานและค่าอะไหล่ซ่อมแซมที่เกิดขึ้นในรอบปี ของการใช้ระบบป้อนความร้อนในการผลิตน้ำร้อน โดยทั่วไปในทางปฏิบัติค่าบำรุงรักษาระบบผลิตน้ำร้อนแต่ละระบบ จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานของแต่ละระบบและการบำรุงรักษาของผู้ใช้ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นค่าใช้จ่ายในการตรวจเช็คสภาพของระบบ

โครงการนี้จะใช้สมมติฐานของอัตราดอกเบี้ยเงินกู้จากธนาคารกรุงไทย ณ วันที่ 2 เมษายน 2557 ซึ่งมีดอกเบี้ยเท่ากับร้อยละ 12 ต่อปี เป็นการชำระดอกเบี้ยแบบระยะยาว (> 1 ปี) เป็นดอกเบี้ยที่อยู่ในหมวดของเงินสินเชื่อเพื่อการประกอบธุรกิจ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการซึ่งประกอบด้วยเงินลงทุนติดตั้งระบบ ค่าวัสดุ อุปกรณ์และค่าแรงดำเนินการ ค่าบำรุงรักษาและประกันระบบเมื่อเริ่มเดินเครื่องใช้งานระบบทำน้ำร้อนในปีแรก

4. สำหรับการคำนวณค่าไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการโรงแรมและกิจการที่พักอาศัยตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ใช้อัตราการคิดค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff: TOU Tariff)

อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff)

โรงแรมเป้าหมายทั่วไปจะใช้ขนาดหม้อแปลง 1,250 kVA ที่แรงดันไฟฟ้า 69 kV ตามปกติการใช้น้ำร้อนของโรงแรม จะมีการใช้น้ำในช่วงเช้า ตั้งแต่เวลา 7.00 – 9.00 น. และช่วงเย็น ตั้งแต่เวลา 18.00 – 20.00 น. ของทุกวันซึ่งอยู่ในช่วงของการคิดค่าไฟในแบบ On-Peak และ Off-Peak สามารถคำนวณค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดังนี้

ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน

ปริมาณความร้อนจากแหล่งอากาศ 1 เครื่อง = 6.5 kw

ระบบทำน้ำร้อนทำงานเฉลี่ย = 18 ชั่วโมงต่อวัน

วันทำงาน = 365 วันต่อปี

ค่าบริการรายเดือน = 312.24 บาทต่อเดือน

ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า = 1.7 kW/เดือน x 132.93 บาท/kw

= 2,916 บาทต่อเดือน

ค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบป้อนความร้อน

การดำเนินงานใน 1 สัปดาห์ : จ-ศ (ช่วง On-peak) 13 ชม/วัน

การดำเนินงานใน 1 สัปดาห์ : จ-ศ (ช่วง Off-peak) 2.96 ชม/วัน

การดำเนินงานในช่วงวันหยุด : ส-อา (ช่วง On-peak) 2.96 ชม/วัน

การดำเนินงานในช่วงวันหยุด : ส-อา (ช่วง Off-peak) 2.96 ชม/วัน

5. ค่าประกันระบบผลิตน้ำร้อน (Insurance)

ในการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการทำความร้อน โดยใช้ระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ ประมาณการค่าประกันระบบที่ 1 เปอร์เซ็นต์ของเงินลงทุน

เนื่องจากเป็นค่าประกันขั้นต่ำสุดและหาค่าประกันระบบน้ำร้อน และค่าประกันระบบจะเท่ากันทุกปี จนถึงปีสุดท้าย

$$\begin{aligned}\text{ค่าประกัน} &= \text{มูลค่าของเงินลงทุน} \times 0.01 \\ &= 459,000 \times 0.01 \\ &= 4,590\end{aligned}$$

6. ค่าดำเนินงานและการบำรุงรักษาของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน

ค่าการลงทุนทางการเงินของระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานในส่วนของค่าดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาระบบซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นทุกๆปีตลอดอายุโครงการ 15 ปี กำหนดให้มีค่าธรรมเนียม 0.5 ของมูลค่าการลงทุน ซึ่งค่าลงทุนอุปกรณ์และแรงงานในการติดตั้งระบบ (Investment Cost) อยู่ที่บาท ดังภาคผนวก ง และค่าบำรุงรักษาจะเพิ่มขึ้นเป็น 7% ต่อปี การหามูลค่าการดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาระบบน้ำร้อนได้จากสมการ

$$\begin{aligned}\text{ค่าดำเนินงานและค่าบำรุงรักษาระบบ} &= (\text{มูลค่าของเงินลงทุน}) \times 0.005 \\ &= 459,000 \times 0.005 = 2,295\end{aligned}$$

7. ผลประหยัดที่ได้หลังจากติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสาน

จากการวิเคราะห์ผลประหยัดที่ได้จากการใช้เชื้อเพลิงที่ลดลง ทำให้สามารถวิเคราะห์การติดตั้งระบบทำน้ำร้อนแบบผสมผสานแทนระบบทำน้ำร้อนแบบไฟฟ้า เพื่อหาผลประหยัดได้ดังนี้

$$\begin{aligned}&= \text{ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้จากเชื้อเพลิงที่ลดลง} - \text{ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน} \\ &= 137,280 - 34,989 = 102,291 \text{ บาทต่อปี}\end{aligned}$$

8. สำหรับการคำนวณค่าไฟฟ้าของระบบทำน้ำร้อนชนิดหลอดไฟฟ้าใช้อัตราการคิดค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff: TOU Tariff)

ระบบทำน้ำร้อนแบบหลอดไฟฟ้า

$$\text{ระบบทำน้ำร้อนชนิดหลอดไฟฟ้าแต่ละห้องรวม} = 40 \text{ kw}$$

ระบบทำน้ำร้อนทำงานเฉลี่ย	=	1.79 ชั่วโมงต่อวัน
วันทำงาน	=	365 วันต่อปี
ค่าบริการรายเดือน	=	312.24 บาทต่อเดือน
ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า	=	40 kW/เดือน x 132.93 บาท/kW
	=	5,317 บาทต่อเดือน

#### 9. การคำนวณระบบทำน้ำร้อนโดยใช้หม้อต้มน้ำร้อนแก๊สธรรมชาติ

- ปริมาณการใช้น้ำร้อน 2,800 ลิตร (เท่ากับระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ)

- ปริมาณการใช้พลังงานความร้อน จากสูตร  $Q = mc\Delta t$

$$Q = 2,800 \text{ L/day} \times 0.00116 \text{ kWh/kgK} \times (60 - 30 \text{ K}) = 97.7 \text{ kWh/day}$$

- พลังงานแก๊สธรรมชาติ 13.88 kW/kg
- ประสิทธิภาพของหม้อต้มน้ำร้อน 70%
- ราคาแก๊สธรรมชาติ 25 บาทต่อกิโลกรัม
- ปริมาณแก๊สที่ใช้ต่อเดือน  $\left( \frac{3,278}{13.77 \times 0.7} \right) = 340.03 \text{ kg/month}$
- ราคาการใช้แก๊สธรรมชาติต่อเดือน  $340.03 \times 24 = 8,160.76 \text{ Bath/month}$
- ราคาการใช้แก๊สธรรมชาติต่อปี  $8,160.76 \times 12 = 102,009.54 \text{ Bath/year}$

#### 10. การคำนวณระบบทำน้ำร้อนโดยใช้หม้อต้มน้ำร้อนน้ำมันเตา

- ปริมาณการใช้น้ำร้อน 2,800 ลิตร (เท่ากับระบบทำน้ำร้อนอื่นๆ)

- ปริมาณการใช้พลังงานความร้อน จากสูตร  $Q = mc\Delta t$

$$Q = 2,800 \text{ L/day} \times 0.00116 \text{ kWh/kgK} \times (60 - 30 \text{ K}) = 97.7 \text{ kWh/day}$$

- พลังงานน้ำมันเตา 35,399 BTU/L
- ราคาแก๊สธรรมชาติ 16.2 บาทต่อกิโลกรัม
- พลังงานที่ต้องการ 366,805.266 BTU/day



- ปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ต่อวัน  $366,805.266/35,399 = 10.36$  L/day
- ปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ต่อปี  $10.36$  L/day  $\times$   $365 = 3,784.2$  L/year
- ราคาเชื้อเพลิงรายปี  $3,784.2 \times 16.2 = 61,232$  Bath/year

**ตารางที่ 1** ระบบทำน้ำร้อนแต่ละประเภท

รายการ	ระบบหม้อไอน้ำ แบบน้ำมันเตา	ขดลวดไฟฟ้า	ก๊าซธรรมชาติ	ระบบทำน้ำ ร้อนแบบ ผสมผสาน
ค่าการลงทุน เริ่มต้น (บาท)	300,000	80,000	250,000	459,000
ค่าการดำเนินการ ผลิตน้ำร้อน (บาท ต่อปี)	56,732	137,280	102,009	34,989
ค่าบำรุงการรักษ (บาทต่อปี)	1,500	400	1,250	2,295
ค่าประกัน (บาท ต่อปี)	3,000	800	2,500	4,590
ผลการประหยัด พลังงานของ ระบบ	26,243	102,291	70,770	-

