

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับระบบเครื่องทำ
น้ำเย็นแบบดูดกลืน : กรณีศึกษาอาคารเซลล์เฮาส์



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
สิงหาคม 2558

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับระบบเครื่องทำ
น้ำเย็นแบบดูดกลืน : กรณีศึกษาอาคารเซลล์เฮาส์



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

สิงหาคม 2558

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับระบบเครื่องทำ
น้ำเย็นแบบดูดกลืน : กรณีศึกษาอาคารเซลล์เฮาส์



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
สิงหาคม 2558

จอมวงศ์ สุวรรณราช. (2558). การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์มา
ใช้งานร่วมกับระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน : กรณีศึกษาอาคารเซลล์เฮาส์.
ปริญญา นิพนธ์ วศ.ม. (การจัดการทางวิศวกรรม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ผู้ช่วยศาสตราจารย์
ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์มาใช้งาน
ร่วมกับระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน : กรณีศึกษาอาคารเซลล์เฮาส์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา
ความเป็นไปได้ในด้านเทคนิคและวิศวกรรม รวมถึงการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์ ของโครงการ การ
ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนในอาคารเซลล์เฮาส์ รวมไปถึงการ
เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ จากการลดภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น
เดิมของอาคาร จากการศึกษาด้านเทคนิคและวิศวกรรม พบว่าอาคารเซลล์เฮาส์มีพื้นที่ชั้นดาดฟ้า
1,085 m² ที่สามารถติดตั้งระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ได้ 2 ขนาด คือ 50 tons ใช้พื้นที่ในการ
ติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 650 m² และ 80 tons ใช้พื้นที่ในการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 1,050 m²
และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบได้เท่ากับ 0.69 และ 0.7 ตามลำดับ สำหรับการศึกษา
ด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่าใช้งบประมาณในการลงทุนโครงการ 5,169,500 บาท และ 8,229,000 บาท
เมื่อดำเนินโครงการ 15 ปี โดยมีอัตราส่วนลด 6.651% จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ -3,412,129.79
บาท และ -4,523,251.49 บาท อัตราผลตอบแทนภายใน -6.82% และ -3.87% ระยะเวลาในการคืน
ทุนคือ 27 ปี 8 เดือน และ 20 ปี 11 เดือน และผลการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าตลอด
อายุของโครงการ เมื่อเทียบกับการใช้ลดภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเดิมจำนวน 1 เครื่อง
จะสามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 2,805,319.46 บาท และ 5,915,548.34 บาท ตามลำดับ

คำสำคัญ: ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์, ตัวเก็บรังสีอาทิตย์, เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน

A FEASIBILITY STUDY OF THE SOLAR WATER HEATING SYSTEM TO ABSORPTION
CHILLER: A CASE STUDY FOR SHELL HOUSE BUILDING



Presented in Partial Fulfillment of Requirements for the
Master of Education Degree in Engineering Management
at Srinakharinwirot University

August 2015

Jomwong Suwannaraj. (2015). *A Feasibility Study of the Solar Water Heating System to Absorption Chiller: A Case Study of Shell House Buidling*. Master thesis, M.Eng. (Engineering Management). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Asst. Prof. Dr.Kitti Sathapornprasath.

This research aims to study a feasibility of “The solar water heating system to absorption chiller: a case study for Shell house building” propose to study of the technical and engineering include the study of economics of utilizing the solar collector with the absorption chiller for the Shell House Building to compare the energy cost saving between part load operation of an existing chiller. The result of study of the technical and engineering found that the shell house building has the roof top area $1,085 \text{ m}^2$ which available to install the solar water heating system with the absorption chiller capacity 50 tons used the solar collector area 650 m^2 and the absorption chiller capacity 80 tons used the solar collector area $1,050 \text{ m}^2$, the calculated result of COP were 0.69 and 0.7 respectively. For the study of economic found that the investment cost was 5,169,500 Baht and 8,229,000 Baht, after operation for 15 years and fixed interest rate at 6.651%, the net present value was -3,412,129.79 Baht and -4,523,251.49 Baht, the internal rate of return was -6.82% and -3.87%, the payback period was 27 years 8 months and 20 years 11 months, and the energy cost saving compared with part load operation of an existing chiller was 2,805,319.46 Baht and 5,915,548.34 Baht respectively.

Keywords: Solar water heating system, Solar collector, Absorption Chiller

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับระบบเครื่องทำ
น้ำเย็นแบบดูดกลืน : กรณีศึกษาอาคารเซลล์เฮาส์
ของ
จอมวงศ์ สุวรรณราช

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

วันที่ เดือน พ.ศ. 2558

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ที่ปรึกษาหลักประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาจรี ศุภสุธิกุล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชากร จารุศิริ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญพร เลิศสถิตชนกร)

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์ อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ให้คำปรึกษา ความรู้ และคอยสนับสนุนช่วยเหลือ รวมทั้งเสนอแนะแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณคณะอาจารย์ประจำหลักสูตรการจัดการทางวิศวกรรมที่ทั้งให้ความรู้ทางด้านวิชาการและประสบการณ์ต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและทำงานวิจัย

ขอขอบคุณบริษัทเซลล์ ประเทศไทย จำกัด ที่อนุเคราะห์สถานที่และข้อมูลสำหรับการใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณบริษัท ราโวเทค จำกัด ที่คอยช่วยเหลือสนับสนุนทั้งในด้านข้อมูลของอุปกรณ์ในการวิจัย และคำแนะนำจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ นายมนตรี สุวรรณราช และนางพรรณิ สุวรรณราช บิดาและมารดา ที่เลี้ยงดู อบรม เป็นกำลังใจที่สำคัญที่สุดจนสำเร็จการศึกษาและทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

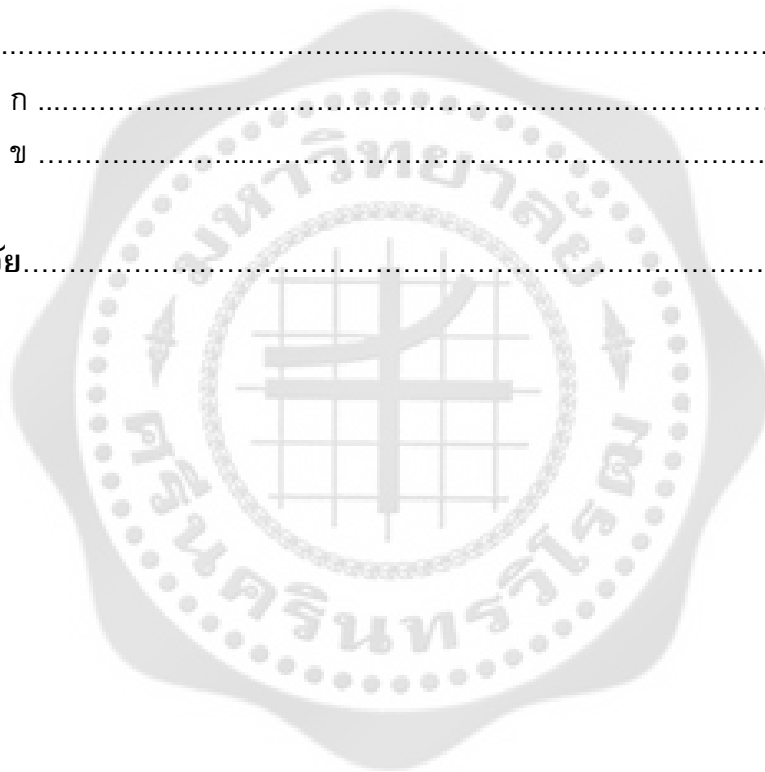
จอมวงศ์ สุวรรณราช

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
ขอบเขตของงานวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน	4
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์	9
ถังเก็บน้ำร้อน	13
ระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนด้วยระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์	13
เครื่องมือวัดรังสีอาทิตย์	15
การศึกษาความเป็นไปได้	16
อัตราค่าไฟฟ้า	19
ข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
สรุปข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	37
ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย	37
วิธีการดำเนินการวิจัย	38
สถานที่ในการศึกษา	39
4 ผลการศึกษาความเป็นไปได้	40
ผลการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและวิศวกรรม	40
ผลการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์และการลงทุน	57

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	70
สรุปผลการศึกษา.....	70
ข้อเสนอแนะ.....	71
บรรณานุกรม.....	72
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก	78
ภาคผนวก ข	84
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	90



บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
1 อัตราค่าไฟฟ้าในอัตรา 4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (TOD)	20
2 อัตราค่าไฟฟ้าในอัตรา 4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU).....	21
3 ค่าเฉลี่ยรังสีดวงอาทิตย์บริเวณอาคารเซลล์เฮาส์.....	42
4 ข้อมูลการไฟฟ้าและการลดภาระการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นเดิม.....	47
5 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อน ด้วยรังสีอาทิตย์.....	49
6 รายละเอียดและราคาตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ.....	50
7 สรุปผลการประเมินทางด้านเทคนิคและวิศวกรรมของระบบ.....	52
8 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อน ด้วยรังสีอาทิตย์ขนาด 50 ตัน.....	59
9 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อน ด้วยรังสีอาทิตย์ขนาด 80 ตัน.....	59
10 เปรียบเทียบผลต่างค่าไฟฟ้าของโครงการเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน โดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ขนาด 50 ตัน.....	61
11 เปรียบเทียบผลต่างค่าไฟฟ้าของโครงการเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน โดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ขนาด 80 ตัน.....	61
12 อัตราดอกเบี้ยธนาคาร.....	62
13 ผลการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน โดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ขนาด 50 ตัน และ 80 ตัน.....	63
14 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวกรณีต้นทุนในการลงทุนเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 10.....	67
15 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวกรณีไม่มีเงินสนับสนุนโครงการ ส่งเสริมการใช้ทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.....	68

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 ส่วนประกอบหลักของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน.....	5
2 วงจรหลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนชั้นเดียว.....	6
3 เทคโนโลยีระบบทำความเย็นด้วยรังสีอาทิตย์.....	8
4 การประยุกต์ใช้งานระบบทำความเย็นด้วยรังสีอาทิตย์.....	9
5 ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ.....	10
6 ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ.....	10
7 ประสิทธิภาพแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดต่าง ๆ.....	11
8 ประสิทธิภาพของแผงเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์.....	11
9 ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศระบบไหลเวียนตามธรรมชาติ.....	12
10 ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศมีท่อแลกเปลี่ยนความร้อน.....	12
11 ระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนด้วยระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์.....	14
12 เครื่องไพราโนมิเตอร์ แบบ Thermomechanical Sensor	15
13 เครื่องไพราโนมิเตอร์ แบบ Thermoelectric Sensor.....	16
14 วงจรระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนร่วมกับการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์.....	22
15 การดึงความร้อนทิ้งมาใช้ประโยชน์กับตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน.....	24
16 การนำความร้อนทิ้งจากไอเสียของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ ในฟาร์มสุกรมาใช้ในระบบทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน.....	25
17 วงจรการทำงานทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน.....	26
18 ประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ของระบบทำความเย็น.....	26
19 อุณหภูมิของตัวให้ความร้อนต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น.....	27
20 ระบบทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้พลังงานความร้อนจากน้ำพุร้อน.....	28
21 ระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์.....	29
22 ขอบเขตการประยุกต์ใช้โปรแกรม EnergyPlus.....	31
23 การป้อนค่าสัมประสิทธิ์ในโปรแกรม EnergyPlus.....	32
24 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	37
25 บริเวณด้านหน้าอาคารเซลล์เฮาส์.....	39
26 ด้านหน้าอาคารเซลล์เฮาส์.....	40

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
27 พื้นที่ด้านบนอาคารเซลล์เฮาส์.....	41
28 พื้นที่ด้านบนบริเวณโดยรอบอาคารเซลล์เฮาส์.....	41
29 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยรังสีแสงอาทิตย์ในแต่ละเดือนบริเวณอาคารเซลล์เฮาส์.....	42
30 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องทำความเย็นแบบรุ่น RTHD-180.....	43
31 การหาพลังงานไฟฟ้าจากการลดภาระการทำงานลงครึ่งละ 10%.....	44
32 กราฟแสดงพลังงานไฟฟ้าจากการลดภาระการทำงานลงครึ่งละ 10%.....	45
33 ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจากการลดภาระการทำงานลง 10%.....	45
34 การหาพลังงานไฟฟ้าจากการลดภาระการทำงาน.....	46
35 กราฟแสดงพลังงานไฟฟ้าจากการลดภาระการทำงาน.....	46
36 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน.....	48
37 แผนผังพื้นที่ชั้นดาดฟ้าของอาคารเซลล์เฮาส์.....	53
38 แผนผังการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์จำนวน 200 แผง.....	54
39 แผนผังการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์จำนวน 320 แผง.....	54
40 แผนผังการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนเพื่อใช้งานร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็น เดิมของอาคาร.....	55
41 การติดตั้งท่อน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนเข้ากับระบบท่อน้ำเย็นเดิม ของเครื่องปรับอากาศ.....	56
42 กราฟแสดงมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ.....	64
43 กราฟแสดงอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ.....	65
44 กราฟแสดงระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการ.....	65
45 กราฟแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ของโครงการ.....	66
46 พื้นที่ติดตั้งหอทำความเย็นบนชั้นดาดฟ้าอาคารเซลล์เฮาส์.....	79
47 บริเวณพื้นที่บนชั้นดาดฟ้าอาคารเซลล์เฮาส์ ภาพ 1.....	79
48 บริเวณพื้นที่บนชั้นดาดฟ้าอาคารเซลล์เฮาส์ ภาพ 2.....	80
49 บริเวณพื้นที่บนชั้นดาดฟ้าอาคารเซลล์เฮาส์ ภาพ 3.....	80
50 บริเวณพื้นที่บนชั้นดาดฟ้าอาคารเซลล์เฮาส์ ภาพ 4.....	81
51 บริเวณพื้นที่บนชั้นดาดฟ้าอาคารเซลล์เฮาส์ ภาพ 5.....	81
52 ตัวอย่างเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์.....	82
53 ตัวอย่างการทำน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์.....	82

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
54 ตัวอย่างการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ภาพ 1.....	83
55 ตัวอย่างการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ภาพ 2.....	83



บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศ การสนับสนุนให้มีการเจริญเติบโตทางธุรกิจอุตสาหกรรม ธุรกิจบริการ รวมทั้งอาคารสำนักงาน ส่งผลให้เกิดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยทรัพยากรสิ้นเปลืองของภาครัฐบาลและเอกชนเป็นการแก้ปัญหาที่รวดเร็วที่สุด แต่ในอนาคตหากยังคงมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น อาจเป็นปัญหาทำให้เกิดการขาดแคลนไฟฟ้าตามมาได้

การค้นคว้าวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน อย่างเช่นการนำระบบพลังงานแสงอาทิตย์มา ใช้กับสถานประกอบการบางลักษณะที่เหมาะสม ซึ่งเป็นอีกทางเลือกที่ช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นข้างต้น ระบบพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระบบที่ผลิตพลังงาน 2 รูปแบบ คือ พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน โดยขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของแต่ละสถานประกอบการ

จากข้อมูลของสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย และคู่มือข้อมูลมาตรฐานด้านภูมิอากาศและแสงอาทิตย์สำหรับใช้งานด้านพลังงานทดแทน ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ปี พ.ศ. 2554 ได้คำนวณปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยของพื้นที่ประเทศไทยมีค่าเท่ากับ $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ พบว่าประเทศไทยมีศักยภาพ และสามารถที่จะใช้ประโยชน์ จากพลังงานแสงอาทิตย์ในด้านพลังงานความร้อนได้เป็นอย่างดี หากมีการนำตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ไปใช้ในระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน โดยมีเป้าหมายเพื่อทดแทน หรือลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ ก็จะเป็นอีกวิธีที่สามารถช่วยลดปัญหาความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นได้

ในธุรกิจอุตสาหกรรม และอาคารสำนักงาน นอกจากพลังงานความร้อน และไฟฟ้าที่ใช้ในการประกอบการแล้วยังต้องการระบบทำความเย็นอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ จะขึ้นอยู่กับระบบการทำความเย็นด้วย การลดภาระทางพลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นจึงควร จะมีการพิจารณาด้วย เพื่อจะทำให้เห็นถึงผลการประหยัดได้อย่างชัดเจน ในปัจจุบันได้มีการพัฒนา ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน มีใช้กันอย่าง แพร่หลายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ เพื่อใช้ในอาคาร และโรงงานโดยใช้พลังงานความร้อน จากกระบวนการผลิตต่างๆ และในปัจจุบันทางกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานยังมิ มีการสนับสนุนเงินเพื่อการลงทุนใน “โครงการส่งเสริมการใช้น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบ ผสมผสาน” (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2550 - 2565)

แม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็นของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนจะน้อยเมื่อเทียบกับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ แต่ข้อดีคือใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า ส่งผลกระทบต่อสถานะแวดล้อมน้อยกว่า เนื่องจากสารทำความเย็นในระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนคือน้ำ ดังนั้นระบบการทำความเย็นแบบดูดกลืนจึงมีความเหมาะสมกับการใช้งานในสภาวะการณ์ปัจจุบัน

งานวิจัยฉบับนี้จะศึกษาระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน เพื่อใช้งานร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอของอาคารเซลล์เฮาส์ เพื่อลดภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเดิมของอาคาร โดยมีการใช้งานระบบปรับอากาศในช่วงเวลาปฏิบัติงาน รวมไปถึงการศึกษาความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ และวิเคราะห์ผลตอบแทนของโครงการ เพื่อเป็นแนวทางการในการศึกษาการใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์สำหรับผู้สนใจ และผู้ที่将会การศึกษาต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ในอาคารสำนักงาน

2.2 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอรบายความร้อนด้วยน้ำ โดยการลดภาระการทำงาน และสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์

2.3 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคและวิศวกรรม และประเมินความเหมาะสมของอาคารเซลล์เฮาส์ ในการนำเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์มาใช้งาน

2.4 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ และประเมินผลตอบแทนจากการลงทุนทำโครงการเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ในอาคารสำนักงาน

3. ขอบเขตงานวิจัย

3.1 ศึกษา รวบรวมข้อมูลจากอาคาร และพื้นที่ที่จะทำการศึกษาโครงการ จัดเก็บข้อมูลที่เป็นในการนำมาวิเคราะห์งานวิจัย

3.2 ศึกษาวิเคราะห์ศักยภาพของอาคารสถานที่ และความเป็นไปได้ที่จะใช้ปริมาณรังสีอาทิตย์ในพื้นที่ที่ศึกษา

3.3 ศึกษาความเหมาะสมทางด้านเทคนิค และวิศวกรรมของโครงการเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ในอาคารเซลล์เฮาส์

3.4 ศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ งบประมาณลงทุนโครงการ ผลตอบแทนจากการลงทุนโครงการ และระยะเวลาคืนทุนจากการดำเนินโครงการ

3.5 เปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ กับเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอโดยการลดภาระการทำงาน

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 ทราบถึงศักยภาพ และความเป็นไปได้ในการนำเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ มาใช้ในอาคารเซลล์เฮาส์

4.2 สามารถใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาการประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็นของอาคารเซลล์เฮาส์ได้

4.4 ทราบถึงความเหมาะสมของสถานที่ การเลือกใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนมาใช้งาน

4.5 เพื่อเป็นแนวทางการในการศึกษาการใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ เพื่อการศึกษาต่อไป



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

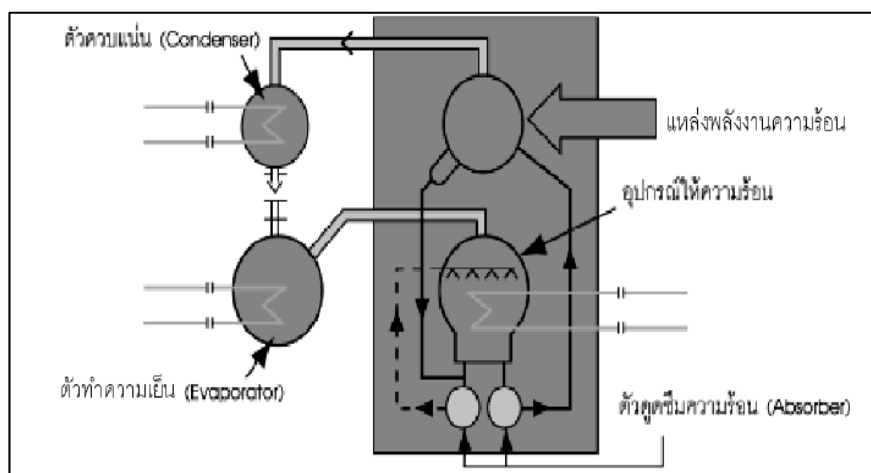
1. ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

การทำความเย็นชนิดดูดกลืนค้นพบโดยชาวฝรั่งเศสชื่อ Ferdinand Carre และได้รับสิทธิบัตรในปี ค.ศ. 1859 จากนั้นสหรัฐอเมริกาได้พัฒนา และสร้างเครื่องทำน้ำแข็ง สำหรับถนอมอาหารโดยอาศัยหลักการเดียวกัน ภาพประกอบ 1 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนในยุคเริ่มต้น ซึ่งยังคงเป็นหลักการเดียวกับเครื่องทำความเย็นชนิดดูดกลืนในปัจจุบัน

ในระบบทำความเย็นและระบบปรับอากาศเดิมที่ใช้กันมาจนถึงปัจจุบันจะอาศัยหลักการของเครื่องกลด้วยระบบแบบอัดไอ ซึ่งต้องใช้พลังงานในรูปของพลังงานกล เพื่อไปขับเคลื่อนให้เกิดการทำงานผ่านทางคอมเพรสเซอร์ (Compressor) ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นวิธีการเพื่อลดการใช้พลังงาน ซึ่งระบบดังกล่าวได้แก่ ระบบแบบดูดกลืน (Absorption) โดยพลังงานที่ต้องการใช้ในระบบเพื่อให้เกิดการทำงานจะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนเป็นส่วนใหญ่ สามารถใช้ความร้อนได้จากหลายแหล่ง เช่น ใช้น้ำจากหม้อไอน้ำ น้ำร้อนจากรังสีอาทิตย์ ความร้อนทิ้งจากระบบต่างๆ เป็นต้น

1.1 ส่วนประกอบหลักของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

- ตัวทำระเหย เป็นตัวทำความเย็น คือ ส่วนที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับน้ำของระบบทำน้ำเย็น เพื่อที่จะนำไปใช้กับระบบเครื่องปรับอากาศ
- ตัวดูดกลืนความร้อน คือสารดูดกลืนความร้อน เป็นส่วนที่บรรจุสารทำความเย็น และตัวทำละลาย เช่น ในกรณีที่เครื่องทำน้ำเย็นใช้สารลิเทียมโบรไมด์ (Lithium Bromide) และน้ำ น้ำจะเป็นสารทำความเย็น และลิเทียมโบรไมด์จะเป็นตัวทำละลาย
- ตัวให้ความร้อน เป็นส่วนที่ให้ความร้อนกับระบบ โดยสารละลายลิเทียมโบรไมด์ จะถูกดูดมาเพื่อรับความร้อน เพื่อให้หน้าที่สารลิเทียมโบรไมด์ดูดกลืนไ้ระเหยกลายเป็นไอ เพื่อให้สารลิเทียมโบรไมด์เข้มข้นขึ้นอีกครั้ง และส่งกลับไปยังตัวดูดกลืนความร้อน
- ตัวควบแน่น เป็นจุดที่ไอน้ำในตัวให้ความร้อน คายความร้อนออกมาแล้วกลั่นตัวเป็นน้ำ เพื่อส่งกลับไปที่ตัวทำความเย็นใหม่อีกครั้ง



ภาพประกอบ 1 ส่วนประกอบหลักของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

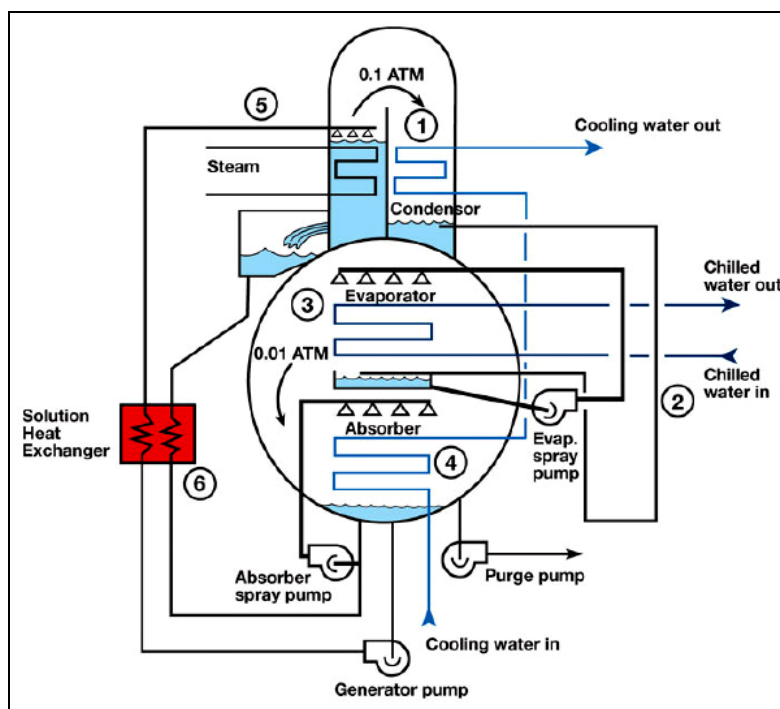
1.2 หลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

- กระบวนการที่ 1 การระเหย เมื่อสารทำความเย็น ที่ความดัน 0.798 kPa มีจุดเดือดที่ 4 °C จะทำหน้าที่ดูดความร้อนจากน้ำเย็นที่ไหลกลับ อุณหภูมิประมาณ 12-14 °C จากภาระต่างๆ มาใช้เป็นความร้อนแฝง เพื่อเปลี่ยนสภาพสารทำความเย็นจากสถานะของน้ำให้กลายเป็นไอ ไหลเข้าสู่กระบวนการที่ 2 ส่วนทำน้ำเย็น ที่ผ่านกระบวนการถ่ายเทความร้อนแล้วอุณหภูมิจะลดลงเหลือประมาณ 5-7 °C แล้วจะถูกส่งกลับไปเพื่อทำหน้าที่รับความร้อนจากภาระต่างๆ ต่อไป

- กระบวนการที่ 2 การดูดกลืน เมื่อสารดูดกลืนเข้มข้นจะถูกดูดเข้าไปทำหน้าที่ดูดซับไอสารทำความเย็น เพื่อรักษาสภาพความดันภายในตัวทำระเหย ให้มีแรงดัน 0.798 kPa ซึ่งจะทำให้กระบวนการที่ 1 สามารถเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง กระบวนการดังกล่าวข้างต้นจะทำให้สารดูดกลืนเจือจางลง และจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการที่ 3 ต่อไป

- กระบวนการที่ 3 การผลิตสารทำความเย็น เมื่อสารดูดกลืนเจือจางที่ถูกส่งเข้าไปในตัวให้ความร้อน เมื่อโดนความร้อนจะทำให้สารดูดกลืนแยกตัวจากน้ำ และเปลี่ยนสภาพจากสารดูดกลืนเจือจาง กลับมาเข้มข้นอีกครั้งหนึ่ง ก่อนจะถูกส่งกลับไปทำหน้าที่ดูดกลืนความร้อนจากน้ำในกระบวนการต่อไป

- กระบวนการที่ 4 การควบแน่น เมื่อน้ำถูกแยกออกจากสารดูดกลืนจะถูกทำให้เย็นโดยน้ำจากหอระบายความร้อน ทำให้เกิดการควบแน่นกลายเป็นของเหลวแล้วไหลกลับไปยังกระบวนการที่ 1 เพื่อให้วงจรดำเนินการอย่างต่อเนื่อง



ภาพประกอบ 2 วงจรหลักการทำงานของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนชั้นเดียว

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

1.3 สารคู่ผสมที่ใช้เป็นสารละลายในการทำ ความเย็นในระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน

- แอมโมเนีย-น้ำ โดยแอมโมเนียเป็นสารทำความเย็น ส่วนน้ำเป็นตัวดูดกลืน สำหรับระบบนี้จะมีชุดกลั่นสารทำความเย็นคอยดักน้ำ หรือหน่วยแยกน้ำ ความดันในระบบสูงกว่าบรรยากาศ สามารถตรวจหารอยรั่วได้ง่าย อุณหภูมิการทำงานได้ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำใช้ อุณหภูมิในการแยกสารละลายไม่สูงนัก สามารถนำพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์มาใช้งานได้ สารละลายมีราคาถูกหาซื้อได้ง่ายแต่เป็นพิษต่อมนุษย์ (ในกรณีที่มีการรั่วซึม) จึงต้องใช้ระบบทำความเย็นด้วยน้ำ มีค่าความร้อนแฝงในการระเหยสูงต้องใช้แหล่งความร้อนในการแยกสารละลายมาก มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ ต้องมีอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้พื้นที่สมรรถนะในการทำ ความเย็นต่ำ เมื่อเทียบกับระบบที่ใช้สารละลายชนิดอื่น

- ลิเทียมโบรไมด์-น้ำ โดยน้ำเป็นสารทำความเย็น ส่วนลิเทียมโบรไมด์เป็นสารดูดกลืน สารละลายต้องทำงานที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศมาก จึงต้องระวังการรั่วซึมของอากาศภายนอกไหลเข้าสู่ระบบ มีค่าความร้อนแฝงกลายเป็นไอน้ำต่ำ จึงไม่ใช้พลังงานความร้อนแฝงในการแยกน้ำออกจากสารละลายมากนัก สามารถนำพลังงานจากดวงอาทิตย์มาใช้ได้เป็นอย่างดี มีค่าการนำความร้อนสูงจึงใช้พื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนน้อย แต่ลิเทียมโบรไมด์สามารถตกผลึกได้ง่าย หากอุณหภูมิของสารละลายในเครื่องแยกสูงเกินไปไม่สัมพันธ์กับอัตราการไหลเวียน และความเข้มข้น

ของสารละลายจะแปรผกผันกับอัตราการดูดกลืน ประสิทธิภาพการดูดกลืนของสารละลายจะต่ำลง ถ้าการระบายความร้อนภายในเครื่องดูดกลืนไม่ดีพอ สารลิเทียมโบรไมด์มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน เนื่องจากจะไม่ระเหยกลายเป็นไอ แต่ราคาจะค่อนข้างสูงและหาซื้อได้ยาก ลิเทียมโบรไมด์จะทำปฏิกิริยากับเหล็กจึงควรใช้วัสดุชนิดอื่นแทน

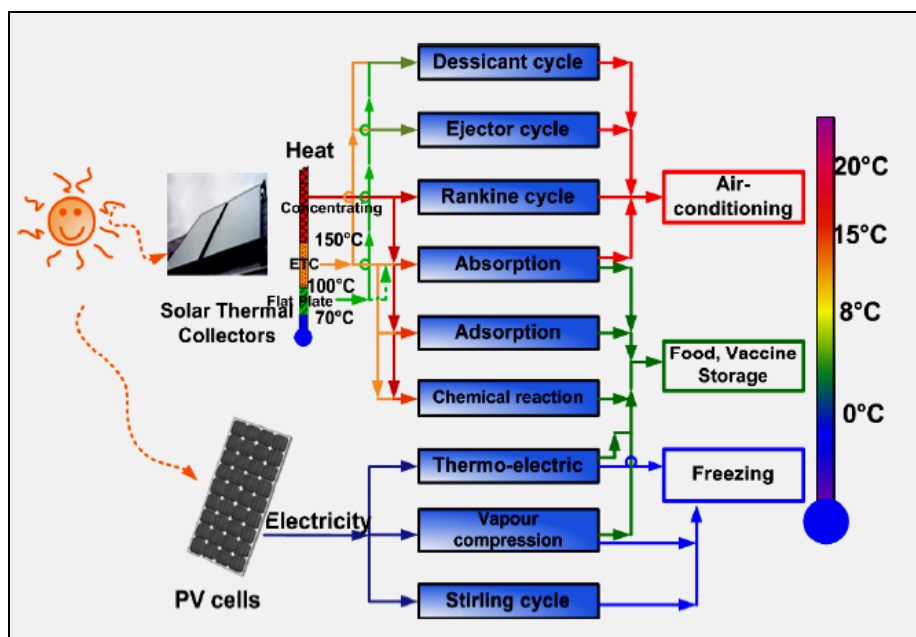
- น้ำ-สารละลายเกลือไฮโดรซโคฟิค โดยน้ำเป็นสารทำความเย็น ส่วนสารละลายเกลือไฮโดรซโคฟิคเป็นสารดูดกลืน โดยสารละลายที่มีหลายชนิด เช่น คลอไรด์ โบรไมด์ ไอโอไดซ์ สารลิเทียม แมกนีเซียม แคลเซียม และสังกะสี เป็นต้น

ซึ่งสารที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ลิเทียมโบรไมด์จะใช้งานได้ดีที่สุด เนื่องจากในสถานะสารละลายมีค่าความเป็นกรด-ด่างมากกว่า 7 เล็กน้อยซึ่งสามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ง่ายกว่าเกลือแมกนีเซียม แคลเซียม หรือสังกะสี อีกทั้งโบรไมด์ของลิเทียมให้ค่าความดันไอของสารละลายต่ำกว่าพวกคลอไรด์หรือไอโอไดต์ ส่วนคุณสมบัติอื่นๆจะมีค่าใกล้เคียงกัน คือ ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ ไม่ติดไฟ แต่ต้องทำงานในระบบที่ต่ำกว่าบรรยากาศและอุณหภูมิของชุดทำความเย็นจะต่ำไม่เกิน 40 °F (4.44 °C) เนื่องจากใกล้จะถึงจุดเยือกแข็งของน้ำ

โดยปกติเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนที่ใช้สารทำงานเป็นลิเทียมโบรไมด์น้ำจะใช้อุณหภูมิประมาณ 70 – 100 °C และค่า COP อยู่ระหว่าง 0.6 ถึง 0.8 ส่วนเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนชนิดวัฏจักรเดี่ยวที่ใช้สารทำงานเป็นแอมโมเนียกับน้ำต้องการอุณหภูมิของน้ำร้อนประมาณ 130 – 180 °C ค่า COP ประมาณ 1.2 (Antonio J. Bula et al. (2000))

1.4 การนำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในระบบทำความเย็น

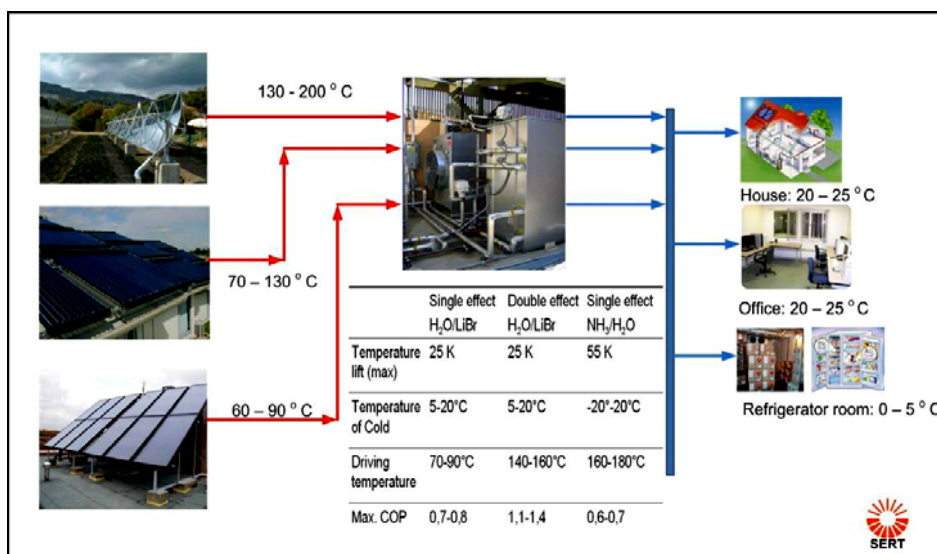
เทคโนโลยีการนำพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตน้ำร้อน เพื่อใช้ในระบบทำความเย็นในปัจจุบันมีหลายเทคโนโลยีดังภาพประกอบ 3 ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีมีทั้งจุดเด่นจุดด้อยแตกต่างกัน หากพิจารณาถึงความเหมาะสมของเทคโนโลยี ระบบทำความเย็นด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ เป็นระบบที่ใช้ความร้อนเป็นพลังงานในการขับเคลื่อนระบบ และมีความน่าสนใจมากกว่าเทคโนโลยีทำความเย็นชนิดอื่นๆ



ภาพประกอบ 3 เทคโนโลยีระบบทำความเย็นด้วยรังสีอาทิตย์

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

การนำพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในระบบทำความเย็น สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบตามความต้องการของผู้บริโภค เช่น การปรับอากาศในอาคารที่ต้องการอุณหภูมิและความชื้นอยู่ในช่วงความสบายของมนุษย์ที่มีอุณหภูมิประมาณ 20 – 28 °C และการทำความเย็นสำหรับถนอมอาหารที่ต้องการอุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 0 – 5 °C ซึ่งในการเลือกเทคโนโลยีให้มีความเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการใช้งานมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะเครื่องทำความเย็นแต่ละชนิดมีความสามารถแตกต่างกัน และต้องการอุณหภูมิในการขับเคลื่อนระบบต่างกัน ตัวอย่างระบบทำความเย็นด้วยพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันสามารถแสดงดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 การประยุกต์ใช้งานระบบทำความเย็นด้วยรังสีอาทิตย์

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

2. ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Solar Collector)

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนรูปแบบหนึ่ง ซึ่งสามารถเปลี่ยนรังสีอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของพลังงานความร้อน และถ่ายเทความร้อนให้แก่ของไหลที่ไหลผ่าน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ มีความแตกต่างจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั่วไป โดยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลและของไหล

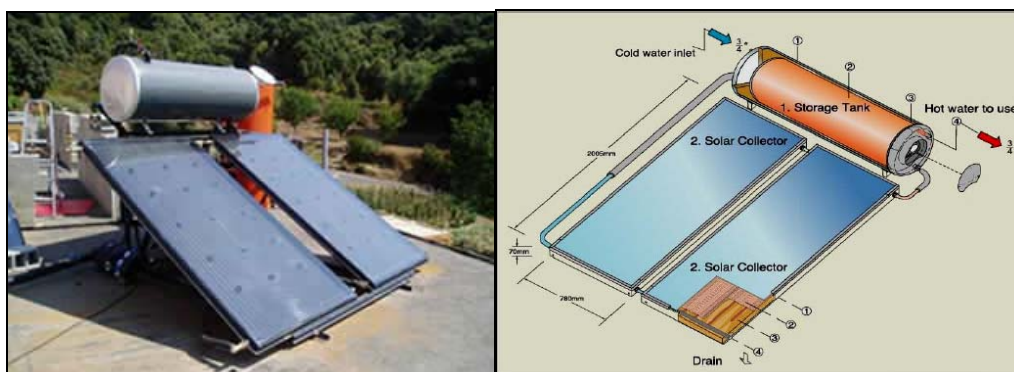
เทคโนโลยีระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ เป็นการผลิตน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ระบบทำน้ำร้อนโดยใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ระบบจะประกอบด้วย สองส่วนหลักๆ คือ ถังเก็บน้ำร้อน และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งปัจจุบันมีจำหน่ายในท้องตลาด 2 ชนิดคือ ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ (Flat-plate collector) ดังภาพประกอบ 5 และ ชนิดหลอดแก้วสุญญากาศ (Evacuated-tube collector) ดังภาพประกอบ 6

ข้อดีตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบนี้คือ ไม่ต้องมีระบบติดตามดวงอาทิตย์ และ ไม่ต้องการบำรุงรักษามากนัก เพราะระบบกลไกการทำงานไม่ซับซ้อน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีอุปกรณ์ประกอบดังนี้

- แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ทาสีดำ ซึ่งจะถ่ายเทรังสีอาทิตย์ที่ดูดไว้ให้แก่ของไหล โดยส่วนมากทำจากแผ่นทองแดงหรืออลูมิเนียม
- แผ่นปิดโปร่งแสง ติดตั้งไว้ด้านบนแผ่นดูดกลืนแสงอาทิตย์ จะช่วยลดการสูญเสียความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ออกนอกระบบ โดยการพาและแผ่พลังงานความร้อน

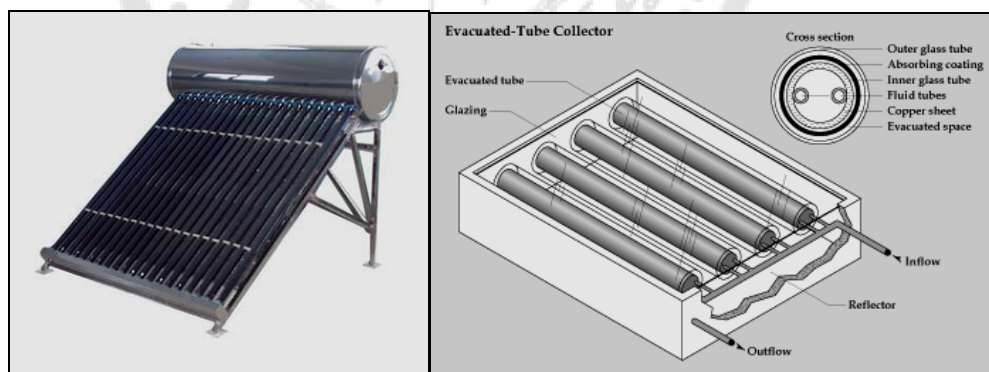
- ตัวถังด้านล่างบุด้วยฉนวนกันความร้อนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนจากการนำความร้อน โดยฉนวนที่ใช้มีอยู่หลายชนิดด้วยกัน เช่น ฉนวนใยแก้ว โพลียูรีเทน เป็นต้น

เมื่อแสงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านฝาปิดโปร่งแสงซึ่งเป็นกระจก หรือพลาสติกใสจะถูกดูดกลืนโดยแผ่นดูดกลืนแสงอาทิตย์ และจะถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับของไหลในท่อซึ่งเป็นของเหลวหรือแก๊ส ทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้



ภาพประกอบ 5 ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ

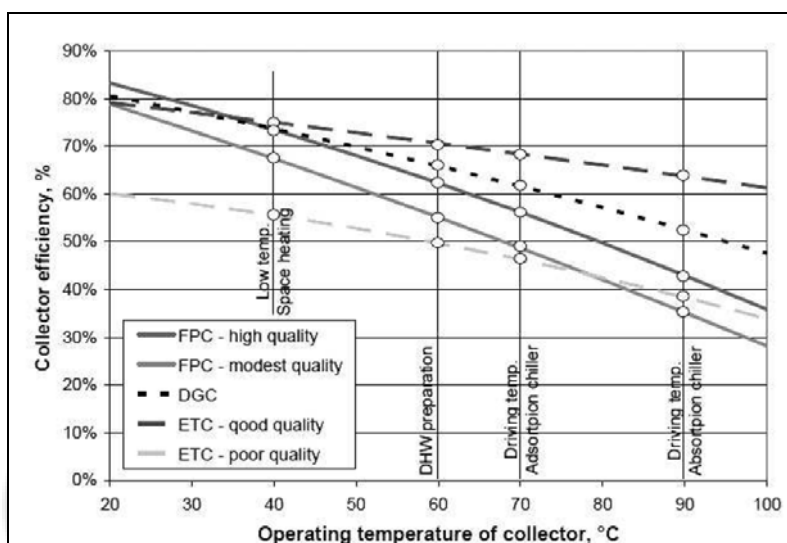
ที่มา: สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน



ภาพประกอบ 6 ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ

ที่มา: สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ในระบบการทำความเย็นชนิดดูดกลืน ต้องการอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ชนิดแผ่นราบประสิทธิภาพสูง และชนิดหลอดสุญญากาศประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสามารถผลิตน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 70-100 °C ได้โดยที่มีประสิทธิภาพของแผงประมาณ 50-90% ดังภาพประกอบ 7 จะแสดงถึงค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้น และแสดงถึงน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 °C เหมาะกับการขับเคลื่อนเครื่องทำความเย็นชนิดดูดกลืน

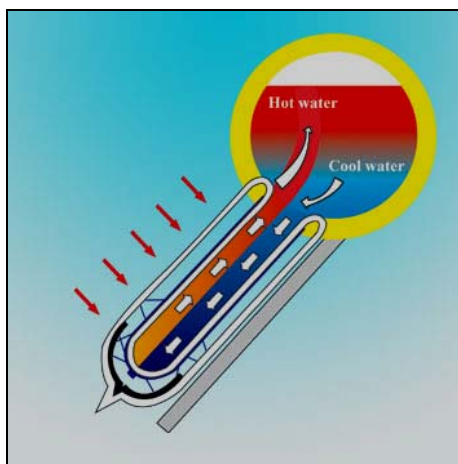


ภาพประกอบ 7 ประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดต่างๆ

ที่มา: สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
เมื่อ FPC คือ Flat-plate collector DGC คือ Double-glazed collector ETC คือ Evacuated-tube collector

เนื่องจากระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนนี้ มีความต้องการอุณหภูมิที่สูง ดังนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูง ซึ่งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดนี้ มี 2 ระบบ คือ

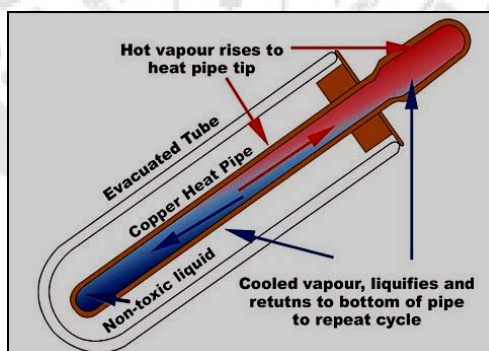
- ระบบไหลเวียนตามธรรมชาติ ทำงานโดยการหมุนเวียนของน้ำร้อนภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ คือ เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูงจะลอยตัวขึ้นไปอยู่ด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะไหลลงไปยังด้านล่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยปัจจัยหลักจะอยู่ที่การทำงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดนี้คือ ปริมาณรังสีอาทิตย์ และเวลาในการเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งระบบนี้อาจต้องใช้แหล่งพลังงานเสริม อาจจะเป็นไฟฟ้า หรือเชื้อเพลิงอื่นๆ มาช่วยในการทำน้ำร้อนในระบบ ดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศระบบไหลเวียนตามธรรมชาติ

ที่มา: บริษัท ราโวเทค จำกัด

● ระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ระบบนี้ไม่ได้พึ่งการไหลเวียนตามธรรมชาติของน้ำเพียงอย่างเดียว แต่ใช้น้ำยาซึ่งทำหน้าที่เร่ง และดูดซับความร้อนรังสีอาทิตย์ ทำให้ได้น้ำร้อนที่เร็วขึ้นแม้รังสีอาทิตย์จะอ่อนหรืออากาศที่เย็น ในระบบนี้จะใช้รังสีอาทิตย์เป็นหลัก โดยที่ไม่ต้องมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาช่วยเหมือนระบบไหลเวียนอื่นๆ



ภาพประกอบ 10 ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศมีท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

ที่มา: บริษัท ราโวเทค จำกัด

ดังนั้นในการเลือกใช้ในการทำวิจัยนี้จึง เลือกใช้ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศมีท่อแลกเปลี่ยนความร้อนภายใน ซึ่งสามารถทำอุณหภูมิโดยเฉลี่ยได้ตามที่เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนต้องการ

3. ถังเก็บน้ำร้อน

ถังเก็บน้ำร้อนที่ใช้เก็บกักความร้อน สามารถใช้ได้ทั้งวัสดุที่เป็นเหล็ก ที่มีการป้องกันสนิม เช่น การเคลือบสีกันสนิม หรือสแตนเลส (Stainless Steel) ที่สามารถทนต่อสภาพอากาศ และการกัดกร่อนของน้ำได้ดี มีการหุ้มฉนวนเก็บความร้อนและเป็นถังแบบระบบปิดที่สามารถทนแรงดันได้

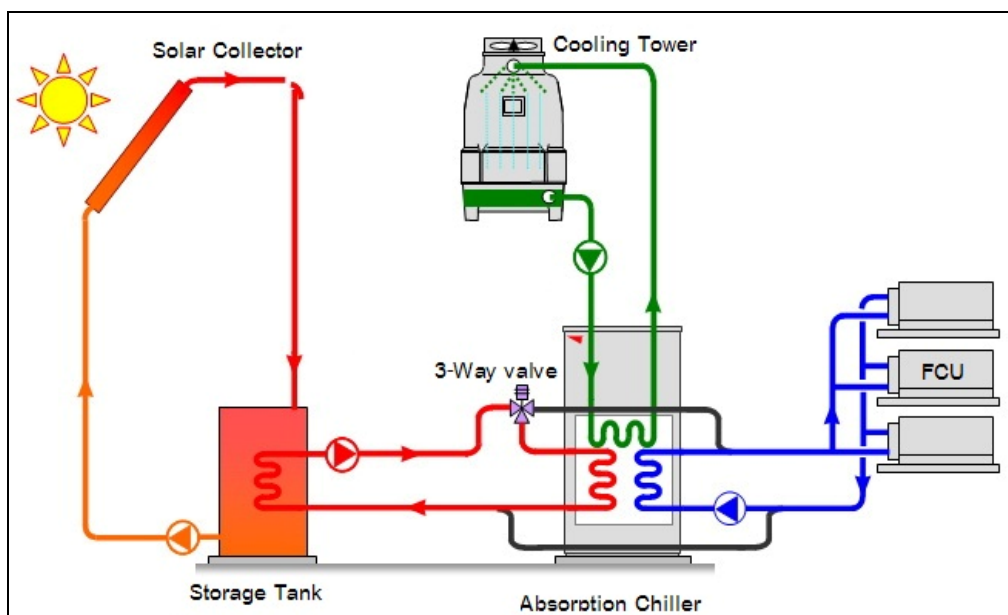
โดยทั่วไปปริมาณน้ำร้อนในถังเก็บ สามารถนำมาใช้งานเพื่อสำรองปริมาณน้ำหมุนเวียน หรือใช้ในกรณีที่ไม่มีพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์แล้ว แต่ในกรณีที่ทำการศึกษาคะเลือกเวลา ใช้งาน 8 ชั่วโมง (09.00 – 17.00 น.) ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ยังมีรังสีอาทิตย์ และมีการใช้งานหมุนเวียน น้ำร้อนในระบบอยู่ตลอดเวลา ทำให้ไม่ต้องออกแบบให้มีปริมาณน้ำร้อนเก็บสำรองขนาดใหญ่มาก ซึ่งข้อกำหนดในการออกแบบถังเก็บน้ำร้อนมี รายละเอียดดังนี้

- ส่วนบนของถังน้ำร้อนติดตั้งท่อจ่ายน้ำร้อนไปสู่จุดใช้งาน
- ส่วนกลางของถังติดตั้งท่อน้ำร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ส่วนล่างของถังติดตั้งท่อเติมน้ำและท่อน้ำหมุนเวียนเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์
- ติดตั้งวาล์วเปิด/ปิด ที่ท่อน้ำที่ต่อเข้าถังทั้งหมดและวาล์วระบายน้ำทิ้งที่ก้นถัง
- หุ้มฉนวนถังน้ำร้อน และท่อน้ำร้อนตลอดทั้งเส้น
- ติดตั้งมาตรวัดน้ำที่ท่อน้ำเย็นเข้าถังเก็บน้ำร้อน
- ติดตั้งมาตรวัดอุณหภูมิที่ท่อจ่ายน้ำร้อนไปยังห้องพักต่าง ๆ
- ติดตั้งวาล์วนิรภัยที่ส่วนบนของถังน้ำร้อน เพื่อป้องกันแรงดันเกินภายในถัง
- ติดตั้งระบบท่อระบายอากาศที่ท่อส่งน้ำร้อน

4. ระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์

ประเทศไทยมีการใช้งานรังสีอาทิตย์ ในรูปของความร้อนและการผลิตไฟฟ้า แต่การใช้เครื่องทำความเย็นและการปรับอากาศโดยใช้ความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ในอุตสาหกรรมและอาคาร ยังไม่แพร่หลาย การใช้งานเครื่องทำความเย็นในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์จำเป็นต้องแหล่งความร้อนสะสมน้ำร้อน และมีแหล่งพลังงานสำรอง เช่น ฮีทเตอร์ไฟฟ้า หม้อต้มน้ำ เป็นต้น แหล่งพลังงานสำรองนี้ จำเป็นต้องทำความร้อนให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิมีค่าสูงพอสำหรับการแยกสารละลาย หรือการคายความชื้น ในกรณีเครื่องทำความเย็นชนิดดูดกลืน คืออุณหภูมิประมาณ 90-95 °C

การนำความร้อนจากรังสีอาทิตย์ เพื่อนำน้ำร้อนมาใช้ขับเคลื่อนเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน จะต้องใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่สามารถผลิตน้ำร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 90-95 °C ระบบทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนด้วยรังสีอาทิตย์เพื่อการปรับอากาศ มีรายละเอียดดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 ระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนด้วยระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์

ที่มา: สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

การหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP) ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้รังสีอาทิตย์ สามารถหาได้ดังนี้

$$COP = \frac{Q_e}{Q_s}$$

เมื่อ

COP คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ

Q_e คือ ความสามารถทำความเย็นของเครื่องทำความเย็น, Watt

Q_s คือ ความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์, Watt

5. เครื่องมือวัดรังสีอาทิตย์

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน สถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์สำหรับประเทศไทย และคู่มือข้อมูลมาตรฐานด้านภูมิอากาศและแสงอาทิตย์สำหรับใช้งานด้านพลังงานทดแทน ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ปี พ.ศ. 2554 ได้คำนวณรังสีรวมของแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศไทยพบว่ามีค่าเท่ากับ $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ เพื่อให้ได้รับข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มีความละเอียดถูกต้องและสามารถตอบสนองต่อความต้องการในการวิจัย พัฒนาและประยุกต์ใช้รังสีอาทิตย์ของประเทศไทย

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจตรวจวัดได้แก่ เครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ เป็นการวัดรังสีรวมของความเข้มแสงอาทิตย์ เครื่องมือที่ใช้เรียกว่า ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) ซึ่งปัจจุบันที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานใช้วัดมี 2 ชนิด คือ

- เครื่องไพราโนมิเตอร์ แบบ Thermomechanical Sensor หรือแบบ Bimetallic ซึ่งมีตัววัดเป็นแถบโลหะ 2 แถบ โดยแถบหนึ่งเป็นสีขาว และอีกแถบหนึ่งเป็นสีดำ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบแถบสีดำจะดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ และขยายตัวได้มากกว่าแถบสีขาว แรงที่เกิดจากการขยายตัวดังกล่าวจะไปขับเคลื่อนหัวปากกาให้บันทึกข้อมูลเป็นลายเส้นลงบนกระดาษกราฟ ซึ่งพันธมิตรรอบกระบอกกลมที่มีการขับเคลื่อนด้วยระบบไขลาน หรือระบบนาฬิกาใช้แบตเตอรี่



ภาพประกอบ 12 เครื่องไพราโนมิเตอร์ แบบ Thermomechanical Sensor

- เครื่องไพราโนมิเตอร์ แบบ Thermoelectric Sensor หรือแบบ Thermopile ซึ่งมีตัววัดทำด้วยโลหะ 2 ชนิด ซึ่งเชื่อมปลายทั้งสองติดกันโดยปลายข้างหนึ่งทำหน้าที่เป็น จุดรับความร้อน และอีกข้างหนึ่งเป็นจุดรับความเย็น เมื่อจุดรับความร้อนได้รับรังสีอาทิตย์ตกกระทบจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของจุดรับทั้งสอง และก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นในวงจรที่

ประกอบด้วยโลหะทั้งสองจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำไปคำนวณหาความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบได้



ภาพประกอบ 13 เครื่องไพราโนมิเตอร์ แบบ Thermolectric Sensor

6. การศึกษาความเป็นไปได้

การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการมีวัตถุประสงค์ในการจัดหาข้อมูลที่เพียงพอต่อการตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่ และมีขอบข่ายครอบคลุมถึงการศึกษาวิเคราะห์ในด้านต่างๆ สามารถวิเคราะห์หลักได้ดังนี้

1. การวิเคราะห์ด้านเทคนิคและวิศวกรรม

เป็นการศึกษาด้านเทคนิคหรือวิศวกรรม เพื่อประเมินหาเทคโนโลยีที่ดี ประหยัด และเหมาะสมกับการใช้งาน รวมทั้งทราบถึงปริมาณวัตถุดิบที่เพียงพอ แหล่งวัตถุดิบที่เหมาะสม ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาด้านการเงินในส่วนค่าใช้จ่ายของโครงการต่อไป

2. การวิเคราะห์ด้านการเงิน

เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในด้าน เงินลงทุนโครงการ รวมไปถึงการวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงิน เพื่อที่จะได้ทำการศึกษาและพิจารณาในการทำโครงการต่อไป ได้แก่

- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลการประหยัดต้นทุน พลังงาน จากมาตรการ ในรูปตัวเงินที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปี ตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของเงิน ที่จ่ายออกไป ภายใต้ โครงการที่กำลังพิจารณา ณ อัตราลด

ค่า (discount rate) หรือค่าของทุน (cost of capital) ที่กำหนดจากค่านิยามข้างต้น การคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ จะต้องทราบข้อมูลดังนี้

1. กระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิ
2. กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีตลอดอายุโครงการ
3. ระยะเวลาของโครงการ
4. อัตราลดค่าหรือค่าของทุนของธุรกิจ

จากสูตร

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0$$

โดยที่

- n = อายุของโครงการ (ปี)
 ES_t = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n
 I_0 = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ
i = อัตราลดค่า

ค่าของทุนที่ใช้เป็นอัตราลดค่าจะมีค่าเดียวกันตลอดอายุโครงการ และขึ้นอยู่กับอัตราดอกเบี้ยของตลาดที่ลงทุนอยู่ ซึ่งอย่างน้อยควรมีค่าของทุนเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำที่ผู้ลงทุนได้รับ ในการเลือกโครงการ ค่า NPV จะแสดงให้เห็นว่าโครงการที่กำลังพิจารณา มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ ของการลงทุนเป็นมูลค่าเท่าไรเมื่อสิ้นสุดโครงการ ถ้าค่า NPV มีค่าเป็นบวกแสดงว่าโครงการดังกล่าว สมควรที่จะลงทุน และเลือกโครงการที่ให้ค่า NPV เป็นบวกสูงที่สุด แต่การใช้ NPV เพียงอย่างเดียวอาจทำให้มีข้อจำกัดในการตัดสินใจเลือกโครงการได้ ในกรณีที่โครงการมีขนาดต่างกัน แต่ให้ค่า NPV ที่เป็นบวกเท่ากัน ดังนั้น การตัดสินใจให้การสนับสนุน ควรจะต้องนำเครื่องมืออื่นมาประกอบการพิจารณาควบคู่ไปด้วย

● อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) หมายถึง การคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่จะได้รับการลงทุนโครงการ อัตราผลตอบแทนนี้จะเป็นอัตราที่ทำให้ค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 0 หรือผลตอบแทนที่ได้รับเท่ากับเงินลงทุนครั้งแรก สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$I_0 - \sum_{t=1}^n \frac{ES_t}{(1 + IRR)^t} = 0$$

โดยที่

- n = อายุของโครงการ (ปี)
 ES_t = ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n
 I₀ = เงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ
 IRR = อัตราผลตอบแทนภายใน
 (ภายใต้ข้อสมมติว่าไม่มีมูลค่าซากและเงินลงทุนสุทธิเท่ากับต้นทุนทางบัญชี)

การคำนวณหาค่า IRR ก็คือการหา ค่าอัตราลดค่า ที่ทำให้ NPV มีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นเอง ถ้าค่า IRR มากกว่า หรือเท่ากับ ค่าอัตราลดค่า ที่ผู้ลงทุนเลือกใช้เป็นจุดตัดสินใจ ก็ถือได้ว่าโครงการดังกล่าว เป็นโครงการที่น่าลงทุน โดยทั่วไปแล้วทั้งวิธีในการประเมินโครงการจากค่า IRR และ NPV จะให้ผลการตัดสินใจรับโครงการ หรือปฏิเสธโครงการ เป็นไปในทำนองเดียวกัน

● ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) คือ ระยะเวลา (เป็นจำนวนปี /เดือน หรือวัน) ที่กระแสเงินสดรับจากโครงการ สามารถชดเชยกระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการพอดี เนื่องจากโครงการที่ขอรับการสนับสนุน จะมีลักษณะการลงทุนเพียงครั้งเดียวในปีแรก และให้ผลตอบแทนที่เท่ากันทุกปี หาได้จาก

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{ต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี}}$$

ระยะเวลาคืนทุน จะแสดงให้เห็นว่าต้องใช้เวลานานเพียงใดในการได้ทุนคืน ถ้าสามารถได้ทุนคืนเร็วโครงการก็จะน่าสนใจ วิธีนี้มีข้อเสียคือ จะไม่ให้ความสนใจถึงเงินเข้าสุทธิในส่วนที่ได้หลังจากช่วงเวลาคืนทุนแล้ว ซึ่งอาจจะมีผลตอบแทนภายหลังมากกว่าโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็วก็ได้

● การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis) คือ การวิเคราะห์ปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบต่อต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการ ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ จะทำให้ผู้ประเมินโครงการทราบว่า หากมีตัวแปรใดที่ไม่เป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้จะมีผลกระทบต่อผลตอบแทนสุทธิของโครงการอย่างไรบ้าง เพื่อที่จะได้หาแนวทางในการควบคุมป้องกันตัวแปรต่างๆ เหล่านั้นเพื่อให้การดำเนินงานของโครงการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะแสดงให้เห็นว่าโครงการมีความคล่องตัว และทนต่อ

ความเสี่ยงได้มากน้อยแค่ไหน วิธีการวิเคราะห์ความอ่อนไหวมีขั้นตอนเหมือนกับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการโดยสมมุติให้มีการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เช่น ถ้าอัตราเงินเฟ้อเพิ่มสูงขึ้นมีผลกระทบต่อราคาวัตถุดิบทำให้ต้นทุนสินค้าเพิ่มขึ้น เป็นต้น โดยการวิเคราะห์ความอ่อนไหวจะกำหนดให้ปัจจัยทางด้านต้นทุนและผลตอบแทนเปลี่ยนแปลง โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 คำนวณค่าตามเกณฑ์การตัดสินใจลงทุนที่เลือกพิจารณาไว้ จากข้อมูลของโครงการ

ขั้นที่ 2 พิจารณาตัวแปรสำคัญของโครงการว่ามีตัวแปรอะไรบ้างที่เมื่อเปลี่ยนแปลงแล้วจะส่งผลกระทบต่อผลตอบแทนของโครงการ ตัวแปรเหล่านี้ส่วนมาก ได้แก่ ปริมาณขาย ราคาขาย ต้นทุนค่าก่อสร้าง เป็นต้น

ขั้นที่ 3 กำหนดร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆ จากขั้นที่ 2 ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น เช่น หากราคาขายเพิ่มขึ้น หรือลดลงจากข้อมูลพื้นฐาน ร้อยละ 5 ร้อยละ 10

ขั้นที่ 4 นำตัวแปรที่ควรพิจารณาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงมาคำนวณว่า ถ้า ค่าของตัวแปรดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราร้อยละที่พิจารณาไว้ในขั้นที่ 3 โดยตัวแปรอื่นมีค่าคงที่ ค่าของ NPV และ IRR หรือเกณฑ์การตัดสินใจเลือกลงทุนหลักๆ จะเป็นเท่าใด

ขั้นที่ 5 นำข้อมูลที่ได้จาก ขั้นที่ 4 มาทำการสรุปรวมเป็นตาราง หรือสร้างกราฟ แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวที่พิจารณากับค่า NPV ว่ายังคงมีค่ามากกว่า 0 และ IRR ยังคงมีค่ามากกว่าอัตราคิดลดของโครงการหรือไม่ เพื่อวิเคราะห์และตัดสินใจเลือกลงทุน และสรุปถึงความเสี่ยงของโครงการ

7. อัตราค่าไฟฟ้า

อัตราค่าไฟฟ้ากลุ่มลูกค้าอุตสาหกรรม ลักษณะการใช้สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุด ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือ มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

วิธีการคำนวณอัตราค่าไฟฟ้าในกลุ่มอุตสาหกรรม แบ่งตามขนาดของกิจการ ดังนี้

● ประเภทที่ 2

- กิจการขนาดเล็ก อัตรา 2.1 (อัตราปกติแบบอัตราก้าวหน้า)
- กิจการขนาดเล็ก อัตรา 2.2 (อัตรา TOU)

- ประเภทที่ 3

- กิจการขนาดกลาง อัตรา 3.1 (อัตราปกติ แบบ Two-Part Tariff)
- กิจการขนาดกลาง อัตรา 3.2 (อัตรา TOU)

- ประเภทที่ 4

- กิจการขนาดใหญ่ อัตรา 4.1 (อัตรา TOD)
- กิจการขนาดใหญ่ อัตรา 4.2 (อัตรา TOU)

การคำนวณอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ มีรายละเอียดดังตาราง 1 และ 2

ตาราง 1 อัตราค่าไฟฟ้าในอัตรา 4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (TOD)

อัตรา 4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Tariff : TOD Tariff)					
	ค่าความต้องการไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Partial Peak	Off Peak	ทุก ช่วงเวลา	
4.1.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	224.30	29.91	0	2.6506	312.24
4.1.2 แรงดัน 12 - 24 กิโลโวลต์	285.05	58.88	0	2.6880	312.24
4.1.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	332.71	68.22	0	2.7160	312.24

ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง (2558)

On Peak : เวลา 18.30 - 21.30 น. ของทุกวัน

Partial Peak : เวลา 08.00 - 18.30 น. ของทุกวัน คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเฉพาะส่วนที่เกินจากช่วง On Peak

Off Peak : เวลา 21.30 - 08.00 น. ของทุกวัน ไม่คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า

ความต้องการพลังไฟฟ้า : ความต้องการพลังไฟฟ้าแต่ละเดือน คือ ความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ ให้ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไป คิดเป็น 1 กิโลวัตต์

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอคทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์ เกิน

กว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแควตฟิเจลิยใน 15 นาที่ที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์ แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรา กิโลวาร์ละ 56.07 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น เศษของกิโลวาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ ให้ตัดทิ้งตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

ตาราง 2 อัตราค่าไฟฟ้าในอัตรา 4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU)

	ค่าความต้องการไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak	
4.2.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	74.14	0	3.5982	2.1572	312.24
4.2.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	132.93	0	3.6796	2.1760	312.24
4.2.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	0	3.8254	2.2092	312.24

ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง (2558)

On Peak : เวลา 09.00 - 22.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์

Off Peak : เวลา 22.00 - 09.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์

: เวลา 00.00 - 24.00 น. วันเสาร์ - วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันพืชมงคลและวันหยุดชดเชย)

ความต้องการพลังไฟฟ้า : ความต้องการพลังไฟฟ้าแต่ละเดือน คือ ความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน 15 นาที่ที่สูงสุดในช่วงเวลา On Peak ในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ ให้ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไป คิดเป็น 1 กิโลวัตต์

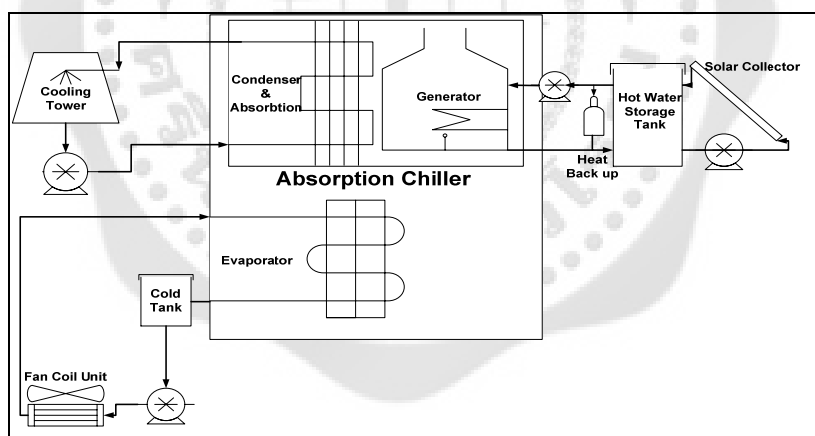
ค่าไฟฟ้าค่าสุด : ค่าไฟฟ้าค่าสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้าแควตฟิเจลิยใน 15 นาที่ที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์ เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแควตฟิเจลิยใน 15 นาที่ที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์ แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในอัตรา กิโลวาร์ละ 56.07 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น เศษของกิโลวาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ ให้ตัดทิ้งตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

8. ข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ameri and Hejazi. (2004) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงระบบผลิตไฟฟ้าแบบใช้กังหันแก๊สของโรงไฟฟ้าในคาบาหลี (Chabahar) ประเทศอิหร่าน โดยใช้ระบบการทำความเย็นแบบดูดกลืน (Absorption Chiller System) ที่ใช้พลังงานส่วนหนึ่งจากความร้อนทิ้งของก๊าซร้อนทิ้งในกระบวนการผลิตไฟฟ้าแบบกังหันแก๊ส โดยความร้อนจะถูกนำไปผลิตไอน้ำก่อนที่จะเข้าสู่ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน เพื่อทำให้อากาศเย็นก่อนเข้าสู่กังหันแก๊ส ผลจากการปรับปรุงระบบการผลิตไฟฟ้าขนาด 100 MW ซึ่งสามารถเพิ่มผลผลิตได้ 11% โดยผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น 14,000 MWh/Yr และจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์มีผลตอบแทน IRR เท่ากับ 23.4 % และคืนทุนในระยะเวลา 4.2 ปี

Florides, G.A. et al. (2002) ได้ทำการสร้างแบบจำลองของระบบการทำความเย็นแบบดูดกลืนที่มีตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เป็นแหล่งให้พลังงานร่วมกับน้ำร้อนจากหม้อต้มน้ำ ในกรณีที่มีพลังงานความร้อนไม่เพียงพอ ซึ่งต้องการพลังงานความร้อนในการทำความเย็น 11 kW ดังแสดงในภาพประกอบ 18 เพื่อทำการออกแบบให้เหมาะสมที่สุดในการทำความเย็นขนาด 17,600 MW hr/yr ให้แก่ห้องปรับอากาศขนาดกว้าง 14 m x ยาว 14 m x สูง 3 m โดยจะพิจารณาในแต่ละส่วนประกอบของระบบ คือ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ถังเก็บน้ำ และชุดทำความเย็นแบบดูดกลืน



ภาพประกอบ 14 วัฏจักรระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนร่วมกับการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ที่มา: Florides, G.A. et al. (2002)

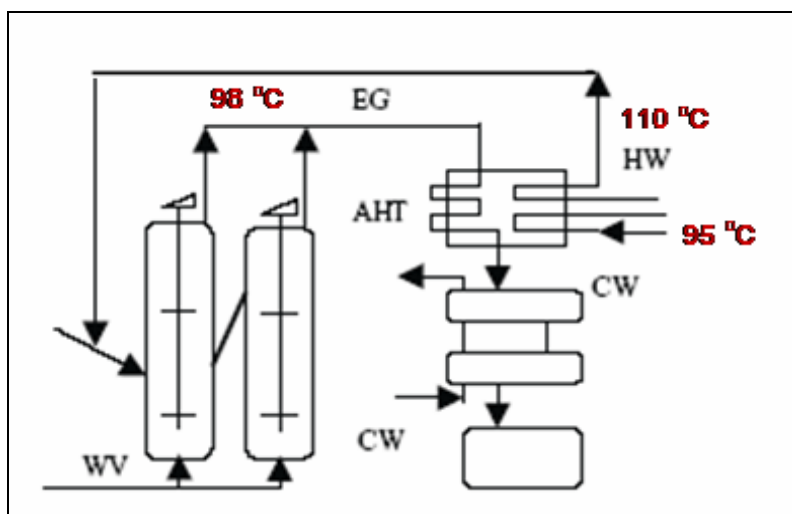
ซึ่งผลการวิจัยสามารถสรุปได้ ดังนี้ จากการทดลองใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผิวโค้งพาราโบลา และทำการวางในมุมเอียงแบบต่างๆ เพื่อทำความเย็นระหว่างอุณหภูมิ 25 °C - 30 °C ได้ผลที่ดีที่สุดคือมีพื้นที่รับแสง 15 m² และวางตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำมุมเอียง 30° และจากการทดลองใช้ถังเก็บน้ำขนาดต่างๆ เพื่อรักษาอุณหภูมิของน้ำให้เกิน 85 °C จะได้ความจุของน้ำร้อนเหมาะสมที่

600 ลิตร สำหรับการทดลองในระบบดูดกลืนนี้ ค่าพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 15 kW และค่า COP ของระบบเท่ากับ 0.74 ใช้ประมาณลงทุนหลัก คือ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และระบบทำน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผิวโค้งพาราโบลา

Riffat, S.B. and Qiu Guoquan. (2004) ได้ทำการเปรียบเทียบเครื่องทำน้ำเย็น 3 แบบ คือ เครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอ เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน และเครื่องทำน้ำเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก ได้ผลการวิจัยคือ เครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอให้ค่า COP สูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.6-3.0 เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน มีค่า COP เท่ากับ 0.6-0.7 และเครื่องทำน้ำเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก มีค่า COP น้อยที่สุด คือ 0.38-0.45

สำหรับการใช้พลังงานในระบบเพื่อขับปั๊มและพัดลม เครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอจะใช้พลังงานน้อยที่สุดคือ 1.80-5.40 kW ส่วนเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนใช้พลังงาน 750-1,670 kW และเครื่องทำน้ำเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกใช้พลังงาน 36-1,459 kW เมื่อคิดที่ภาระในการทำความเย็นเท่ากัน ในส่วนของค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการลงทุนสำหรับอุปกรณ์และการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกจะแพงที่สุด และเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอถูกที่สุด แต่ค่าใช้จ่ายในการใช้งานของทั้งสองแบบจะสูงมาก ส่วนเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนจะมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้น้อยที่สุด และในเรื่องของมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมแล้วนั้นเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอ ทำให้เกิดมลภาวะทำลายโอโซน และมลภาวะทางเสียงมากที่สุด และเครื่องทำน้ำเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

Xuehu Ma et al. (2003) ได้ทำการประยุกต์ใช้ตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน (Absorption heat transformer) ในการดึงความร้อนทิ้งที่ถูกปล่อยมาในรูปของของผสมระหว่างไอน้ำกับไอระเหยของสารอินทรีย์ ที่อุณหภูมิ 98 °C จากโรงสังเคราะห์ยาง โดยนำไปให้ความร้อนแก่น้ำแล้วป้อนกลับเข้าไปยังกระบวนการสังเคราะห์ยางอีกครั้ง เพื่อใช้เป็นแหล่งความร้อนเสริม ดังภาพประกอบ 15



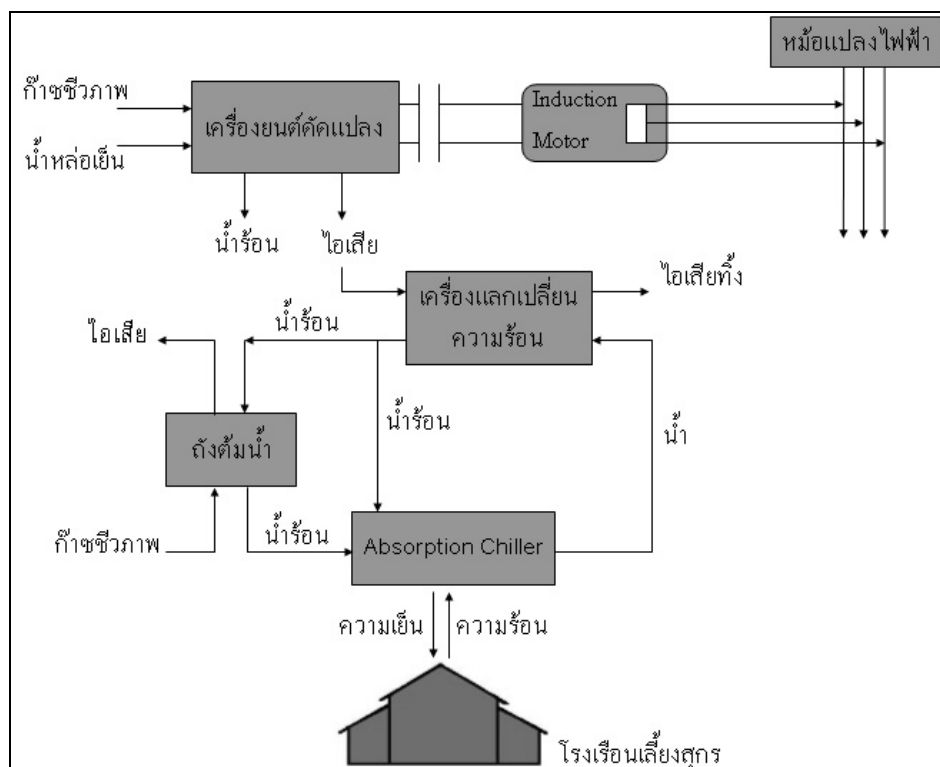
ภาพประกอบ 15 การดึงความร้อนทิ้งมาใช้ประโยชน์กับตัวแปลงความร้อนแบบดูดกลืน

ที่มา: Xuehu Ma et al. (2003)

ในแบบจำลองของงานวิจัยจะมีการพิจารณาสมดุลพลังงานของส่วนประกอบต่างๆ ของระบบแปลงความร้อนแบบดูดกลืนโดยอาศัยค่าอุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหลของสารทำงานที่สภาวะต่างๆ และผลจากการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำจาก 95 °C เป็น 110 °C ทำให้ประหยัดไอน้ำ และลดค่าใช้จ่ายลงได้ถึง 3.48 ล้านบาทต่อปี โดยระบบมีค่า COP เฉลี่ย 0.47 และจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าระบบมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2 ปี

ณรงค์ฤทธิ์ มูลเจริญ. (2548) ทำการประเมินความคุ้มค่าและความเหมาะสมทางทฤษฎีของการนำเอาความร้อนทิ้งจากไอเสียของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกร มาใช้ในระบบทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนที่ใช้คู่สารทำงานเป็นน้ำ และลิเทียมโบรไมด์ เทียบกับกรณีที่ไม่มีการเก็บคืนความร้อนทิ้งมาใช้ประโยชน์ดังภาพประกอบ 16 โดยการคิดค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการเลี้ยงสุกรและผลของการเจริญเติบโตของสุกรจากการเลี้ยงในโรงเรือนแบบดูดกลืน ได้อาศัยข้อมูลจากการเลี้ยงสุกรในโรงเรือนแบบระเหย ซึ่งเป็นการเลี้ยงในสภาวะที่มีการปรับอากาศที่อุณหภูมิเดียวกัน ผลการวิจัยพบว่าการเลี้ยงสุกรในโรงเรือนมาตรฐาน 1,000 ตัว ใช้ขนาดของเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนที่เหมาะสม คือ 120 TR สำหรับปริมาณไอเสียที่เพียงพอต่อการให้พลังงานในการทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน โดยก๊าซชีวภาพดังกล่าวต้องมีปริมาณไม่ต่ำกว่า 8,100 m³/day หรือ 2,678 kW ในการป้อนให้แก่เครื่องยนต์ผลิตกระแสไฟฟ้า หรือเลี้ยงสุกรไม่ต่ำกว่า 58,500 ตัว ส่วนกรณีภาระในการทำน้ำเย็นมากกว่าปกติจะมีการเผาก๊าซชีวภาพให้ความร้อนเสริม สำหรับประสิทธิภาพของการใช้พลังงานกรณีที่ไม่มีการเก็บคืนความร้อนทิ้งมาใช้ประโยชน์ ระบบผลิตไฟฟ้าจากชีวภาพมีประสิทธิภาพเพียง 16.9 % แต่ในกรณีที่มีการเก็บคืนความร้อน ประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน

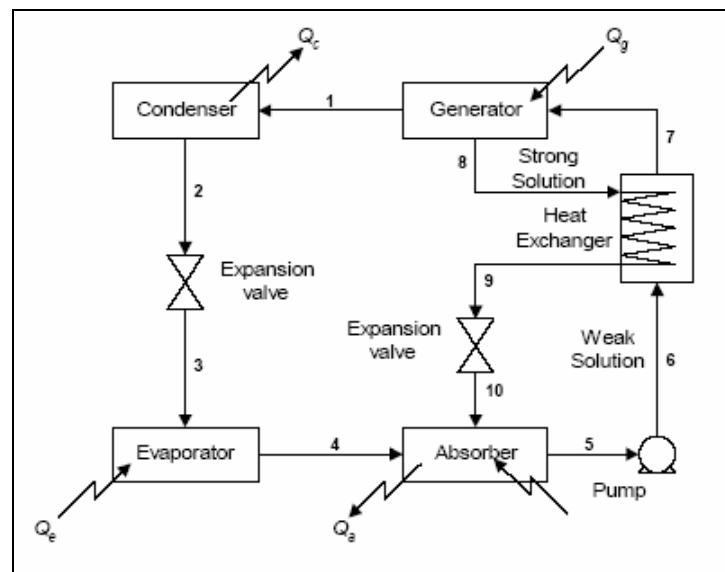
เพิ่มขึ้นเป็น 24.8 % และจากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่างานวิจัยจะให้อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน 29.34 % และมีระยะเวลาคืนทุน 3.47 ปี



ภาพประกอบ 16 การนำความร้อนทิ้งจากไอเสียของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกรมาใช้ในระบบทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน

ที่มา: ณรงค์ฤทธิ์ มูลเจริญ. (2548)

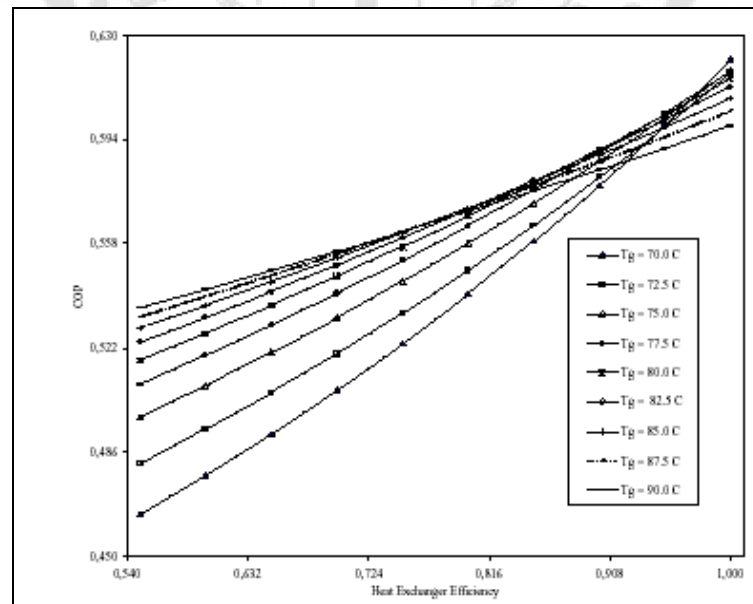
Antonio J. Bula et al. (2000) ทำการศึกษาผลของการเพิ่มอุณหภูมิในตัวให้ความร้อน (Generator) และการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็น (COP) ของระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ โดยวงจรของระบบที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังภาพประกอบ 17 ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของประสิทธิภาพตัวแลกเปลี่ยนความร้อน และอุณหภูมิในตัวให้ความร้อน มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นของระบบด้วย



ภาพประกอบ 17 วัฏจักรการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน

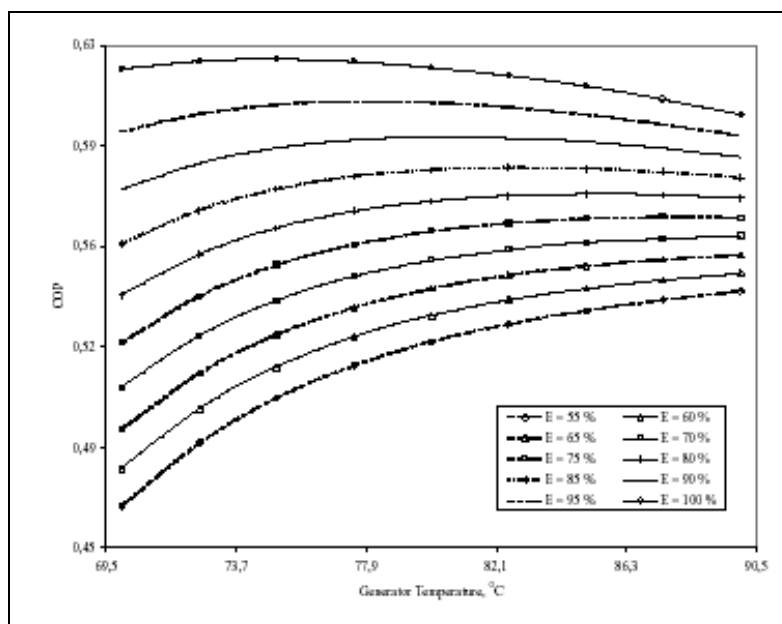
ที่มา: Antonio J. Bula et al. (2000)

ผลงานวิจัยสามารถแสดงได้ดังภาพประกอบ 18 และ 19 และจากกราฟทั้งสองสรุปได้ว่าการเพิ่มค่าประสิทธิภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน มีผลต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นของระบบทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน มากกว่าการเพิ่มอุณหภูมิในตัวให้ความร้อน



ภาพประกอบ 18 ประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น

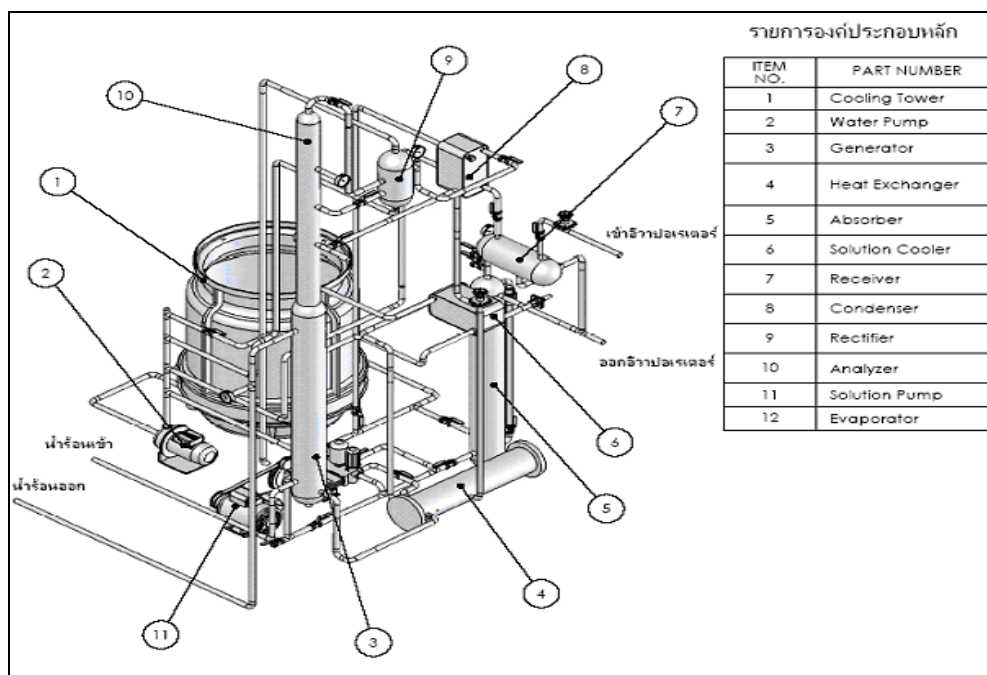
ที่มา: Antonio J. Bula et al. (2000)



ภาพประกอบ 19 อุณหภูมิของตัวให้ความร้อนต่อสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น

ที่มา: Antonio J. Bula et al. (2000)

รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการพัฒนาแหล่งน้ำพุร้อนแม่จัน จังหวัดเชียงราย (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548) ทำการศึกษาห้องเย็นระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน โดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนหลักจากน้ำพุร้อน จากผลการศึกษาพบว่าระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนที่ใช้มีขนาดทำความเย็น 2.5 TR ใช้อุณหภูมิภายในห้องเย็น 4 °C ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนที่ใช้เป็นชนิดเครื่องทำน้ำเย็นแบบชั้นเดียว แสดงดังภาพประกอบ 24 ใช้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้นสูง เป็นสารทำงานในการดึงความร้อนออกจากห้องเย็น และใช้พลังงานความร้อน 28 kW จากน้ำพุร้อนอุณหภูมิ 93 °C ระบบมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็นเท่ากับ 0.38

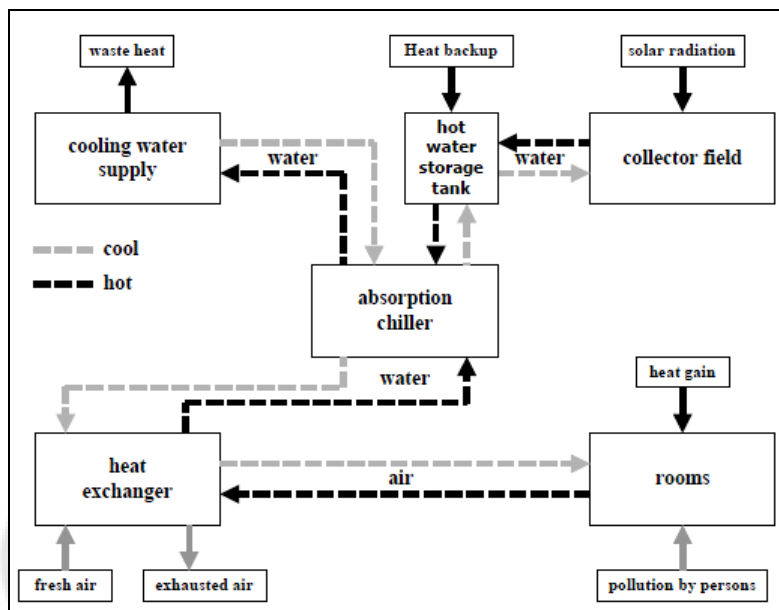


ภาพประกอบ 20 ระบบทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้พลังงานความร้อนจากน้ำพุร้อน

ที่มา: สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2548)

นิพนธ์ เกตุจ้อย, วัฒนพงษ์ รัชวีเชียร, ไพฑูรย์ เหล่าดี, และวุฒิพงศ์ สุพนธนา (2548) ได้ศึกษาการใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ในอาคารทดสอบ เพื่อศึกษา การหาค่าภาระทางความร้อน และการออกแบบระบบปรับอากาศด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยใช้อาคารทดสอบภายในพื้นที่โครงการสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยนเรศวร ระบบปรับอากาศที่ติดตั้ง ทำการออกแบบโดยกำหนดเงื่อนไข ให้ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 70% และพลังงานจากระบบความร้อนเสริมไม่เกิน 30% ภายใต้เงื่อนไขทางด้านอุดมศึกษาของ จังหวัดพิษณุโลก ช่วงเวลาทำงานของระบบปรับอากาศคือ 7.00 – 17.00 น. จากการศึกษาทำให้ทราบว่าค่าภาระทางความร้อนสูงสุดของห้องปรับอากาศอยู่ในเดือนพฤษภาคมที่ 22.4 kW ในช่วงเวลา 10.00 – 11.00 น. ซึ่งสามารถหาขนาดของแฟนคอยล์ยูนิต และขนาดของเครื่องทำความเย็นได้ โดยเครื่องทำความเย็นที่เลือกใช้ในระบบคือ Yazaki WFC SC-10 ขนาด 35 kW และเลือกใช้แฟนคอยล์ยูนิตของ Carrier 42JB010-CW ขนาด 33,000 BTU จำนวน 4 ตัว สำหรับตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้ เลือกตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่มีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนไม่ต่ำกว่า 0.70 ซึ่งจากการคำนวณหาขนาดพื้นที่รวมของตัวรับรังสีทำให้ได้ขนาดพื้นที่รวมอยู่ที่ 81 m² ซึ่งตัวรับรังสีจะสามารถจ่ายพลังงานให้กับความต้องการของระบบปรับอากาศได้ 100% แต่เนื่องจากข้อจำกัดของพื้นที่สำหรับการติดตั้งตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้ขนาดพื้นที่จริงของตัวรับรังสีที่ใช้อยู่ที่ 72 m² ซึ่งพื้นที่รวมนี้คิดเป็น 90% ของความสามารถในการจ่ายพลังงานให้กับระบบ โดยเลือกใช้

ตัวรับรังสีแบบหลอดแก้วสุญญากาศของ Apricus Manifold AP-30 ซึ่งแต่ละชุดมีพื้นที่รับแสง 2.4 m^2 จำนวน 30 ชุด จากการคำนวณหาปริมาณพลังงานที่ต้องการจากระบบความร้อนเสริมทำให้ทราบว่าปริมาณพลังงานสูงสุดที่ระบบต้องการอยู่ที่ 20 kW ในเดือนตุลาคมช่วงเวลา 16.00 – 17.00 น. ในระบบนี้ได้เลือกใช้เครื่องทำน้ำร้อนของ Rinnai Infinity 32 ซึ่งสามารถปรับอุณหภูมิของน้ำได้สูงสุดที่ 95°C



ภาพประกอบ 21 ระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์

ที่มา: นิพนธ์ เกตุจ้อย, วัฒนพงษ์ รัชวีเชียร, ไพฑูรย์ เหล่าดี, และวุฒิพงศ์ สุพนธนา (2548)

สงขลา กาฬสินธุ์, จันทกานต์ ทวีกุล, ชูเกียรติ คุปตานนท์, ปัญญรักษ์ งามศรีตระกูล, และ กิตติพันธ์ มลิวรรณ (2549) ศึกษาการออกแบบ และระบบทำน้ำเย็นขนาดเล็กที่ใช้รังสีอาทิตย์โดยระบบทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนจะประกอบไปด้วย ตัวทำระเหย วาล์วลดแรงดัน ตัวควบแน่น ตัวดูดกลืน และตัวให้ความร้อน เป็นอุปกรณ์หลัก โดยใช้สารละลายลิเทียมโบรไมด์และน้ำเป็นสารดูดกลืนและทำความเย็น อีกทั้งได้มีการออกแบบระบบปั๊มน้ำธรรมชาติที่อาศัยความร้อนจากรังสีอาทิตย์ โดยการออกแบบนี้จะกำหนดขนาดของตัวทำระเหย ที่ขนาด 100 W และอุณหภูมิความร้อนป้อนเข้าของตัวให้ความร้อน เท่ากับ 65°C และน้ำร้อนขาออกจากตัวให้ความร้อนมีอุณหภูมิเท่ากับ 90°C และ 100°C ซึ่งสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบได้เท่ากับ 0.694

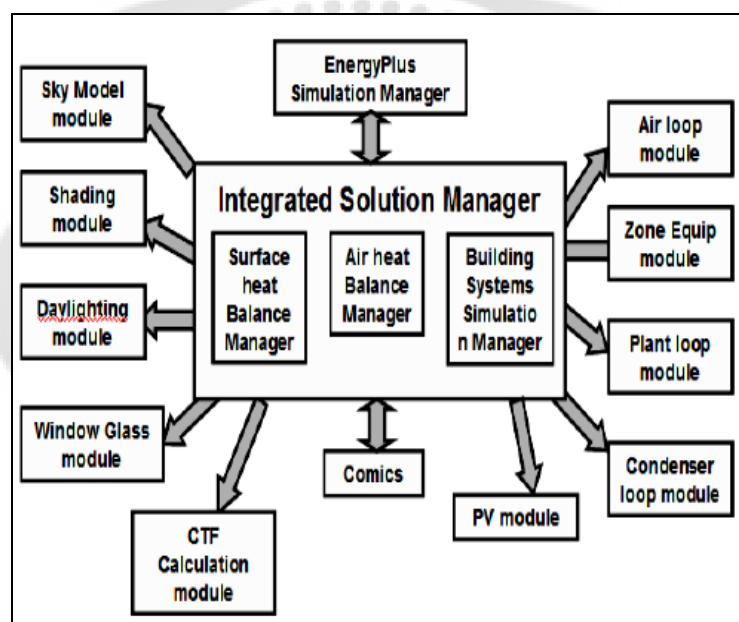
สมมาส แก้วล้วน และจุลละพงษ์ จุลละโพธิ (2548) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำระบบความร้อนทั้งจากเครื่องยนต์กังหันแก๊ส (Gas Turbines) และเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน มาใช้ในอาคารศูนย์การค้าแห่งหนึ่ง ซึ่งศูนย์การค้าดังกล่าวเปิดให้บริการวันละ 16 ชั่วโมง โดยเปิดบริการช่วงเวลา 08.00 น. - 24.00 น. ของทุกวัน มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดต่อวันประมาณ 1,814 kW และต้องการภาระทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ขนาด 715 TR

โดยทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำความร้อนทั้งจากเครื่องยนต์กังหันแก๊ส มาใช้งานร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน ได้ออกแบบให้ระบบรองรับการทำงานวันละ 17 ชั่วโมง เริ่มเวลา 07.00 น. - 24.00 น. ใช้ข้อมูลทางเทคนิค และทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส จากบริษัท Pratt & Whitney Canada Corp. และบริษัท Caterpillar Co.,Ltd. และ เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนจากบริษัท Thermax และบริษัท Trane เชื้อเพลิงที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ก๊าซธรรมชาติ โดยราคาก๊าซธรรมชาติ คิดที่ 115.7 บาทต่อล้านบีทียู อัตราการคิดค่าไฟฟ้าเป็นแบบ TOD โดยค่า Ft เท่ากับ 0.6152 บาทต่อหน่วย อัตราส่วนลด เท่ากับ 8.25 % และอัตราแลกเปลี่ยนเงินตรา 40 บาทต่อ 1 ดอลลาร์สหรัฐ กำหนดอายุโครงการ 20 ปี การศึกษาเป็นการเปรียบเทียบการใช้งานของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส และเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบต่างๆ โดยใช้เลือกเครื่องยนต์กังหันแก๊ส กำลังการผลิตไฟฟ้าขนาด 400 kW และ 965 kW เลือกเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบเผาเชื้อเพลิงโดยตรงขนาด (Direct-fired), เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบทำความเย็น 2 ชั้น (Double effect) และเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบทำความเย็นชั้นเดียวมาพิจารณา จากการศึกษาพบว่า เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบทำความเย็นชั้นเดียวไม่เหมาะที่จะทำงานร่วมกับเครื่องยนต์กังหันแก๊ส เนื่องจากค่าอัตราความร้อนต่อพลังงาน (Heat to Power Ratio) ของอาคารมีค่าสูงกว่าระบบความร้อนที่ได้จากเครื่องยนต์กังหันแก๊ส กรณีที่สามารถใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบทำความเย็นชั้นเดียวได้จะต้องใช้เครื่องยนต์ดีเซล แต่ไม่มีความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ทุกกรณี เนื่องจากราคาน้ำมันดีเซลมีราคาสูง

จากการวิเคราะห์กรณีที่เหลือที่สามารถเป็นไปได้มีผลดังนี้ เครื่องยนต์กังหันแก๊สกำลังการผลิตไฟฟ้าขนาด 965 kW ทำงานร่วมกับแบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบเผาเชื้อเพลิงโดยตรงขนาด 144 TR ให้อัตราผลตอบแทนภายในดีที่สุด 21.2% และระยะเวลาคืนทุน 6.04 ปี และเมื่อทำงานร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบทำความเย็น 2 ชั้นขนาด 200 TR จะให้อัตราผลตอบแทนภายในที่ 20.5% และระยะเวลาคืนทุน 6.25 ปี ส่วนเครื่องยนต์กังหันแก๊สกำลังการผลิตไฟฟ้าขนาด 400 kW ทำงานร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบทำความเย็น 2 ชั้น ขนาด 87 TR ให้อัตราผลตอบแทนภายในที่ 18.4 % และระยะเวลาคืนทุน 7.15 ปี

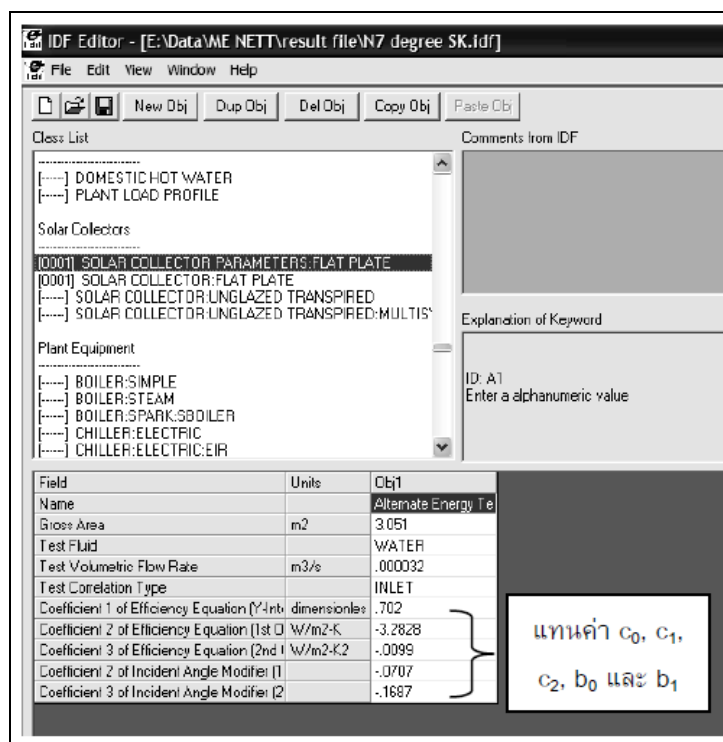
นางพงศ์ เสนีย์รัตนประยูร, จันทกานต์ ทวีกุล, ชูเกียรติ คุปตานนท์, และปัญญาธิ์ งามศรีตระกูล (2550) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ในการทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์เพื่อใช้ในบ้านอยู่อาศัย โดยการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม EnergyPlus Version 1.2.4 โดยใช้ตัวเก็บแสงอาทิตย์เป็นแบบตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ และอ้างอิงข้อมูลจาก

สภาวะอากาศของจังหวัดสงขลา และกรุงเทพมหานคร โดยทำการศึกษาการทำงานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่หันหน้าไปทางทิศใต้ และเอียงทำมุม 5° , 7° และ 15° กับพื้นระนาบ ในช่วงเวลากลางวัน (7.00 – 18.00 น.) จากการจำลองพบว่าที่มุมลาดเอียงต่างๆ ให้ผลการจำลองที่ใกล้เคียงกัน ในกรณีของจังหวัดสงขลา และจังหวัดกรุงเทพ พบว่ารังสีตกกระทบมีค่าอยู่ในช่วง $45\text{--}1,029 \text{ W/m}^2$ และ $8\text{--}804 \text{ W/m}^2$ ตามลำดับ และค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่า $19\text{--}61\%$ และ $29\text{--}56\%$ ตามลำดับ โดยทั้งสองจังหวัดจะให้ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูงสุดในช่วงเวลา 12.00–13.00 น. โดยปรับมุมตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้เอียงใกล้เคียงกับละติจูดของพื้นที่ คือจังหวัดสงขลา มีละติจูดที่ $7^\circ 12'$ จึงปรับมุมตัวเก็บรังสีอาทิตย์เอียงทำมุม 7° และกรุงเทพมหานครมีละติจูดที่ $13^\circ 44'$ จึงปรับมุมตัวเก็บรังสีอาทิตย์เอียงทำมุม 15°



ภาพประกอบ 22 ขอบเขตการประยุกต์ใช้โปรแกรม EnergyPlus

ที่มา: นางพงศ์ เสนีย์รัตนประยูร และคณะ (2550)



ภาพประกอบ 23 การป้อนค่าสัมประสิทธิ์ในโปรแกรม EnergyPlus

ที่มา: นาทพงศ์ เสนีย์รัตนประยูร และคณะ (2550)

9. สรุปข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

● งานวิจัยของ Ameri and Hejazi. (2004) ศึกษาการปรับปรุงระบบผลิตไฟฟ้าแบบใช้กังหันแก๊สของโรงไฟฟ้า โดยใช้ระบบการทำความเย็นแบบดูดกลืน ที่ใช้พลังงานส่วนหนึ่งจากความร้อนทิ้งของกังหันร้อนทิ้งในกระบวนการผลิตไฟฟ้าแบบกังหันแก๊ส โดยความร้อนจะถูกนำไปผลิตไอน้ำก่อนที่จะเข้าสู่ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน เพื่อทำให้อากาศเย็นก่อนเข้าสู่กังหันแก๊ส เพื่อปรับปรุงการผลิตไฟฟ้าขนาด 100 MW ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่าสามารถเพิ่มผลผลิตได้ 11% โดยผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น 14,000 MWh/Yr และจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์มีผลตอบแทน IRR เท่ากับ 23.4 % และคืนทุนในระยะเวลา 4.2 ปี

● งานวิจัยของ Florides, G.A. et al. (2002) ศึกษาการสร้างแบบจำลองของระบบการทำความเย็นแบบดูดกลืนที่มีตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เป็นแหล่งให้พลังงานร่วมกับน้ำร้อนจากหม้อต้มน้ำ ในกรณีที่มีพลังงานความร้อนไม่เพียงพอ เพื่อป้อนเข้าระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน โดยผลการทดลองจากการใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แบบผิวโค้งพาราโบลาที่มีขนาดพื้นที่รับแสง 15 m² และมุมการติดตั้ง 30° และใช้ถังเก็บน้ำร้อนขนาด 600 ลิตร เพื่อเก็บน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 85 °C ค่าพลังงานความร้อนที่ระบบดูดกลืนต้องการเท่ากับ 15 kW และค่า COP ของระบบเท่ากับ 0.74 และ

งบประมาณลงทุนมีราคาสูงในส่วนของ ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืน และระบบทำน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบผิวโค้งพาราโบลิก

- งานวิจัยของ Riffat, S.B. and Qiu Guoquan. (2004) ศึกษาการเปรียบเทียบการใช้เครื่องทำน้ำเย็น 3 แบบ คือ เครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอ เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน และเครื่องทำน้ำเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริก โดยการศึกษาพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอมีค่า COP สูงที่สุดเท่ากับ 2.6-3.0 เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน มีค่า COP เท่ากับ 0.6-0.7 และเครื่องทำน้ำเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่า COP น้อยที่สุดคือ 0.38-0.45 การใช้พลังงานในระบบของเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอมีค่าพลังงานที่ใช้้น้อยที่สุดคือ 1.80-5.40 kW ส่วนเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนใช้พลังงาน 750-1,670 kW และเครื่องทำน้ำเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกใช้พลังงาน 36-1,459 kW เมื่อเปรียบเทียบที่ภาระการทำความเย็นเท่ากัน ในส่วนของค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการลงทุนสำหรับอุปกรณ์และการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกจะแพงที่สุด และเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอถูกที่สุด แต่ค่าใช้จ่ายในการใช้งานของทั้งสองแบบจะสูงมาก ส่วนเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนจะมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้น้อยที่สุด และในด้านมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอ ทำให้เกิดมลภาวะทำลายโอโซน และมลภาวะทางเสียงมากที่สุด ส่วนเครื่องทำน้ำเย็นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

- งานวิจัยของ Xuehu Ma et al. (2003) ศึกษาทำการประยุกต์ใช้ความร้อนทิ้งจากโรงสังเคราะห์ยาง ที่ถูกปล่อยมาในลักษณะของไอน้ำ และไอระเหยของสารอินทรีย์มีอุณหภูมิ 98 °C เพื่อใช้เป็นแหล่งความร้อนเสริมให้น้ำ เพื่อทำน้ำร้อนป้อนกลับเข้าไปยังกระบวนการสังเคราะห์ยางอีกครั้ง ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ไอน้ำและไอระเหยของสารอินทรีย์จากความร้อนทิ้งสามารถเพิ่มอุณหภูมิของไอน้ำในกระบวนการสังเคราะห์ยางได้จาก 95 °C เป็น 110 °C ทำให้ประหยัดปริมาณไอน้ำในกระบวนการสังเคราะห์ยาง และลดค่าใช้จ่ายลงได้ถึง 3.48 ล้านบาทต่อปี โดยระบบมีค่า COP เฉลี่ย 0.47 และจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์พบว่าระบบมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2 ปี

- งานวิจัยของ ณรงค์ฤทธิ์ มูลเจริญ. (2548) ศึกษาการประเมินความคุ้มค่าและความเหมาะสมในการนำเอาความร้อนทิ้งจากไอเสียของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกร มาใช้ในระบบทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน และเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์กับกรณีที่ไม่มีการเก็บความร้อนทิ้งมาใช้ประโยชน์ โดยผลการวิจัยพบว่า การเลี้ยงสุกรในโรงเรือนจำนวน 1,000 ตัว จะใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนขนาดที่เหมาะสม คือ 120 TR สำหรับปริมาณไอเสียที่เพียงพอต่อการทำน้ำแบบดูดกลืน โดยจะต้องมีก๊าซชีวภาพปริมาณไม่ต่ำกว่า 8,100 m³/day หรือ 2,678 kW ในการป้อนให้แก่เครื่องย่นต์ผลิตกระแสไฟฟ้า และจากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าการนำเอาความร้อนทิ้งจากไอเสียของกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพในฟาร์มสุกร จะให้อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน 29.34 % และมีระยะเวลาคืนทุน 3.47 ปี

● งานวิจัยของ Antonio J. Bula et al. (2000) ศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างค่าประสิทธิภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน กับอุณหภูมิภายในตัวให้ความร้อน ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นของระบบทำความเย็นแบบดูดซึมที่มีแหล่งพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ ทำการศึกษาโดยการเพิ่มค่าประสิทธิภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อน และเพิ่มอุณหภูมิภายในตัวให้ความร้อน เพื่อวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นของระบบที่เพิ่มขึ้น พบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะสูงขึ้นมากกว่าการเพิ่มอุณหภูมิภายในตัวให้ความร้อน

● รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการพัฒนาแหล่งน้ำพุร้อนแม่จัน จังหวัดเชียงราย (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548) ศึกษาการใช้พลังงานความร้อนจากน้ำพุร้อน มาใช้ในระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนของห้องเย็น โดยห้องเย็นมีขนาดความเย็น 2.5 TR ใช้อุณหภูมิห้องเย็น 4 °C ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนเป็นชนิดเครื่องทำน้ำเย็นแบบชั้นเดียว โดยใช้สารละลายแอมโมเนียเป็นตัวดูดกลืน เพื่อศึกษาปริมาณความร้อนที่ระบบต้องการและค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ระบบทำความเย็นแบบดูดกลืนของห้องเย็น ใช้พลังงานความร้อนจากน้ำพุร้อน 28 kW น้ำร้อนป้อนเข้าระบบมีอุณหภูมิ 93 °C และระบบมีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ 0.38

● งานวิจัยของ นิพนธ์ เกตุจ้อย และคณะ (2548) ศึกษาการใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ในอาคารทดสอบ เพื่อศึกษาการหาค่าภาระทางความร้อน และการออกแบบระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ โดยทำการออกแบบได้กำหนดเงื่อนไขให้ใช้พลังงานจากรังสีอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 70% และพลังงานจากระบบความร้อนเสริมไม่เกิน 30% ภายใต้เงื่อนไขทางด้านอุตุนิยมวิทยาของจังหวัดพิษณุโลก ช่วงเวลาทำงานของระบบปรับอากาศคือ 7.00 – 17.00 น. จากการศึกษพบว่า ค่าภาระทางความร้อนสูงสุดของอาคารทดสอบอยู่ในเดือนพฤษภาคมที่ 22.4 kW ในช่วงเวลา 10.00 – 11.00 น. ขนาดของเครื่องทำน้ำเย็นที่เลือกใช้ในระบบ 35 kW และเลือกใช้เครื่องปรับอากาศขนาด 33,000 BTU จำนวน 4 ตัว สำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้เป็นตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ มีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนไม่ต่ำกว่า 0.70 ขนาดพื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ระบบต้องการคือ 81 m² แต่จากข้อจำกัดของพื้นที่ในการติดตั้ง จึงติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้เพียง 72 m² คิดเป็น 90% ของที่ระบบต้องการ และจากการคำนวณหาปริมาณพลังงานความร้อนเสริมที่ระบบต้องการสูงสุดอยู่ที่ 20 kW จึงเลือกใช้เครื่องทำน้ำร้อนที่สามารถปรับอุณหภูมิของน้ำได้สูงสุดที่ 95 °C เป็นแหล่งพลังงานความร้อนเสริม และจากการหาค่าเฉลี่ยตลอดทั้งปีของสัดส่วนการใช้พลังงานจากระบบความร้อนเสริม ในระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ พบว่ามีสัดส่วนอยู่เพียง 20% ของพลังงานที่จ่ายให้กับระบบทั้งหมด ซึ่งต่ำกว่าเงื่อนไขที่กำหนดไว้

● งานวิจัยของ สมมาส แก้วล้วน และจุลละพงษ์ จุลละโพธิ (2548) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำระบบความร้อนทั้งจากเครื่องยนต์กังหันแก๊ส และเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน มาใช้ในอาคารศูนย์การค้าแห่งหนึ่ง ซึ่งศูนย์การค้าดังกล่าวเปิดให้บริการวันละ 16 ชั่วโมง โดยเปิดบริการช่วงเวลา 08.00 น. - 24.00 น. ของทุกวัน มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดต่อวันประมาณ 1,814 kW และต้องการภาระทำความเย็นในระบบปรับอากาศที่ขนาด 715 TR กำหนดอายุโครงการ 20 ปี โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ ก๊าซธรรมชาติ มีราคา 115.7 บาทต่อล้านบีทียู คิดอัตราการค่าไฟฟ้าเป็นแบบ TOD โดยค่า Ft เท่ากับ 0.6152 บาทต่อหน่วย อัตราส่วนลด เท่ากับ 8.25 % โดยออกแบบให้ระบบรองรับการทำงานวันละ 17 ชั่วโมง เริ่มเวลา 07.00 น. - 24.00 น. เพื่อเปรียบเทียบการใช้งานของเครื่องยนต์กังหันแก๊ส และเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบต่างๆ โดยใช้เลือกเครื่องยนต์กังหันแก๊สกำลังการผลิตไฟฟ้าขนาด 400 kW และ 965 kW เลือกเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบ direct-fired, เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบทำความเย็น 2 ชั้น และเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบทำความเย็นชั้นเดียวมาพิจารณา ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เครื่องยนต์กังหันแก๊สกำลังการผลิตไฟฟ้าขนาด 965 kW เมื่อทำงานร่วมกับแบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบ direct-fired ขนาด 144 TR ให้อัตราผลตอบแทนภายในที่ดีที่สุดคือ 21.2% และระยะเวลาคืนทุน 6.04 ปี และเมื่อทำงานร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบทำความเย็น 2 ชั้นขนาด 200 TR จะให้อัตราผลตอบแทนภายในที่ 20.5% และระยะเวลาคืนทุน 6.25 ปี ส่วนเครื่องยนต์กังหันแก๊สกำลังการผลิตไฟฟ้าขนาด 400 kW เมื่อทำงานร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนแบบทำความเย็น 2 ชั้น ขนาด 87 TR ให้อัตราผลตอบแทนภายในที่ 18.4 % และระยะเวลาคืนทุน 7.15 ปี

● งานวิจัยของ นาถพงศ์ เสนีย์รัตนประยูร และคณะ (2550) ศึกษาการจำลองการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรม EnergyPlus ด้วยการกำหนดมุมลาดเอียงในการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำมุมเอียงที่ 5°, 7° และ 15° กับแนวระนาบ โดยติดตั้งให้หันหน้าไปทางทิศใต้ และตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ทำการศึกษาคือแบบตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ กำหนดช่วงเวลาในการทดสอบ 7.00 – 18.00 น. พบว่าพื้นที่จังหวัดสงขลามีค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบเฉลี่ยมากที่สุดที่ 1,029 W/m² และมีค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ 61% เมื่อทำมุมเอียงที่ 7° และพบว่ากรุงเทพมหานครมีค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบเฉลี่ยมากที่สุดที่ 804 W/m² และมีค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ 56% เมื่อทำมุมเอียงที่ 15° โดยที่ทั้ง 2 จังหวัดจะให้ค่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูงสุดในช่วงเวลา 12.00-13.00 น. ซึ่งหากพิจารณาจากที่ตั้งของจังหวัดสงขลาและกรุงเทพมหานคร คือ ละติจูด 7° 12' และ 13° 44' ตามลำดับ แล้วพบว่าเมื่อปรับมุมเอียงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้ใกล้เคียงกับละติจูดของพื้นที่ติดตั้ง จะทำให้ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าสูงที่สุด ดังนั้นการออกแบบที่เหมาะสมควรพิจารณาให้มุมเอียงของแผ่นรับแสงอาทิตย์ใกล้เคียงกับละติจูดของพื้นที่ติดตั้งด้วย

จากข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการใช้งานระบบทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนประเภทต่าง ๆ ที่มีสารทำความเย็น และสารดูดกลืนหลายชนิดทำให้ทราบว่า น้ำ-ลิเทียมโบรไมด์ มีความเหมาะสมในการใช้งานกับระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์มากที่สุด รวมถึงอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้ในระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนที่ดีที่สุดคือ 95 °C ส่วนการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เหมาะสมในพื้นที่กรุงเทพมหานคร คือเอียงทำมุม 15° กับแนวระนาบ และหันหน้าไปทางทิศใต้ ซึ่งจะสามารถรับรังสีอาทิตย์ได้ดีที่สุด ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่มีการใช้งานตัวเก็บรังสีอาทิตย์ประสิทธิภาพสูงอย่าง ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ (Evacuated-tube collector) ที่มีระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Pipe) ภายใน ที่สามารถทำอุณหภูมิได้สูงกว่าตัวเก็บรังสีแบบแผ่นราบ และตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศอื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้พลังงานเสริมจากส่วนอื่น มาช่วยให้ระบบทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันทางภาครัฐได้มีการสนับสนุนโครงการลงทุนให้กับโครงการที่ใช้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์อยู่ โดยเฉพาะแบบหลอดแก้วสุญญากาศที่มีระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนภายใน ซึ่งจะทำให้ต้นทุนในการดำเนินโครงการเมื่อได้รับเงินสนับสนุนไม่สูงมากเกินไป

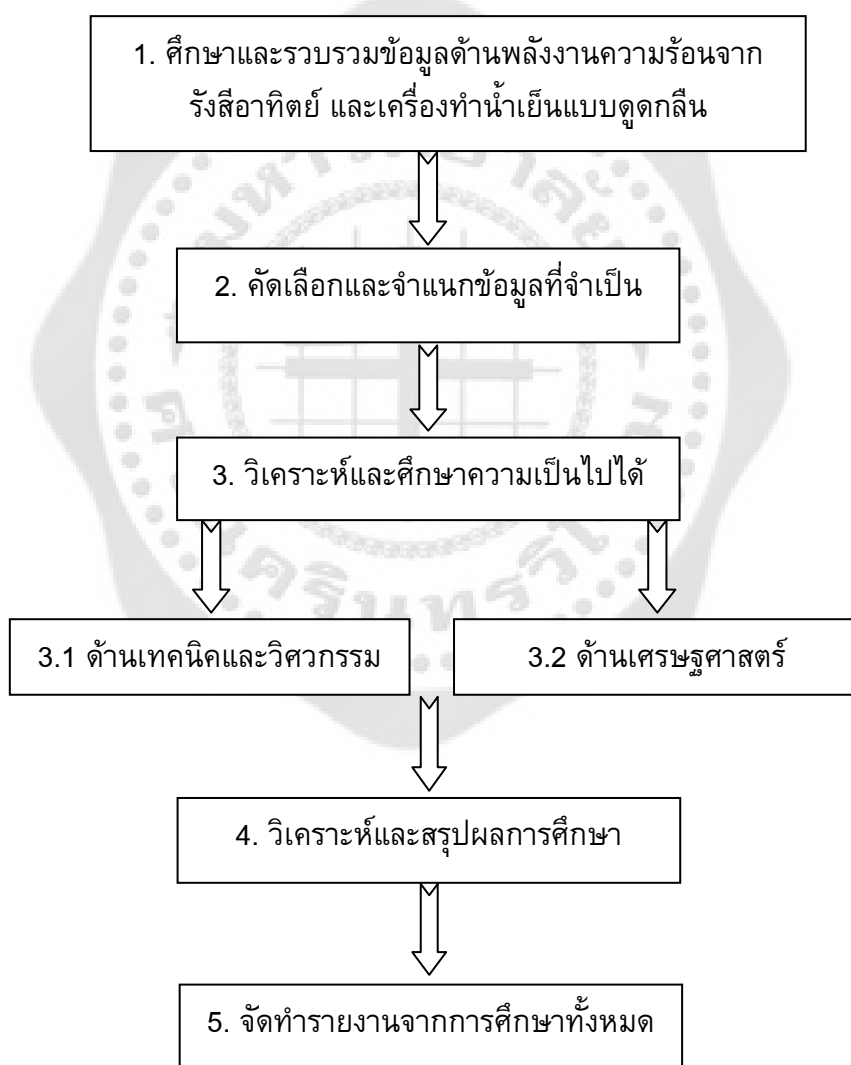
งานวิจัยนี้จึงจะศึกษาถึงการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ มาใช้งานร่วมกับระบบทำความเย็นเดิมของอาคาร และเพื่อเพื่อลดภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเดิม ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่เลือกใช้ในการศึกษา คือ ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศแบบมีระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อน และเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนชั้นเดียว ที่มีน้ำ-ลิเทียมโบรไมด์ เป็นสารทำความเย็น และสารดูดกลืนเพื่อทำน้ำเย็นให้ระบบ โดยจะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการดำเนินโครงการกับสถานที่คือ อาคารเซลล์เฮาส์ ที่มีพื้นที่ชั้นดาดฟ้าเพื่อติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ได้ ซึ่งจะนำมาวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะทำความเย็นของระบบที่จะดำเนินโครงการ รวมถึงการวิเคราะห์ผลด้านเศรษฐศาสตร์ งบประมาณลงทุนดำเนินโครงการ และความคุ้มค่าในการดำเนินโครงการ เพื่อสามารถใช้เป็นแนวทาง ในการตัดสินใจเบื้องต้นแก่ผู้ประกอบการอาคารอื่นๆ หรือผู้ที่สนใจได้

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน : กรณีศึกษาอาคารเซลล์เฮาส์ ได้กำหนดแนวทางการศึกษาและมีรายละเอียด ดังนี้

1. ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย



ภาพประกอบ 24 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

● ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศแบบดูดกลืน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ รวมถึงศักยภาพและการใช้งานของรังสีอาทิตย์ รวมถึงพื้นที่ในการวิจัย โดยศึกษาจากเอกสาร สิ่งพิมพ์ ดังนี้

1. เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เอกสารรายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย จัดทำโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน
3. คู่มือข้อมูลมาตรฐานด้านภูมิอากาศและแสงอาทิตย์สำหรับใช้งานด้านพลังงานทดแทน ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
4. เอกสารศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย
5. เอกสารเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์
6. เอกสารสถานภาพและแนวโน้มพลังงานแสงอาทิตย์
7. เอกสารการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็นและปรับอากาศ
8. ระบบการทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศแบบดูดกลืน
9. การใช้พลังงานความร้อนในระบบทำความเย็น
10. การใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องปรับอากาศสำหรับอาคารสำนักงาน

● การคัดเลือก และจำแนกประเภทของข้อมูลที่เป็น โดยการนำข้อมูลที่รวบรวมได้ มาทำการคัดเลือก จำแนกประเภทของข้อมูล เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นต้องใช้ในการดำเนินการวิจัย โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ จะรวบรวมนำมาศึกษาความเป็นไปได้ในการนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ในระบบปรับอากาศแบบดูดกลืน เพื่อเสนอแนวทางในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า จากการใช้งานระบบปรับอากาศแบบเดิม ซึ่งจะสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง หรือเพื่อศึกษาและพัฒนาต่อไป โดยมีวิธีการคัดเลือกดังนี้

1. เป็นข้อมูลที่ได้รับการเผยแพร่จากหน่วยงานที่มีความน่าเชื่อถือ อย่างเช่นหน่วยงานทางราชการ หรือได้รับการรับรองจากหน่วยงานทางราชการ
2. เป็นข้อมูลที่ได้จากการเผยแพร่ทางวิชาการและสื่อสิ่งพิมพ์ทางวิชาการ
3. เป็นข้อมูลที่สามารถสืบค้นหาแหล่งที่มาได้

● การวิเคราะห์และศึกษาความเป็นไปได้ ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาทั้งหมด 3 ด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์และการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและวิศวกรรม
2. การออกแบบและวางผังในการติดตั้งระบบทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน และตัวเก็บรังสีอาทิตย์

3. แผนการของระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ประกอบด้วย วิเคราะห์และศึกษาความเป็นไปได้ นำข้อมูลที่ได้ทำการคัดเลือก จำแนกประเภทของข้อมูล ตามวิธีการและเงื่อนไขแล้วนำมาวิเคราะห์ และหาผลที่ได้รับเพื่อให้สามารถนำไปใช้อ้างอิง โดยข้อมูลที่ต้องการและจำเป็นใน

การวิเคราะห์ ได้แก่ งบประมาณลงทุนโครงการ (Capital Budgeting) อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้า (Energy Cost Saving) ตลอดอายุโครงการ 15 ปี และวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis)

4. การวิเคราะห์และสรุปผลการศึกษาความเป็นไปได้ ในการนำเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ในอาคารเซลล์เฮาส์ เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยความเป็นไปได้ และความสำคัญโดยรวม

- จัดทำรายงานสรุปผลพร้อมวิจารณ์และเสนอแนะที่ได้จากการศึกษาทั้งหมด

3. สถานที่ในการศึกษา

สถานที่ตั้ง อาคารเซลล์เฮาส์ 10 ถนนสุนทรโกษา คลองเตย กรุงเทพฯ (Google Map: Latitude 13.71 N, Longitude 100.55 E) อาคารเซลล์เฮาส์เป็นอาคารมีความสูง 10 ชั้น และชั้นที่ 10 เป็นดาดฟ้าโล่ง มีพื้นที่รวม 1,225 ตารางเมตร เวลาทำงาน 08.00 – 18.00 น.



ภาพประกอบ 25 บริเวณด้านหน้าอาคารเซลล์เฮาส์

บทที่ 4

ผลการศึกษาความเป็นไปได้

1. ผลการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและวิศวกรรม

การศึกษาทางด้านเทคนิคและวิศวกรรม เป็นการศึกษาในการจัดเตรียมและเลือกสถานที่พื้นที่ในการดำเนินโครงการ การเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีแสงอาทิตย์ และเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน เพื่อใช้ในการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ โดยจะพิจารณาถึงอัตราผลตอบแทนด้านค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานของระบบให้ได้มากที่สุด และเพื่อนำมาทำการศึกษาและพิจารณาในการทำโครงการต่อไป

1.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ของอาคารเซลล์เฮาส์

สถานที่ตั้ง อาคารเซลล์เฮาส์ 10 ถนนสุนทรโกษา คลองเตย กรุงเทพฯ (Google Map: Latitude 13.71 N, Longitude 100.55 E)



ภาพประกอบ 26 ด้านหน้าอาคารเซลล์เฮาส์



ภาพประกอบ 27 แสดงพื้นที่ด้านบนอาคารเชลล์เฮาส์

ที่มา: Google Map (Latitude 13.71 N, Longitude 100.55 E)



ภาพประกอบ 28 พื้นที่ด้านบนบริเวณโดยรอบอาคารเชลล์เฮาส์

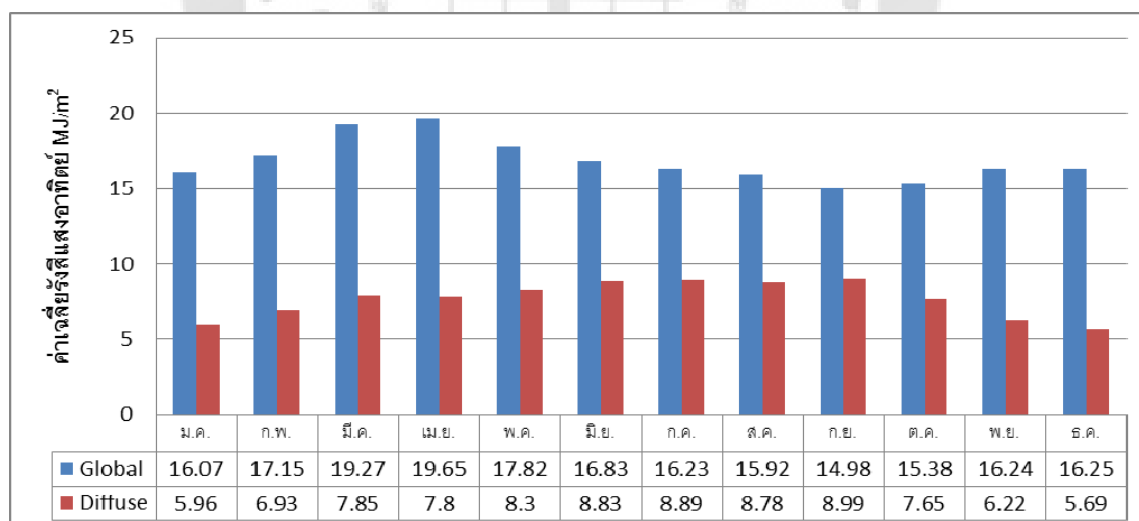
ที่มา: Google Map (Latitude 13.71 N, Longitude 100.55 E)

จากภาพประกอบ 28 ด้านบนอาคารเซลล์เฮาส์และบริเวณโดยรอบอาคาร ไม่มีตึกหรืออาคารสูงเป็นพื้นที่บังเงา ที่เป็นอุปสรรคต่อการรับแสงอาทิตย์ จึงสามารถรับแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน และจากข้อมูลค่าเฉลี่ยรังสีดวงอาทิตย์ของกรมอุตุนิยมวิทยา บางนา กรุงเทพฯ สถานที่ กรุงเทพฯ, ประเทศไทย (Google Map: Latitude 13.40 N, Longitude 100.37 E) ซึ่งอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกับอาคารเซลล์เฮาส์ ก็มีประสิทธิภาพเพียงพอในการติดตั้งตัวเก็บรังสีแบบทอสุญญากาศได้ จากตาราง 3 แสดงค่าเฉลี่ยรังสีดวงอาทิตย์

ตาราง 3 ค่าเฉลี่ยรังสีดวงอาทิตย์บริเวณอาคารเซลล์เฮาส์ (MJ/m^2)

	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
Global	16.07	17.15	19.27	19.65	17.82	16.83	16.23	15.92	14.98	15.38	16.24	16.25	16.82
Diffuse	5.96	6.93	7.85	7.80	8.30	8.83	8.89	8.78	8.99	7.65	6.22	5.69	7.66
Ratio	0.37	0.40	0.41	0.40	0.47	0.52	0.55	0.55	0.60	0.50	0.38	0.35	0.46

ที่มา: ฝ่ายตรวจมลภาวะ รังสีและไอโซน สำนักเฝ้าระวังและเตือนสภาวะอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา



ภาพประกอบ 29 กราฟค่าเฉลี่ยรังสีแสงอาทิตย์ในแต่ละเดือนบริเวณอาคารเซลล์เฮาส์

โดยที่

Global radiation (รังสีรวม) คือ ผลรวมของรังสีตรงและกระจาย โดยวัดจากพื้นราบ

Diffuse solar radiation (รังสีกระจาย) คือ รังสีที่กระจัดกระจายในท้องฟ้า

อาคารเซลล์ไฮสเป็นอาคารมีความสูง 10 ชั้น และชั้นที่ 10 เป็นดาดฟ้าโถง มีพื้นที่รวม 1,225 ตารางเมตร โดยมีการติดตั้งหอทำความเย็น (Cooling Tower) ขนาด 300 ตัน ตั้งอยู่จำนวน 4 เครื่อง ซึ่งมีพื้นที่ใช้งานรวมประมาณ 140 m² ดังนั้นจึงมีพื้นที่เหลือที่ยังสามารถติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เพื่อทำการดำเนินโครงการได้ โดยการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จะเสริมโครงสร้างเพื่อยกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้สูงขึ้น และวางแนวตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ให้หันหน้าไปทางทิศใต้ทำมุมเอียงที่ 15° ให้ใกล้เคียงกับละติจูด 13° 71' ของพื้นที่อาคาร เพื่อให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ตลอดกลางวัน และมีประสิทธิภาพที่ดี (นาทพงศ์ เสนีย์รัตนประยูร และคณะ. (2550))

1.2 การเลือกเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศแบบดูดกลืน (Absorption Chiller)

จากข้อมูลเครื่องทำน้ำเย็นเดิมของอาคาร เป็นเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบบอัดไอระเหย ความร้อนด้วยน้ำ ยี่ห้อ Trane รุ่น RTHD-180 ขนาด 180 ตัน จำนวน 4 เครื่องโดย เปิดใช้งานปกติ 2 เครื่องและสำรองใช้งาน 2 เครื่อง มีรายละเอียดดังภาพประกอบ 33

RTHD Standard Efficiency (SE)		RTHD C1 D6 E5 RTHD C2 D6 E5 RTHD D1 D4 E4 RTHD D2 D1 E1				
		RTHD	RTHD	RTHD	RTHD	RTHD
Eurovent Performances (1)		SE	SE	SE	SE	SE
Net Cooling Capacity	(kW)	769	886	1050	1145	1216
Total Power input in cooling	(kW)	149	176	209	221	240
EER		5.16	5.03	5.03	5.18	5.06
ESEER		5.41	5.36	5.09	5.31	5.31
Main Power supply	V/Ph/Hz	400/3/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50	400/3/50
Sound power level env.	(dBA)	80	80	78	78	78
Cooling application data (1)						
Gross cooling capacity	(kW)	772	891	1055	1150	1221
Gross power input	(kW)	142	166	196	209	226
Gross EER		5.46	5.37	5.37	5.49	5.40
Gross ESEER		6.18	6.32	5.92	6.20	6.16
Unit amps						
Unit rated amps (2)	(A)	349	349	455	455	455
Unit start up amps (2)	(A)	480	480	748	748	748
Power factor		0.87	0.87	0.89	0.89	0.89
Fuse size (3)	(A)	400	400	630	630	630
Disconnect switch size (3)	(A)	400	400	630	630	630
Short Circuit Unit Capacity	(kA)	35	35	35	35	35
Compressor						
Compressor code		C1	C2	D1	D2	D3
Oil sump Heater	(W)	300	300	300	300	300
Evaporator						
Evaporator code		D6	D6	D4	D1	D1
Evaporator Water Content	(l)	193	193	220	248	248
Two pass evaporator						
Evap. Water Flow rate - Minimum	(l/s)	23	23	27	32	32
Evap. Water Flow rate - Maximum	(l/s)	81	81	97	114	114
Nominal water connection size (Grooved coupling)	(mm)	200	200	200	200	200
Three pass evaporator						
Evap. Water Flow rate - Minimum	(l/s)	15	15	18	21	21
Evap. Water Flow rate - Maximum	(l/s)	54	54	64	76	76
Nominal water connection size (Grooved coupling)	(mm)	200	200	200	200	200
Four pass evaporator						
Evap. Water Flow rate - Minimum	(l/s)	12	12	14	16	16
Evap. Water Flow rate - Maximum	(l/s)	40	40	48	57	57
Nominal water connection size (Grooved coupling)	(mm)	150	150	150	150	150
Six pass evaporator						
Evap. Water Flow rate - Minimum	(l/s)	-	-	-	-	-
Evap. Water Flow rate - Maximum	(l/s)	-	-	-	-	-
Nominal water connection size (Grooved coupling)	(mm)	-	-	-	-	-
Condenser						
Condenser code		E5	E5	E4	E1	E1
Condenser Water Content	(l)	132	135	148	167	167
Condenser Water Flow rate - Minimum	(l/s)	16	16	19	22	22
Condenser Water Flow rate - Maximum	(l/s)	57	57	67	80	80
Nominal water connection size (Grooved coupling)	(mm)	200	200	200	200	200

ภาพประกอบ 30 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องทำความเย็นแบบรุ่น RTHD-180

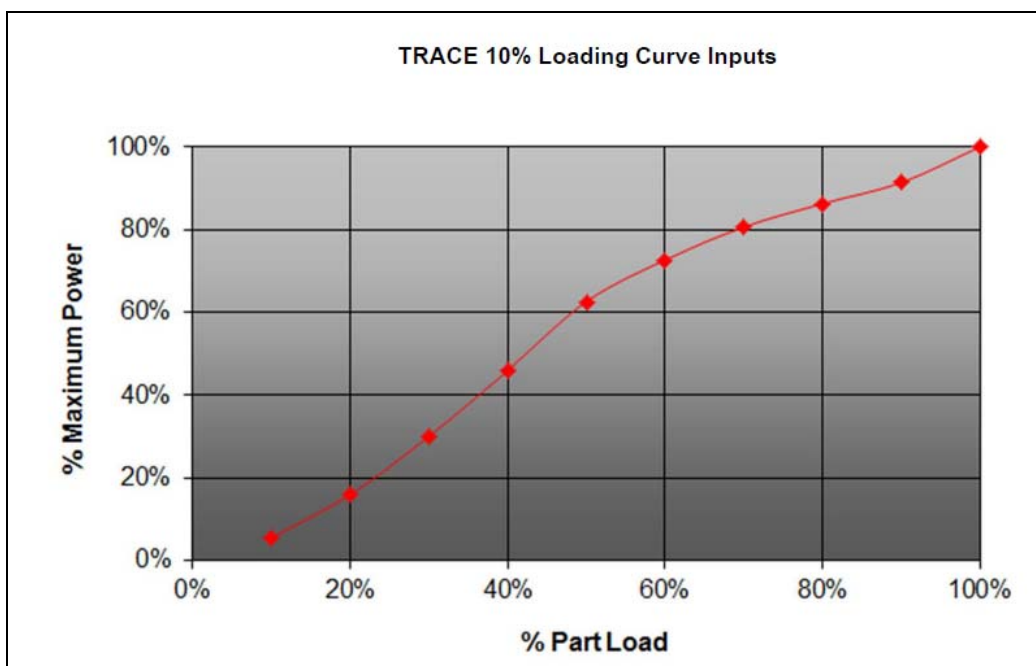
ซึ่งมีการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 2 เครื่องนี้เต็มกำลังการผลิต ในการศึกษาครั้งนี้จึงจะเลือกเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนที่ใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้งานร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็นเดิมเพื่อให้มีภาระการทำงานลดลง โดยจะใช้โปรแกรม The TRACE™ 700 ของบริษัท Trane® เพื่อคำนวณหาการลดภาระการทำงาน และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จากการลดภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเดิม ดังนี้

10% Load Increment Calculation Sheet								
Amb. relief/degree of relief		1.6%						
PF, Exponent = 3.0								
TRACE Inputs								TRACE Inputs
Load %*	kW	ECWT	kW% (selection)	DeltaT	% Relief	Ambient multiplier	kW @ Constant	% kW @ Constant ECWT
100%	149	85	100%	0	0.00	1.00	149	100%
90%	127	81	86%	4	0.06	0.94	136	91%
80%	112	77	75%	8	0.13	0.87	128	86%
70%	97	73	65%	12	0.19	0.81	120	81%
60%	80	69	54%	16	0.26	0.74	108	73%
50%	63	65	43%	20	0.32	0.68	93	63%
40%	46	65	31%	20	0.32	0.68	68	46%
30%	30	65	20%	20	0.32	0.68	45	30%
20%	16	65	11%	20	0.32	0.68	24	16%
10%	6	65	4%	20	0.32	0.68	8	5%

Approximate Ambient Relief numbers	
Two stage Centrifugal	= 1.5%
Two stage Centrifugal with VFD	= 2.3%
Screw Chiller	= 1.6%
Single stage centrifugal	= 0.9%
Single stage centrifugal with VFD	= 2.3%

ภาพประกอบ 31 การหาพลังงานไฟฟ้าจากการลดภาระการทำงานลงครึ่งละ 10%

ที่มา: โปรแกรม The TRACE™ 700



ภาพประกอบ 32 กราฟแสดงพลังงานไฟฟ้าจากการลดภาระการทำงานลงครึ่งละ 10%

ที่มา: โปรแกรม The TRACE™ 700

Output Type	Full Load	Part Load	Part Load	Part Load	Part Load	Part Load	Part Load	Part Load	Part Load	Part Load
Percent Load	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Capacity (Tons)	180	162	144	113.4	108	90	72	54	36	18
Chiller Input (kW)	149	127.4	112.05	97	80.46	63.33	46.49	30.4	16.09	5.51
Input Power (kW/Ton)	0.82	0.78	0.77	0.85	0.74	0.70	0.64	0.56	0.44	0.30

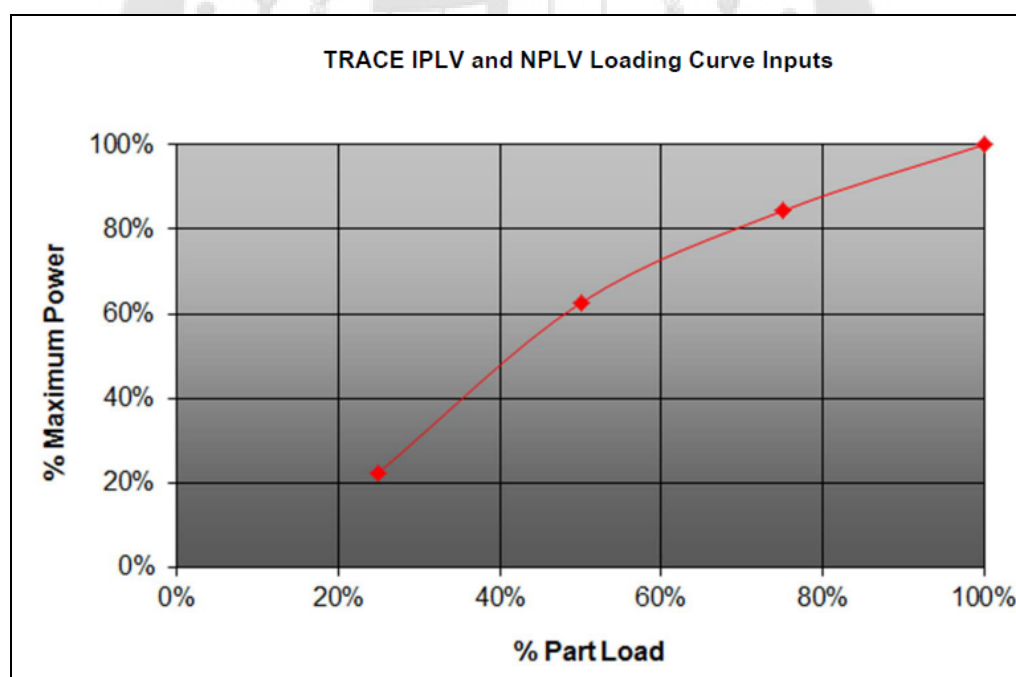
ภาพประกอบ 33 ข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจากการลดภาระการทำงานลง 10%

ที่มา: โปรแกรม The TRACE™ 700

IPLV and NPLV Calculation Sheet								
Amb. relief/degree of relief		1.6%						
PF, Exponent = 3.0								
TRACE Inputs								
Load %	kW	ECWT	kW% (selection)	DeltaT	% Relief	Ambient multiplier	kW @ Constant	% kW @ Constant ECWT
100%	149	85	100%	0	0.00	1.00	149	100%
75%	105.5	75	71%	10	0.16	0.84	126	84%
50%	63.33	65	43%	20	0.32	0.68	93	63%
25%	22.72	65	15%	20	0.32	0.68	33	22%

ภาพประกอบ 34 การหาพลังงานไฟฟ้าจากการลดภาระการทำงาน

ที่มา: โปรแกรม The TRACE™ 700



ภาพประกอบ 35 กราฟแสดงพลังงานไฟฟ้าจากการลดภาระการทำงาน

ที่มา: โปรแกรม The TRACE™ 700

ตาราง 4 ข้อมูลการไฟฟ้าและการลดภาระการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นเดิม

เครื่องทำน้ำเย็นเดิม จำนวน 1 เครื่อง	ภาระใช้งาน (%)	ภาระความ เย็น (TR)	ไฟฟ้า (kWh)	ไฟฟ้า ลดลง (kWh)
	100	180	149	
	75	135	105.0	43.95
	50	90	63.3	85.67
	25	45	22.7	

จากตารางข้อมูลการไฟฟ้าและการลดภาระการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นเดิม จึงมีเป้าหมายที่จะศึกษาการทำโครงการเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนขนาด 50 ตัน และ 80 ตัน เพื่อลดภาระเครื่องทำน้ำเย็นเดิมให้เดินที่ 75% และ 50% ในช่วงเวลาที่กำหนด

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่นๆ ทำให้ทราบว่าประสิทธิภาพการทำความเย็นแบบดูดกลืน และสารดูดกลืนความร้อนเพื่อทำความเย็นในระบบปรับอากาศชนิดนี้ คือ ลิเทียมโบรไมด์ และน้ำ (Lithium bromide + H₂O) เนื่องจากลิเทียมโบรไมด์มีค่าความร้อนแฝงกลายเป็นไอต่ำ จึงไม่ต้องใช้พลังงานความร้อน หรืออุณหภูมิของน้ำในการทำงานสูงมากในการดูดกลืนความชื้นของระบบ (ณรงค์ฤทธิ์ มูลเจริญ. (2548)) และเลือกใช้เครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนนี้ เป็นประเภทการทำความเย็นด้วยน้ำร้อนแบบดูดกลืนชั้นเดียว มีความต้องการอุณหภูมิของน้ำร้อน ที่ประมาณ 95 องศาเซลเซียส มาขับเคลื่อนระบบ ซึ่งต่ำกว่าเครื่องทำน้ำเย็นประเภทอื่นๆ และสามารถนำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานในระบบได้

	Model	RVK-AB50	RVK-AB80	RVK-AB100
	Cooling Cap.	176.0 kW	281.6 kW	352.0 kW
<u>Chilled Water</u>	Temp. Inlet	12 °C	12 °C	12 °C
	Temp. Outlet	7 °C	7 °C	7 °C
	Flow rate	30.32 m ³ /h	38.51 m ³ /h	64.00 m ³ /h
	Pressure drop	4.5 mm.H ₂ O	4.5 mm.H ₂ O	6.6 mm.H ₂ O
	Connection	3"	4"	4"
<u>Cooling Water</u>	Temp. Inlet	30 °C	30 °C	30 °C
	Temp. Outlet	35 °C	35 °C	35 °C
	Flow rate	73.6 m ³ /h	117.8 m ³ /h	147.5 m ³ /h
	Pressure drop	4.8 mm.H ₂ O	4.8 mm.H ₂ O	8.1 mm.H ₂ O
	Connection	4"	5"	5"
<u>Hot Water</u>	Temp. Inlet	95 °C	95 °C	95 °C
	Temp. Outlet	85 °C	85 °C	85 °C
	Flow rate	21.65 m ³ /h	34.65 m ³ /h	43.38 m ³ /h
	Pressure drop	4.2 mm.H ₂ O	4.2 mm.H ₂ O	5.2 mm.H ₂ O
	Connection	3"	4"	4"
<u>Electricity</u>	Refrig. Pump	0.37 kW	0.37 kW	0.4 kW
	Solution Pump	2.0 kW	2.4 kW	2.6 kW
	Vacuum Pump	0.37 kW	0.37 kW	0.37 kW
	Power Supply	380V/50Hz/3Ph	380V/50Hz/3Ph	380V/50Hz/3Ph
<u>Dimensions</u>	Width	1500 mm.	1800 mm.	1550 mm.
	Height	2750 mm.	2750 mm.	2810 mm.
	Length	2200 mm.	2200 mm.	3750 mm.
<u>Weight</u>	Weight	4.5 Tons	5.5 Tons	6.2 Tons

ภาพประกอบ 36 ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน

ที่มา: บริษัท ราโวเทค จำกัด

โดยข้อมูลด้านเทคนิคและวิศวกรรมของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ แสดงได้ดังนี้

เครื่องที่ 1 เครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน (Solar Absorption Chiller)

- ขนาดของระบบทำความเย็น : 50 RT รุ่น : RVK-AB50
- ภาระการทำความเย็น : 176 kW
- ปริมาณน้ำร้อนที่ต้องการ : 21.65 m³/h (6.01 l/s)
- ขนาดของเครื่อง กว้าง x ยาว x สูง : 1.5 x 2.75 x 2.2 m.
- ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้ารวม : 2.74 kW, 3Phase/ 380 Volt/ 50 Hz

เครื่องที่ 2 เครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน (Solar Absorption Chiller)

- ขนาดของระบบทำความเย็น : 80 RT รุ่น : RVK-AB80
- ภาระการทำความเย็น : 281.6 kW
- ปริมาณน้ำร้อนที่ต้องการ : 34.65 m³/h (9.625 l/s)
- ขนาดของเครื่อง กว้าง x ยาว x สูง : 1.8 x 2.75 x 2.2 m.
- ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้ารวม : 2.76 kW, 3Phase/ 380 Volt/ 50 Hz

โดยที่หน่วยทำความเย็น : 1 RT = 3,024 kcal/h = 3,516W = 3.516 kW

จากข้อมูลเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน มีความต้องการปริมาณการใช้ไฟฟ้าน้อยมาก หากเปรียบเทียบการใช้งานกับเครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำที่มีขนาดทำความเย็น และมีภาระการทำความเย็นใกล้เคียงกัน โดยปริมาณการใช้ไฟฟ้าของของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ สามารถแสดงได้ดังตาราง 5

ตาราง 5 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์

ลำดับ	เครื่องทำน้ำเย็น แบบดูดกลืน	ขนาด	ภาระทำ ความเย็น	พลังงาน ไฟฟ้าใน เครื่อง	พลังงาน ไฟฟ้าปั๊มน้ำ ในระบบ	รวม
		TR	(kW)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
1	เครื่องที่ 1	50	176	2.74	4.5	7.24
2	เครื่องที่ 2	80	281.6	2.76	5.5	8.26

จากตาราง 5 เป็นการแสดงถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน และปั๊มหมุนเวียนน้ำจากถังน้ำไปยังตัวเก็บรังสีอาทิตย์และส่งกลับมายังเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน โดยที่โครงการเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนขนาด 50 ตัน ใช้ไฟฟ้ารวม 7.24 kWh และเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนขนาด 80 ตัน ใช้ไฟฟ้ารวม 8.26 kWh ซึ่งหากพิจารณาเปรียบเทียบกับไฟฟ้าที่ลดลงจากการลดภาระการเดินเครื่องทำน้ำเย็นเดิมที่ 75% และ 50% ที่สามารถลดไฟฟ้าลงได้ 43.95 kWh และ 85.67 kWh ตามลำดับ ซึ่งจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ทำการลดภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเดิมถือว่ามีความเป็นไปได้ในการดำเนินโครงการ แต่จะต้องทำการวิเคราะห์หาผลการตอบแทนการลงทุน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป

1.3 การเลือกและคำนวณหาจำนวนตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ (Evacuated-tube collector)

จากความต้องการน้ำร้อนที่อุณหภูมิสูงถึง 90-95 องศาเซลเซียส จึงเลือกใช้ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศที่มีท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Pipe) ซึ่งมีรายละเอียดและราคา ดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 6 แสดงรายละเอียดและราคาตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ

รายละเอียดและราคาตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ						
รุ่น	จำนวน	พื้นที่ติดตั้ง	น้ำหนักรวม	อุณหภูมิ	ราคา	
	หลอด	ก x ย (m ²)	(kg)	(°C)	(บาท/แผง)	
TRP-24	24	2.14 x 1.52	3.25	63	95	19,500.00

ที่มา: บริษัท ราโวเทค จำกัด (2558)

1.4 การคำนวณหาปริมาณตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศ

ค่าพลังงานความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์หาได้จาก

$$Q_u = G \times \eta$$

โดยที่

- Q_u คือ ค่าพลังงานความร้อนที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (kJ/m²)
 G คือ ค่ารังสีอาทิตย์บนพื้นราบที่ตกกระทบบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (kJ/m²)
 η คือ ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี

ปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อปี = $18,200 \text{ kJ/m}^2$ (ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ปี พ.ศ. 2554)

ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศเฉลี่ย = $50\% = 0.5$

ดังนั้น $Q_u = 18,200 \times 0.5 = 9,100 \text{ kJ/m}^2$

ค่าพลังงานถ่ายเทความร้อนของน้ำหาได้จาก

$$Q = mc \Delta T$$

โดยที่

Q คือ ค่าพลังงานถ่ายเทความร้อนของน้ำ (kJ)

m คือ มวลของน้ำ (Liter)

c คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ (4.2 kJ/kg.K)

ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ($T_2 - T_1$), K

ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำ $1 \text{ m}^3 = 1,000 \text{ Liter}$ และ น้ำ $1 \text{ Liter} = 1 \text{ kg}$

อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าที่เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน = $95^\circ\text{C} = 368.15 \text{ K}$

อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกที่เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน = $30^\circ\text{C} = 303.15 \text{ K}$

● เครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาด 50 ตันมีความต้องการปริมาณน้ำร้อนหมุนเวียนในระบบ $21.65 \text{ m}^3/\text{h}$ ดังนั้นความต้องการปริมาณน้ำร้อน

ดังนั้น

ปริมาณน้ำที่ต้องใช้รวม = $21,650 \text{ Liter}$

$$Q = (21,650) \times (4.2) \times (368.15 - 303.15) = 5,910,450 \text{ kJ}$$

พื้นที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์หาได้จาก

$$A = \frac{Q}{Q_u}$$

$$\text{พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์} = 5,910,450 \text{ kJ} / 9,100 (\text{kJ/m}^2) = 649.5 \text{ m}^2$$

ดังนั้น

ปริมาณพื้นที่รับแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ระบบต้องการ คือ 650 m^2

จำนวนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ = $650 / 3.25 = 200$ แผง

ราคาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ = $200 \times 19,500 = 3,900,000$ บาท

● เครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาด 80 ต้นมีความต้องการปริมาณน้ำร้อน
หมุนเวียนในระบบ $34.65 \text{ m}^3/\text{h}$

ดังนั้น

ปริมาณน้ำที่ต้องใช้รวม = 34,650 Liter

$Q = (34,650) (4.2) (368.15 - 303.15) = 9,459,450 \text{ kJ}$

พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ = $9,459,450 \text{ kJ} / 9,100 (\text{kJ/m}^2) = 1,049.5 \text{ m}^2$

ดังนั้น

ปริมาณพื้นที่รับแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ คือ 1050 m^2

จำนวนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ = $1050 / 3.25 = 320$ แผง

ราคาของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ = $320 \times 19,500 = 6,240,000$ บาท

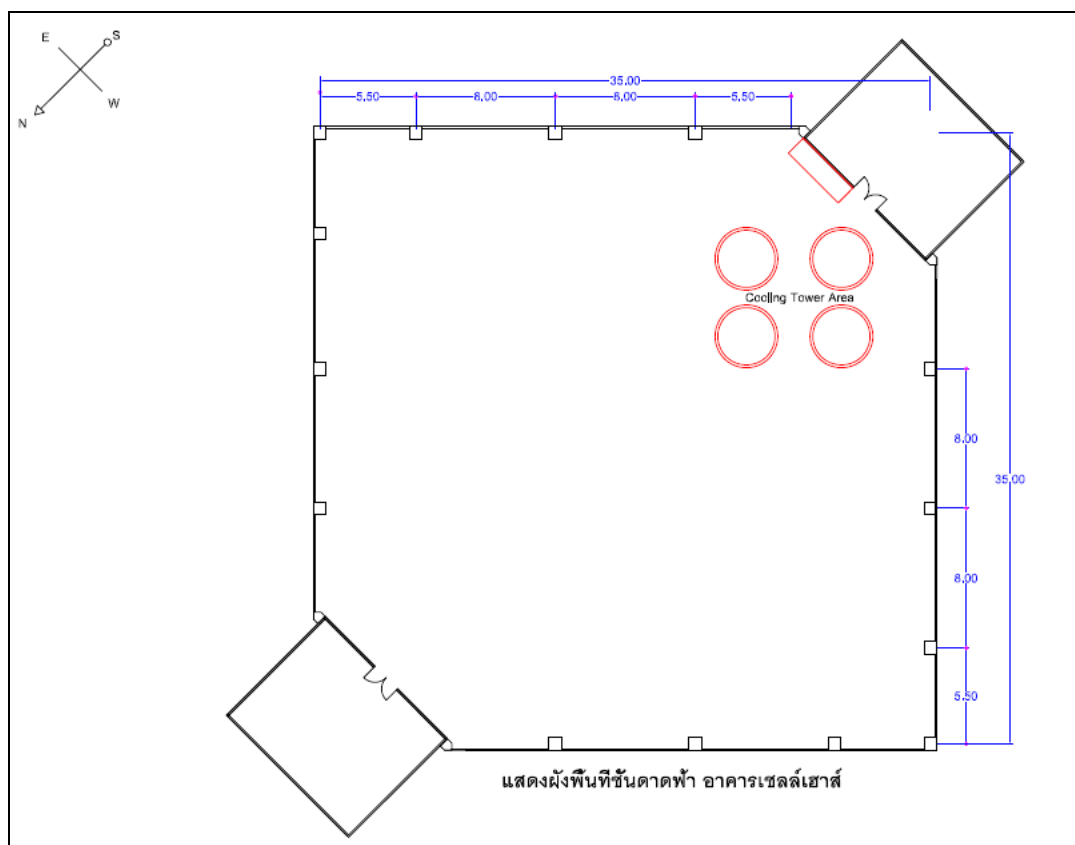
ตาราง 7 สรุปผลการประเมินทางด้านเทคนิคและวิศวกรรมของระบบ

ลำดับ	เครื่องทำน้ำเย็นแบบ ดูดกลืน	ขนาด (TR)	ภาระทำ ความเย็น (kW)	พลังงาน ไฟฟ้า (kW)	พื้นที่รับแสง (m^2)	แผงรับ ความร้อน (แผง)
1	เครื่องที่ 1	50	176	7.24	650	200
2	เครื่องที่ 2	80	281.6	8.26	1050	320

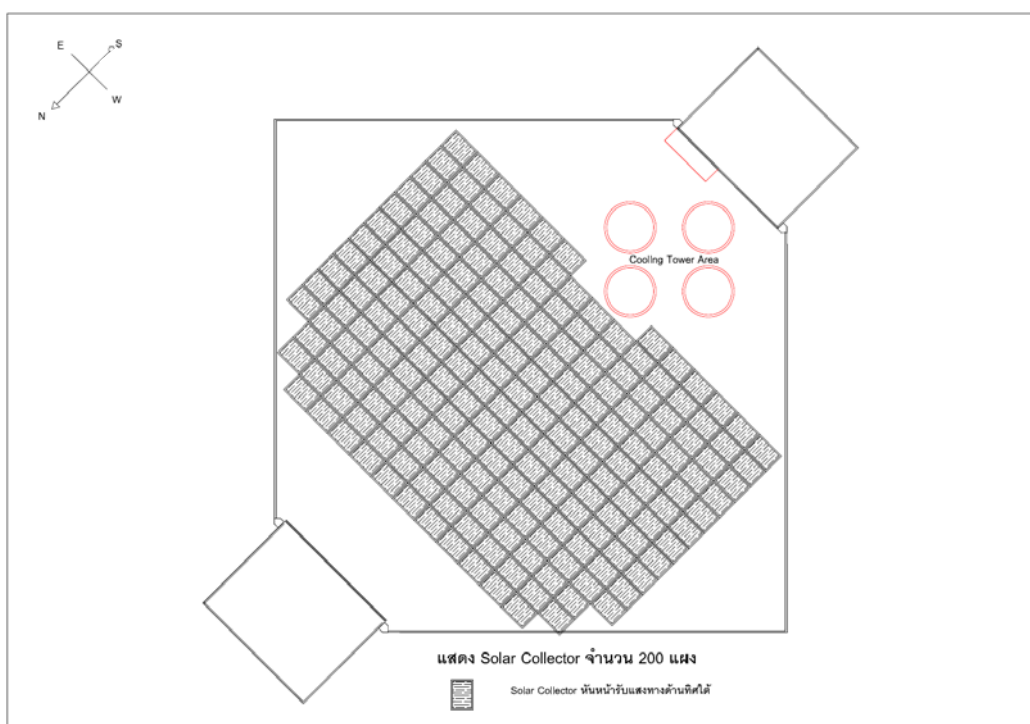
จากตาราง 7 เป็นการสรุปผลการประเมินทางด้านเทคนิคและวิศวกรรมของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ทั้ง 2 ขนาด คือ 50 ตัน และ 80 ตัน มีความต้องการพื้นที่ติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ 650 m^2 และ $1,050 \text{ m}^2$ ตามลำดับ ซึ่งเพียงพอสำหรับพื้นที่อาคารเซลล์เฮาส์ ชั้นดาดฟ้าที่เหลือจากการติดตั้ง Cooling Tower ดังนั้นการศึกษานี้จึงจะดำเนินการศึกษา และเปรียบเทียบความคุ้มค่าในด้านเศรษฐศาสตร์ และการลงทุนต่อไป

1.5 การออกแบบติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์

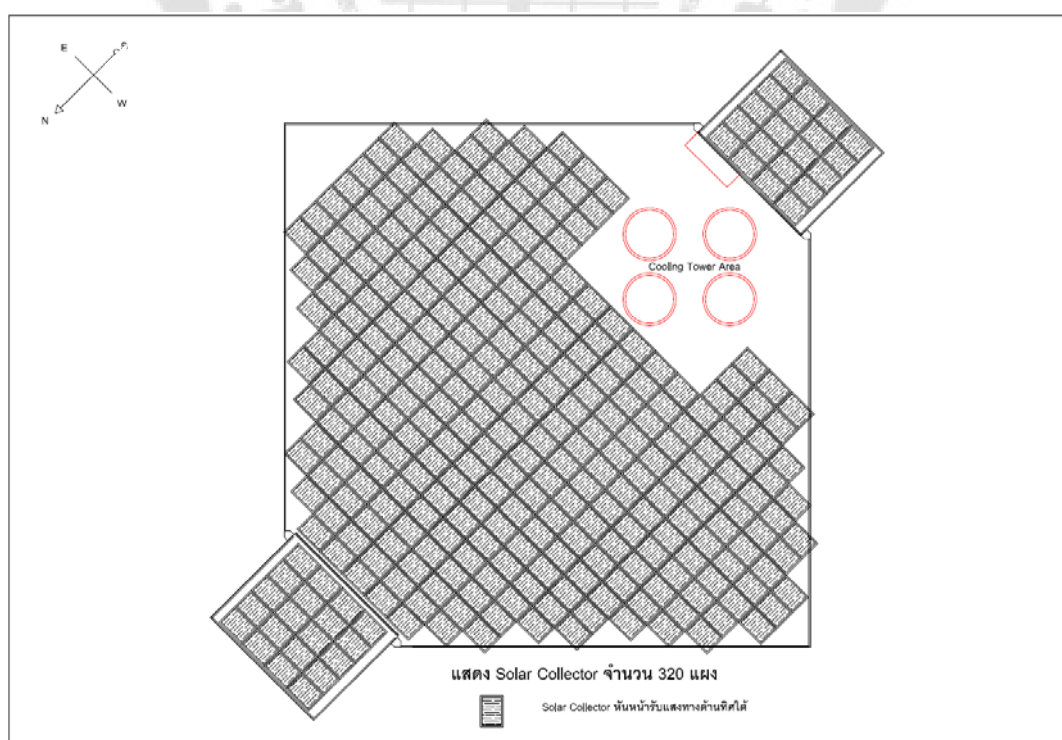
จากการศึกษาการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ในการผลิตน้ำร้อน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้ศึกษาว่า ในพื้นที่ของกรุงเทพควรติดตั้งให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เอียงทำมุม 15° กับแนวนอน และหันหน้าไปทางทิศใต้ ซึ่งจะทำให้สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน



ภาพประกอบ 37 แผนผังพื้นที่ชั้นดาดฟ้าของอาคารเซลล์ไฮสปีด



ภาพประกอบ 38 แผนผังการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์จำนวน 200 แผง

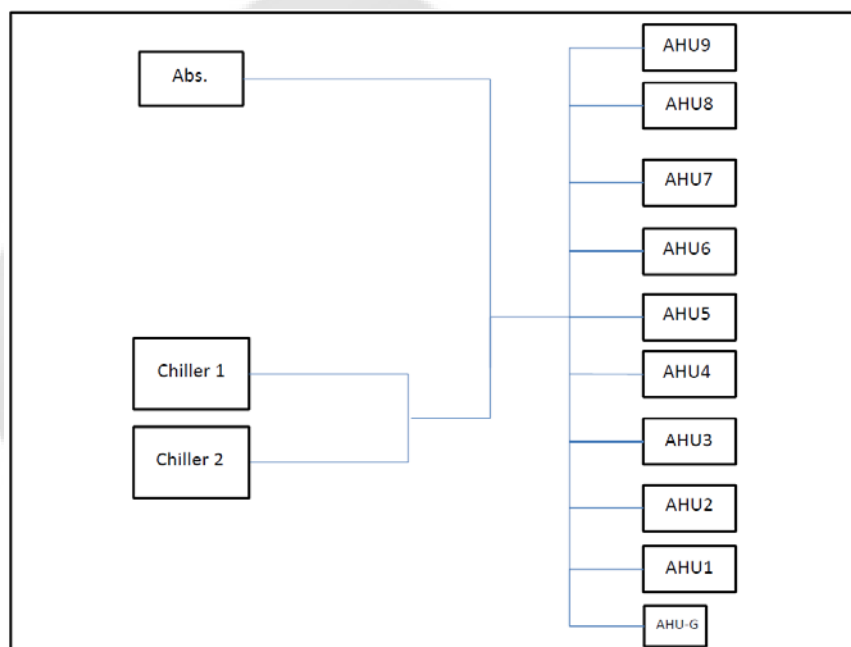


ภาพประกอบ 39 แผนผังการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์จำนวน 320 แผง

1.6 การติดตั้งท่อน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน

การติดตั้งท่อน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน เข้ากับระบบท่อน้ำเย็นเดิมของเครื่องทำน้ำเย็นเดิมในเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานในแต่ละชั้น ซึ่งจากการศึกษาขนาดของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนที่สามารถติดตั้งได้ มีขนาด 50 ตัน และ 80 ตัน โดยในอาคารเซลล์เฮาส์ เดิมมีเครื่องปรับอากาศขนาด 40 ตัน ติดตั้งอยู่ในแต่ละชั้นทั้งหมด 9 ชั้น และขนาด 10 ตัน ติดตั้งอยู่ชั้นใต้ดินของอาคาร และมีการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นเดิมขนาด 180 ตัน จำนวน 2 เครื่อง เพื่อทำน้ำเย็นในระบบเครื่องปรับอากาศทั้งหมด

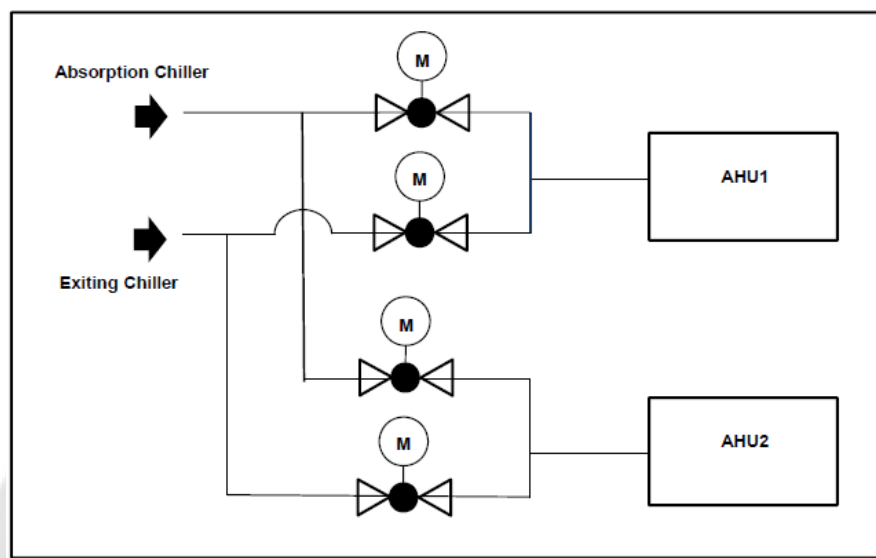
จากภาพประกอบ 40 และ 41 แสดงแผนผังการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนด้วยระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ เพื่อนำน้ำเย็นมาใช้งานร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็นเดิมของอาคาร



ภาพประกอบ 40 แผนผังการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนเพื่อใช้งานร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็นเดิมของอาคาร

โดยการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนขนาด 50 ตัน เพื่อใช้งานร่วมกับเครื่องปรับอากาศขนาด 40 ตันจำนวน 1 เครื่อง และขนาด 10 ตันจำนวน 1 เครื่อง ส่วนในกรณีของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนขนาด 80 ตัน จะใช้งานร่วมกับเครื่องปรับอากาศขนาด 40 ตันจำนวน 2 เครื่อง ซึ่งการพิจารณาเครื่องปรับอากาศที่จะทำการติดตั้งท่อน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนนี้จะเลือกพิจารณาจากการใช้งาน และได้รับผลประโยชน์สูงสุดในช่วงเวลาที่กำหนด ซึ่งลักษณะการติดตั้งท่อน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนด้วยระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ดังภาพประกอบ 41 จะเป็นการติดตั้งเข้ากับท่อน้ำเย็นเดิมของเครื่องปรับอากาศ โดยมีการติดตั้งท่อ

3 ทาง และวาล์วปิด-เปิด มีการควบคุมการทำงานด้วยระบบสั่งอัตโนมัติ เมื่อเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนทำงานจะสั่งเปิด และปิดท่อน้ำเย็นของระบบโดยอัตโนมัติ และเมื่อปริมาณรังสีอาทิตย์ หรือ อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ได้จากรังสีอาทิตย์ไม่เพียงพอเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนจะหยุดทำงาน และวาล์วควบคุมจะสั่งปิด และเปิดท่อน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นเดิม เพื่อให้เครื่องปรับอากาศสามารถทำความเย็นได้ต่อไป



ภาพประกอบ 41 การติดตั้งท่อน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนเข้ากับระบบท่อน้ำเย็นเดิมของเครื่องปรับอากาศ

1.7 การหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP)

จากพลังงานความร้อนรังสีอาทิตย์ ที่นำมาใช้ในระบบทำความเย็นทั้ง 2 ขนาดนี้ สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP) ของระบบได้ดังนี้

$$COP = \frac{Q_e}{Q_s}$$

เมื่อ

COP คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ

Q_e คือ ความสามารถทำความเย็นของเครื่องทำความเย็น, Watt

Q_s คือ ความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์, Watt

โดยที่เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนขนาด 50 ตัน มีภาระการทำความเย็นได้ 176 kW ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อน $Q_e = 176 \text{ kW}$ และมีอัตราการไหลของน้ำร้อน = 6.01 l/s

อุณหภูมิน้ำร้อนขาเข้าที่เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน = $95^\circ\text{C} = 368.15 \text{ K}$

อุณหภูมิน้ำร้อนขาออกที่เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน = $85^\circ\text{C} = 358.15 \text{ K}$

ค่าพลังงานความร้อนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ หาได้จากการถ่ายเทความร้อนของน้ำร้อนหมุนเวียนในระบบเครื่องทำความเย็น หาได้จาก

$$Q_s = mc\Delta T$$

เมื่อ

m คือ อัตราการไหลของน้ำร้อนเข้าสู่เครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน, l/s

c คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ, มีค่าเท่ากับ 4.2 kJ/kg.K

ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง, K

ค่าพลังงานจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ = $6.01 \times 4.2 \times (368.15 - 358.15) = 252.42 \text{ kW}$

ดังนั้นค่า COP = $176/252.42 = 0.69$

ส่วนเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาด 80 ตัน ตันมีอัตราการถ่ายเทความร้อน $Q_e = 286.1 \text{ kW}$ โดยที่อัตราการไหลของน้ำร้อน = 9.625 l/s

เครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนขนาด 80 ตัน จะมีค่าพลังงานความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ = $9.625 \times 4.2 \times (368.15 - 358.15) = 404.25 \text{ kW}$ ดังนั้นค่า COP = $286.1/404.25 = 0.7$

จากการคำนวณแสดงให้เห็นว่าเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ทั้ง 2 ขนาด คือ 50 ตันความเย็น มีค่า COP = 0.69 และ 80 ตันความเย็น มีค่า COP = 0.7 ตามลำดับ

2. ผลการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์และการลงทุน

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ จะประเมินภายใต้เงื่อนไขและสมมุติฐานที่ใช้ในการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์ดังนี้

- วิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นเดิมโดยการลดภาระการทำงานที่ 50% และ 75% เปรียบเทียบกับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ขนาด 50 ตัน และ 80 ตัน

- วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานติดตั้งเครื่องทำความเย็นจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ขนาด 50 ตัน และ 80 ตัน

- การใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นที่พิจารณา 8 ชั่วโมง (09.00 – 17.00 น.) ทุกวัน
ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า คิดแบบประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ อัตรา 4.1.2 (TOD)

- ค่าพลังงานไฟฟ้าผันแปร (ค่า Ft) 49.61 สตางค์ (อ้างอิง กฟน. : พฤษภาคม – สิงหาคม 2558)

- พิจารณายุของโครงการ 15 ปี

- กำหนดอัตราลดค่าของโครงการเท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ MLR อัตราดอกเบี้ยเฉลี่ย MLR 6.651% อ้างอิงจากธนาคารพาณิชย์ในประเทศไทย (2558)

- เงินสนับสนุนการลงทุนใน “โครงการส่งเสริมการใช้น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน” (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) 2550 - 2565) จำนวน 4,150 บาท/ม² ของแบบหลอดแก้วสุญญากาศที่มีระบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนภายใน และสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ที่มีค่าปริมาณรังสีอาทิตย์เฉลี่ยที่ผลิตได้ในรอบปีมีค่าตั้งแต่ 800 kWh/m²/ปี ขึ้นไป

- คำนวณ และจัดเรียงข้อมูล โดยโปรแกรม Microsoft Excel

- การประเมินความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อประเมินผลตอบแทนการลงทุนของการใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ประกอบด้วย

- 1 งบประมาณลงทุนโครงการ (Capital Budgeting)

- 2 ค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ตลอดโครงการ

(Energy Cost Saving)

- 3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

- 4 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR)

- 5 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

- 6 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis)

2.1 การหาต้นทุนประมาณการลงทุนโครงการ (Capital Budgeting)

ตาราง 8 และ 9 เป็นการแสดงงบประมาณลงทุนโครงการ ในการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ขนาดทำความเย็น 50 ตัน และ 80 ตัน โดยคิดคำนวณรวมกับได้รับเงินทุนสนับสนุนโครงการส่งเสริมการใช้น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสานจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.)

ตาราง 8 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ขนาด 50 ตัน

ลำดับ	รายละเอียด	ราคา/ หน่วย	จำนวน	หน่วย	รวม (บาท)
1	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์	6,000	650	m ²	3,900,000.00
2	เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน	50,000	50	TR	2,500,000.00
3	ท่อน้ำสแตนเลสหุ้มฉนวน 3"	550	140	m	77,000.00
4	ท่อน้ำเหล็กเคลือบสังกะสี 4"	500	60	m	30,000.00
5	โครงสร้างรองรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์	1,000	650	m ²	650,000.00
6	ชุดควบคุมระบบ และอุปกรณ์อื่นๆ	40,000	1	unit	40,000.00
7	ถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวน	20,000	1	unit	20,000.00
8	ค่าแรงในการติดตั้งระบบ	1,000	650	m ²	650,000.00
9	เงินสนับสนุนโครงการ	-4,150	650	m ²	-2,697,500.00
รวมเงินลงทุนของระบบทั้งหมด					5,169,500.00

ตาราง 9 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ขนาด 80 ตัน

ลำดับ	รายละเอียด	ราคา/ หน่วย	จำนวน	หน่วย	รวม (บาท)
1	ตัวเก็บรังสีอาทิตย์	6,000	1040	m ²	6,240,000.00
2	เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน	50,000	80	TR	4,000,000.00
3	ท่อน้ำสแตนเลสหุ้มฉนวน 4"	600	220	m	132,000.00
4	ท่อน้ำเหล็กเคลือบสังกะสี 5"	550	60	m	33,000.00
5	โครงสร้างรองรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์	1,000	1040	m ²	1,040,000.00
6	ชุดควบคุมระบบ และอุปกรณ์อื่นๆ	40,000	1	unit	40,000.00

ตาราง 9 (ต่อ)

ลำดับ	รายละเอียด	ราคา/ หน่วย	จำนวน	หน่วย	รวม (บาท)
7	ถังเก็บน้ำร้อนหุ้มฉนวน	20,000	1	unit	20,000.00
8	ค่าแรงในการติดตั้งระบบ	1,000	1040	m ²	1,040,000.00
9	เงินสนับสนุนโครงการ	-4,150	1040	m ²	-4,316,000.00
รวมเงินลงทุนของระบบทั้งหมด					8,229,000.00

จากตารางค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ขนาดทำความเย็น 50 ตัน และ 80 ตัน รวมกับได้รับเงินทุนสนับสนุนโครงการส่งเสริมการใช้น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสานจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) แล้ว พบว่าระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ ขนาด 50 ตัน มีมูลค่าลงทุน 5,169,500 บาท และ ขนาด 80 ตัน มีมูลค่าลงทุน 8,229,000 บาท

2.2 การหาค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัด (Energy Cost Saving)

จากงบประมาณเงินลงทุนโครงการสามารถ วิเคราะห์และคำนวณผลประหยัดจากการใช้จ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำได้ดังนี้ โดยค่าพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างจากการใช้เครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 2 ประเภท อ้างอิงจากการไฟฟ้านครหลวง ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ อัตรา 4.1.2 อัตรา TOD โดยมีค่าพลังงานไฟฟ้า 2.688 บาท และมีค่า Ft 0.4961 บาท (ไม่รวม Vat 7%)

จากเงื่อนไขช่วงเวลาการใช้งาน 8 ชั่วโมง คือ 09.00 – 17.00 น. ดังนั้นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงสามารถแยกรายละเอียดได้ตามช่วงระยะเวลาการใช้งานได้ดังตาราง 10 แต่เนื่องปริมาณรังสีอาทิตย์ไม่สามารถควบคุมได้ รวมทั้งยังมีฤดูฝนที่ทำให้ไม่มีรังสีอาทิตย์มาใช้งานเกือบตลอด 3 เดือน ดังนั้นการพิจารณาการใช้งานจริงจึงใช้ระยะเวลา 9 เดือน ที่สามารถใช้รังสีอาทิตย์ได้ และจากจำนวนวันทำงานปกติ และการทำงานล่วงเวลาในวันหยุดของอาคารเซลล์เฮาส์ จะคิดจำนวนวันใช้งานเฉลี่ย 200 วัน ซึ่งสามารถหาค่าไฟฟ้าจากการใช้งานในรอบปีของอาคารเซลล์เฮาส์ ได้ ดังนี้

ตาราง 10 เปรียบเทียบผลต่างค่าไฟฟ้าของโครงการเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ขนาด 50 ตัน

ระบบ	ไฟฟ้า	ชั่วโมงทำงาน		ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมด (kW)		ค่าไฟฟ้า (หน่วย)	ค่าไฟฟ้า/ปี
	kWh	วัน	วัน/ปี	วัน	ปี	บาท	บาท
ภาระที่ 75%	43.95	8	200	351.6	70,320.0	3.1841	223,905.91
ระบบดูดกลืน 50 ตัน	7.24	8	200	57.92	11,584.0	3.1841	36,884.61
ผลต่างค่าไฟฟ้า	36.71				58,736.0		187,021.30

ตาราง 11 เปรียบเทียบผลต่างค่าไฟฟ้าของโครงการเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ขนาด 80 ตัน

ระบบ	ไฟฟ้า	ชั่วโมงทำงาน		ปริมาณไฟฟ้าทั้งหมด (kW)		ค่าไฟฟ้า (หน่วย)	ค่าไฟฟ้า/ปี
	kWh	วัน	วัน/ปี	วัน	ปี	บาท	บาท
ภาระที่ 50%	86.67	8	200	685.36	137,072.0	3.1841	436,450.96
ระบบดูดกลืน 80 ตัน	8.26	8	200	66.08	13,216.0	3.1841	42,081.07
ผลต่างค่าไฟฟ้า	77.41				123,856.0		394,369.89

จากตาราง 10 และ 11 เป็นการเปรียบเทียบผลต่างค่าไฟฟ้าในการลดภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเดิม ร่วมกับโครงการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ขนาด 50 ตัน ที่ 187,021.30 บาทต่อปี และโครงการขนาด 80 ตัน มีผลต่างค่าพลังงานไฟฟ้าที่ 394,369.89 บาท/ปี โดยไม่คิดรวมภาษีมูลค่าเพิ่ม

2.3 การหาค่าการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์นี้ จะเป็นการคำนวณหา มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายใน และระยะเวลาคืนทุน เพื่อนำมาวิเคราะห์ให้ทราบถึงความคุ้มค่าในการดำเนินโครงการ และสามารถเลือกโครงการที่เหมาะสมได้

โดยเงื่อนไขการพิจารณาโครงการที่ตัดสินใจดำเนินการ เมื่อโครงการดำเนินการจนครบกำหนดระยะเวลา 15 ปีแล้ว จะต้อง มี มูลค่าปัจจุบันสุทธิมากกว่าหรือเท่ากับ 0 ค่าอัตราผลตอบแทนภายในจะต้องมากกว่าอัตราดอกเบี้ยเฉลี่ยร้อยละ 6.651 ตามตาราง 12 เป็นการอ้างอิงอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ของธนาคารพาณิชย์ภายในประเทศไทย

ตาราง 12 อัตราดอกเบี้ยธนาคาร อ้างอิงจากธนาคารพาณิชย์ภายในประเทศไทย (2558)

อัตราดอกเบี้ยธนาคาร		
ธนาคาร	MLR (%)	ประกาศ ณ วันที่
ธนาคารกรุงเทพ	6.625	26/05/2558
ธนาคารกรุงไทย	6.625	26/05/2558
ธนาคารกสิกรไทย	6.630	21/05/2558
ธนาคารไทยพาณิชย์	6.625	21/05/2558
ธนาคารออมสิน	6.750	28/05/2558
อัตราดอกเบี้ยเฉลี่ย	6.651	

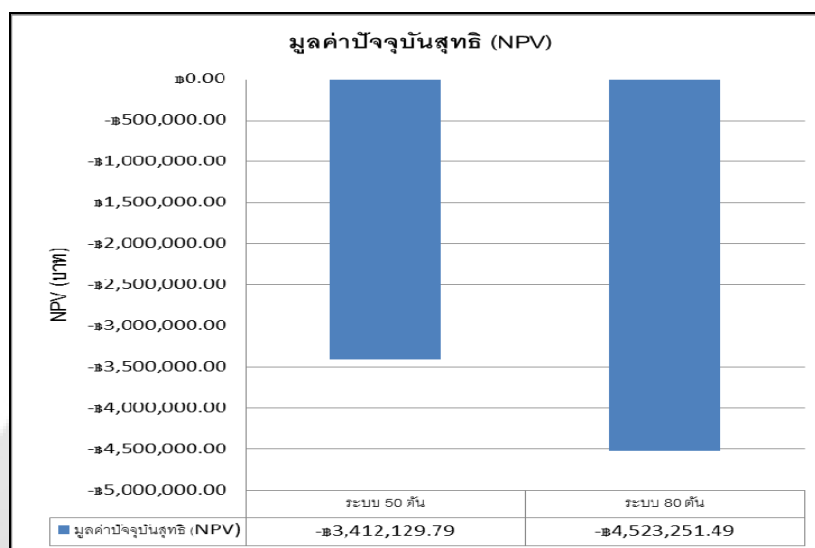
อัตราดอกเบี้ยแบบ MLR (Minimum Loan Rate) คือ อัตราดอกเบี้ยที่ธนาคารเรียกเก็บจากลูกค้ารายใหญ่ชั้นดี เป็นเงินกู้แบบมีระยะเวลา โดยส่วนใหญ่ใช้กับเงินกู้ระยะยาวที่มีกำหนดระยะเวลาที่แน่นอน ตัวอย่างเช่น สินเชื่อเพื่อการประกอบธุรกิจ เป็นต้น

ตาราง 13 ผลการวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์ ของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำ
น้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ขนาด 50 ตัน และ 80 ตัน

รายละเอียด			ระบบ 50 ตัน	ระบบ 80 ตัน
อัตราลดค่า 6.651%			0.0651	0.0651
เงินลงทุนโครงการ (บาท)	0		- 5,169,500.00	- 8,229,000.00
เงินค่าพลังงานที่ประหยัดได้ (บาท)	ปีที่ 1		187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 2		187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 3		187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 4		187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 5		187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 6		187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 7		187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 8		187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 9		187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 10		187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 11		187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 12		187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 13		187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 14		187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 15		187,021.30	394,369.89
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ตลอดโครงการ (บาท)			2,805,319.46	5,915,548.34
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)			-3,412,129.79	-4,523,251.49
B/C Ratio			0.54	0.72
ผลตอบแทนภายใน (IRR)			-6.82%	-3.87%
ระยะเวลาคืนทุน			27 ปี 8 เดือน	20 ปี 11 เดือน

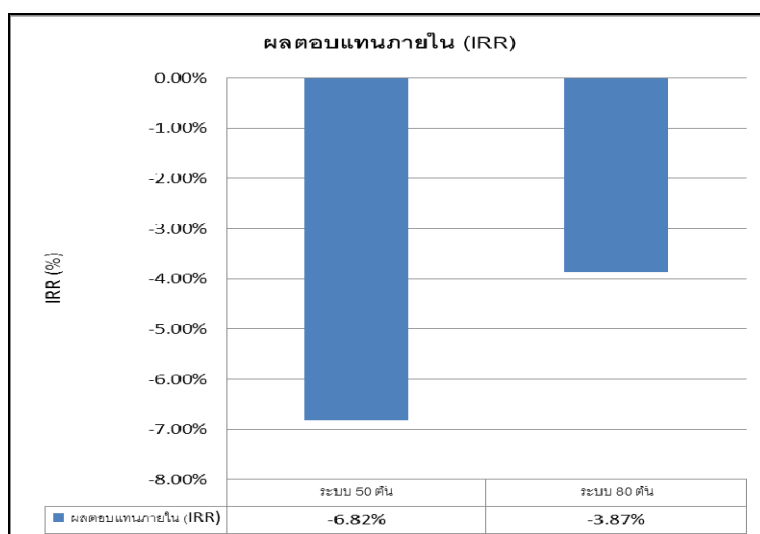
2.3 สรุปผลการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์และการลงทุน

สรุปผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และการลงทุนของโครงการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ พบว่างบประมาณลงทุนในขนาดการทำ ความเย็นที่ 50 ตัน ใช้งบประมาณลงทุน 5,169,500 บาท และขนาดการทำ ความเย็นที่ 80 ตัน ใช้ งบประมาณลงทุน 8,229,000 บาท เมื่อดำเนินโครงการตามระยะเวลาที่กำหนด 15 ปี จะได้ผลการ วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ดังนี้



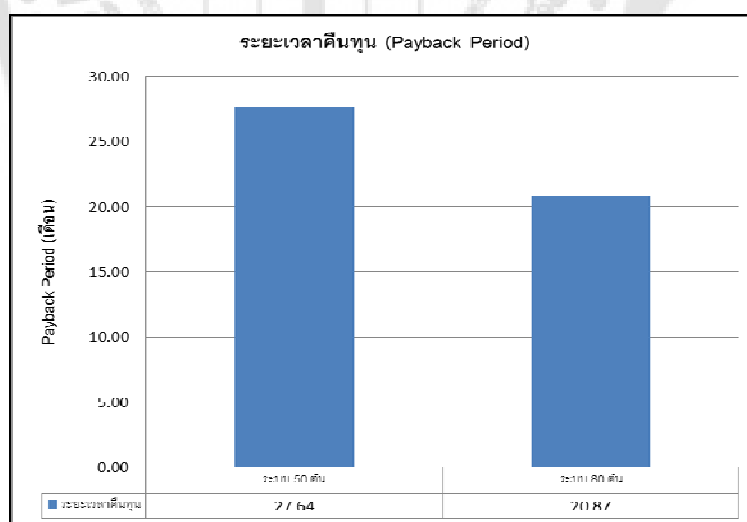
ภาพประกอบ 42 กราฟมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ

จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ -3,412,129.79 บาท และ -4,523,251.49 บาท ตามลำดับ ซึ่งหากพิจารณาในทางเศรษฐศาสตร์แล้ว ค่า NPV จะต้องเป็นบวกจึงจะพิจารณาในการลงทุน และจากการคำนวณพบว่าทั้ง 2 โครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นลบ



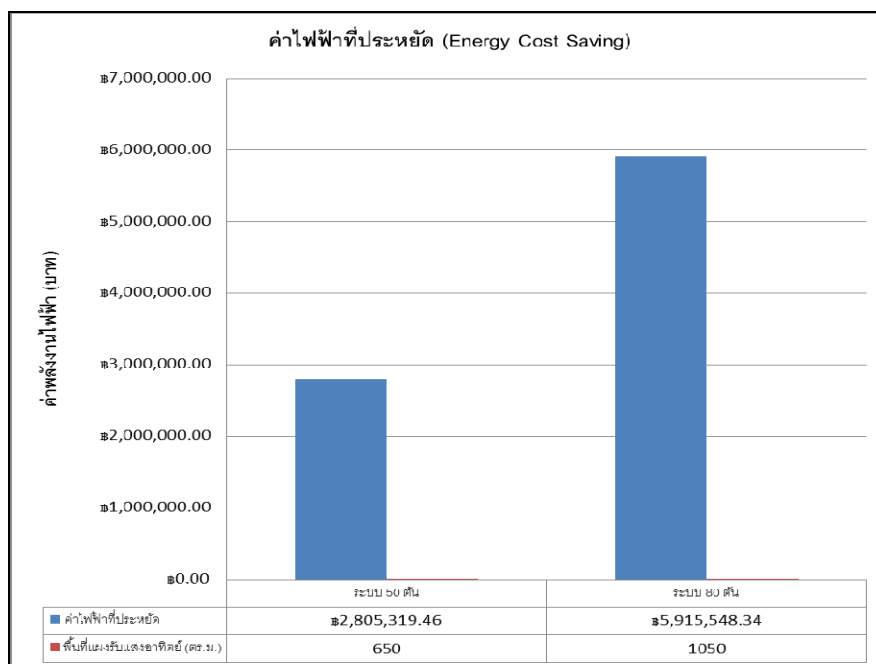
ภาพประกอบ 43 กราฟแสดงอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ

การพิจารณาการลงทุนทำโครงการ โดยใช้การคิดแบบอัตราผลตอบแทนภายใน จากตารางแสดงให้เห็นค่า IRR ของทั้ง 2 ระบบ คือ -6.82% และ -3.87% ตามลำดับ ซึ่งการพิจารณาในทางเศรษฐศาสตร์จะให้ความสำคัญกับโครงการที่มีค่า IRR ไม่ต่ำกว่าค่าอัตราลดค่า ที่กำหนดไว้ คือ 6.651%



ภาพประกอบ 44 กราฟระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการ

ในส่วนของการคำนวณระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการทั้ง 2 ขนาด นั้น พบว่าขนาด 50 ตัน มี ระยะเวลาคืนทุนที่ 27 ปี 8 เดือน และ ขนาด 80 ตัน มี ระยะเวลาคืนทุนที่ 20 ปี 11 เดือน



ภาพประกอบ 45 กราฟค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ของโครงการ

และผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุของโครงการ หากลงทุนติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ขนาด 50 ตัน และ 80 ตัน จะสามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 2,805,319.46 บาท และ 5,915,548.34 บาท ตามลำดับ

2.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ (Sensitivity Analysis)

จากผลสรุปการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์และการลงทุนของระบบทำความเย็นของโครงการเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ พบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อการลงทุนในโครงการนี้ คือ ราคาค่าอุปกรณ์ในระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีแสงอาทิตย์ เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน ค่าแรงงานในการก่อสร้าง และเงินสนับสนุนโครงการ ซึ่งหากปัจจัยเหล่านี้เพิ่มขึ้น อาจทำต้นทุนในการลงทุนเพิ่มสูงขึ้น และระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการจะนานมากขึ้น ซึ่งการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการนี้ จะเป็นการศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นแล้วทำให้เกิดผลกระทบต่อต้นทุนหรือผลตอบแทนของโครงการ โดยการศึกษาจะใช้วิธีทดสอบการเปลี่ยนแปลงเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 ต้นทุนในการลงทุนเพิ่มสูงขึ้น (ค่าใช้จ่ายผันแปร) ร้อยละ 10

กรณีที่ 2 ไม่มีเงินสนับสนุนโครงการส่งเสริมการใช้น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ตาราง 14 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว กรณีต้นทุนในการลงทุนเพิ่มสูงขึ้น ร้อยละ 10

รายละเอียด		ระบบ 50 ตัน	ระบบ 80 ตัน
อัตราลดค่า 6.651%		0.0651	0.0651
เงินลงทุนโครงการ (บาท)	0	- 5,956,200.00	- 9,483,500.00
เงินค่าพลังงานที่ประหยัดได้ (บาท)	ปีที่ 1	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 2	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 3	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 4	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 5	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 6	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 7	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 8	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 9	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 10	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 11	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 12	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 13	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 14	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 15	187,021.30	394,369.89
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ตลอดโครงการ (บาท)		2,805,319.46	5,915,548.34
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)		-4,198,829.79	-5,777,751.49
B/C Ratio		0.47	0.62
ผลตอบแทนภายใน (IRR)		-8.21%	-5.39%
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)		31 ปี 11 เดือน	24 ปี 1 เดือน

จากกรณีต้นทุนในการลงทุนเพิ่มสูงขึ้น ร้อยละ 10 พบว่าการลงทุนในขนาด 50 ตัน มีงบประมาณลงทุนเพิ่มขึ้นเป็น 5,956,200 บาท และขนาด 80 ตันมีงบประมาณลงทุนเพิ่มขึ้นเป็น 9,483,500 บาท ซึ่งค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่เพิ่มขึ้นนี้ มีผลให้การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เปลี่ยนแปลง โดยค่า NPV เท่ากับ -4,198,829.79 และ -5,777,751.49 บาท มีค่า IRR เท่ากับ -8.21% และ -5.39% เมื่อดำเนินโครงการไป 15 ปี และมีระยะเวลาคืนทุนนานมากขึ้นที่ 31 ปี 11 เดือน และ 24 ปี 1 เดือน ตามลำดับ

ตาราง 15 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหว กรณีไม่มีเงินสนับสนุนโครงการ

รายละเอียด		ระบบ 50 ตัน	ระบบ 80 ตัน
อัตราลดค่า 6.651%		0.0651	0.0651
เงินลงทุนโครงการ (บาท)	0	- 7,867,000.00	- 12,545,000.00
เงินค่าพลังงานที่ประหยัดได้ (บาท)	ปีที่ 1	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 2	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 3	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 4	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 5	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 6	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 7	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 8	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 9	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 10	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 11	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 12	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 13	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 14	187,021.30	394,369.89
	ปีที่ 15	187,021.30	394,369.89
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ตลอดโครงการ (บาท)		2,805,319.46	5,915,548.34
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)		-6,109,629.79	-8,839,251.49

ตาราง 15 (ต่อ)

รายละเอียด	ระบบ 50 ตัน	ระบบ 80 ตัน
B/C Ratio	0.36	0.47
ผลตอบแทนภายใน (IRR)	-10.78%	-8.20%
ระยะเวลาคืนทุน = เงินลงทุน/ค่าพลังงานที่ประหยัด	42.06	31.81
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)	42 ปี 1 เดือน	31 ปี 11 เดือน

จากกรณีไม่มีเงินสนับสนุนโครงการส่งเสริมการใช้น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน จากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่าการลงทุนในโครงการขนาด 50 ตัน มีงบประมาณลงทุนเพิ่มขึ้นเป็น 7,867,000 บาท และขนาด 80 ตัน ใช้งบประมาณลงทุนเป็น 12,545,000 บาท ซึ่งค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่เพิ่มขึ้นนี้ มีผลให้การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เปลี่ยนแปลง โดยค่า NPV เท่ากับ -6,109,629.79 และ -8,839,251.49 บาท มีค่า IRR ลดลงเหลือ -10.78% และ -8.20% ระยะเวลาคืนทุนนานมากขึ้นที่ 42 ปี 1 เดือน และ 31 ปี 11 เดือน ตามลำดับ

2.5 สรุปการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

จากการวิเคราะห์การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการนี้ สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยของโครงการเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์ เพื่อศึกษาว่าจะมีผลต่อการตัดสินใจในการลงทุนอย่างไรหากมีการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนและผลตอบแทน ภายใต้สถานการณ์สมมติทั้ง 2 กรณี คือ ความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของโครงการ เมื่อต้นทุนในการลงทุนเพิ่มสูงขึ้นร้อยละ 10 และเมื่อไม่มีเงินสนับสนุนโครงการส่งเสริมการใช้น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยระบบผสมผสาน นั้นพบว่าส่งผลกระทบโดยตรงต่อการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นอย่างมาก เนื่องจากทำให้เห็นถึงโครงการไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุนทั้งงบประมาณการลงทุนสูงขึ้น ผลตอบแทน และระยะเวลาคืนทุนยาวนานกว่าที่จะตัดสินใจดำเนินโครงการได้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

1. สรุปผลการศึกษา

งานศึกษานี้ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับเครื่องทำน้ำเย็นเดิมของอาคารเซลล์เฮาส์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าอาคารเซลล์เฮาส์สามารถติดตั้งระบบของโครงการที่ทำการการศึกษาได้ เนื่องจากมีปัจจัยสำคัญทางด้านพื้นที่เพียงพอในการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้ รวมถึงพื้นที่ชั้นบนดาดฟ้าของอาคารยังไม่มีพื้นที่บังเงา หรืออาคารสูงอื่นๆ ที่จะมาบดบังการเก็บรังสีอาทิตย์ได้ จึงสามารถรับรังสีอาทิตย์ได้ตลอดทั้งช่วงกลางวัน ซึ่งพื้นที่ที่สามารถลงทุนติดตั้งโครงการมีพื้นที่ทั้งหมด 1,085 ตารางเมตร และจากการศึกษาพื้นที่เก็บแสงอาทิตย์ที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต้องการคือ 650 ตารางเมตร เพื่อใช้กับเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนขนาด 50 ตัน และ พื้นที่ 1,050 ตารางเมตร สำหรับขนาด 80 ตัน โดยใช้ตัวเก็บรังสีแบบท่อสุญญากาศที่มีท่อแลกเปลี่ยนความร้อน เนื่องจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดนี้สามารถทำความร้อนได้สูง และได้รับการเงินลงทุนสนับสนุนจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) จำนวน 4,150 บาทต่อตารางเมตรอีกด้วย และจากข้อมูลการตรวจวัดรังสีเฉลี่ยในแต่ละเดือนของกรมอุตุนิยมวิทยา บางนา กรุงเทพฯ ซึ่งมีพื้นที่ใกล้เคียงกับอาคารเซลล์เฮาส์นี้ ยังสามารถตรวจวัดค่ารังสีเฉลี่ยรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ในรอบปีได้ที่ 16.82 MJ/m^2 ซึ่งมีปริมาณน้อยสุดที่ 14.98 MJ/m^2 ในเดือนกันยายน และมากที่สุดที่ 19.65 MJ/m^2 ในเดือนเมษายน ดังนั้นปริมาณรังสีอาทิตย์ในบริเวณอาคารนี้มีค่าเพียงพอต่อการใช้งานได้ แต่เนื่องปริมาณรังสีอาทิตย์ไม่สามารถควบคุมได้ รวมทั้งยังมีฤดูฝนที่ทำให้ไม่มีรังสีอาทิตย์มาใช้งานเกือบตลอด 3 เดือน ดังนั้นการพิจารณาการใช้งานจริงจึงใช้ระยะเวลารวม 9 เดือนที่สามารถใช้รังสีอาทิตย์ได้

จากการศึกษาระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนนี้ ยังได้ทำการเปรียบเทียบเงินลงทุนโครงการ การใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์กับเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอระบายความร้อนด้วยน้ำเครื่องเดิมที่ลดภาระการทำงานที่ 50% และ 75% ด้วยเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนขนาดขนาด 50 ตัน และ 80 ตัน ตามลำดับ เพื่อให้ทราบถึงความคุ้มค่าในการลงทุน ระยะเวลาคืนทุนของโครงการ รวมถึงค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากการเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนด้วยระบบทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ และเปรียบเทียบการลงทุนขนาดของโครงการที่จะตัดสินใจเลือกลงทุนทั้งขนาด 50 ตัน และ 80 ตันด้วย

จากการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์พบว่างบประมาณในการลงทุนของระบบการทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานร่วมกับระบบเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน ขนาดการทำความเย็นที่ 50 ตัน และ 80 ตัน ใช้งบประมาณลงทุน 5,169,500 บาท และ 8,229,000 บาท ตามลำดับ

เมื่อดำเนินโครงการ 15 ปี จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ -3,412,129.79 บาท และ -4,523,251.49 บาท โครงการมีค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) -6.82% และ -3.87% ระยะเวลาในการคืนทุนของโครงการคือ 27 ปี 8 เดือน และ 20 ปี 11 เดือน และผลการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าตลอดอายุของโครงการ เมื่อเทียบกับการใช้ลดภาระการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเดิมจำนวน 1 เครื่อง จะสามารถประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 2,805,319.46 บาท และ 5,915,548.34 บาท ตามลำดับ

ซึ่งจากการศึกษาพบว่าหากต้องการลงทุนทำโครงการนี้แล้ว ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ไม่สามารถแสดงผลตอบแทนได้ เนื่องจากเมื่อดำเนินโครงการครบตามระยะเวลาที่กำหนดค่า NPV ยังติดลบอยู่ทั้ง 2 โครงการ ค่า IRR ต่ำกว่าค่าอัตราดอกเบี้ยลดค่าที่กำหนดไว้ และมีระยะเวลาคืนทุนนานเกินกว่าจะลงทุนได้ นอกจากการลงทุนทำโครงการนี้จะพิจารณาในด้านการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า การใช้พลังงานทดแทน และการใช้งานพลังงานสะอาดมากกว่าผลตอบแทนทางด้านเศรษฐศาสตร์เป็นหลัก

2. ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาทำให้ทราบถึงข้อจำกัดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ และเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน คือ หากพื้นที่ในการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ไม่เพียงพอ หรือมีพื้นที่บังเงาจะไม่สามารถดำเนินระบบนี้ได้ รวมถึงหากต้องการใช้งานน้ำร้อนในระบบตลอดทั้งกลางวัน และกลางคืนจะต้องมีการติดตั้งถึงเก็บน้ำร้อนที่มีฉนวนหุ้มอย่างดี และมีขนาดถังบรรจุน้ำที่ใหญ่มาก รวมถึงจะต้องมีระบบทำน้ำร้อนอื่นเพื่อสนับสนุนการทำน้ำร้อนให้ระบบนี้ด้วย ในส่วนของเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนจำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนที่สูง เพื่อนำมาขับเคลื่อนระบบทำความเย็น แต่หากเปรียบเทียบการทำงานของระบบทำความเย็นแบบอัดไอแล้ว เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนถือว่า มีข้อดีในเรื่องของการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และมีค่าใช้จ่ายในการใช้งานที่ต่ำกว่ามาก รวมถึงหากมองผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืน ใช้สารทำความเย็น คือ สารลิเทียมโบรไมด์ และน้ำจะมีผลกระทบต่อบรรยากาศน้อยกว่าการใช้น้ำยาทำความเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็นแบบอัดไอ



บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (พพ.) กระทรวงพลังงาน. (2548). “เอกสารเผยแพร่เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ชุด รู้ ‘รักษ์พลังงาน ระบบทำความเย็น”
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (พพ.) กระทรวงพลังงาน. (2545). “กรณีศึกษา ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม (Absorption Chiller)”
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (พพ.). กระทรวงพลังงาน, โครงการส่งเสริมการใช้น้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยระบบผสมผสาน, หลักเกณฑ์การสนับสนุนการลงทุน. สืบค้นเมื่อวันที่ 9/05/2558, จาก <https://hotwater2012.wordpress.com>.
- การไฟฟ้านครหลวง, เกี่ยวกับค่าไฟฟ้า, อัตราค่าไฟฟ้าประเภทต่างๆ, ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่. สืบค้นเมื่อวันที่ 9/05/2558, จาก <http://www.mea.or.th/profile/index.php?l=th&tid=3&mid=114&pid=109>.
- ขนิษฐา สุทธิเสวนต์. (2551). การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินและทางเศรษฐกิจของโครงการผลิตพลังงานความร้อนร่วม: กรณีใช้ก๊าซชีวภาพของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.
- จันทร์นภา แก้ววิสัย. (2551). ศึกษาทางเลือกในการขยายระบบไฟฟ้าบนเกาะเต่า จ.สุราษฎร์ธานี การเปรียบเทียบระหว่าง ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบผสมผสานระหว่าง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและพลังงานลม กับแบบผสมผสานระหว่าง เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดีเซลและพลังงานแสงอาทิตย์. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณรงค์ฤทธิ์ มูลเจริญ. (2548). การนำความร้อนทิ้งจากไอเสียจากการผลิตไฟฟ้าก๊าซชีวภาพในฟาร์ม สุกรมาใช้ในระบบทำความเย็นแบบดูดซึม. เชียงใหม่: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- นางพงศ์ เสนีย์รัตนประยูร, จันทกานต์ ทวีกุล, ชูเกียรติ คุปตานนท์, และปัญญรักษ์ งามศรีตระกูล. (2550). การศึกษาประสิทธิภาพแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตน้ำร้อน โดยใช้โปรแกรม EnergyPlus. สงขลา: มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- นิพนธ์ เกตุจ้อย. (2545). เทคโนโลยีโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์; วารสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร: ปีที่ 10 (2): หน้า 93-109.
- นิพนธ์ เกตุจ้อย, วัฒนพงษ์ รัชวีเชียร, ไพฑูรย์ เหล่าดี, และวุฒิพงศ์ สุพนธนา. (2548). ระบบปรับอากาศด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์สำหรับอาคารทดสอบโครงการสวนพลังงาน : การหาความร้อนและการออกแบบระบบ. พิษณุโลก: วิทยาลัยพลังงานทดแทน. มหาวิทยาลัยนเรศวร.

- บริษัท ปัญญา คอนซัลแตนท์ จำกัด. (2555). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการส่งเสริมการใช้น้ำร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ ด้วยระบบผสมผสานปี 2554. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (พพ.) กระทรวงพลังงาน.
- บริษัท ราโวเทค จำกัด, (2558), ข้อมูลแผงเก็บความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้ว สูญญากาศ แบบฮีทไปป์ (Heat Pipe). สืบค้นเมื่อวันที่ 1/05/2558, จาก http://www.ravotek.co.th/company_profile.html.
- สงขลา ภาพสินธุ์, จันทกานต์ ทวีกุล, ชูเกียรติ คุปตานนท์, ปัญญรักษ์ งามศรีตระกูล, และกิตตินันท์ มลิวรรณ. (2549). ออกแบบระบบทำความเย็นแบบดูดซึมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์. สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สมมาส แก้วล้วน. (2544). ศักยภาพการนำระบบ Cogeneration และ Absorption Chiller มาใช้ใน อาคารธุรกิจบางประเภท, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีอุณหภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวง พลังงาน ร่วมกับหน่วยวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (2554). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการปรับปรุงแผนที่ศักยภาพ พลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียม สำหรับประเทศไทย
- สำนักดัชนีเศรษฐกิจการค้า. สำนักงานนโยบายและยุทธศาสตร์การค้า. กระทรวงพาณิชย์. (2558). ข้อมูลราคาวัสดุก่อสร้าง ส่วนกลางกรุงเทพมหานคร. สืบค้นเมื่อวันที่ 1/05/2558, จาก http://www.indexpr.moc.go.th/PRICE_PRESENT/tablecsi_month_region.asp?DDMonth=01&DDYear=2558&DDProvince=10&B1=%B5%A1%C5%A7
- เสริม จันทรฉาย...[และคนอื่น ๆ]. (2548). คู่มือข้อมูลมาตรฐานด้านภูมิอากาศและแสงอาทิตย์ สำหรับใช้งานด้านพลังงาน ทดแทน / กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์ พลังงาน กระทรวงพลังงาน ร่วมกับ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศิลปากร.
- เสรี โตเข้ม. (2541). การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสุกร เพื่อทดแทนก๊าซแอลพีจี และระบบไฟฟ้า. กรุงเทพฯ :มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อิสรา รำไพกุล. (2549). การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ, พิมพ์ครั้งที่ 6, กรุงเทพฯ, สาม เจริญพาณิชย์ จำกัด.
- Ameri, M. and Hejazi, S.H. (2004). The study of capacity enhancement of Chababar gas turbine installaion using an absorption chiller. Applied Thermal Engineering. 24: 59-68.
- ASHRAE Handbook. (1998). Absorption Cooling, Heating and Refrigeration Equipment. Refrigeration Volume. Chapter 41.

- ASHRAE. Absorption air-conditioning and refrigeration equipment. (1972). In: *ASHRAE Guide and Data Book, Equipment*. Chapter 14. New York: ASHRAE.
- Assilzadeh F, Kalogirou SA, Ali Y, Sopian K., (2005). Simulation and Optimization of a LiBr-Solar Absorption Cooling System with Evacuated Tube Collectors, *Renewable Energy*, Vol.30, pp.1143–59.
- Albers, J., Kemmer, H., Ziegler, F. (2009). Solar driven absorption chiller controlled by hot and cooling water temperature, pp 338-343.
- Bermejo, P., Pino, F.J., Rosa, F. (2010). "Solar absorption cooling plant in Seville", *Solar Energy*, Vol. 84, Issue 8, pp 1503-1512.
- D.A. Kouremenos, K.A. Antonopoulos and E. Rogdakis, (1990). 'Hour Simulation of Solar H₂O-LiBr Absorption Heat Transformers in Athens', *Solar and Wind Technology*, Vol. 7, pp. 111-118.
- Florides, G.A., Kalogirou S.A., Tassou S.A. and Wrobel L.C. (2002). Modelling, simulation and warming impact assessment of a domestic-size absorption solar cooling system. *Applied Thermal Engineering*. 22: 1313-1325.
- Jeter, J. P. Moran and A. S. Teja. (1992). "Properties of Lithium Bromide-Water Solutions at High Temperatures and Concentrations-Part III: Specific Heat". *ASHRAE Transaction*. 98 (part 1) 137-149.
- K. Gommed and G. Grossman, (1990). "Performance Analysis of Staged Absorption Heat Pumps : Water - Lithium Bromide Systems", pp. 1590-1598.
- P. Lamp and F. Ziegler. (1998). European Research on Solar-Assisted Air Conditioning, Review Paper, *IntJ. Refrig.*, Vol. 21, No. 2, pp. 89-99.
- Pongtornkulpanich, S. Thepa, M. Amornkitbamrung, C. Butcher, (2008). Experience with Fully Operational Solar-Driven 10-ton LiBr/H₂O Single-Effect Absorption Cooling System in Thailand, *Renewable Energy*, Vol.33, pp. 943-949.
- Riffat, S.B. and Qiu, Guoquan. (2004). Comparative investigation of thermoelectric air-condition versus vapour compression and absorption air-condition. *Applied Thermal Engineering*.
- Vincent A. Sakraida. P.E. (2009). "Basic for Absorption Chillers".

- Xuehu, M., Chen, J., Li, S., Sha, Q., Liang, A., Li, W., Zhang, J., Zheng, G., and Feng, Z., (2003). Application of absorption heat transformer to recover waste heat from a synthetic rubber plant. *Applied Thermal Engineering*. 23: 797-806.
- Zahler, C., Häberle, A., Schwind, T., Berger, M. Louw., (2009). *Mirroxx Fresnel Process Heat Collectors for Industrial Applications and solar cooling.*, pp 271-276.





ภาคผนวก ก
ภาพประกอบอาคารเซลล์เฮาส์ และตัวอย่างการออกแบบติดตั้งระบบ





ภาพประกอบ 46 พื้นที่ติดตั้งหอทำความเย็นบนชั้นดาดฟ้าอาคารเซลล์เฮาส์



ภาพประกอบ 47 บริเวณพื้นที่บนชั้นดาดฟ้าอาคารเซลล์เฮาส์ ภาพ 1



ภาพประกอบ 48 บริเวณพื้นที่บนชั้นดาดฟ้าอาคารเซลล์เฮาส์ ภาพ 2



ภาพประกอบ 49 บริเวณพื้นที่บนชั้นดาดฟ้าอาคารเซลล์เฮาส์ ภาพ 3



ภาพประกอบ 50 บริเวณพื้นที่บนชั้นดาดฟ้าอาคารเซลล์เฮาส์ ภาพ 4



ภาพประกอบ 51 บริเวณพื้นที่บนชั้นดาดฟ้าอาคารเซลล์เฮาส์ ภาพ 5



ภาพประกอบ 52 ตัวอย่างเครื่องทำน้ำเย็นแบบดูดกลืนโดยใช้ระบบทำน้ำร้อนด้วยรังสีอาทิตย์

ที่มา: บริษัท ราโวเทค จำกัด



ภาพประกอบ 53 ตัวอย่างการทำน้ำร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

ที่มา: บริษัท ราโวเทค จำกัด



ภาพประกอบ 54 ตัวอย่างการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ภาพ 1

ที่มา: บริษัท ราโวเทค จำกัด



ภาพประกอบ 55 ตัวอย่างการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ภาพ 2

ที่มา: บริษัท ราโวเทค จำกัด



ภาคผนวก ข
ข้อมูลการคิดค่าไฟฟ้า

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

ลักษณะการใช้ สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือ มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Tariff : TOD Tariff)

อัตรารายเดือน

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)			ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Partial Peak	Off Peak	ทุกช่วงเวลา	
4.1.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	224.30	29.91	0	2.6506	312.24
4.1.2 แรงดัน 12 - 24 กิโลโวลต์	285.05	58.88	0	2.6880	312.24
4.1.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	332.71	68.22	0	2.7160	312.24

On Peak : เวลา 18.30 - 21.30 น. ของทุกวัน

Partial Peak : เวลา 08.00 - 18.30 น. ของทุกวัน คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเฉพาะส่วนที่เกินจากช่วง On Peak

Off Peak : เวลา 21.30 - 08.00 น. ของทุกวัน ไม่คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า

ความต้องการพลังไฟฟ้า : ความต้องการพลังไฟฟ้าแต่ละเดือน คือ ความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ ให้ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไป คิดเป็น 1 กิโลวัตต์

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงที่สุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

สำหรับผู้ที่ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์ เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอกตีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในอัตรา กิโลวาร์ ละ 56.07 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น เศษของกิโลวาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ ให้ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff)

อัตรารายเดือน

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak	
4.2.1 แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	74.14	0	3.5982	2.1572	312.24
4.2.2 แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	132.93	0	3.6796	2.1760	312.24
4.2.3 แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	0	3.8254	2.2092	312.24

On Peak : เวลา 09.00 - 22.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

Off Peak : เวลา 22.00 - 09.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์

: เวลา 00.00 - 24.00 น. วันเสาร์ - วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ

วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันพืชมงคลและวันหยุดชดเชย)

ความต้องการพลังไฟฟ้า : ความต้องการพลังไฟฟ้าแต่ละเดือน คือ ความต้องการพลังไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์ เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในช่วงเวลา On Peak ในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ ให้ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไป คิดเป็น 1 กิโลวัตต์

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดในแต่ละเดือนต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (Demand Charge) ที่สูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมา

ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์

สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีเพาเวอร์แฟกเตอร์ (Lagging) ถ้าในรอบเดือนใดผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการพลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด เมื่อคิดเป็นกิโลวาร์ เกินกว่าร้อยละ 61.97 ของความต้องการพลังไฟฟ้าแอกทีฟเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดเมื่อคิดเป็นกิโลวัตต์แล้ว เฉพาะส่วนที่เกินจะต้องเสียค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ในอัตรากิโลวาร์ละ 56.07 บาท สำหรับการเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าในรอบเดือนนั้น เศษของกิโลวาร์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวาร์ ให้ตัดทิ้ง ตั้งแต่ 0.5 กิโลวาร์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวาร์

หมายเหตุ

1. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในอัตราข้อ 4.1 ซึ่งใช้ไฟฟ้าก่อนเดือนตุลาคม 2543 จะยังคงถูกจัดอยู่ในอัตราข้อ 4.1 สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่จัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 4 ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2543 จะถูกจัดเข้าอยู่ในอัตราข้อ 4.2 ในเดือนถัดไป หลังจากเดือนที่ติดตั้งเครื่องวัดฯ TOU แล้ว
2. ผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราข้อ 4.1 สามารถเลือกใช้อัตราข้อ 4.2 ได้ โดยต้องแจ้งความประสงค์กับการไฟฟ้านครหลวง และชำระค่าเครื่องวัดฯ TOU ก่อน ทั้งนี้หากเลือกใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราเดิมไม่ได้
3. ผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 2
4. ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าบริการรายเดือน เพิ่มจากค่าไฟฟ้าต่ำสุดด้วย

ข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราค่าไฟฟ้า

1. อัตราค่าไฟฟ้าข้างต้น เป็นอัตราที่เรียกเก็บรายเดือน ที่ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม
2. ค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บในแต่ละเดือน ประกอบด้วย ค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าฐาน และ ค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (F_t) โดยมีการเรียกเก็บ F_t ทุกเดือน แยกเป็นรายการในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้า ทั้งนี้ F_t ที่เรียกเก็บจะปรับเปลี่ยนทุกๆ 4 เดือน โดยกำหนดให้ F_t เป็นอัตราคงที่ต่อหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้า

อัตราค่าไฟฟ้าใหม่นี้เริ่มใช้ตั้งแต่ค่าไฟฟ้า
ประจำเดือนมิถุนายน 2555 เป็นต้นไป



การไฟฟ้าฝ่ายผลิต



คำชี้แจง

ค่า F_t ประจำเดือนมกราคม ๒๕๕๘ – เมษายน ๒๕๕๘

คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ในการประชุมเมื่อวันศุกร์ที่ ๙ มกราคม ๒๕๕๘ ได้มีมติเรื่อง ค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (F_t) โดยเห็นชอบผลการคำนวณประมาณการค่า F_t ขยายปลีกสำหรับการเรียกเก็บจากผู้ไฟฟ้าในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าประจำเดือนมกราคม ๒๕๕๘ – เมษายน ๒๕๕๘ โดยอ้างอิงราคาน้ำมันดิบที่ Dubai 60 USD/BBL ทำให้ค่า F_t ขยายปลีก เท่ากับ ๕๘.๙๖ สตางค์/หน่วย ลดลงจากค่า F_t ที่เรียกเก็บจากผู้ไฟฟ้าในรอบเดือนกันยายน ๒๕๕๗ – ธันวาคม ๒๕๕๗ (๖๙.๐๐ สตางค์/หน่วย) เท่ากับ ๑๐.๐๔ สตางค์/หน่วย

เดือนที่เรียกเก็บ	F_t (สตางค์/หน่วย)
ก.ย. ๕๗ – ธ.ค. ๕๗	๖๙.๐๐
ม.ค. ๕๘ – เม.ย. ๕๘	๕๘.๙๖
แตกต่าง	-๑๐.๐๔

โดยที่

$$F_t = FAC + AF$$

$$๕๘.๙๖ = ๖๘.๐๓ + (-๙.๐๗) \text{ สตางค์/หน่วย}$$

(๑) FAC คือ ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงของ กฟผ. ค่าซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตเอกชน ค่าซื้อไฟฟ้าจากต่างประเทศ และค่าใช้จ่ายตามนโยบายของรัฐ ที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงฯ ฐานมีค่าเท่ากับ ๖๘.๐๓ สตางค์/หน่วย คิดเป็นจำนวนเงิน ๓๗,๐๕๑ ล้านบาท เพิ่มขึ้นจากงวดที่ผ่านมา เนื่องจากประมาณการการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ กฟผ. และค่าซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตเอกชนและต่างประเทศเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ แม้ราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ยจะปรับลดลง

(๒) AF คือ ค่าสะสมของผลแตกต่างระหว่างค่า F_t ที่เกิดขึ้นจริง กับค่าที่เรียกเก็บในช่วงเดือนกันยายน ๒๕๕๗ – ธันวาคม ๒๕๕๗ (เรียกเก็บ ๖๙.๐๐ สตางค์/หน่วย) และนำมาใช้ปรับปรุงค่า F_t ในช่วงเดือนมกราคม ๒๕๕๘ – เมษายน ๒๕๕๘ มีค่าเท่ากับ -๙.๐๗ สตางค์/หน่วย คิดเป็นจำนวนเงินปรับลด ๔,๙๔๒ ล้านบาท โดยจะทำให้ภาระค่ารับของ กฟผ. หดไป

ดังนั้น สรุป ค่า F_t ขยายปลีก สำหรับเรียกเก็บจากผู้ไฟฟ้าในรอบเดือนมกราคม ๒๕๕๘ – เมษายน ๒๕๕๘ เท่ากับ ๕๘.๙๖ สตางค์/หน่วย

ที่มา : การไฟฟ้านครหลวง



คำชี้แจง

ค่า F_t ประจำเดือนพฤษภาคม ๒๕๕๘ – สิงหาคม ๒๕๕๘

คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ในการประชุมเมื่อวันที่ ๒๙ เมษายน ๒๕๕๘ ได้มีมติเรื่อง ค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (F_t) สำหรับการเรียกเก็บจากผู้ไฟฟ้าในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าประจำเดือนพฤษภาคม ๒๕๕๘ – สิงหาคม ๒๕๕๘ เท่ากับ ๔๙.๖๑ สตางค์/หน่วย โดยมีรายละเอียดการพิจารณาของ กกพ. ดังนี้

๑. เห็นชอบผลการคำนวณประมาณการค่า F_t ขยายปลีก ประจำเดือนพฤษภาคม ๒๕๕๘ – สิงหาคม ๒๕๕๘ เท่ากับ ๕๓.๒๗ สตางค์/หน่วย ลดลงจากค่า F_t ที่เรียกเก็บจากผู้ไฟฟ้าในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าประจำเดือนมกราคม ๒๕๕๘ – เมษายน ๒๕๕๘ (๕๘.๙๖ สตางค์/หน่วย) เท่ากับ ๕.๖๙ สตางค์/หน่วย โดยที่

$$\begin{aligned} F_t &= FAC + AF \\ ๕๓.๒๗ &= ๕๑.๕๐ + ๑.๗๗ \text{ สตางค์/หน่วย} \end{aligned}$$

(๑) FAC คือ ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงของ กฟผ. ค่าซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตเอกชน ค่าซื้อไฟฟ้าจากต่างประเทศ และค่าใช้จ่ายตามนโยบายของรัฐ ที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงฯ ฐานมีค่าเท่ากับ ๕๑.๕๐ สตางค์/หน่วย คิดเป็นจำนวนเงิน ๒๙,๘๓๔ ล้านบาท ลดลงจากงวดที่ผ่านมา เนื่องจากสัดส่วนการใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลในการผลิตไฟฟ้าลดลง และราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ปรับลดลง

(๒) AF คือ ค่าสะสมของผลแตกต่างระหว่างค่า F_t ที่เกิดขึ้นจริง กับค่าที่เรียกเก็บในช่วงเดือนมกราคม ๒๕๕๘ – เมษายน ๒๕๕๘ (เรียกเก็บ ๕๘.๙๖ สตางค์/หน่วย) และนำมาใช้ปรับปรุงค่า F_t ในช่วงเดือนพฤษภาคม ๒๕๕๘ – สิงหาคม ๒๕๕๘ มีค่าเท่ากับ ๑.๗๗ สตางค์/หน่วย คิดเป็นจำนวนเงิน ๑,๐๒๓ ล้านบาท ตามที่ กกพ. ได้ให้บทวนปรับลดปริมาณเชื้อเพลิงสำรองในเดือนเมษายน ๒๕๕๘ สำหรับรองรับเหตุการณ์แหล่งก๊าซซอติกาเลื่อนแผนการหยุดซ่อมให้ใกล้เคียงกับปริมาณการใช้จริง

๒. ทั้งนี้ เพื่อให้ค่า F_t สอดคล้องกับต้นทุนเชื้อเพลิงในตลาดโลกที่มีแนวโน้มปรับลดลงอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับภาวะเศรษฐกิจและค่าครองชีพของประชาชน จึงเห็นชอบให้ค่า F_t ขยายปลีกประจำเดือนพฤษภาคม ๒๕๕๘ – สิงหาคม ๒๕๕๘ เท่ากับ ๔๙.๖๑ สตางค์/หน่วย ลดลงจากค่า F_t ที่เรียกเก็บจากประชาชนในรอบเดือนมกราคม ๒๕๕๘ – เมษายน ๒๕๕๘ (๕๘.๙๖ สตางค์/หน่วย) เท่ากับ ๙.๓๕ สตางค์/หน่วย โดยให้ กกพ. รับภาระเป็น ค่า F_t ค้างรับเป็นการชั่วคราว เท่ากับ ๓.๖๖ สตางค์/หน่วย หรือคิดเป็นจำนวนเงิน ๒,๑๑๘ ล้านบาท

ดังนั้น สรุป ค่า F_t ขยายปลีก สำหรับเรียกเก็บจากผู้ไฟฟ้าในรอบเดือนพฤษภาคม ๒๕๕๘ ถึง สิงหาคม ๒๕๕๘ เท่ากับ ๔๙.๖๑ สตางค์/หน่วย

ที่มา: การไฟฟ้านครหลวง



ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	จอมวงศ์ สุวรรณราช
วัน เดือน ปีเกิด	19 ตุลาคม พ.ศ. 2524
สถานที่เกิด	อำเภอชุมแพ จังหวัดขอนแก่น
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	330/173 เดอะคริส 4 ซอยรัชดาภิเษก 17 ถนนรัชดาภิเษก แขวงดินแดง เขตดินแดง จังหวัดกรุงเทพฯ 10400
ตำแหน่งงานปัจจุบัน	วิศวกรฝ่ายขาย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท เวลต์ซอร์ซ โฟลคอนโทรล จำกัด 5/199 ถนนเทศบาลสงเคราะห์ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพฯ 10900
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ.2541	มัธยมศึกษาตอนปลาย จาก โรงเรียนชุมแพศึกษา
พ.ศ.2548	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล จาก มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
พ.ศ.2558	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การจัดการทางวิศวกรรม (พลังงานและสิ่งแวดล้อม) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