## รายการอ้างอิง

- [1] K. Bakirci, "Experimental Thermal Performance Of A Solar Source Heat-Pump System For Residential Heating In Cold Climate Region " 2011.
- [2] ว. ต้นประเสริฐ and ท. สุภารส, "การวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2556.
- [3] K.-a. Techato, "Presenatation of Phase out Electric Shower Unit Water Heater " in *The Energy Working Group (EWG) held its 47th*, Kunming, China, 2014.
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานทดแทน, เทคโนโลยีการใช้น้ำความร้อนสำหรับการทำความร้อน โครงการสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. 2552.
- [5] E. groove. (2013). *Heat pump for sale* [Online]. Available: <https://www.energygroove.net/?s=heat+pump>.
- [6] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานทดแทน, พลังงานแสงอาทิตย์ (คู่มือพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานทดแทน), 2555, pp. 1,8-10,23-28.
- [7] ตลาดนัดโซล่าเซลล์. (2558). ปริมาณรังสี พลังงานแสงอาทิตย์ในไทย [Online]. Available: <http://solar-point.blogspot.com/2015/11/Solar-energy.html>.
- [8] วิทยาลัยพลังงานทดแทน. (2557). เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ [Online]. Available: <http://www.sert.nu.ac.th/botcam.htm>.
- [9] M. A. Sharif *et al.*, "Review of the application of phase change material for heating and domestic hot water systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 42, pp. 557-568, 2015.
- [10] L. Triple E Energy Plus Co. (2021). เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (*Solar Collector*) [Online]. Available: <http://www.eakaphatenergy.com/?ProductID=Product-110504153784064>.
- [11] S. Tangwe and M. Sikhonza, "Design and monitoring of a hybrid energy system: performance analysis and modelling," *Cogent Engineering*, vol. 8, no. 1, p. 1975901, 2021/01/01 2021.
- [12] ทศนีย์ ศิริพงศาภรณ์, "ความเป็นไปได้ของโครงการลงทุนจัดซื้อเครื่องจักรประเภทผลิตส่งต่อสำหรับการบริหารจัดการต้นทุนต่อหน่วยของอุตสาหกรรมเครื่องดื่มน้ำเชื่อมต่อขวดพลาสติก," ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการประกอบการ, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2556.

- [13] อรทัย วรรณวิสันต์, "การวิเคราะห์ความเป็นไปได้โครงการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์," ปรินญา มหาธุรกิจมหาบัณฑิต, บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ, 2552.
- [14] สิรินันท์ บุตรเต, "วิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนเพื่อขยายโรงงานผลิตเครื่องมือตัด," ปรินญา บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต วิชาเอกการบัญชี, คณะบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยราชชมงคลธัญบุรี, 2555.
- [15] บุญฤทธิ์ ไร่สูงเนิน, "การประหยัดพลังงานในระบบการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนในอาคารโรงแรม," การจัดการเทคโนโลยีในอาคาร, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, 2553.
- [16] ชลดา ยอดยิ่ง, " การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำน้ำร้อนด้วยปั๊มความร้อนเสริมด้วยพลังงานแสงอาทิตย์," ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, วิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2555.
- [17] ณัฐวิภา อินทโกชน, "การศึกษความเป็นไปได้ทางเทคนิค และเศรษฐศาสตร์ของการทำความร้อนโดยใช้ปั๊มความร้อนแทนหม้อไอน้ำในโรงแรมขนาดเล็กแห่งหนึ่ง," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2556.
- [18] สุภัทช์ชัยเจียรสุพัฒน์, "การศึกษความเป็นไปได้และแนวทางการส่งเสริมการใช้ปั๊มความร้อนในโรงแรม," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2560.
- [19] ภกวัต หุ่นฉัตร, "การศึกษตัวแปรที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำอุ่นด้วยปั๊มความร้อนขนาด 16 กิโลวัตต์," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, วิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2561.
- [20] อภิวัฒน์ สุขากิริมย์, "ศึกษาเปรียบเทียบระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ระหว่างแบบแผ่นเรียบและแบบหลอดแก้ว," วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2562.
- [21] G. Nouri, Y. Noorollahi, and H. Yousefi, "Designing and optimization of solar assisted ground source heat pump system to supply heating, cooling and hot water demands," *Geothermics*, vol. 82, pp. 212-231, 2019.
- [22] Q. Lu, G. A. Narsilio, G. R. Aditya, and I. W. Johnston, "Economic analysis of vertical ground source heat pump systems in Melbourne," *Energy*, vol. 125, pp. 107-117, 2017.
- [23] T. Long *et al.*, "Performance analysis and optimization of a solar-air source heat pump heating system in Tibet, China," *Energy and Buildings*, vol. 220, p. 110084, 2020.
- [24] H. Li, L. Sun, and Y. Zhang, "Performance investigation of a combined solar thermal heat pump heating system," *Applied Thermal Engineering*, vol. 71, no. 1, pp. 460-468, 2014.

- [25] J. Long, K. Xia, H. Zhong, H. Lu, and A. Yongga, "Study on energy-saving operation of a combined heating system of solar hot water and air source heat pump," *Energy Conversion and Management*, vol. 229, p. 113624, 2021.



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	SORASAK WIWATTANASARANROM
วัน เดือน ปี เกิด	5 August 1994
สถานที่เกิด	ภูเก็ต
วุฒิการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนภูเก็ตวิทยาลัย ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	หมู่บ้านสวนธน แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

